



**ESCUELA UNIVERSITARIA DE POSGRADO**

DEFLECTOMETRÍA DE IMPACTO EN LA EVALUACIÓN ESTRUCTURAL,  
CARRETERA CENTRAL KM 12+250 – KM 26+500, LIMA 2020

**Línea de investigación:**

**Seguridad vial e infraestructura de transporte**

Tesis para optar el grado académico de Maestro en Gerencia de Proyectos  
de Ingeniería

**Autor:**

Julca Vásquez, Carlos Abner

**Asesora:**

Tafur Anzualdo, Vicenta Irene  
(ORCID: 0000-0002-1888-7848)

**Jurado:**

Martínez Albán, Pascual Alejandro

Alva Velásquez, Miguel

Coveñas Lalupú, José

**Lima - Perú**

**2022**

**Referencia:**

Julca, C. (2022). *Deflectometría de impacto en la evaluación estructural, Carretera Central km 12+250 – km 26+500, Lima 2020*. [Tesis de maestría, Universidad Nacional Federico Villarreal]. Repositorio Institucional UNFV. <https://repositorio.unfv.edu.pe/handle/20.500.13084/6601>



**Reconocimiento - No comercial - Sin obra derivada (CC BY-NC-ND)**

El autor sólo permite que se pueda descargar esta obra y compartirla con otras personas, siempre que se reconozca su autoría, pero no se puede generar obras derivadas ni se puede utilizar comercialmente.

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>



Universidad Nacional  
**Federico Villarreal**

**VRIN** | VICERRECTORADO  
DE INVESTIGACIÓN

ESCUELA UNIVERSITARIA DE POSGRADO

**DEFLECTOMETRÍA DE IMPACTO EN LA  
EVALUACIÓN ESTRUCTURAL, CARRETERA  
CENTRAL KM 12+250 – KM 26+500, LIMA 2020**

Línea de Investigación:

Seguridad Vial e Infraestructura de Transporte

Tesis para optar el Grado Académico de Maestro en Gerencia de  
Proyectos de Ingeniería

Autor

Julca Vásquez, Carlos Abner

Asesora

Tafur Anzualdo, Vicenta Irene  
(ORCID: 0000-0002-1888-7848)

Jurado

Martínez Albán, Pascual Alejandro  
Alva Velásquez, Miguel  
Coveñas Lalupú, José

Lima – Perú  
2022

## **DEDICATORIA**

Quiero dedicar esta investigación a Claudia, mi ñaña, esposa, compañera y mi mejor amiga, eres la persona que necesito para ser inmensamente feliz y salir adelante. Te Amo.

A mis hijas Lucía y Carlita que me brindaron su apoyo, tuvieron tolerancia e infinita paciencia y cedieron su tiempo para que “Papá estudie”, para Ustedes mi gratitud y mi amor eterno.

A mi gran amiguito LuCa.

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios creador de todo y por bendecirme todos los días de mi vida.

A mis padres Leoncio y Teófila, gracias por inculcar en mí el esfuerzo y valentía, de no temer las adversidades de la vida porque Dios está conmigo siempre, a mis hermanos Willy, Heberth y Daniel por su cariño y apoyo incondicional.

A mis colegas y amigos que de una y otra manera contribuyeron con sus conocimientos y en especial a mi asesora de tesis, doctora Vicenta Tafur por su dedicación y perseverancia.

## Índice

Resumen.....		9
Abstrac .....		10
I.	INTRODUCCIÓN .....	11
1.1	Planteamiento del problema .....	12
1.2	Descripción del problema .....	13
1.3	Formulación del Problema: .....	16
1.4	Antecedentes .....	17
1.5	Justificación de la Investigación .....	23
1.6	Limitaciones de la Investigación .....	24
1.7	Objetivos de la Investigación.....	25
1.8	Hipótesis .....	25
II.	MARCO TEÓRICO .....	27
2.1	Teorías Relacionadas .....	27
2.1.1	<i>Deflectometría de Impacto en Pavimentos</i> .....	27
2.1.2	<i>Cuenca de Deflexiones</i> .....	28
2.1.3	<i>Técnica de Retrocálculo</i> .....	35
2.1.4	<i>Evaluación Estructural</i> .....	36
2.2	Marco Conceptual .....	36
III.	MÉTODO.....	43
3.1	Tipo de Investigación .....	43
3.2	Población y Muestra .....	43
3.3	Operacionalización de variables .....	44
3.4	Instrumentos .....	47
3.5	Procedimientos .....	49
3.5.1	<i>Medida de Deflexiones</i> .....	51
3.5.2	<i>Medida de espesores de la carpeta asfáltica</i> .....	53
3.5.3	<i>Retrocálculo</i> .....	56

3.5.4	<i>Corrección de las Deflexiones por carga y Cálculo del Área del Cuenco de Deflexiones</i> .....	59
3.5.5	<i>Sectores Homogéneos del tramo</i> .....	59
3.6	Análisis de Datos .....	60
3.7	Consideraciones Éticas. ....	67
IV.	RESULTADOS.....	68
4.1	Curva de Deflexiones Calzada Derecha .....	68
4.2	Curva de Deflexiones Calzada Izquierda .....	69
4.3	Categorización de Pavimento Calzada Derecha .....	70
4.4	Categorización de Pavimento Calzada Izquierda.....	71
4.5	Máximas deflexiones en la calzada derecha .....	71
4.6	Máxima deflexiones en la calzada izquierda.....	74
4.7	Contrastación de Hipótesis.....	76
V.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....	78
VI.	CONCLUSIONES .....	80
VII.	RECOMENDACIONES .....	82
VIII.	REFERENCIAS .....	83
IX.	ANEXOS.....	87

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	<i>Deflexiones típicas en pavimento flexible y rígido.</i>	29
Figura 2	<i>Esquema de bulbo de presiones y cuenco de deflexiones.</i>	30
Figura 3	<i>Área del cuenco con valor máximo</i>	31
Figura 4	<i>Esquema del cálculo directo y cálculo inverso</i>	35
Figura 5	<i>Vista isométrica de la deflexión</i>	37
Figura 6	<i>Área de influencia del estudio</i>	44
Figura 7	<i>Deflectómetro de impacto KUAP - 150.</i>	48
Figura 8	<i>Número de Serie del FWD KUAB - 150.</i>	48
Figura 9	<i>Ubicación del tramo en estudio.</i>	49
Figura 10	<i>Carriles de la calzada derecha e izquierda.</i>	50
Figura 11	<i>Sección típica del paquete estructural</i>	51
Figura 12	<i>Forma de remolque del deflectómetro de impacto.</i>	52
Figura 13	<i>Inspección de toma de datos en campo</i>	53
Figura 14	<i>Ubicación y extracción de testigos.</i>	54
Figura 15	<i>Extracción y medida del espesor de la carpeta asfáltica.</i>	54
Figura 16	<i>Toma de medidas de la losa de concreto y base granular</i>	55
Figura 17	<i>Cuenca de Deflexiones</i>	58
Figura 18	<i>Deflexión máxima normalizada y deflexión característica (<math>\mu\text{m}</math>) - Calzada derecha.</i>	61
Figura 19	<i>Deflexión máxima normalizada y deflexión característica (<math>\mu\text{m}</math>) - Calzada izquierda.</i>	62
Figura 20	<i>Diferencias acumuladas de la calzada derecha.</i>	63

Figura 21	<i>Diferencias acumuladas de la calzada izquierda</i> .....	63
Figura 22	<i>Área del cuenco de deflexiones de la calzada derecha</i> .....	66
Figura 23	<i>Área del cuenco de deflexiones de la calzada izquierda</i> .....	66
Figura 24	<i>Magnitud y forma de las deflexiones de la calzada derecha</i> .....	68
Figura 25	<i>Magnitud y forma de las deflexiones de la calzada izquierda</i> .....	69
Figura 26	<i>Categorización del pavimento de la calzada derecha</i> .....	70
Figura 27	<i>Categorización del pavimento de la calzada izquierda</i> .....	71
Figura 28	<i>Análisis de deflexiones de la calzada derecha</i> .....	72
Figura 29	<i>Deflexiones atípicas en la calzada derecha</i> .....	73
Figura 30	<i>Sección transversal de la calzada derecha</i> .....	73
Figura 31	<i>Análisis de deflexiones de la calzada izquierda</i> .....	74
Figura 32	<i>Deflexiones atípicas en la calzada izquierda</i> .....	75
Figura 33	<i>Sección transversal de la calzada izquierda</i> .....	75
Figura 34	<i>Certificado de Calibración del Deflectómetro de Impacto Usado en la toma de Datos de Campo</i> .....	89

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Relación área y deflexión máxima</i> .....	32
Tabla 2 <i>Valores típicos de área y tipo de pavimento</i> .....	33
Tabla 3 <i>Valores de área por tipo de pavimento</i> .....	34
Tabla 4 <i>Categorización del pavimento</i> .....	34
Tabla 5 <i>Equipos para mediciones de deflexiones</i> .....	39
Tabla 6 <i>Método de diferencias acumuladas</i> .....	40
Tabla 7 <i>Clasificación por tipo de carretera</i> .....	41
Tabla 8 <i>Operacionalización de variables</i> .....	45
Tabla 9 <i>Deflexión promedio y característica de las secciones homogéneas</i> .....	64
Tabla 10 <i>Área del cuenco de deflexiones de las secciones homogéneas</i> .....	65
Tabla 11 <i>Comparación de áreas y deflexiones obtenidas vs convencionales de U.S. Department of Transportation</i> .....	78
Tabla 12 <i>Matriz de Consistencia</i> .....	87
Tabla 13. <i>Deflexiones Calzada Derecha</i> .....	91
Tabla 14 <i>Deflexiones Calzada Izquierda</i> .....	97
Tabla 15 <i>Deflexión Máx. corregidas y Área del Cuenco - Calzada Derecha</i> .....	103
Tabla 16 <i>Deflexión Máx. corregidas y Área del Cuenco - Calzada Izquierda</i> .....	109

## Resumen

Esta investigación evalúa la capacidad estructural de un pavimento tipo mixto (carpeta asfáltica, concreto y base granular) de un tramo de la carretera central. Este estudio se realizó bajo una metodología “no destructiva” que se basa en la toma, procesamiento e interpretación de las deflexiones medidas en la superficie de la carretera donde se aplicó una carga de 50 kN con el equipo deflectómetro de Impacto. La investigación fue del tipo aplicada con un enfoque cuantitativo donde la deflexión máxima ( $D_o$ ) y el área del cuenco de deflexiones obtenidos de cada punto fueron analizadas mediante la técnica del retrocálculo y permitieron conocer las características del paquete estructural obteniendo una deflexión máxima y un área del cuenco de deflexiones de promedio 133  $\mu\text{m}$  y de 27.14 pulg para la calzada derecha y 202.29  $\mu\text{m}$  y 24.41 pulg para la calzada izquierda respectivamente. Es preciso mencionar también la importancia de no tan solo obtener el valor del área del cuenco de deflexiones sino también analizar la forma del cuenco, este último vinculado directamente al espesor de la carpeta asfáltica. Esto nos ha permitido concluir que los valores obtenidos se encuentran dentro de los valores típicos para este tipo de pavimentos conformados por carpeta asfáltica, concreto y base granular, cuyos resultados de la deflexión máxima  $D_o$  y su área del cuenco de deflexiones del tramo de la carretera estudiada gozan de un paquete estructural bueno por lo que la categorización del pavimento es de muy fuerte.

*Palabras clave:* Deflexión, Deflectometría, “no destructiva”, paquete estructural, área del cuenco de deflexiones.

### **Abstract**

This research evaluates the structural capacity of a mixed type pavement (asphalt layer, concrete and granular base) of a section of the central highway. This study was carried out under a "non-destructive" methodology that is based on the taking, processing and interpretation of the deflections measured on the road surface where a load of 50 kN was applied with the Impact deflectometer equipment. The research was of the type applied with a quantitative approach where the maximum deflection ( $D_0$ ) and the area of the deflection bowl obtained from each point were analyzed using the back-calculation technique and allowed to know the characteristics of the structural package, obtaining a maximum deflection and an area of the average deflection bowl of 133  $\mu\text{m}$  and 27.14 in for the right roadway and 202.29  $\mu\text{m}$  and 24.41 in for the left roadway respectively. It is also necessary to mention the importance of not only obtaining the value of the area of the deflection bowl, but also analyzing the shape of the bowl, the latter directly linked to the thickness of the asphalt layer. This has allowed us to conclude that the values obtained are within the typical values for this type of pavement made up of asphalt, concrete and granular base, whose results of the maximum deflection  $D_0$  and its area of the deflection bowl of the section of the road studied have a good structural package, so the categorization of the pavement is very strong.

*Key words:* Deflection, Deflectometry, "non destructive", structural package, deflection bowl area.

## I. INTRODUCCIÓN

Una de las tendencias en los países desarrollados que va tomando mayor incidencia aplicativa sobre el desarrollo de pruebas de análisis, evaluación y tratamiento del estado en que se encuentran el paquete estructural de las carreteras es la aplicación de los estudios no destructivos, los cuales luego de ser aplicados identifica el sector o tramo y su grado de la estructura deteriorada. Con esta evaluación se puede determinar y proponer el tipo de intervención que debe aplicarse a la carretera y reutilizar significativamente los elementos estructurales conservados para el reforzamiento de la infraestructura vial pavimentada en cuestión.

El desarrollo de esta investigación se basa en la necesidad de conocer la capacidad estructural de un tramo de la carretera central y a la vez la motivación de difundir otras alternativas de evaluación estructural de los pavimentos utilizando el equipo deflectómetro de impacto. Es por ello por lo que en el capítulo I con el planteamiento del problema se trata la realidad de la problemática, se presentó el objetivo central de determinar la incidencia de la deflectometría de impacto en la evaluación estructural de la Carretera Central km 12+250 al km 26+500 y los objetivos específicos, establecer la incidencia de la aplicación de las técnicas del retrocálculo en la evaluación estructural, establecer las incidencias de las cargas en el pavimento en la evaluación estructural y establecer la incidencia del área del cuenco de deflexiones en la capacidad estructural de los pavimentos.

En el capítulo II se desarrolló el marco teórico, mencionando los antecedentes de la investigación los cuales se encaminan a los temas de nuestra problemática, tocando las variables y dimensiones que nos sirva para discutir y analizar los resultados, seguidamente se plantea nuestro marco conceptual, donde se desarrolló aspectos de nuestras dimensiones e indicadores planeados en nuestras hipótesis.

Sucesivamente en el capítulo III, se muestra el instrumento que se utilizó para la toma de datos y el procedimiento de proceso del retrocálculo para analizar las deflexiones y calcular el área del cuenco de deflexiones.

Asimismo, en el capítulo IV se logró presentar el resumen de los resultados de todos los cálculos de las deflexiones de los tramos evaluados en el carril derecho e izquierdo respectivamente. También se presenta el análisis e interpretación los resultados.

En el capítulo V, se discutió los resultados del área del cuenco de deflexiones del carril derecho y carril izquierdo del tramo de la carretera utilizado en nuestra investigación. Para esta discusión de los resultados se utilizaron los valores típicos por tipo de pavimentos de las agencias investigadoras dedicadas a este tipo de estudios.

Finalmente, en el capítulo VI y VII se presentan las conclusiones y recomendaciones de la investigación.

### **1.1 Planteamiento del problema**

La capacidad de soporte del paquete estructural está directamente vinculado a las cargas a las que está sometido por el tránsito vehicular que circulará durante toda su vida útil a la cual fue diseñado y, el no tener identificado los deterioros, fallas antes de que se cumpla su vida útil de diseño, perjudica en gran medida al paquete estructural ocasionando sobrecostos para su rehabilitación en vez de un mantenimiento.

Actualmente en el Perú es muy poco conocido la alternativa de la deflectometría de impacto para evaluar el soporte del paquete estructural por medio del estudio de las deflexiones en el pavimento haciendo uso del deflectómetro de Impacto y su proceso de análisis del retrocálculo que nos permite identificar defectos en el paquete estructural. Por lo que por medio de esta investigación se quiere dar a conocer una metodología de retrocálculo para calcular el

área del cuenco de deflexiones a través de un ensayo no destructivo haciendo uso del Deflectómetro de Impacto (FWD)

## **1.2 Descripción del problema**

La condición actual del pavimento de una carretera ha sido y continuará siendo un mecanismo importante para preservar un adecuado nivel de servicio que conlleva un desarrollo social, cultural y económico de sus habitantes.

En el Perú todavía no se conoce a profundidad sobre las ventajas y usos operativos de las técnicas y herramientas que se pueden aplicar con los estudios no destructivos sobre pavimentos sin mayor problema de fallos deteriorables; ya que se suele tener por creencia y conocimiento empírico acerca de que las carreteras que presenten menores grados de deterioro, solamente se requiere efectuar un mantenimiento básico sobre la superficie del pavimentos, sin efectuarse estudios técnicos más especializados como la deflectometría de Impacto para evaluar su capacidad del paquete estructural.

En consecuencia se producen problemas considerables de negligencia y omisión de labor técnica de parte de las Entidades Nacionales, Regionales y Locales que no ejecutan los estudios de mayor alcance para conocerse sobre el nivel real del paquete estructural sobre las carreteras existentes en sus correspondientes jurisdicciones viales; debiéndose a causa de que no se cuentan con las herramientas técnicas ni con el personal especializado de Ingeniería, ni mucho menos se tiene la disponibilidad de tiempo necesario, para efectuarse tales estudios de Deflectometría de Impacto sobre los pavimentos con menor grado de deterioro.

Si bien en determinados países latinoamericanos donde el mantenimiento y conservación de la estructura de sus pavimentos de sus carreteras es fundamental para el pleno desarrollo de sus actividades comerciales y de producción económica – empresarial, tales como en Chile, Brasil, Colombia y hasta en Perú; ya se ha venido considerando la necesidad de

aplicar estudios metodológicos tanto destructivos como no destructivos para el control y determinación de la calidad pavimental de las carreteras.

Unas de las principales carreteras del Perú, es la carretera central que inicia desde el intercambio vial Santa Anita en Lima hasta la ciudad de la Oroya en la Región Junín. Actualmente se encuentra en Concesión por el Consorcio Desarrollo Vial de los Andes S.A.C. El sector concesionado inicia en el Puente Ricardo Palma (km 39+500) ubicado en Huarochirí, y recorre 135 km hasta llegar a la Oroya. Nuestro tramo en estudio es del km 12+250 al km 26+500 el cual pertenece al sector que no se encuentra en Concesión y está bajo la jurisdicción de Provias Nacional, debido a la falta de un mantenimiento se aprecia deterioros y daños en el pavimento el cual es de suma importancia identificar el tipo de falla y proponer su mantenimiento pues de no realizarlas da como resultado a que el paquete estructural deba ser cambiado, el cual conlleva a sobrecostos de inversión para llevar a un servicio de seguridad para el tránsito vehicular.

En la metodología convencional es necesario ejecutar la extracción de calicatas para identificar los deterioros y daños del pavimento, pero en este tramo de la carretera central donde circulan 38,676 vehículos/día hace que sea muy dificultoso en tiempo, costo y sobre todo en seguridad para realizar la evaluación del pavimento. En ese sentido, se hace necesaria la implementación de tales métodos de estudio no destructivo con el objetivo central de desarrollarse el diagnóstico requerido sobre el nivel de desempeño de los pavimentos, sobre todo de aquellos que presenten un menor nivel de deterioros en su estructura pavimentada; y asimismo de lograrse dar con la debida identificación y plena interpretación de la condición o estado en que se encuentren tales pavimentos, para con ello así poderse determinar acerca del mecanismo o acción de intervención procedimental que se necesita para el reforzamiento del pavimentos de las carreteras que presenten una menor magnitud de fallas deteriorables.

Pese a que ya se tienen determinados conocimientos básicos acerca de la ejecución desarrollable de los estudios técnicos de la Deflectometría de Impacto sobre el pavimento de carreteras con menor grado de deterioros en su estructura, pero todavía la gran mayoría de Ingenieros, Especialistas Técnicos y Entidades Públicas no aplican las pruebas y herramientas de métodos no destructivos con la máxima especialización exigible.

De acuerdo con el Manual de Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos Sección suelos y pavimentos sostiene que, para determinar la necesidad de refuerzo de un pavimento flexible, se debe verificar la insuficiencia estructural del pavimento, crecimiento del tráfico previsto y costos de conservación excesivos. Si en una vía existente donde se han fijado actividades de conservación, se aplican cantidades mayores a las previstas generará mayores costos de conservación y ese un indicativo de que el comportamiento del pavimento no es el previsto; en ese caso se requiere analizar la aplicación de un refuerzo. “Para el caso de refuerzo o rehabilitación de pavimentos, se tendrá en cuenta las mediciones deflectométricas (deflectograma) y la sectorización de comportamiento homogéneo” Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC, 2014, p. 28)

La bibliografía especializada en pavimentos brinda información acerca de la medición de deflexiones en pavimentos localizadas directamente en el punto de aplicación de la carga o alejadas de él. Las mediciones, determinan el movimiento vertical de la superficie de un pavimento ante un impacto. En la actualidad, existen varios procedimientos para la medición de deflexiones en pavimentos flexibles, concreto hidráulico y la combinación de ellos. Los ensayos realizados mediante esta metodología son por su naturaleza llamados no destructivos NDT (Non Destructive Test).

La capacidad estructural de un pavimento en servicio se puede determinar mediante pruebas “no destructivas”, que se basan en la interpretación del cuenco de deflexiones generado

por el impacto de una carga estándar, y con la técnica denominada del retrocálculo se pueden determinar los módulos de elasticidad de las diferentes capas que componen el modelo estructural de un pavimento en servicio (Sandoval, 2010, p. 74)

Es recomendable realizar una evaluación de la capacidad estructural por medio del Deflectómetro de impacto, ya que es posible establecer la condición estructural del pavimento a través del cuenco de deflexiones, todas las medidas brindan una información rápida, eficiente, confiable de evaluar la condición estructural del pavimento.

### **1.3 Formulación del Problema:**

#### **Problema General**

- ¿Cuál es la incidencia de la Deflectometría de Impacto en la evaluación estructural, carretera central km 12+250 al km 26+500, Lima 2020?

#### **Problemas Específicos**

- ¿Cuál es la incidencia de la aplicación de las técnicas del retrocálculo para la evaluación estructural en la Carretera Central km 12+250 – km 26+500, Lima 2020?
- ¿Cuál es la incidencia de las cargas en el pavimento en la evaluación estructural en la Carretera Central km 12+250 – km 26+500, Lima 2020?
- ¿Cuál es la incidencia del área del cuenco de deflexiones en la capacidad estructural del pavimento en la Carretera Central km 12+250 – km 26+500, Lima 2020?

## 1.4 Antecedentes

Sobre antecedentes se puede mencionar:

Cruz y Ocaña (2019), al percibir la falta de control por los Entes sobre el estado de los pavimentos y la oportuna intervención de los deterioros de los pavimentos, realizó una investigación denominada “Evaluación estructural de pavimentos flexibles construidos en la localidad de Usme utilizando el deflectómetro de impacto o FWD” la misma que realizó en Colombia para optar el grado “Magister en Infraestructura Vial”. El objetivo fue “Realizar un análisis comparativo de los comportamientos estructurales de pavimentos flexibles a base de agregados pétreos (bases granulares, subbases granulares) y RAP (Reclaimed Asphalt Pavement) para ocho vías secundarias ubicadas en la Localidad de Usme, UPZ Alfonso López, basado en un estudio de deflexiones obtenidas con el deflectómetro de carga dinámica de impacto (FWD) con el fin de determinar los impactos en términos constructivos y económicos de las estructuras”. La metodología que empleó es experimental y comparativa, es así como para este estudio realizó un análisis a ocho (8) vías de la localidad 5 de Usme, las cuales se construyeron con estructuras de pavimentos convencionales (bases granulares y sub-bases granulares) y otras que se intervinieron con materiales reciclados como lo es el asfalto reciclado – RAP. Considerando que generalmente la medición de la capacidad estructural de un pavimento existente, requiere de procesos destructivos en la vía, lo que altera el equilibrio del sistema pavimento-subrasante y produce un daño mayor al examinar o analizar los pavimentos; se ha optado últimamente por realizar técnicas para ensayos de alto rendimiento, conocidas como pruebas NO DESTRUCTIVAS (Non Destructive Test, NDT); entre estos ensayos se destaca la utilización del deflectómetro de impacto FWD (Falling Weight Deflectometer), cuya función es la de analizar la condición estructural de los pavimentos mediante la interpretación de las deflexiones producidas bajo cargas dinámicas que simulan el efecto del tránsito. Por este motivo, agencias dedicadas a la investigación, como la American Association of State Highway

and Transportation Officials (AASHTO) y el Washington State Department of Transportation (WSDOT), han establecido modelos matemáticos para correlacionar (retro cálculos o retro análisis) dichas tecnologías a través de parámetros o indicadores de estado del pavimento, mediante la obtención de módulos y números estructurales y con lo que se pretende analizar estos pavimentos existentes en la localidad 5 de Usme, lo que permitirá establecer y comparar el comportamiento estructural de pavimentos a base de materiales reciclados con pavimentos a base de materiales convencionales.

Vargas (2017), en su trabajo de investigación “Metodología para la estimación del número estructural efectivo de los pavimentos flexibles recién construidos y su capacidad estructural” sostiene que la capacidad estructural de un pavimento en servicio se puede estimar mediante pruebas “no destructivas”, que se basan en la interpretación del cuenco de deflexiones generado por el impacto de una carga estándar sobre la superficie del pavimento. Con las deflexiones y la técnica denominada del retrocálculo se pueden estimar los módulos de elasticidad de las diferentes capas que componen el modelo estructural de un pavimento y la subrasante, mediante las siguientes metodologías AASHTO1993 y YONAPAVE para estimar la resistencia de la subrasante y la capacidad estructural de un pavimento. En sus análisis de sus resultados de su investigación concluye que si a todos los pavimentos flexibles se realizaran ensayos de FWD luego de construidos y utilizando la metodología anteriormente mencionada para obtener su  $S_{Neff}$  se estaría en la capacidad de tomar decisiones en cuanto se refiere a posteriores intervenciones sobre el pavimento, un pavimento que presente un  $S_{Neff}$  inferior al diseñado tendrá que realizarse intervenciones tempranas lo cual hace que se generen sobrecostos en los presupuestos, esto sin mencionar las incomodidades que se van a generar a los usuarios.

Sirithemontree y Sapsathiarn (2017), en su trabajo de investigación “Dynamic soil models for backcalculation of material properties from falling weight deflectometer deflection

data” (Modelos dinámicos de suelo para el cálculo retrospectivo de las propiedades del material a partir de los datos de deflexión del deflectómetro de caída de peso) sostiene que la prueba del deflectómetro de impacto es uno de los métodos más utilizados para la evaluación no destructiva de las propiedades del pavimento, en decir de capacidad estructural del suelo en servicio. En su investigación emplea el modelo dinámico para el cálculo retroactivo a partir de los datos del FWD proporcionando una mejor comprensión de los procesos de cálculo dinámico y sus aplicaciones a los cambios de la capacidad de servicio del paquete estructural del pavimento.

Nega et al. (2016), en su trabajo de investigación “Análisis dinámico del deflectómetro de caída de peso” cuyo objetivo principal era analizar los resultados de los ensayos realizados con el FWD en los pavimentos flexibles de Australia Occidental para pronosticar la capacidad del paquete estructural del pavimento. En esta investigación adicional a los datos recopilados en campo con el FWD se suman los datos de los testigos para evaluar los deterioros del pavimento existente, utilizó en método del retrocálculo para encontrar los módulos de capa que compone el paquete estructural. Las conclusiones de la investigación lograron mostrar que el análisis dinámico de la prueba del FWD y la resistencia de los módulos de cada capa. Las variaciones de los módulos de las capas del paquete estructural a lo largo de las secciones evaluadas son consistentes en medida y cálculo. Recomienda que la temperatura del aire o del pavimento deben tomarse en cuenta durante la toma de datos en campo con el FWD, La temperatura puede influenciar en los módulos de las capas individuales del espesor del concreto asfáltico o al debilitamiento de la resistencia de las capas del pavimento.

Por su parte Camarini et al. (2019), en lo referente a los ensayos no destructivos y a los tipos de material de las capas del pavimento presentan su investigación “Avaliação de bacias de deflexões retroanalizadas pelo programa backmedina 2018” (Evaluación de cuencas de Deflexión analizadas por programa Backmedina 2018) basado en que la evaluación no

destruccion en los pavimentos proporciona informacion muy importante para la gestion de los pavimentos existentes y con la utilizacion de esta informacion poder conocer el estado del paquete estructural de las vias. En el año 2018 puso en práctica el programa BacMeDiNa el cual examina las cuencas deflectométricas obtenidas a partir de las medidas realizadas por el FWD, en donde su principal objetivo de esta investigación fue evaluar la consistencia de los módulos de resiliencia de los estratos del pavimento obtenidos por el programa utilizando los datos de las áreas de la deflectometría. Esta investigación se realizó en el estado de Paraná en donde luego de realizar esta investigación los resultados se compararon con el programa Weslea los cuales resultaron ser muy similares a los calculados por el programa BacMeDiNa considerando las cuencas teóricas calculadas. En sus consideraciones finales manifiestan que la variabilidad de los módulos de resiliencia calculados el cual está relacionado al valor de cada cuenca de deflexión encontrada y calculada, puede explicarse, es porque en esos sectores existe tipos de fallas localizadas como son las grietas, diferentes tipos de espesor del paquete estructural.

Crespo y Ruiz (2001), en su investigación de la Evaluación Estructural de Firmes de Carreteras. Dan a conocer que los diseños de los firmes hasta hoy en día se diseñan utilizando ábacos y/o tablas para poder definir el paquete estructural de una carretera y hasta el más joven de los técnicos lo podría desarrollar sin responsabilidad de utilizar un tráfico mal calculado y un diseño las definido de acuerdo con la exigencia actual y proyectada que necesita una carretera. Su principal objetivo es dar a entender que debido a una carga ortogonal se produce una deflexión en el pavimento. De su investigación dan a alcanzar que la deflexión es una característica que obedece a cada tipo y condición con que se encuentra el firme, en el cual hay una correspondencia de valores de módulos y valores de deflexión. Además, existen variados equipos para medir deflexiones y menciona entre ellos al Deflectómetro de Impacto FWD. Uno de los valores importantísimo obtenido por retrocálculo es el Área del Cuenco de Deflexiones,

el cual es una herramienta para observar la capacidad estructural de los firmes. En su artículo comparte valores típicos del Área del Cuenco de Deflexiones por el tipo de pavimentos basados en la publicación “Development of a Computer Program for determination of the Area Value and Subgrade Modulus using FWD test”.

Por su parte Smith et al. (2017) en su informe Using Falling Weight Deflectometer Data with Mechanistic-Empirical Design and Analysis, Volume III: Guidelines for Deflection Testing, Analysis, and Interpretation (Uso de datos de deflectómetro de caída de peso con diseño y análisis empírico-mecanicista, Volumen III: Directrices para la prueba, el análisis y la interpretación de la deflexión), documenta estudios realizados utilizando el deflectómetro de caída de peso (FWD), como parte de los procedimientos de rehabilitación y diseño de pavimento empírico-mecanicista incorporados dentro de la Guía de diseño de pavimento empírico-mecanicista (MEPDG), desarrollada por el Programa Cooperativo Nacional de Investigación de Carreteras y posteriormente adoptado por la Asociación Estadounidense de funcionarios de Transporte y Carreteras Estatales. Da a conocer los procedimientos generales de prueba de deflexión del pavimento y los enfoques de análisis de deflexión comúnmente utilizados y una revisión de los programas de retrocálculo para estructuras de pavimento flexibles, rígidas y compuestas. La relevancia de los diferentes procedimientos y enfoques para el MEPDG se exploró mediante el examen de seis estudios de casos evaluados utilizando los resultados de las pruebas de FWD en el MEPDG. Con base en los hallazgos del estudio, se desarrollaron pautas de mejores prácticas para la prueba efectiva de las estructuras de pavimento existentes y la interpretación de esos resultados como parte de un proceso de rehabilitación y evaluación mecanicista-empírica del pavimento. Este informe está destinado a los ingenieros de pavimentos, así como a los investigadores involucrados en el diseño y la gestión de la rehabilitación de los pavimentos de las agencias. En el capítulo 2 se comenta el método del AREA para caracterizar la cuenca de deflexión para un procedimiento simple de

retrocálculo de dos parámetros para pavimentos flexibles, pero su uso ha también se ha ampliado a pavimentos rígidos. El método AREA representa el área normalizada de un corte vertical a través de un recipiente de deflexión entre el centro de la carga de prueba y en diferentes distancias radiales de la carga de prueba. Dan alcances de los valores típicos de AREA en base a la configuración de los sensores del FWD en función del tipo de la superficie. Con el valor del ÁREA y la subrasante se pueden identificar las áreas que necesitan más investigación, extracción de muestras o pruebas adicionales y análisis en función de los parámetros de las ÁREAS típicas.

MTC (2014) por su parte desarrolló un Manual para el diseño estructural de pavimentos, con el fin de realizar estándares de los diseños, el cual toma en consideración las características, el comportamiento de los materiales y las condiciones específicas de los factores que inciden en el desempeño de los pavimentos tales como el tráfico, materiales y el clima. A la vez el manual establece criterios en materia de suelos y pavimentos para el diseño de las capas superiores y de la superficie de rodadura en carreteras no pavimentadas y pavimentadas, dotándolas de estabilidad estructural para lograr su mejor desempeño posible en términos de eficiencia técnico – económica en beneficio de la sociedad en su conjunto.

Por su parte Higuera (2010) da un aporte en base a sus investigaciones y concluye que el uso del deflectómetro de impacto genera un cuenco de deflexiones el cual representa la respuesta del paquete estructural debido a la aplicación de una carga la cual es producida por el tránsito vehicular, por lo que la deflexión permite ser correlacionada con la capacidad estructural de un pavimento, de manera que, si la deflexión es alta en un modelo estructural, la capacidad estructural del modelo de pavimento es débil o deficiente, y lo contrario, si la deflexión es baja, quiere decir que el modelo estructural del pavimento tiene buena capacidad estructural.

Andrade-Neto et al. (2015) especifica que la metodología de retrocálculo (también denominada retroanálisis), es una herramienta que actualmente se considera la más adecuada para la evaluación estructural de los pavimentos, lo que permite la determinación de los módulos de las capas que la componen y de la subrasante con base en el conocimiento de los espesores y de los módulos iniciales.

Ávila et al. (2015) considera que la medición del estado de un pavimento existente requería de la aplicación de procesos destructivos en la vía, lo que alteraba el equilibrio del sistema pavimento-subrasante. Sin embargo, a través de nuevas tecnologías o también llamados instrumentos de última generación que aplican técnicas para ensayos de alto rendimiento, conocidas como pruebas no destructivas (Non-Destructive Test, NDT), se ha mejorado la auscultación de las vías. De entre estas técnicas se destaca la utilización del deflectómetro de impacto (Falling Weight Deflectometer, FWD), cuya función es la de analizar la condición estructural de los pavimentos mediante la interpretación de las deflexiones producidas bajo cargas dinámicas que simulan el efecto del tránsito.

Hoffman y Del Aguila (1981) manifiestan por su parte que, otra característica de la metodología de evaluación no destructiva, es que por constituir la "muestra de ensayo" el pavimento mismo, esta representa el fiel reflejo de la compleja interacción entre sus componentes (capas de materiales y subrasante), y además ésta "muestra" puede ser ensayada en cualquier momento de su vida sin disturbarla ni destruirla.

### **1.5 Justificación de la Investigación**

La conservación de los pavimentos son unos de los problemas más comunes en las diferentes carreteras de nuestro país, es fundamental conocer y prestar atención al estado en que se encuentra el pavimento para asegurar su uso para el cual fue diseñado. Por eso considero

pertinente y necesario realizar esta investigación de rápida aplicación, confiable y no destructiva.

La importancia de la presente investigación radica en conocer la trascendencia de la aplicación de los estudios de la Deflectometría de Impacto como método para poder conocer la capacidad estructural del paquete estructural de una determinada infraestructura vial; a efectos de determinarse si la carretera posee un menor grado o un regular nivel de fallas deteriorables y que se puedan conocer y aplicar la atención oportuna a las carreteras para no llegar al deterioro total del pavimento.

Por eso, la deflectometría de impacto permite conocer sus áreas de deflexiones y con ello poder determinar el tipo de intervención que se realizará en la vía, ya sea a nivel de mantenimiento, rehabilitación o mejoramiento, el cual es una gran ventaja y sería un dato importante para los gobiernos locales, regionales y a la entidad que tiene la jurisdicción y responsabilidad de mantener el buen estado de las carreteras.

### **1.6 Limitaciones de la Investigación**

Las limitaciones para el presente estudio están más en función del costo y de la disponibilidad del equipo, que como investigador no se podría tener el deflectómetro de impacto todo el tiempo necesario y que uno quisiera para la evaluación del pavimento, sumándose a las limitaciones, es el horario para las tomas de datos, el cual se tiene que realizar en horas de madrugada dado que la toma de datos o lectura de las deflexiones se realizará en una zona de alto tránsito y en un pavimento mixto (carpeta asfáltica, pavimento rígido y base granular) siendo esta una limitante para la toma de datos y comparación de datos.

Otro detalle importante, es que existe muy pocas investigaciones sobre la toma de lecturas y el cálculo del área del cuenco de deflexiones para la evaluación estructural de un

pavimento mixto, lo cual limita a mi investigación a realizar un comparativo de resultados con otros paquetes estructurales semejantes.

## **1.7 Objetivos de la Investigación**

### **Objetivo General**

- Determinar la Incidencia de la deflectometría de impacto en la evaluación estructural de la carretera central km 12+250 al km 26+500, Lima 2020.

### **Objetivos Específicos**

- Establecer la incidencia de la aplicación de las técnicas del retrocálculo para la evaluación estructural en la Carretera Central km 12+250 – km 26+500, Lima 2020.
- Establecer las incidencias de las cargas en el pavimento en la evaluación estructural de la Carretera Central km 12+250 – km 26+500, Lima 2020.
- Establecer la incidencia del área del cuenco de deflexiones en la capacidad estructural de los pavimentos en la Carretera Central km 12+250 – km 26+500, Lima 2020.

## **1.8 Hipótesis**

### **Hipótesis General**

- La Deflectometría de Impacto incide significativamente en la evaluación estructural de la carretera central km 12+250 al km 26+500, Lima 2020

### **Hipótesis Específicos**

- La aplicación de la técnica del retrocálculo incide significativamente en la evaluación estructural en la Carretera Central km 12+250 – km 26+500, Lima 2020.
- Las cargas en pavimentos inciden significativamente en la evaluación estructural en la Carretera Central km 12+250 – km 26+500, Lima 2020.
- El área del cuenco de deflexiones de los pavimentos incide significativamente en la capacidad estructural en la Carretera Central km 12+250 – km 26+500, Lima 2020.

## II. MARCO TEÓRICO

### 2.1 Teorías Relacionadas

#### 2.1.1 *Deflectometría de Impacto en Pavimentos*

Es la medida de la deformación de la depresión de la superficie de una estructura de un pavimento cuando es aplicado una carga. La medida de esta deformación o hundimiento nos permite conocer la firmeza del paquete estructural frente a los pasos de los vehículos que transitan sobre la superficie de la carretera. La deflectometría de Impacto consiste en aplicar una carga dinámica en un sistema amortiguado a través de un plato que descansa en la superficie de la carretera que se quiere evaluar. La carga se aplica con el deflectómetro de impacto (FDW – Falling Weight Deflectometer) este equipo permite registrar el cuenco del área de deflexiones con la ayuda de unos sismómetros (Cruz y Ocaña, 2019)

Por otro lado la deflectometría de Impacto es un ensayo considerado como no destructivo que sirve para medir la deflexión de la estructura del pavimento, este desplazamiento vertical es la respuesta debido a la aplicación de una carga externa y cuando es aplicada todas las capas del paquete estructural se pandean y como consecuencia se desarrollan esfuerzos y deformaciones en cada capa del paquete estructural (Bejarano, 2013)

Así mismo Gaete P. et al. (2013) manifiesta el empleo de la deflectometría de impacto para la evaluación del paquete estructural es cada vez más usado debido a las grandes ventajas y sobre todo la rapidez de obtención de los datos de campo.

El manual de Carreteras del Ministerio de transportes y Comunicaciones indica que las Deflectometría es el estudio de las deformaciones verticales de la superficie de una calzada, a consecuencia de la acción de una determinada carga o sollicitación y además la deformación de todo el conjunto es decir de todo el paquete estructural frente a una carga es la medida de la deflexión (MTC, 2014)

### **2.1.2 Cuenco de Deflexiones**

El cuenco de las deflexiones es la región de deformaciones que se obtiene mediante el uso del deflectómetro de impacto. El cuenco de deflexiones suministra una importante información del estado del paquete estructural, el cual con esta información y ejerciendo el cálculo inverso o retrocálculo realizamos la evaluación estructural del pavimento.

Para obtener el cuenco de deflexiones, se aplica un impacto sobre el pavimento por medio de la caída libre de una carga sobre un sistema de amortiguación, que a su vez está colocado sobre una placa de carga que reparte las tensiones, y por medio de unos sensores (geófonos o sismómetros) se mide la deformación vertical de la superficie (deflexión) bajo el punto de aplicación de la carga y a unas distancias determinadas del mismo. El conjunto de dichas deflexiones registradas es lo que se denomina cuenco de deflexión (Cruz y Ocaña, 2019)

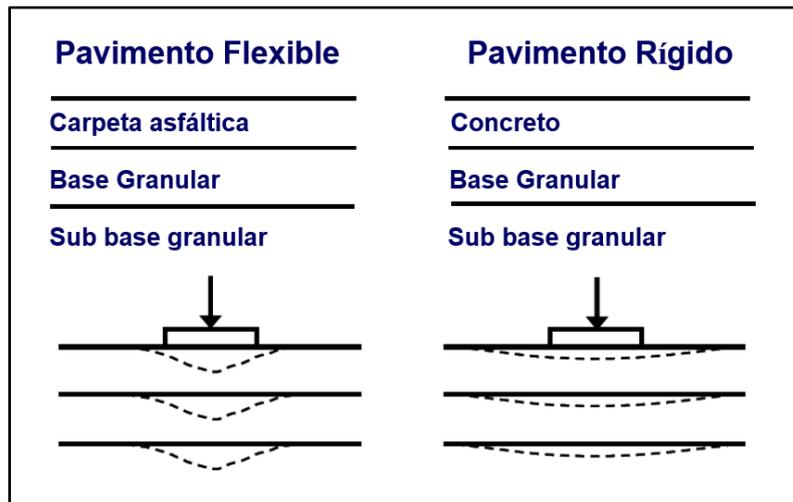
Así mismo, el deflectómetro de impacto genera un cuenco de deflexión, y la caracterización del cuenco determina una serie de parámetros que permiten calcular la capacidad de la subrasante de una estructura de pavimento. Los ensayos de impacto son muy utilizados para determinar la resistencia de la subrasante con el equipo denominado deflectómetro de impacto (Falling Weight Deflectometer - FWD); dado que son no destructivos, constituyen una tecnología muy valiosa y rápida, que cuando se aplica adecuadamente provee una vasta información a muy razonables costos y tiempo (Higuera, 2010)

La deflexión de un pavimento representa una respuesta general del paquete estructural, es decir la superficie, base y subbase, así como la propia subrasante. Así, las propiedades de la capa superficial y de las capas de soporte (espesor y rigidez) todos se afectan en función de la magnitud de las deflexiones medidas. Como regla general, los pavimentos sean flexibles o rígidos que exhiban mayores deflexiones tendrán una vida útil más corta.

La figura 1 muestra un comparativo de las deflexiones típicas que se producen debido a la aplicación de una carga sobre un pavimento flexible y un pavimento rígido, en donde se aprecia que las deflexiones del pavimento flexible son más profundas que del pavimento rígido.

### Figura 1

*Deflexiones típicas en pavimento flexible y rígido.*



*Fuente.* Publicación N° FHWA-HRT-16-009

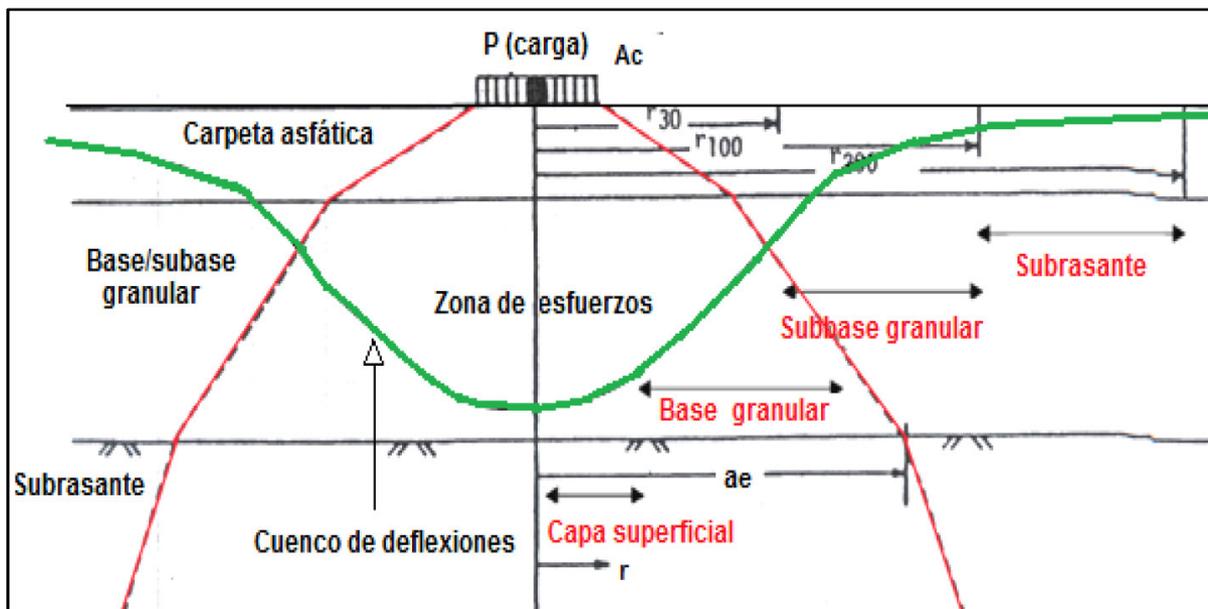
Debido a la aplicación de cargas se generan el área de cuenco de deflexiones el cual nos brinda información de las características del paquete estructural.

La carga transmite un impacto sobre la placa de carga que a su vez transmite la tensión sobre el pavimento creando un área de deformaciones el cual se extiende y disminuye desde el punto de aplicación de la carga.

En la figura 2 se muestra el Cuenco de deflexiones y se aprecia que la máxima deflexión es en el punto donde se aplica la carga, según la estructura y condición de cómo se encuentra el paquete estructural, esta máxima deflexión puede involucrar a la capa superficial, base granular, subbase granular y subrasante. También podemos decir que las deflexiones cercanas al centro de la aplicación de las cargas afectan a las primeras capas y mientras que las lecturas de las deflexiones se van alejando del punto de aplicación de la carga estas afectan a las capas inferiores del paquete estructural.

**Figura 2**

*Esquema de bulbo de presiones y cuenco de deflexiones*



Fuente (Bejarano, 2013)

Con la curva de deflexiones se forma Área del Cuenco de deflexiones.

El valor del área se define de la siguiente manera:

$$\text{AREA (pulg.)} = 6 * \left[ 1 + 2 \frac{d_{12}}{d_0} + 2 \frac{d_{24}}{d_0} + \frac{d_{36}}{d_0} \right]$$

Donde:

$d_0$  = Deflexión máxima bajo el plato de carga

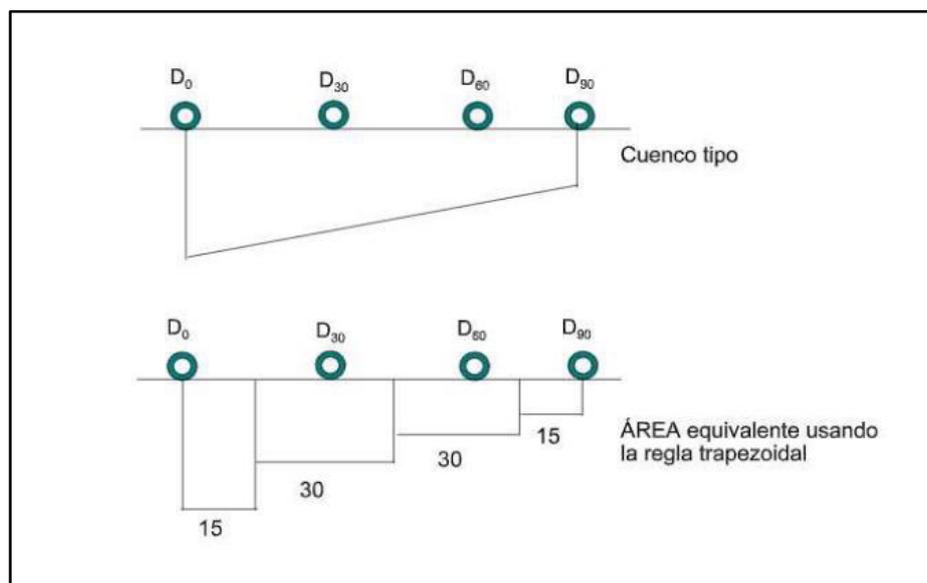
$d_{12}, d_{24}, d_{36}$  = Deflexión a 12, 24 y 36 pulgadas desde el plato de carga

Hay que indicar que el valor del Área está acotado entre un valor máximo que se puede calcular cuando las 4 deflexiones son iguales.

En la figura 3 podemos decir que el Área máxima se obtiene de la siguiente manera  
 $150 \cdot (1+2+2+1) = 900 \text{ mm}$

### Figura 3

Área del cuenco con valor máximo



Fuente (Crespo y Ruiz, 2001)

Según la Publicación N° FHWA-HRT-16-009, de las observaciones realizadas al valor del área y a la Deflexión máxima se tiene las siguientes tendencias:

En la tabla 1, se muestra las conclusiones del paquete estructural en función del área del cuenco de deflexiones y la deflexión máxima, estas conclusiones pueden ser pavimento débil o fuerte y subrasante débil o fuerte.

**Tabla 1**

*Relación área y deflexión máxima*

<i>AREA Value</i>	<b>Máximum Surface</b>	
	<b>Deflection (<math>D_0</math>)</b>	<b>Generalized Conclusions</b>
Low	Low	Weak structure, strong subgrade
Low	High	Weak structure, weak subgrade
High	Low	Strong structure, strong subgrade
High	High	Strong structure, weak subgrade

Fuente Publication N° FHWA-HRT-16-009 (Smith et al., 2017)

Donde:

Low: Bajo

High: Alto

Weak structure: Estructura débil

Strong structure: Estructura fuerte.

Weak subgrade: Subrasante débil.

Strong subgrade: Subrasante fuerte.

La tabla 2 muestran los valores típicos de AREA (configuración de cuatro sensores) y la deflexión máxima  $D_0$ , los valores de las áreas se muestran en unidades de milímetros y en pulgadas.

**Tabla 2**

*Valores típicos de área y tipo de pavimento*

<b>Pavement Type</b>	<b>AREA Value (mm)</b>	<b>AREA Value (inches)</b>	<b><math>D_0</math> (<math>\mu</math> m)</b>	<b><math>D_0</math> (mil)</b>
PCC	740–810	29–32	250 – 500	10–20
Thick HMA, $\geq$ 200 mm (4 inches)	530–760	21–30	500 – 1,000	20–40
Thin HMA, $\leq$ 200 mm (4 inches)	410–530	16–21	760 – 1,200	30–50
Chip seal	380–430	15–17	760 – 1,200	30–50
Weak chip seal	300–380	12–15	1,000 – 1,500	40–60

Fuente Publication N° FHWA-HRT-16-011 (Smith et al., 2017)

Donde:

PCC : Pavimento de Concreto.

HMA : Pavimento Asfáltico.

Chip Seal : Tratamiento Superficial.

Weak chip seal : Tratamiento superficial débil.

Según el Dr. Hoffman citado por Crespo & Ruiz Romero, 2001 indica algunas equivalencias de valores de Área del cuenco de Deflexiones de acuerdo con el tipo de estructura del paquete estructural como se muestra en la tabla 3 y tabla 4.

**Tabla 3***Valores de área por tipo de pavimento*

<i>Tipo de Pavimento</i>	<b>Valor de Área (mm)</b>
Flexible	$\leq 600$
Semirrígido	600 - 710
Rígido	$>710$

Fuente (Crespo y Ruiz, 2001)

Otros valores que se pueden evaluar, es la categorización del pavimento que están en función del valor del área del cuenco de deflexiones (mm), tal como se muestran en la tabla 4

**Tabla 4***Categorización del pavimento*

<i>Categorización de Pavimento</i>	<b>Valor de Área (mm)</b>
Pavimento Muy Fuerte	Área $> 530$
Pavimento Fuerte	$530 < \text{Área} < 500$
Pavimento Regular	$500 < \text{Área} < 400$
Pavimento Malo	$440 < \text{Área} < 410$
Pavimento muy Malo	Área $< 410$

Fuente (Crespo y Ruiz, 2001)

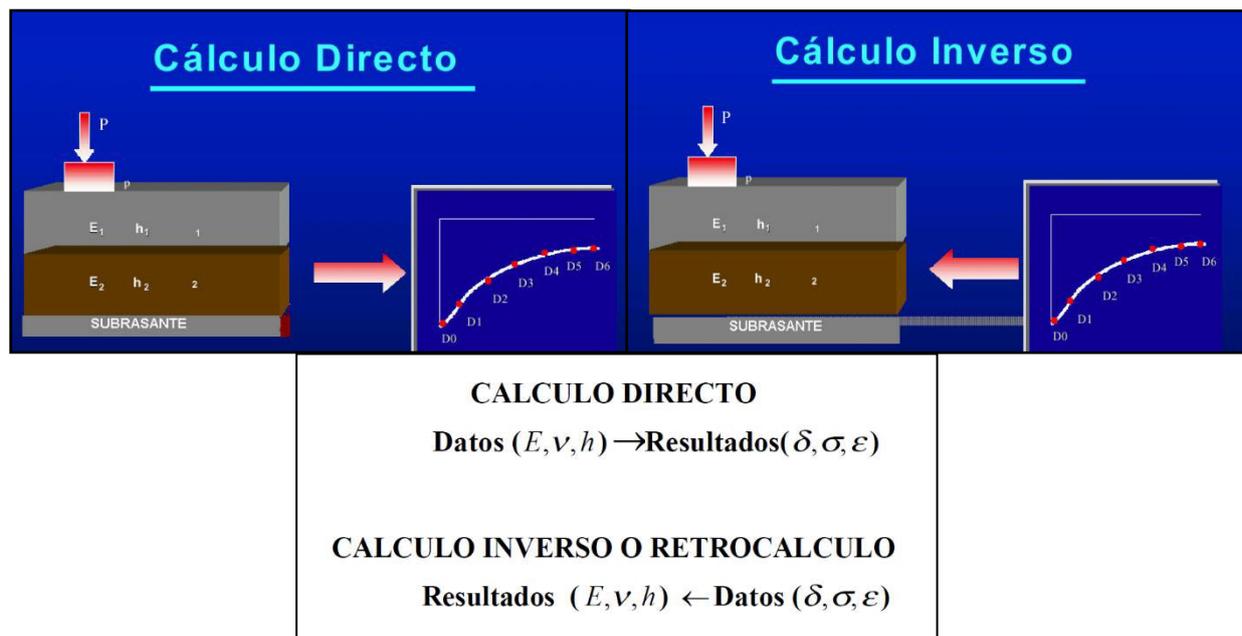
### 2.1.3 Técnica de Retrocálculo

El retrocálculo es un método que se utiliza para la evaluación estructural de un pavimento que consiste en encontrar el área del cuenco de deflexiones, los módulos de cada una de las capas que conforma el paquete estructural a partir de las deflexiones medidas por el deflectómetro de impacto. También es conocido con el nombre de retroanálisis, cálculo inverso debido a que se necesita algunos datos de entrada como la curva de deformaciones del paquete estructural, el espesor de cada una de las componentes del pavimento y la carga que se aplica al paquete estructural.

Según Vanegas (2003) nos da a entender que el cálculo directo determina los desplazamientos, deformaciones y tensiones que se van a producir por la exigencia del tráfico y se deben conocer los módulos de cada una de las capas, mientras que con el método del retrocálculo se obtiene los módulos del pavimento a partir de las deflexiones del pavimento tal como se ilustra en la figura 4.

**Figura 4**

*Esquema del cálculo directo y cálculo inverso*



Del mismo modo Alburquerque y Barbosa (2015) la definen como el procedimiento para obtener la respuesta estructural del sistema después de conocer los datos de entrada (superficie, clima, propiedades del material), y obteniendo el área del cuenco de deflexión (respuesta), podemos evaluar el estado del pavimento.

#### ***2.1.4 Evaluación Estructural***

La evaluación del paquete estructural de un pavimento es conocer la capacidad de respuesta a las exigencias del tráfico o proyección de este que transitará en un periodo de tiempo y conociendo la capacidad estructural podemos definir y concluir si requiere refuerzo para que el pavimento esté óptimo para el servicio para el cual fue diseñado.

En su investigación de la Evaluación Técnica del Pavimento y del refuerzo asfáltico Thenoux y Gaete (1995) manifiesta que la falta de capacidad estructural de un pavimento genera en este un deterioro progresivo que se manifiesta en niveles excesivos de agrietamientos y deformaciones, no recuperables.

## **2.2 Marco Conceptual**

### **Pavimentos:**

El Pavimento es una estructura de varias capas construida sobre la subrasante del camino para resistir y distribuir esfuerzos originados por los vehículos y mejorar las condiciones de seguridad y comodidad para el tránsito. Por lo general está conformada por las siguientes capas: base, subbase y capa de rodadura (MTC, 2014).

### **Deflectometría:**

La deflectometría es el estudio de las deformaciones verticales de la superficie de una calzada, a consecuencia de la acción de una determinada carga o sollicitación (MTC, 2014).

La Deflectometría de Impacto, es una tecnología que permite evaluar el módulo resiliente in-situ de un pavimento y de las capas que lo componen. Esta información se obtiene aplicando una carga dinámica a la capa a evaluar y registrando su deformación a través de sensores (Osorio, 2008)

### **Deflexión:**

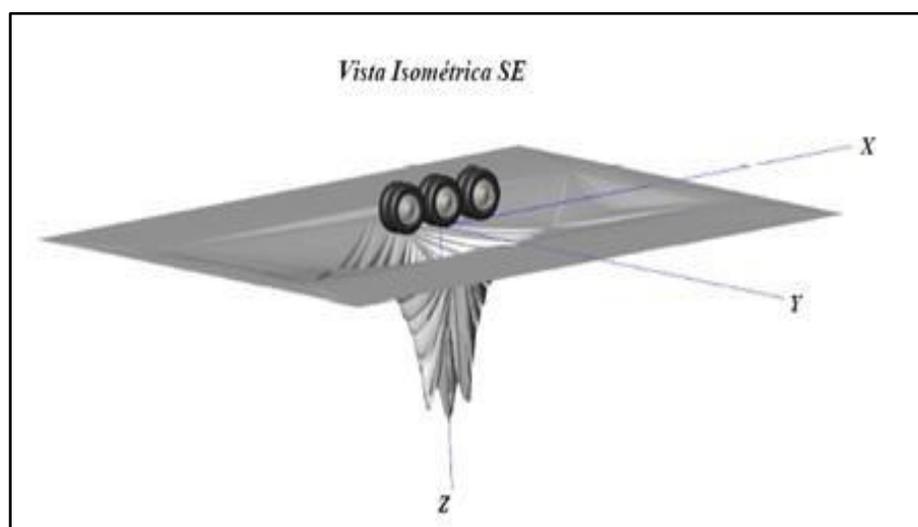
La deflexión es una medida de la deformación del conjunto " pavimento – subrasante" frente a una determinada carga, indicando el debilitamiento del pavimento desde el punto de vista estructural (MTC, 2014).

Cuando se aplica una carga en la superficie no solo se desplaza el punto bajo la aplicación de esta, produciendo una deflexión máxima, sino que también se desplaza una zona alrededor del eje de aplicación de la carga, que se denomina cuenco de deflexión.

La figura 5 muestra las deformaciones del paquete estructural al aplicarse una carga sobre el pavimento.

### **Figura 5**

*Vista isométrica de la deflexión*



Fuente (Higuera, 2010)

### **Deflectómetro de Impacto:**

El deflectómetro de impacto genera un cuenco de deflexión, y la caracterización del cuenco determina una serie de parámetros que permiten calcular la capacidad de la subrasante de una estructura de pavimento. Los ensayos de impacto son muy utilizados para determinar la resistencia de la subrasante con el equipo denominado deflectómetro de impacto (Falling Weight Deflectometer –FWD–); dado que son no destructivos, constituyen una tecnología muy valiosa y rápida, que cuando se aplica adecuadamente provee una vasta información a muy razonables costos y tiempo (Higuera, 2010)

El mismo viene provisto con una cantidad variable de geófonos ubicados a diversas distancias del punto de aplicación de la carga, lo cual permite la obtención del cuenco de deflexión. Debido a sus características es empleado en la evaluación estructural no destructiva de vías ya pavimentadas, generalmente cuando se analizan sus requerimientos en cuanto a rehabilitación con capas de refuerzo. Este empleo justifica su valor elevado, dado que con un FWD pueden efectuarse mediciones en forma continua a lo largo de varios kilómetros al día, siendo trasladado constantemente a distintos tramos en análisis (Rivera et al., 2014)

Actualmente existen diversos equipos con sensores para medir las deflexiones bajo la aplicación de una fuerza sobre el pavimento (ver tabla 5), los equipos se caracterizan porque están implementados con geófonos o sismómetros y presentar un rango de capacidad de generar una carga por medio de las ruedas del equipo o por medio de una placa.

La gran diferencia de la evolución de los equipos de mediciones es su ventaja del tipo de carga de pasar de una carga estática a dinámica y la magnitud de la fuerza de aplicación de la carga sobre el pavimento a evaluar.

**Tabla 5***Equipos para mediciones de deflexiones*

EQUIPO	RANGO		
	GENERAL DE FUERZA DINÁMICA (KN)	CARGA TRANSMITIDA POR	SENSORES DE DEFLEXIÓN
Viga Benkelman	N/A	Ruedas de un camión	Diales medidores de deformación
Deflectógrafo Lacroix	N/A	Ruedas de un camión	Transductor de deflexiones
Kuab FWD	7– 150	Placa circular seccionada de 300 mm de diámetro	Hasta 12 sismómetros
Dynatest HWD	27– 245	Placa circular de 300 o 450 mm de diámetro	7/9 geófonos
Dynalect	4.5 entre picos	Dos ruedas metálicas de 40 mm de diámetro por 50 mm de ancho, cubiertas con uretano	4 geófonos
Dynatest FWD	6.5 – 120	Placa circular de 300 o 450 mm de diámetro	7/9 geófonos
Road Rater 2008	2– 30	Placa circular de 450 mm de diámetro	4 geófonos
Phonix FWD	10 – 100	Placa circular de 300 mm de diámetro	6 geófonos

Fuente: Guía metodológica para el diseño de obras de rehabilitación de pavimentos asfálticos de carreteras, (Instituto Nacional de Vías de Colombia, 2008)

### **Sectores Homogéneos:**

Con el fin de establecer sectores de trabajo de comportamiento y/o características similares que faciliten la determinación de los parámetros de diseño por sección en el tramo

vial, se utilizó, el método de análisis por diferencias acumuladas que recomienda la guía de diseño AASHTO de 1993.

En este método, los tramos homogéneos se localizan entre puntos con cambios en el sentido de la pendiente y se resume cómo se presenta en la siguiente tabla:

**Tabla 6**

*Método de diferencias acumuladas*

ABSCISA	VALOR DE RESPUESTA	NÚMERO INTERVALO	DISTANCIA INTERVALO	DISTANCIA ACUMULADA	RESPUESTA PROMEDIO	ÁREA INTERVALO REAL	ÁREA ACUMULADA	Zx
	$R_i$	N	$\Delta X_i$	$\Sigma \Delta X_i$	$\bar{R}_i$	$A_i$	$\Sigma A_i$	$\Sigma A_i - F(\Delta X_i)$
1	$r_1$	1	$\Delta X_1$	$\Delta X_1$	$\bar{r}_1 = r_1$	$a_1 = \bar{r}_1 \cdot \Delta X_1$	$a_1$	$Z_{X_1} = a_1 - F(\Delta X_1)$
2	$r_2$	2	$\Delta X_2$	$\Delta X_1 + \Delta X_2$	$\bar{r}_2 = (r_1 + r_2) / 2$	$a_2 = \bar{r}_2 \cdot \Delta X_2$	$a_1 + a_2$	$Z_{X_2} = (a_1 + a_2) - F(\Delta X_1 + \Delta X_2)$
3	$r_3$	3	$\Delta X_3$	$\Delta X_1 + \Delta X_2 + \Delta X_3$	$\bar{r}_3 = (r_2 + r_3) / 2$	$a_3 = \bar{r}_3 \cdot \Delta X_3$	$a_1 + a_2 + a_3$	$Z_{X_3} = (a_1 + a_2 + a_3) - F(\Delta X_1 + \Delta X_2 + \Delta X_3)$
$L_p$	$r_n$	$N_t$	$\Delta X_{N_t}$	$\Delta X_1 + \dots + \Delta X_{N_t}$	$\bar{r}_{N_t} = (r_{n-1} + r_n) / 2$	$a_{N_t} = \bar{r}_{N_t} \cdot \Delta X_{N_t}$	$a_1 + \dots + a_{N_t}$	$Z_{X_{N_t}} = (a_1 + \dots + a_{N_t}) - F(\Delta X_1 + \dots + \Delta X_{N_t})$

$$F = \frac{At}{L}$$

Donde:

At: Sumatoria de los valores obtenidos de área acumulada

L: Longitud del tramo en estudio (km)

### **Deflexión Característica:**

Luego de hallar los sectores homogéneos en cada tramo y de acuerdo con la clasificación de tipo de carretera descrita en la Tabla 7, la cual refiere al cuadro 12.22 del

Manual de Carreteras-Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos Sección: Suelos y Pavimentos se calcula la deflexión característica.

**Tabla 7**

*Clasificación por tipo de carretera*

<b>Tipo de Carretera</b>	<b>Deflexión Característica Dc</b>	<b>Observación</b>
Autopistas: Carreteras de IMDA mayor de 6000 veh/día.	$Dc = Dm + 1.645xds$	Deflexión Característica, para una confiabilidad de 95%
Carreteras Duales o Multicarril: Carreteras de IMDA entre 6000 y 4001 veh/día	$Dc = Dm + 1.645xds$	Deflexión Característica, para una confiabilidad de 95%
Carreteras de Primera Clase: Carreteras de IMDA entre 4000 y 2001 veh/día	$Dc = Dm + 1.645xds$	Deflexión Característica, para una confiabilidad de 95%
Carreteras de Segunda Clase: Carreteras de IMDA entre 2000 y 401 veh/día	$Dc = Dm + 1.282xds$	Deflexión Característica, para una confiabilidad de 90%
Carreteras de Tercera Clase: Carreteras de IMDA entre 400 y 201 veh/día	$Dc = Dm + 1.282xds$	Deflexión Característica, para una confiabilidad de 90%
Carreteras de Bajo Volumen: Carreteras de IMDA < 200 veh/día	$Dc = Dm + 1.036xds$	Deflexión Característica, para una confiabilidad de 85%

*Fuente* Manual de Carreteras – Sección Suelos y Pavimentos (MTC, 2014)

Donde:

Dc: Deflexión Característica.

Dm: Deflexión Media.

ds: Desviación Estándar

### **Evaluación Estructural:**

La evaluación estructural de pavimentos consiste, básicamente, en la determinación de la capacidad portante del sistema pavimento-subrasante en una estructura vial existente (Hoffman y Del Aguila, 1981)

### **Retrocálculo**

La metodología de retrocálculo (también denominada retroanálisis), es una herramienta que actualmente se considera la más adecuada para la evaluación estructural de los pavimentos (Andrade Neto et al., 2015)

El retrocálculo (o retro análisis), es definido como el proceso matemático por el cual, los datos de campo obtenidos por el deflectómetro de impacto se transforman en módulos elásticos de la subrasante y de todas las capas constituyentes del pavimento (siendo posible hallar los módulos elásticos de cada capa individualmente).

Dentro de los antecedentes del retrocálculo tenemos muchos métodos que han ido evolucionando con el tiempo hasta convertirse actualmente en métodos muy fiables, estos métodos pueden agruparse en:

- Métodos analíticos.
- Métodos por microcomputadores (Cruz y Ocaña, 2019)

### **III. MÉTODO**

#### **3.1 Tipo de Investigación**

El tipo de investigación que se desarrolló en la Tesis, según la finalidad, fue una investigación aplicada debido a que el propósito fue la evaluación de la capacidad estructural del pavimento, mediante las lecturas en campo con un Deflectómetro de Impacto FWD.

Mi investigación utilizó un enfoque cuantitativo con variables cuantitativas y cualitativas, donde se calificó el grado de deformación del pavimento al ser medidos con el Deflectómetro de Impacto FWD.

La Técnica en el desarrollo de la investigación fue la de observación – descriptiva de una situación real donde se clasificó y se consignó todos los datos para su posterior análisis.

En el caso específico de la investigación, se buscó determinar acerca de la incidencia que tiene el desarrollo de los estudios de la deflectometría de impacto y su aporte para la evaluación estructural de los pavimentos de la carretera central y que realizando el cálculo del área del cuenco de deflexiones por medio del retrocálculo dio como resultado la identificación de las zonas o sectores de la carretera a reforzar para tener una mayor duración en vida útil del pavimento, y que a la vez se tengan menores costos de mantenimiento.

#### **3.2 Población y Muestra**

##### **Población:**

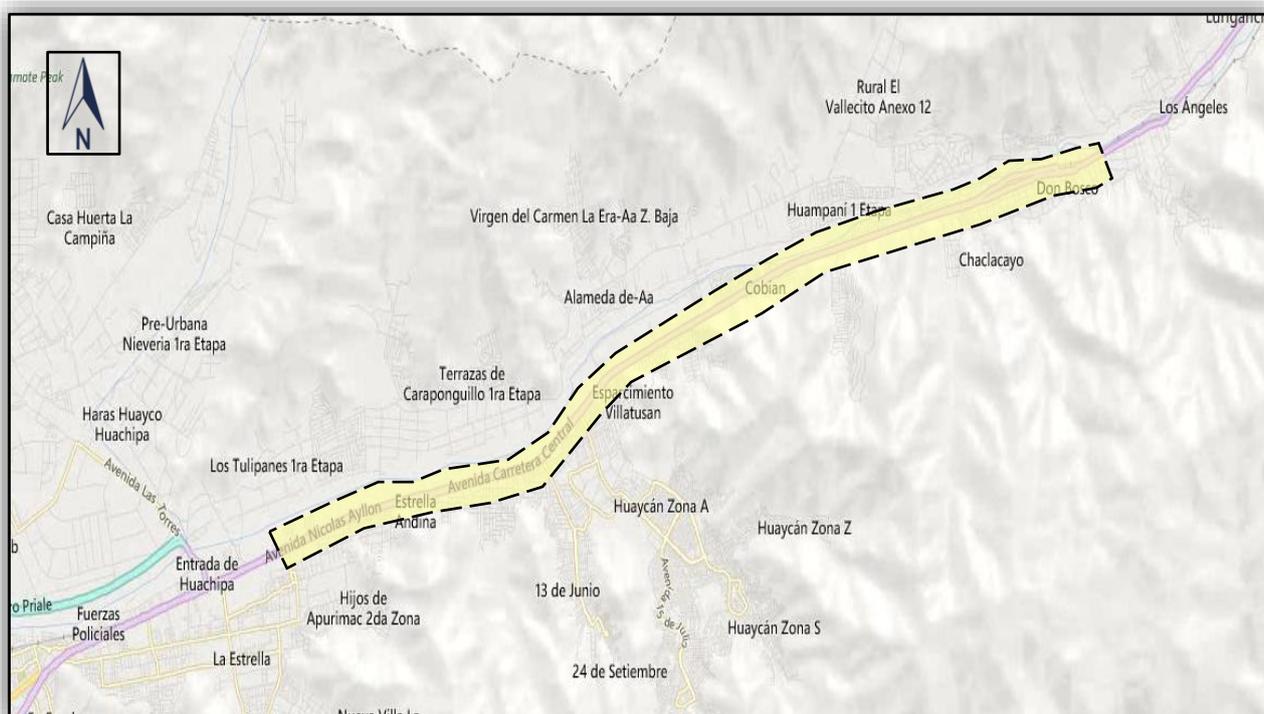
La población que se consideró para el estudio fue la carretera Central. Esta carretera es parte del eje transversal más importante del Perú, el cual tiene su inicio en el intercambio vial Santa Anita en Lima, y recorre 135 km hasta llegar a la Oroya en la Región Junín.

### Muestra:

La muestra corresponde a un tramo de la carretera central el cual comprende desde el Km 12+250 (Distrito de Santa Clara) hasta el km 26+500 en el Distrito de Chaclacayo. (ver figura 6).

### Figura 6

*Área de influencia del estudio*



### 3.3 Operacionalización de variables

Las variables junto a su definición conceptual definición y su respectiva definición se muestran en la tabla 9 que se muestra a continuación:

**Tabla 8***Operacionalización de variables*

<b>VARIABLES</b>	<b>Definición conceptual</b>	<b>Dimensiones</b>	<b>Definición de Dimensiones</b>	<b>Indicador</b>	<b>Unidad</b>
Deflectometría de Impacto en Pavimentos	El Deflectómetro de Impacto (FWD) es ampliamente utilizado en la evaluación no destructiva in situ de los módulos de las capas de los pavimentos rodante estándar	Técnica del Retrocálculo	Mediante la técnica del retrocálculo, es posible determinar la deflexión máxima.	D <sub>0</sub>	mm / μm
		La carga aplicada sobre el Pavimento.	La carga que aplica el Deflectómetro de Impacto incrementan o disminuyen la deflexión.	Magnitud de la carga	KN
		Capacidad Estructural del Pavimento	Mediante la técnica del retrocálculo, es posible determinar el área del cuenco de deflexiones del paquete estructural del Pavimento.	Área del Cuenco de Deflexiones	Pulg / mm
Evaluación Estructural	La evaluación estructural de un pavimento es conocer la capacidad de respuesta a las exigencias del tráfico o	Cálculo de Deflexiones del Pavimento	Determina si las fallas son en las capas o en la Subrasante.	D <sub>0</sub> ; D <sub>30</sub> ; D <sub>60</sub> ; D <sub>90</sub>	mm / μm
		Estado del Paquete Estructural del Pavimento.	En función del Área y de la deflexión máxima determina la condición del Pavimento.	Área del Cuenco de Deflexiones y D <sub>0</sub>	Pulg /mm

---

<b>Variables</b>	<b>Definición conceptual</b>	<b>Dimensiones</b>	<b>Definición de Dimensiones</b>	<b>Indicador</b>	<b>Unidad</b>
	proyección de este que transitará en un periodo de tiempo.	Tipo de Pavimento.	En función del tipo de Pavimento	Valor del Área	Pulg / mm

---

### 3.4 Instrumentos

La investigación se realizó haciendo uso del deflectómetro de Impacto el cual mide las deflexiones en la carretera central.

El Deflectómetro de Impacto es acoplado a un remolque y transportado por una camioneta el cual cumple con todos los requerimientos exigidos para utilizar este equipo.

El equipo empleado para la medición de deflexiones en los tramos con carpeta asfáltica fue el deflectómetro de impacto FWD KUAB 150, dispositivo de carga dinámica, acoplado a un remolque, el cual es transportado por una camioneta que cumple todos los requisitos exigidos por la ASTM D 4694-96 y el protocolo de calibración para equipos de este tipo.

Las deflexiones producidas son medidas por un grupo de siete (7) sismómetros espaciados entre sí cada 0.30 m, permitiendo la obtención de la curva completa del cuenco de deflexiones, para nuestro estudio debido a que es pavimentos mixtos se tomarán las lecturas de los primeros 4 sismómetros.

Los resultados obtenidos para las deflexiones se reportan en la tabla 12 y tabla 13, donde se registran las deflexiones medidas por el grupo de sismómetros los cuales se encuentran ubicados a distancias de 0, 0.30, 0.60, y 0.90 m del centro del disco de carga; también aparecen la temperatura y la carga de aplicación del impacto de acuerdo con el tipo de estructura del pavimento.

Debido al alto tráfico en la carretera central y al número de carriles por evaluar, se decidió que la toma de datos sea en horario nocturno desde las 11.00 pm hasta 3:00 am (ver figura 7) para que las lecturas sean continuas por carril y según las indicaciones de los términos de referencia.

## Figura 7

### *Deflectómetro de impacto KUAP - 150*



*Nota.* El Deflectómetro es acoplado a un remolque transportado por una camioneta, este dispositivo es de carga dinámica y cumple los requisitos ASTM D 4694-96

Las siguientes son algunas características únicas del FWD KUAB:

- **Configuración de dos masas:** factor que permite la producción de un pulso de carga que simula los efectos reales de un vehículo en movimiento.
- **Plato de carga segmentado:** esta condición asegura una distribución uniforme de presión sobre la superficie del pavimento.
- **Sensores de medición:** Reporta deflexiones en un rango de 0 a 200 milipulgadas (0 a 5000 micrones)

La siguiente imagen muestra el número de serie del equipo FWD Kuab 150 utilizado, el mismo que se verifica en el certificado de calibración que se adjunta en los anexos.

## Figura 8

### *Número de Serie del FWD KUAB - 150*



### 3.5 Procedimientos

La investigación se realizó desde el Km 12+250 (Distrito de Santa Clara) hasta el km 26+500 (Distrito de Chaclacayo), la ubicación se presenta en la figura 9.

#### Figura 9

*Ubicación del tramo en estudio*

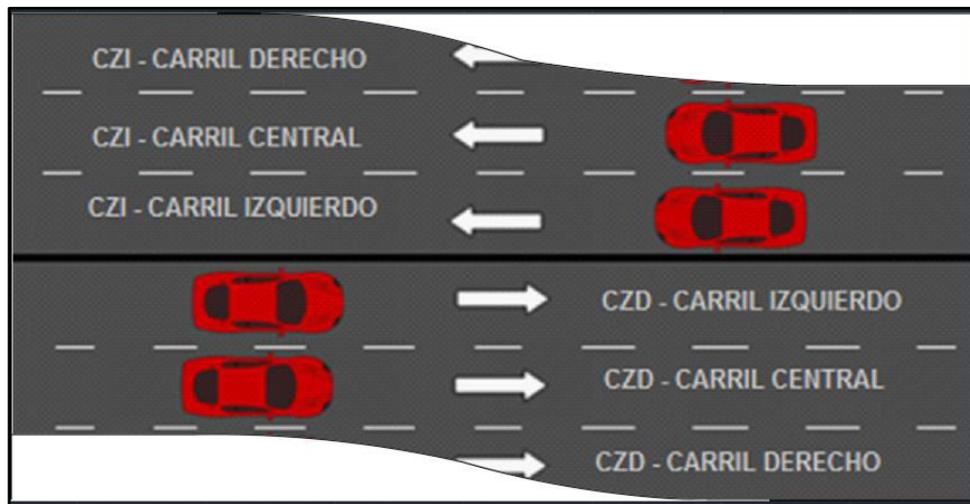


*Nota.* Se muestra la ubicación específica del tramo en estudio de la carretera central, donde el punto inicial km 12+250 de coordenadas (294768; 8671131) a una altura de 417 msnm y punto final en el km 26+500 de coordenadas (308077; 8675700) a una altura de 671 msnm.

El tramo tiene una longitud total de 28,50 km debido a que el tramo que se estudió está compuesto de 2 calzadas y, cada calzada tiene de 2 a 3 carriles en algunos sectores del tramo. En la figura 10 se muestran cómo están conformadas los carriles de ambas calzadas y se precisa que los carriles derechos de ambas calzadas no son continuos por lo que para nuestra evaluación solo se consideró los datos de los carriles izquierdo y central de ambas calzadas.

**Figura 10**

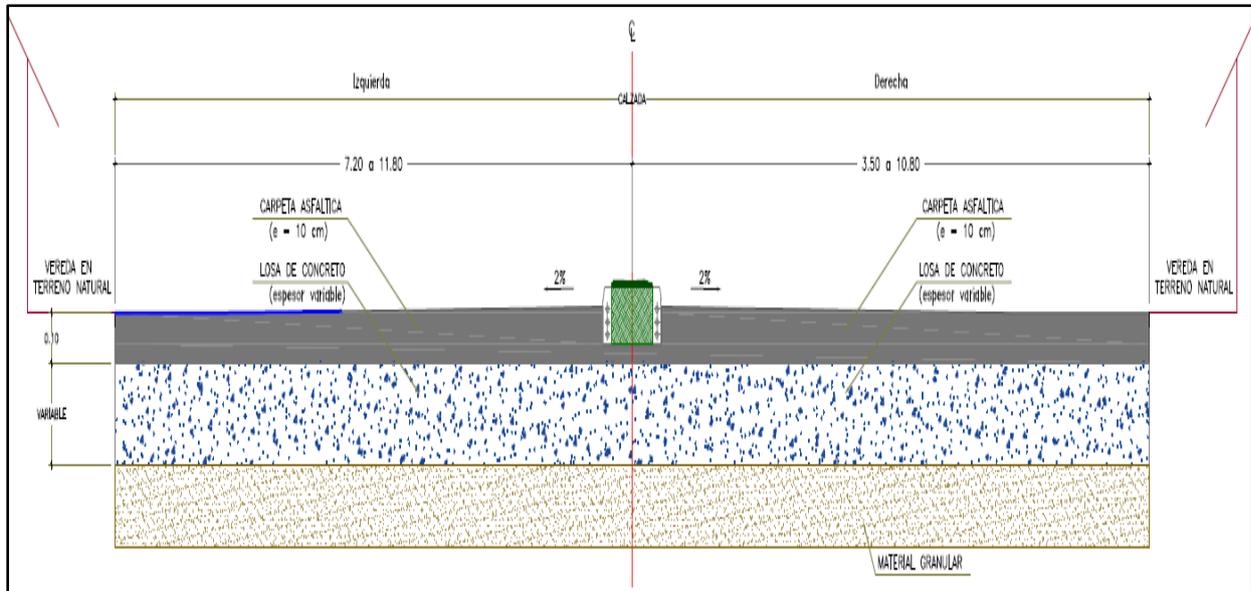
*Carriles de la calzada derecha e izquierda*



*Nota.* El tramo en estudio está separado por un sardinel central, el carril derecho de la calzada derecha y calzada izquierda presentan diferentes anchos e inclusive se ha evidenciado que en algunos sectores solo pasan de 3 carriles a 2 carriles, es por ello por lo que en nuestra investigación se consideró los datos tomados del carril izquierdo y central de ambas calzadas.

El tramo que se consideró para la investigación es un pavimento mixto cuya estructura o paquete estructural está compuesta por base granular, losa de concreto y carpeta asfáltica (ver figura 11) los que se evaluaron *in situ* mediante ensayos No destructivos.

La capa de rodadura de este tramo de la carretera central, es carpeta asfáltica el cual es una capa flexible, se aprecia a simple vista que esta capa de rodadura no ha tenido un mantenimiento rutinario adecuado para mantener el nivel de servicio para el cual fue diseñado. La parte inferior de este paquete estructural es de concreto el cual es una capa rígida de diferentes espesores.

**Figura 11***Sección típica del paquete estructural*

El estudio se realizó en 4 etapas; la primera etapa fue realizar las medidas de las deflexiones haciendo uso del deflectómetro de impacto, la segunda etapa consistió en la recopilación de las medidas de los espesores de la carpeta asfáltica, la tercera etapa consistió en procesar los datos realizando en gabinete el retrocálculo y la última etapa fue analizar los resultados.

### **3.5.1 Medida de Deflexiones**

La medición de las deflexiones en la estructura de pavimento se realizó de manera alternada en el carril derecho e izquierdo de la calzada, cada doscientos metros carril, equivalente a cien metros calzada, para diez (10) puntos por kilómetro.

El ensayo se ejecutó aplicando una carga aproximada de 50 KN sobre el pavimento, en cada punto de medición se realizan tres (3) golpes o mediciones, con el fin de asegurar la

repetitividad de los resultados dentro de un rango de desviación aceptable. La distancia recorrida por el equipo se registró por un odómetro.

El FWD posee un termómetro infrarrojo que registra automáticamente la temperatura de la superficie del pavimento en cada punto de medición.

Las mediciones se efectuaron en el tramo Km 12+250 - km 26+500 con pavimento mixto (losa de concreto con recubrimiento asfáltico y base granular)

En la figura 12 se aprecia al equipo Deflectómetro de Impacto KUAB- 150 que se utilizó para la toma de datos, remolcado a la camioneta donde el operador realizó las lecturas cada 100 metros y estas lecturas se registraron y almacenaron en el computador, luego de que se evaluó un punto, el Equipo FWD avanzó a su próximo punto para continuar con la toma de datos.

### **Figura 12**

*Forma de remolque del deflectómetro de impacto*



*Nota.* La toma de datos se realizó en horario de menor tráfico vehicular.

### **Figura 13**

*Inspección de toma de datos en campo*



*Nota.* En cada punto que se evaluó, estaban presentes los profesionales verificando la toma de datos.

En la figura 13 se aprecia al personal encargado del levantamiento de datos con el Deflectómetro de impacto KUAB- 150, inspeccionando las lecturas y una vez realizada la lectura el Equipo FWD avanza a su próximo punto para la toma de datos.

#### **3.5.2 Medida de espesores de la carpeta asfáltica**

Se realizó la exploración del pavimento mixto (losa de concreto con recubrimiento asfáltico y base granular) mediante la extracción de testigos y ejecución de algunas calicatas para conocer los espesores del paquete estructural de la carretera.

Es importante conocer los espesores porque son datos que se utilizaron en el retrocálculo para poder determinar los módulos y el área del cuenco de deflexiones del pavimento.

En la figura 14 y figura 15 se muestran el procedimiento que se utilizó para la extracción de testigos y toma de datos de los espesores del pavimento existente.

**Figura 14**

*Ubicación y extracción de testigos*



*Nota.* Para la extracción del testigo, primero se ubicó el punto y se hizo uso de la señalización y seguridad para el respectivo trabajo, luego se procedió a la extracción con una diamantina de 10 cm de diámetro.

**Figura 15**

*Extracción y medida del espesor de la carpeta asfáltica.*



*Nota.* Una vez extraída el testigo se procedió a codificar la muestra y tomar medidas del espesor de la carpeta asfáltica.

Para conocer el espesor de la losa de concreto se realizaron algunas prospecciones al costado de la calzada para no dañar la superficie del pavimento como se muestran en la figura 16. En estas mediciones estuvieron presentes los supervisores constatando los espesores de la losa de concreto y verificando el material granular como base.

**Figura 16**

*Toma de medidas de la losa de concreto y base granular*



*Nota.* Se muestra las prospecciones realizadas al costado de la superficie del pavimento, solo con fines de tomar medidas de la losa de concreto.

### 3.5.3 Retrocálculo

Todo el proceso de retrocálculo se realizó contando con toda la información de campo, tanto las deflexiones medidas con el deflectómetro de Impacto, espesores de la carpeta asfáltica y de la losa de concreto, la metodología que se usó fue principalmente la de AASHTO.

Con los resultados obtenidos se procedió a ubicar y separar toda la carretera por zonas homogéneas en función de las deflexiones y del área de cuenco de deflexiones, con estos datos se realizaron comparaciones con los valores típicos de área ya estudiadas.

Para hallar el módulo elástico, este se determinó en función de la temperatura tomada por el equipo FWD en cada punto de evaluación.

La siguiente relación simplificada propuesta en (AASHTO, 1993) para las condiciones particulares de cargas del FWD se usó para calcular el módulo de la carpeta asfáltica.

$$\log E_{ac} = 6.451237 - 0.000164671 \cdot t_p^{1.92544} \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde:

$T_p$  : Temperatura del pavimento, °F

La (AASHTO, 1993) considera que cuando el paquete estructural utiliza una capa de carpeta asfáltica sobre sobre pavimentos de hormigón, el cuenco de deflexiones original debe ser corregido en su deflexión máxima debido al efecto de compresión local que se produce en la carpeta asfáltica al estar apoyada sobre un estrato rígido ( $d_{0\text{compress}}$ ) según la siguiente relación para recapados adheridos:

$$d_{0\text{compress}} = -0.0000328 + 121,5006 \left[ \frac{D_{ac}}{E_{ac}} \right]^{1.0798} \quad \text{Ecuación 2}$$

Donde:

$D_{ac}$  : Espesor del recapado asfáltico, pulgadas

$E_{ac}$  : módulo elástico del concreto asfáltico, psi

Luego, los datos de deflexión, que fueron obtenidos en el estudio deflectométrico se normalizan por carga (a 50 kN) teniendo en cuenta el valor de la carga con que fueron generadas y considerando que la reacción al aplicar la carga no siempre es constante. Esta corrección se realiza proporcionalmente, es decir, aplicando la siguiente ecuación:

$$d_i = d_{io} * \frac{Pr}{P_o} \quad \text{Ecuación 3}$$

Donde:

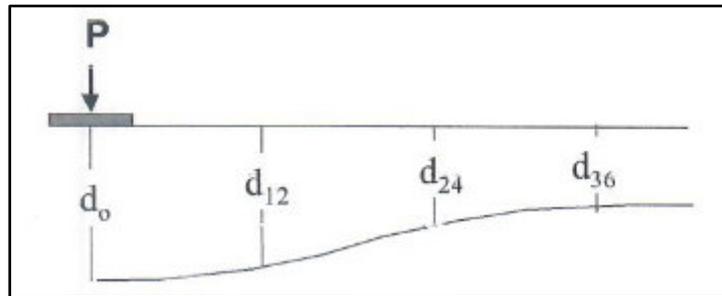
$d_i$ : Deflexión del sensor i, corregida a la carga Pr

$d_{io}$ : Deflexión del sensor i, medida en campo con la carga de aplicación  $P_o$

Pr: Carga a la cual se normalizarán las mediciones, en este caso igual a 50 KN

$P_o$ : Carga (en KN) aplicada en las mediciones de campo

El retroanálisis en pavimentos rígidos se basa en obtener dos parámetros básicos del cuenco de deflexiones (Figura 17) del cual podemos obtener la deflexión máxima y área del cuenco de deflexiones.

**Figura 17***Cuenca de Deflexiones*

- Deflexión máxima: Corresponde a la deflexión medida por el sensor ubicado bajo el plato de carga ( $d_0$ )

- AREA: Es un indicador que considera la forma del cuenco al incorporar deflexiones más alejadas y en el caso de los pavimentos rígidos se calcula como:

$$\text{AREA (pulg.)} = 6 * \left[ 1 + 2 \frac{d_{12}}{d_0} + 2 \frac{d_{24}}{d_0} + \frac{d_{36}}{d_0} \right] \quad \text{Ecuación 4}$$

Donde:

$d_0$ = Deflexión máxima bajo el plato de carga

$d_{12}$ ,  $d_{24}$ ,  $d_{36}$ = Deflexión a 12, 24 y 36 pulgadas desde el plato de carga

Con toda nuestra información se procedió a calcular el Módulo de elasticidad del Asfalto haciendo uso de la ecuación (1) tomando como datos de entrada las temperaturas tomadas en cada punto y convirtiendo a grados Fahrenheit, luego corregimos la deflexión

máxima debido al efecto de compresión utilizando la ecuación (2) conociendo el espesor de la carpeta asfáltica.

En el capítulo anexos, tabla 12 y tabla 13 se muestran los cálculos del EAC y  $D_0$  compres:

### ***3.5.4 Corrección de las Deflexiones por carga y Cálculo del Área del Cuenco de Deflexiones***

Los datos de deflexión, que se obtuvieron en la toma de datos con el Deflectómetro de Impacto se normalizaron por la carga teniendo en cuenta el valor de la carga con que fueron generadas y considerando que la reacción al aplicar la carga no siempre es constante. La corrección por carga se realizó utilizando la ecuación (3), para tomar la deflexión máxima será la diferencia de la deflexión máxima corregida por carga menos la deflexión corregida por el efecto de compresión debido al tipo de pavimento evaluado.

Para el cálculo del área del cuenco de deflexiones se usó la ecuación (4).

En la tabla 14 y tabla 15 que se encuentran en el Anexo se muestra los resultados de las deflexiones corregidas, los espesores del pavimento existente y el cálculo del área cuenco de deflexiones de la calzada derecha e izquierda.

### ***3.5.5 Sectores Homogéneos del tramo***

Con el fin de analizar y discutir sobre los resultados obtenidos es importante establecer sectores de trabajo de comportamiento y/o características similares que faciliten la determinación de los parámetros de diseño por sección en el tramo vial y para esto se utilizó, el método de análisis por diferencias acumuladas que recomienda la guía de diseño AASHTO de 1993.

$$F = \frac{At}{L}$$

Ecuación 5

Donde:

At: Sumatoria de los valores obtenidos de área acumulada

L: Longitud del tramo en estudio (km)

Luego de hallar los sectores homogéneos en cada tramo y de acuerdo con la clasificación de tipo de carretera, lo cual refiere al cuadro 12.22 del Manual de Carreteras, sección Suelos y Pavimentos del MTC, para nuestro análisis de los tramos en estudio se ha utilizado el factor estadístico de 1.645 a una confiabilidad de 95% correspondiente a carreteras de primera clase debido a que es una autopista y con IMD mayos a los 45,000 veh/día.

Con este dato, se calcula la deflexión característica de cada sector, el cual es un parámetro fundamental en la evaluación estructural de los pavimentos.

De acuerdo con la tabla 7, se determinó la deflexión característica mediante la siguiente ecuación:

$$Dc = Dm + 1.645 * ds \quad \text{Ecuación 6}$$

Donde:

Dc: Deflexión Característica.

Dm: Deflexión Media.

ds: Desviación Estándar

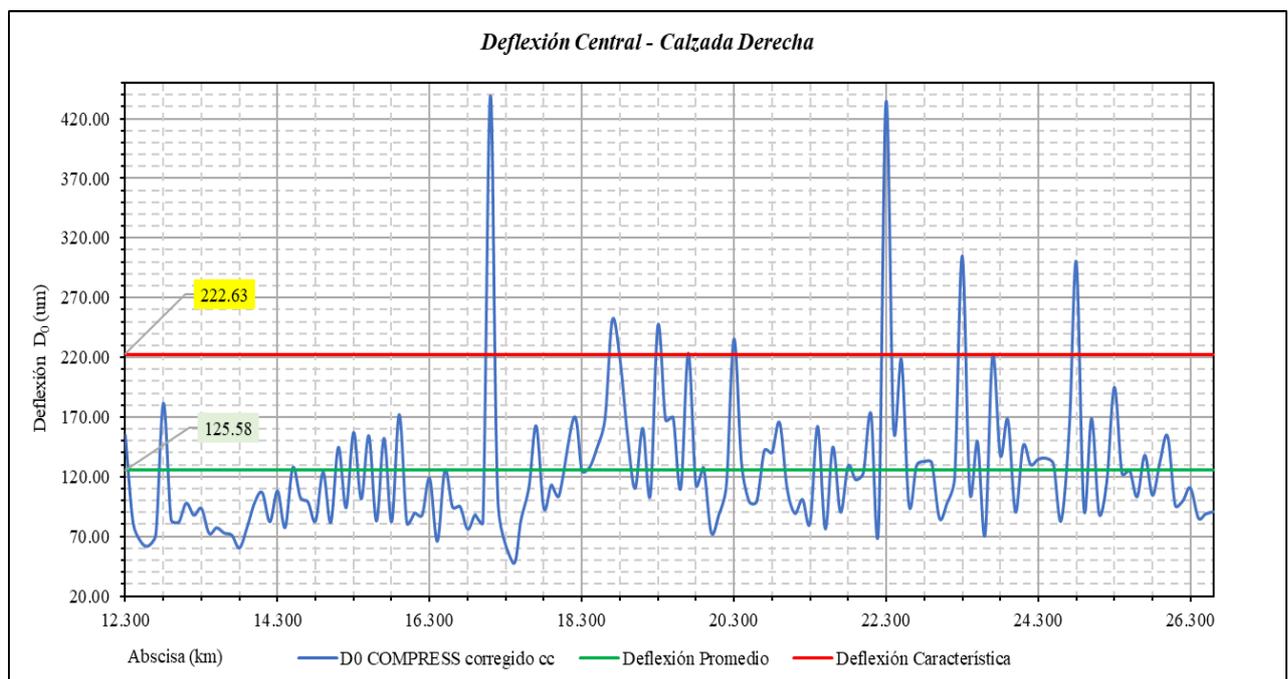
### 3.6 Análisis de Datos

Las técnicas y herramientas que se utilizaron para el procesamiento y análisis de la información obtenida de la recolección de datos fue Microsoft Excel haciendo uso de las ecuaciones (1), (2), (3) y (4). En base a los resultados se elaboró tablas y gráficos acerca de las deflexiones y resultados del estudio.

En la figura 18 y figura 19 se muestran las deflexiones máximas “D<sub>0</sub>” corregidas por compresión y por carga de todos los puntos que se tomó lectura en la calzada derecha y calzada izquierda respectivamente. En estas figuras también se indican la deflexión promedio y deflexión característica de todo el tramo de la carretera que se evaluó.

**Figura 18**

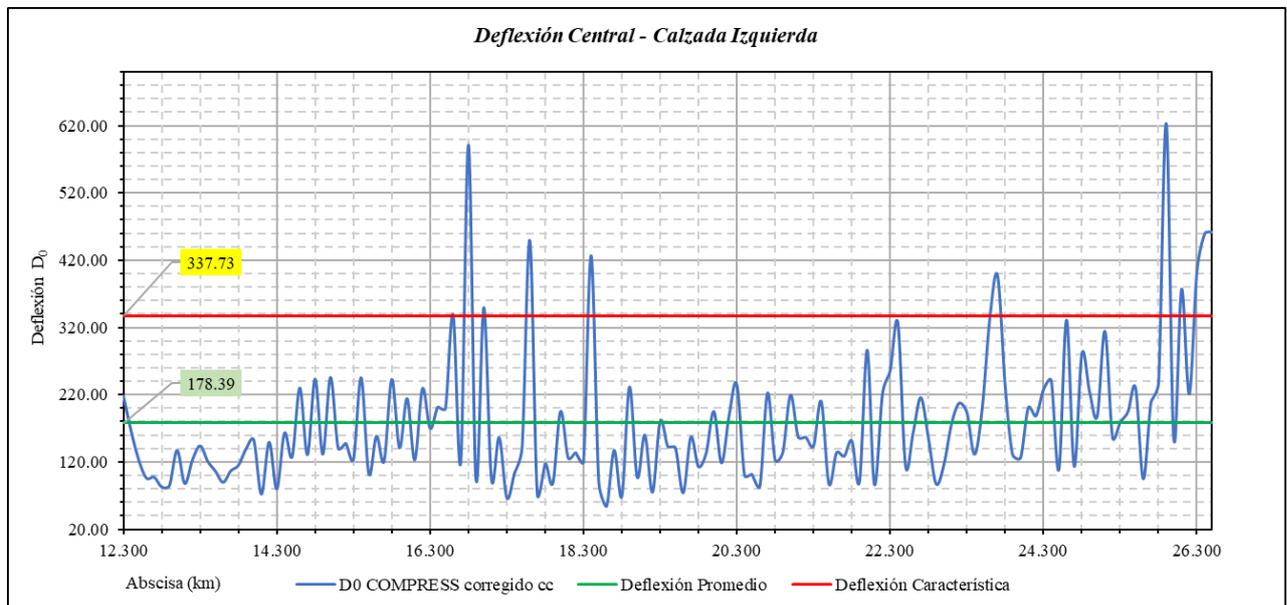
*Deflexión máxima normalizada y deflexión característica ( $\mu\text{m}$ ) - Calzada derecha*



*Nota.* En la figura se muestra la tendencia de la deflexión central a lo largo de la calzada derecha, junto con la deflexión promedio y la deflexión característica.

**Figura 19**

*Deflexión máxima normalizada y deflexión característica ( $\mu\text{m}$ ) - Calzada izquierda*

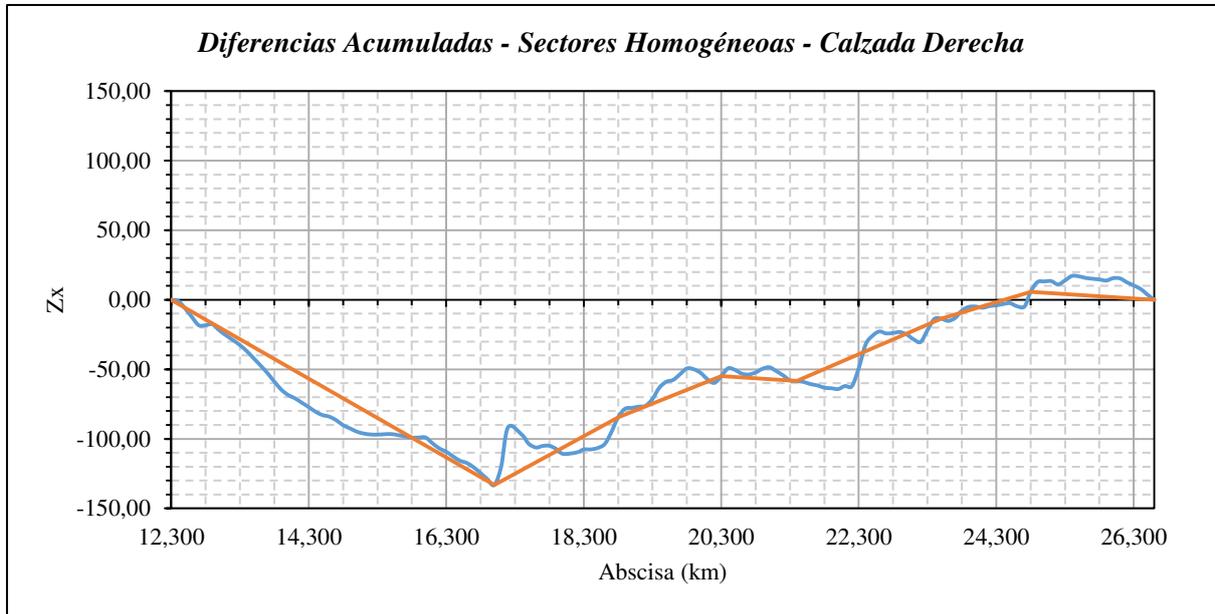


*Nota.* En la figura se muestra la tendencia de la deflexión central a lo largo de la calzada izquierda, junto con la deflexión promedio y la deflexión característica.

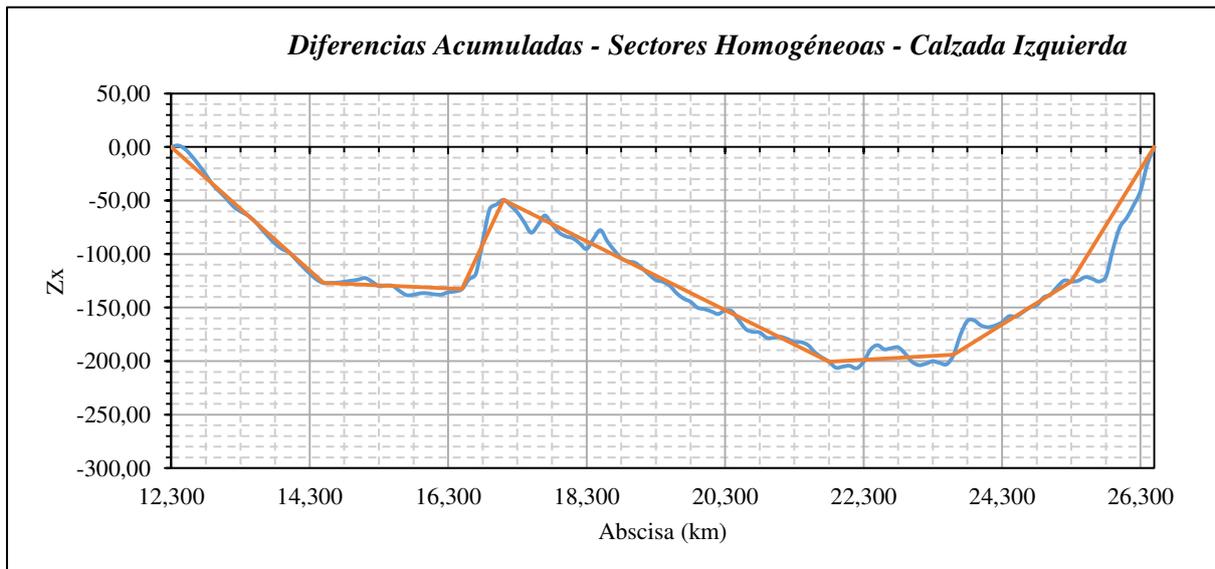
Para poder identificar las secciones homogéneas del carril derecho e izquierdo para así poder tener datos más precisos para nuestro análisis de la condición del paquete estructural de la carretera central, se usó el método de las diferencias acumuladas.

Aplicando la ecuación (5) se ha obtenido siete secciones homogéneas para la calzada derecha y siete secciones homogéneas para la calzada izquierda.

En la figura 20 y la figura 21 se aprecia las tendencias de las diferencias acumuladas tomando como datos las deflexiones Máximas para cada calzada.

**Figura 20***Diferencias acumuladas de la calzada derecha*

*Nota.* Las diferencias acumuladas están en función de las deflexiones máximas y según la tendencia de las diferencias se establecieron 7 secciones homogéneas.

**Figura 21***Diferencias acumuladas de la calzada izquierda*

*Nota.* Las diferencias acumuladas están en función de las deflexiones máximas y según la tendencia de las diferencias se establecieron 7 secciones homogéneas.

En la Tabla 9. Se muestra los resultados de la sectorización indicando los kilometrajes de las secciones homogéneas y los cálculos que se realizaron para determinar la deflexión promedio y deflexión característica para cada sección homogénea de la calzada derecha y calzada izquierda respectivamente.

**Tabla 9**

*Deflexión promedio y característica de las secciones homogéneas*

Tramo	Calzada	S.H	Inicial	Final	<b>D<sub>0 cc</sub></b>	<b>Deflexión</b>
					<b>promedio</b>	<b>característica</b>
					<b>(<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>(<math>\mu\text{m}</math>)</b>
12+250 - 26+600	Derecha	1	12+300	17+000	98.52	148.04
		2	17+000	18+800	153.67	304.74
		3	18+800	20+300	146.66	235.67
		4	20+300	21+400	119.98	168.28
		5	21+400	23+500	147.55	285.31
		6	23+500	24+800	147.22	246.51
		7	24+800	26+600	117.40	167.70
12+250 - 26+600	Izquierda	1	12+300	14+500	120.93	178.43
		2	14+500	16+500	176.99	260.12
		3	16+500	17+100	264.59	591.95
		4	17+100	21+800	147.67	274.40
		5	21+800	23+600	186.72	314.59
		6	23+600	25+300	214.01	347.19
		7	25+300	26+600	305.10	562.48

En la Tabla 10 se muestran el resumen de los cálculos que se realizaron para calcular el Área del cuenco de deflexiones por cada sección homogénea de la calzada derecha e izquierda respectivamente. Estos valores que he calculado del área y los valores de la deflexión máxima corregida por compresión y por carga nos indica si el paquete estructural es fuerte o débil y también si la subrasante es fuerte o es débil, tal como nos señala la Tabla 1 y Tabla 2.

**Tabla 10**

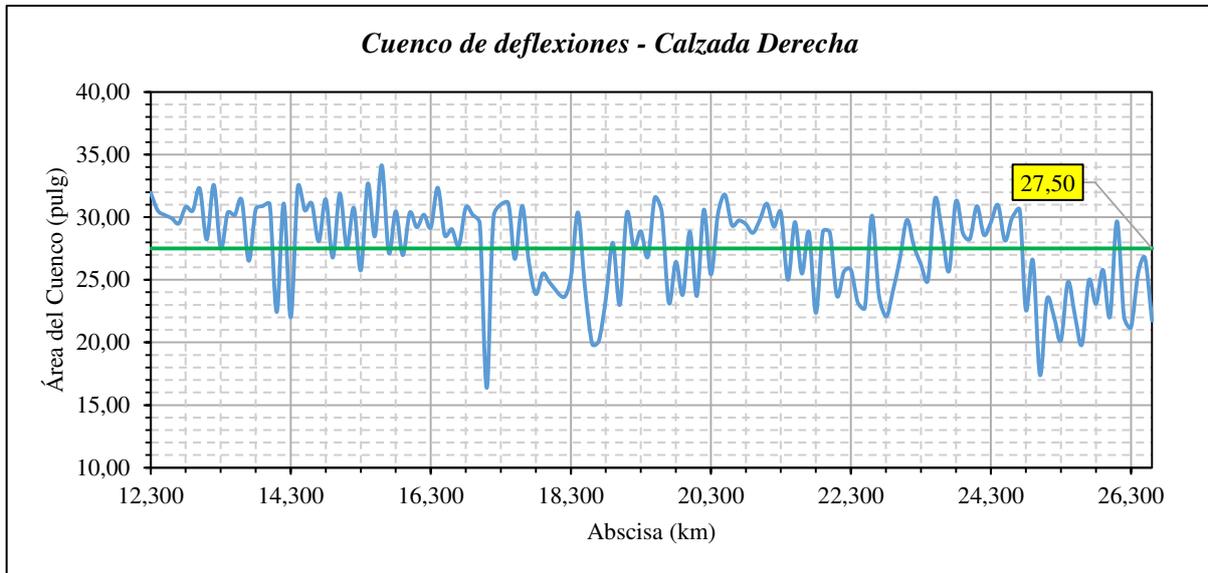
*Área del cuenco de deflexiones de las secciones homogéneas*

Tramo	Calzada	S.H	Inicial	Final	Área de	Área de
					Deflexiones (pulg)	Deflexiones (mm)
12+250 - 26+600	Derecha	1	12+300	17+000	29.66	753.38
		2	17+000	18+800	25.18	639.57
		3	18+800	20+300	27.24	691.78
		4	20+300	21+400	29.53	750.00
		5	21+400	23+500	26.28	667.52
		6	23+500	24+800	28.78	730.91
		7	24+800	26+600	23.29	591.65
26+600	Izquierda	1	12+300	14+500	26.45	671.90
		2	14+500	16+500	26.88	682.68
		3	16+500	17+100	25.49	647.37
		4	17+100	21+800	26.17	664.81
		5	21+800	23+600	23.63	600.13
		6	23+600	25+300	23.17	588.46
		7	25+300	26+600	19.08	484.56

En la figura 22 y figura 23 se muestra las áreas calculadas en cada punto de evaluación de la calzada derecha y calzada izquierda.

**Figura 22**

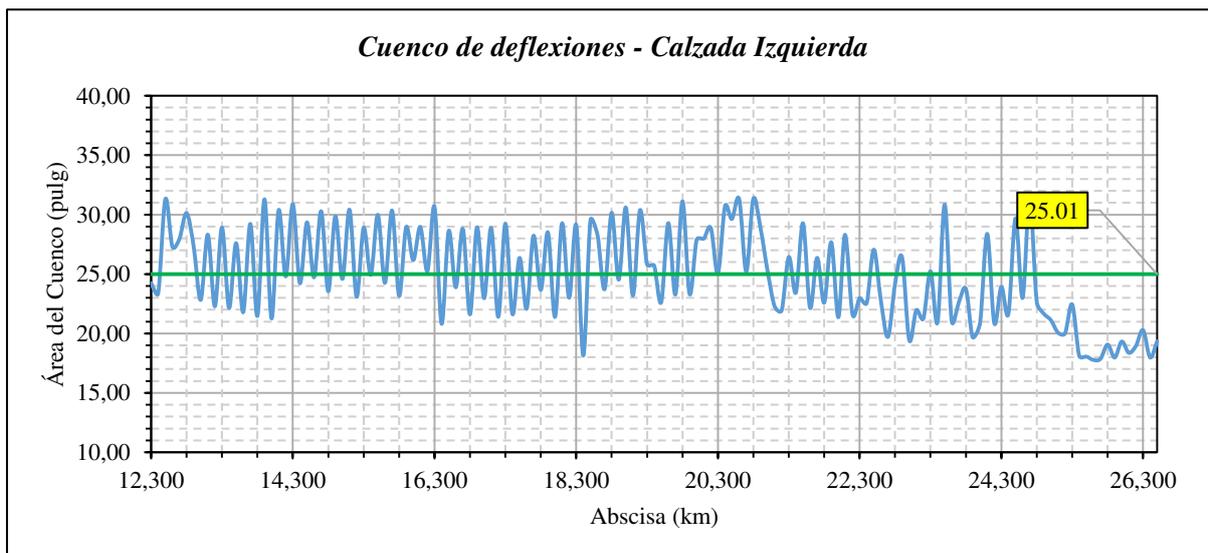
*Área del cuenco de deflexiones de la calzada derecha*



*Nota.* Se indica que el promedio del área del cuenco de deflexiones es de 27.50 pulg.

**Figura 23**

*Área del cuenco de deflexiones de la calzada izquierda*



*Nota.* Se indica que el promedio del área del cuenco de deflexiones es de 25.01 pulg.

### **3.7 Consideraciones Éticas.**

El presente estudio se realizó tomando en consideración el código nacional de Integridad Científica y además respetando la propiedad intelectual dando veracidad de las fuentes bibliográficas al momento de citar en la investigación.

El oportuno proceso de la información leída a través del equipo Deflectómetro de Impacto, el cual es idóneo para este tipo de estudios.

La toma de datos se ha realizado siguiendo las indicaciones estándar de los manuales que se indica para este tipo de investigaciones y toda la información se ha desarrollado oportunamente.

## IV. RESULTADOS

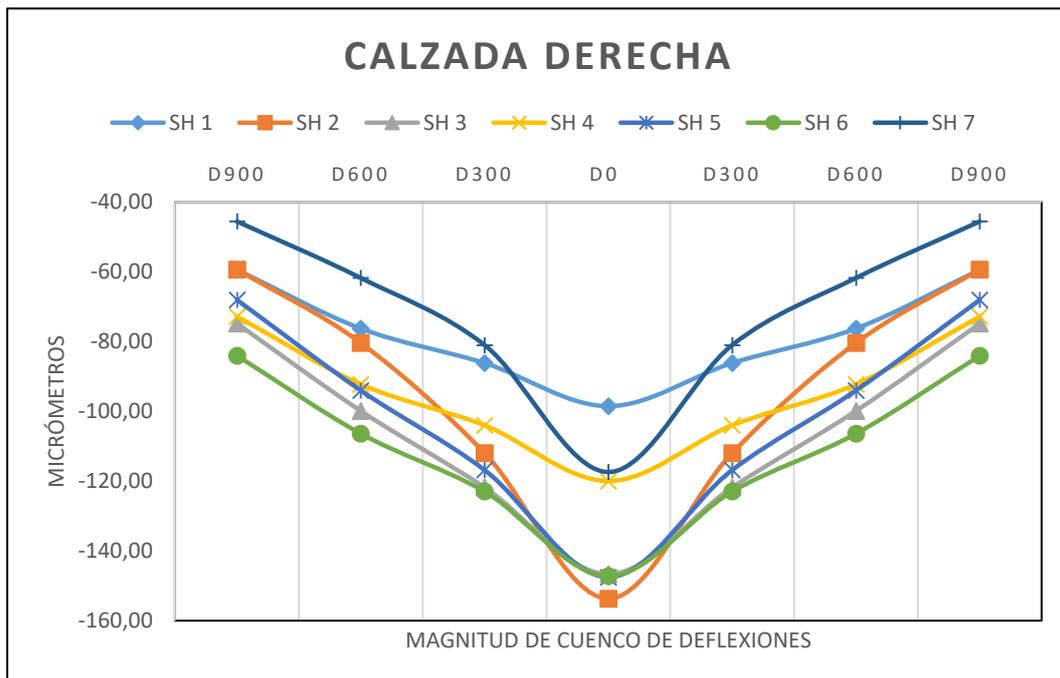
De acuerdo con las secciones homogéneas identificadas con la metodología de las diferencias acumuladas aplicada para ambas calzadas, se obtuvieron los resultados de la forma y magnitud de los cuencos de las deflexiones de cada una de estas secciones como se muestran a continuación:

### 4.1 Curva de Deflexiones Calzada Derecha

Para la calzada derecha se identificaron 7 secciones homogéneas según la metodología de las diferencias acumuladas y los resultados que se obtuvieron sobre la forma y magnitud de las deflexiones de los cuencos se muestran en la figura 24

**Figura 24**

*Magnitud y forma de las deflexiones de la calzada derecha*



Del seccionamiento que se realizó en la calzada derecha y de los resultados que se obtuvieron, se aprecia que la sección homogénea (1) es la que tiene menor deflexión con un

valor de 98.52  $\mu\text{m}$  y la sección homogénea (2) es la que tiene mayor deflexión con un valor de 153.67  $\mu\text{m}$ .

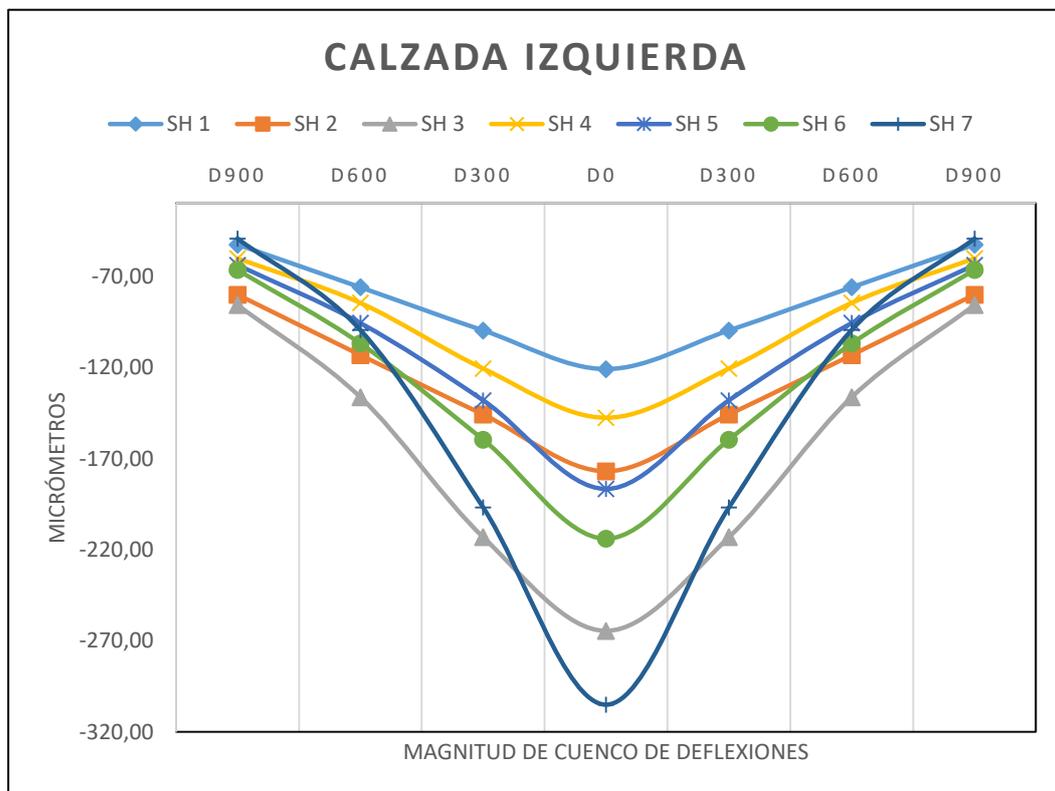
En la sección homogénea (1) se encontró la mayor área del cuenco de deflexiones con un valor de 753.38 mm y la menor área del cuenco de deflexiones se encontró en la sección homogénea (7) con un valor de 591.65 mm.

#### 4.2 Curva de Deflexiones Calzada Izquierda

Para la calzada izquierda se identificaron 7 secciones homogéneas según la metodología de las diferencias acumuladas y los resultados que se obtuvieron sobre la forma y magnitud de las deflexiones de los cuencos se muestran en la figura 25

**Figura 25**

*Magnitud y forma de las deflexiones de la calzada izquierda*



Del seccionamiento que se realizó en la calzada izquierda y de los resultados que se obtuvieron, se aprecia que la sección homogénea (1) es la que tiene menor deflexión con un

valor de 120.93  $\mu\text{m}$  y la sección homogénea (7) es la que tiene mayor deflexión con un valor de 305.10  $\mu\text{m}$ .

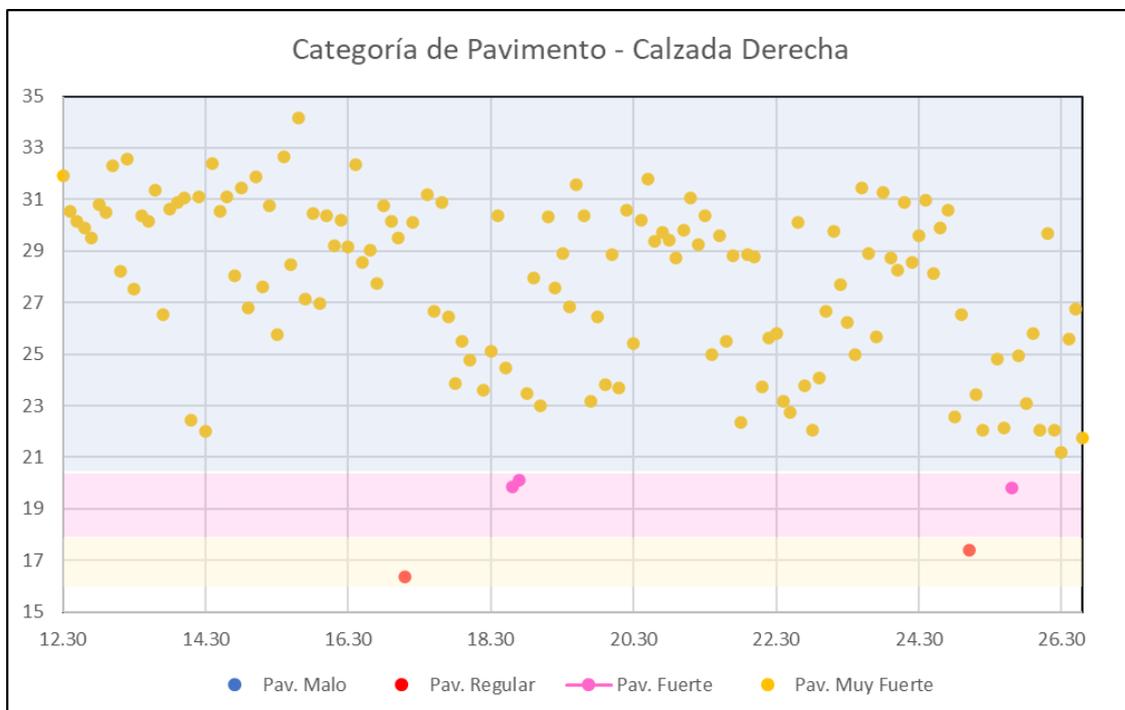
En la sección homogénea (2) se encontró la mayor área del cuenco de deflexiones con un valor de 682.68 mm y la menor área del cuenco de deflexiones se encontró en la sección homogénea (7) con un valor de 484.56 mm.

### 4.3 Categorización de Pavimento Calzada Derecha

Utilizando la tabla 4, se pudieron realizar una sectorización por categorización del pavimento. En la figura 26 se muestra la categorización del pavimento a lo largo de la calzada derecha que se ha evaluado en función del área del cuenco de deflexiones de cada punto que se evaluó.

**Figura 26**

*Categorización del pavimento de la calzada derecha*



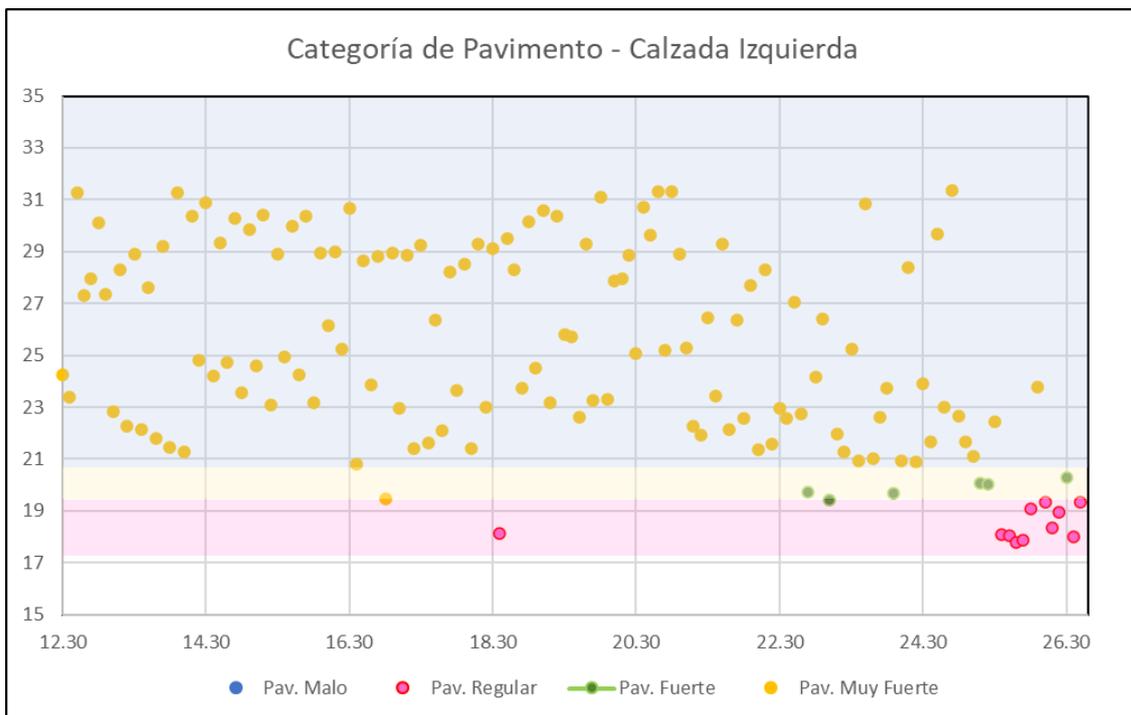
En la figura 26 se muestran 2 puntos que se encuentran en pavimento regular, 3 puntos en pavimento fuerte y el resto de los puntos un pavimento muy fuerte.

#### 4.4 Categorización de Pavimento Calzada Izquierda

En la figura 27 se muestra la categorización del pavimento a lo largo de la calzada izquierda que se ha evaluado en función del área del cuenco de deflexiones de cada punto que se evaluó.

**Figura 27**

*Categorización del pavimento de la calzada izquierda*



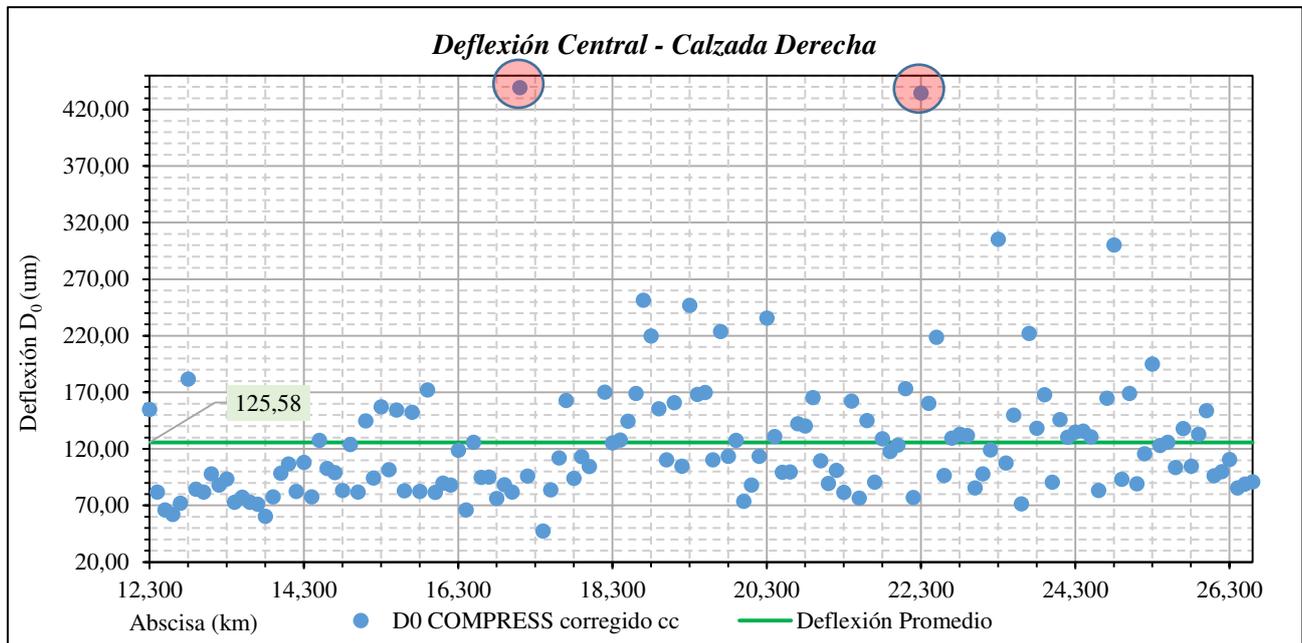
Del gráfico se aprecia que, 11 puntos se encontraron en pavimento regular, 6 puntos se encontraron en pavimento fuerte y el resto de los puntos nos indicó que el pavimento es un pavimento muy fuerte.

#### 4.5 Máximas deflexiones en la calzada derecha

En la figura 28 se puede observar que existen 2 deflexiones máximas en los kilometrajes km 17+100 y km 22+300, cuyos valores de deflexión son 439.22  $\mu\text{m}$  y 434.35  $\mu\text{m}$  respectivamente

**Figura 28**

*Análisis de deflexiones de la calzada derecha*

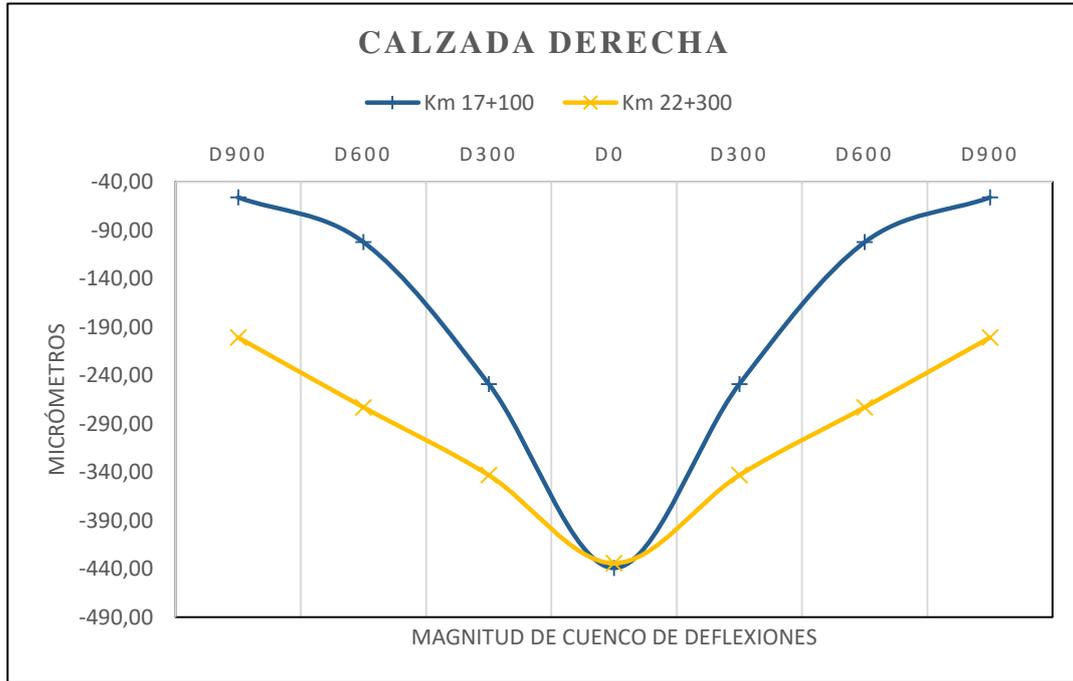


Éstos dos valores mostraron que están dispersos respecto al promedio de las deflexiones de todos los puntos evaluados, lo cual por los valores obtenidos del área del cuenco de deflexiones no significa que el pavimento tenga problemas estructurales. Los valores del área del cuenco de deflexiones en esos puntos son 16.37 pulg y 25.80 pulg considerándose así que estos valores se encuentran dentro del rango o intervalo de valores típicos de un pavimento fuerte y un pavimento muy fuerte respectivamente, esto comparando con los valores típicos de la tabla 3 y tabla 4.

En la figura 29 podemos observar que se analizó estos 2 puntos y apreciamos que las deflexiones son relativamente iguales a comparación de la diferencia marcada de sus áreas del cuenco de deflexiones.

**Figura 29**

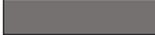
*Deflexiones atípicas en la calzada derecha*



En la figura 30 se muestran los espesores del paquete estructural de estos dos puntos donde se diferencian por los espesores de la carpeta asfáltica y debido a esta capa flexible radica la distribución de la forma del cuenco de deflexiones.

**Figura 30**

*Sección transversal de la calzada derecha*

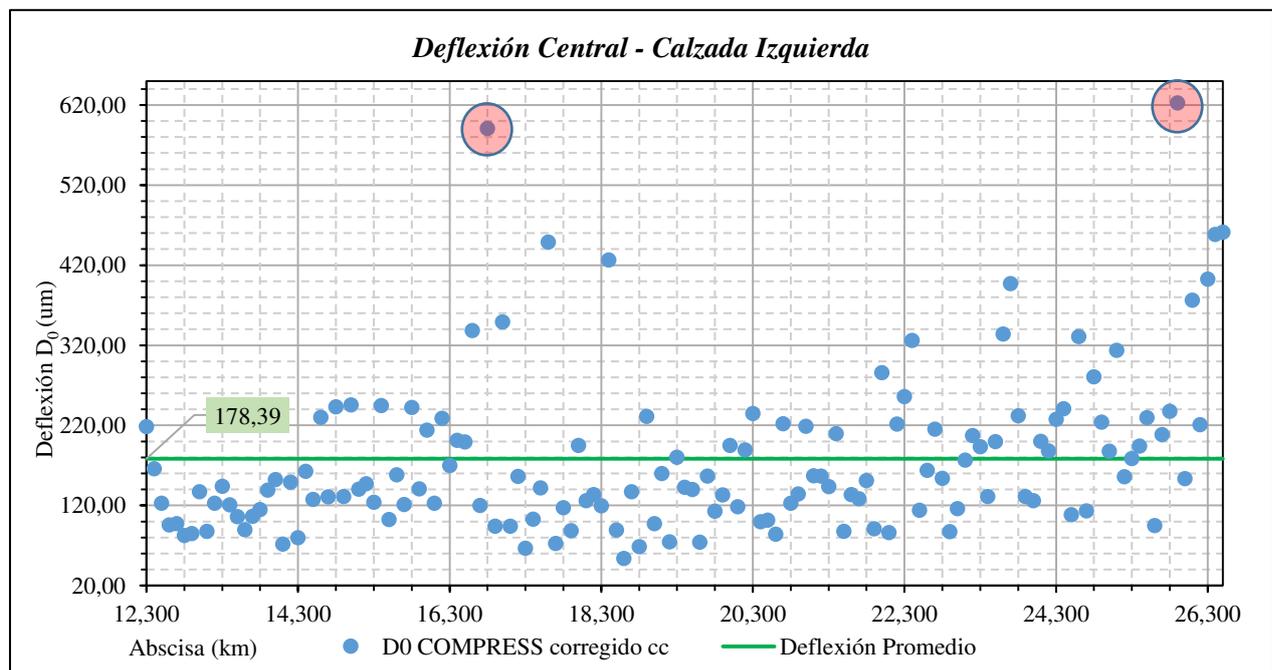
Km 17+100		Km 22+300	
	Carpeta asfáltica e = 11 cm		Carpeta asfáltica e = 7 cm
	Concreto e = 20 cm		Concreto e = 20 cm
	Base Granular e = 100 cm		Base Granular e = 100 cm

#### 4.6 Máxima deflexiones en la calzada izquierda

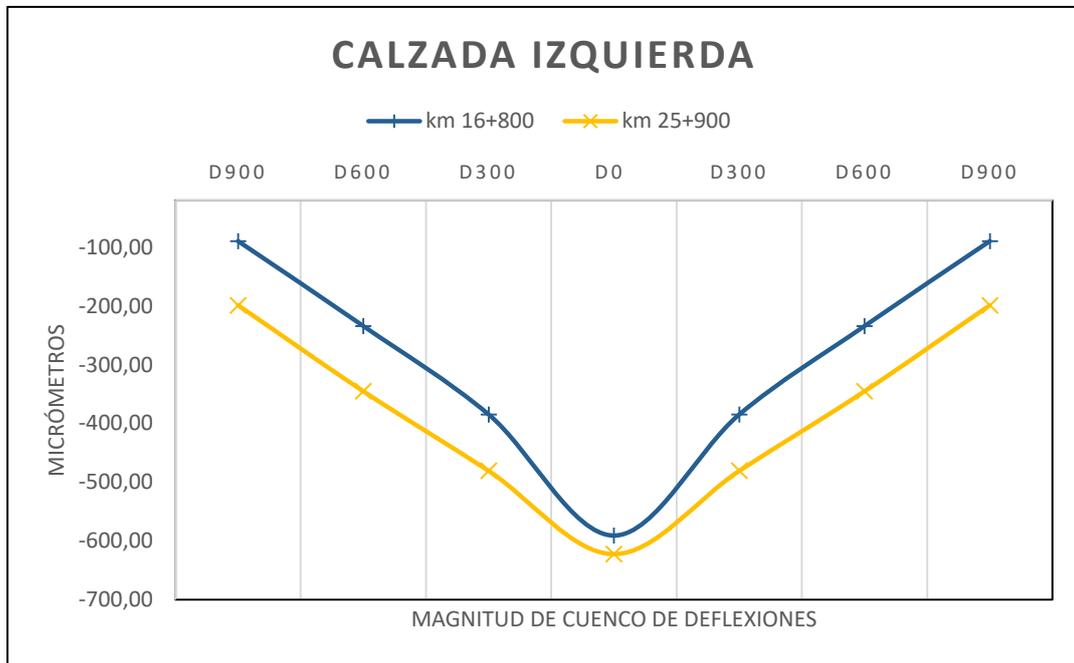
En la figura 31 se puede observar que existen 2 deflexiones en los kilometrajes km 16+800 y km 25+900, cuyos valores de deflexión son 590.89  $\mu\text{m}$  y 622.55  $\mu\text{m}$  respectivamente, éstos valores mostraron que están dispersos respecto al promedio de las deflexiones, lo cual no significa que el pavimento tenga problemas estructurales debido a que sus valores del área del cuenco de deflexiones en esos puntos son 19.47 pulg y 23.78 pulg considerándose estos valores se encuentran dentro del rango de valores típicos de un pavimento muy fuerte y un pavimento fuerte respectivamente, esto comparando con los valores típicos que se muestran la tabla 3 y tabla 4.

**Figura 31**

*Análisis de deflexiones de la calzada izquierda*



En la figura 32 podemos observar en estos 2 puntos es que si comparamos las deflexiones de estos 2 puntos son relativamente iguales a comparación de la diferencia marcada de las áreas del cuenco de deflexiones.

**Figura 32***Deflexiones atípicas en la calzada izquierda*

En la figura 33 se muestran los espesores del paquete estructural de estos dos puntos donde se diferencian por los espesores de la carpeta asfáltica y debido a esta capa flexible radica la distribución de la forma del cuenco de deflexiones.

**Figura 33***Sección transversal de la calzada izquierda*

Km 16+800		Km 25+900		
	Carpeta asfáltica	e = 10 cm	Carpeta asfáltica	e = 7 cm
	Concreto	e = 20 cm	Concreto	e = 20 cm
	Base Granular	e = 100 cm	Base Granular	e = 100 cm

#### 4.7 Contratación de Hipótesis

Para nuestra prueba de hipótesis se realizó una confrontación de la hipótesis que hemos propuesto y de los resultados que hemos obtenido.

A continuación, se muestran la contratación de las hipótesis específicas y al final la hipótesis general:

##### **Hipótesis Específicos 1**

**Ho:** La aplicación de la técnica del retrocálculo no incide significativamente en la evaluación estructural en la Carretera Central km 12+250 – km 26+500, Lima 2020.

**Ha:** La aplicación de la técnica del retro cálculo incide significativamente en la evaluación estructural en la Carretera Central km 12+250 – km 26+500, Lima 2020.

Con la realización de los cálculos y obtención de los resultados se ha podido precisar que la aplicación del retrocálculo incide significativamente en la evaluación estructural de los pavimentos, por lo que se acepta la hipótesis alterna y se rechaza la hipótesis nula.

##### **Hipótesis Específicos 2**

**Ho:** Las cargas en pavimentos no inciden significativamente en la evaluación estructural en la Carretera Central km 12+250 – km 26+500, Lima 2020.

**Ha:** Las cargas en pavimentos inciden significativamente en la evaluación estructural en la Carretera Central km 12+250 – km 26+500, Lima 2020.

En la investigación realizada se ha podido determinar que la carga influye significativamente en forma directa para establecer la capacidad estructural del pavimento, por lo que conseguimos indicar que se acepta la hipótesis alterna y se rechaza la hipótesis nula.

### **Hipótesis Específicos 3**

**Ho:** El área del cuenco de deflexiones de los pavimentos no incide significativamente para determinar en la capacidad estructural en la Carretera Central km 12+250 – km 26+500, Lima 2020.

**Ha:** El área del cuenco de deflexiones de los pavimentos incide significativamente para determinar en la capacidad estructural en la Carretera Central km 12+250 – km 26+500, Lima 2020.

Una vez que hemos calculado y obtenido el área de cuenco de deflexiones nos especifica la capacidad estructural del paquete estructural del pavimento existente, por lo que logramos precisar que se acepta la hipótesis alterna y se rechaza la hipótesis nula.

### **Hipótesis General**

**Ho:** La Deflectometría de Impacto no incide significativamente en la evaluación estructural de la carretera central km 12+250 al km 26+500, Lima 2020

**Ha:** La Deflectometría de Impacto incide significativamente en la evaluación estructural de la carretera central km 12+250 al km 26+500, Lima 2020

Podemos señalar que gracias a la obtención de los resultados que se ha obtenido, en efecto la deflectometría de impacto incide significativamente en la evaluación estructural de los pavimentos, por lo que se acepta la hipótesis general planteada.

## V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Es preciso mencionar que nuestro tramo evaluado es un tipo de pavimento mixto (asfalto, concreto y base granular) y el resumen de los resultados de las deflexiones y del área del cuenco de deflexiones en función de las secciones homogéneas calculadas por el método de las diferencias acumuladas, se muestran la tabla 9 y tabla 10.

En la tabla 2, se muestran las investigaciones sobre las directrices para las pruebas de deflexión, análisis e interpretación **publicadas en FHWA-HRT-16-011**, volumen III, donde han considerado intervalos de valores para tipo pavimentos, donde realizando el comparativo de los valores obtenidas en la presente investigación de las deflexiones máximas de ambas calzadas, son menores a los de un pavimento de concreto, sin embargo, los valores del área de cuenco de deflexiones están dentro del intervalo de un pavimento flexible de 20cm de espesor, lo cual se evidencia que los valores obtenidos son valores muy cercanos y tienen la misma tendencia a nuestro pavimento mixto evaluado.

**Tabla 11**

*Comparación de áreas y deflexiones obtenidas vs convencionales de U.S. Department of Transportation*

<i>Pavement Type</i>	<b>Intervalos</b>		<b>Calzada Derecha</b>		<b>Calzada Izquierda</b>	
	<i>AREA</i>	<i>D<sub>0</sub></i>	<i>AREA</i>	<i>D<sub>0</sub></i>	<i>AREA</i>	<i>D<sub>0</sub></i>
	<b>Value (inches)</b>	<b>(<math>\mu</math> m)</b>	<b>Value (inches)</b>	<b>(<math>\mu</math> m)</b>	<b>Value (inches)</b>	<b>(<math>\mu</math> m)</b>
PCC	29–32	250 – 500		133		202.29
Thick HMA, $\geq$ 200 mm	21–30	500 – 1,000	27.14		24.41	
Thin HMA, $\leq$ 200 mm	16–21	760 – 1,200				
Chip seal	15–17	760 – 1,200				
Weak chip seal	12–15	1,000 – 1,500				

De acuerdo a **Crespo & Ruiz (2001)** clasificaron en tres (03) tipos de pavimentos de acuerdo a los valores del área del cuenco de deflexiones que investigaron. Los tipos de pavimentos que clasificaron fueron de tipo flexible, semirrígido y rígido y con sus respectivos intervalos de valores de área del cuenco de deflexiones como se muestra en la tabla 3. Nuestros resultados de valores obtenidos del área (mm) fueron de **689 mm** y **619.99 mm** para la calzada derecha e izquierda respectivamente, los que se evaluaron de acuerdo a la tabla 3 determinando que nuestro pavimento presenta valores de un pavimento tipo semirrígido, es decir no presenta valores de un pavimento flexible no rígido sino un pavimento “semirrígido” tiene las mismas características de un pavimento “mixto”.

En la investigación del **Dr. Hoffman** citado por Crespo & Ruiz Romero (2001) categorizó en pavimento en función de los intervalos de valor del área del cuenco de deflexiones. La clasificación del pavimento lo categorizó desde un pavimento muy malo cuando el área era menor a 410 mm (16.14 pulg) hasta un pavimento muy fuerte cuyo valor del área es mayor a 530 mm (20.87 pulg), el cual comparando con nuestros resultados obtenidos de las áreas del cuenco de deflexiones por medio del retrocálculo nuestro pavimento del tramo de la carretera central presenta una categorización de un **pavimento muy fuerte** según se indica en la tabla 4.

Verificando cada una de las deflexiones obtenidas y el área del cuenco de deflexiones a lo largo del tramo de la carretera central estudiada y con los procedimientos y resultados expuestos en los capítulos anteriores y el haber comparado nuestros resultados con otras investigaciones relacionados a la evaluación estructural, es factible confirmar que es un buen método no destructivo, efectivo y rápido para evaluar los pavimentos a través de las deflexiones máximas y el área del cuenco de deflexiones.

## VI. CONCLUSIONES

- 6.1. Los resultados de la investigación realizada permitieron determinar el comportamiento del paquete estructural del tramo de la carretera central, que se evaluó a través de las deflexiones máximas, el área del cuenco de deflexiones y los espesores del pavimento mixto. El cumplimiento del objetivo se basa en la confiabilidad de los resultados obtenidos debido a que los datos de entrada son datos obtenidos y verificados en campo, en la tabla 10 se observa los resultados del área del cuenco de deflexiones, en donde la calzada derecha tiene un área promedio de 27.14 pulg y la calzada izquierda un área promedio de 24.41 pulg, según la tabla 4 con estos resultados, el pavimento muestra una condición de categorización de un pavimento muy fuerte. En la tabla 3 se muestra el tipo de pavimentos función de los intervalos de las áreas, con lo que se demuestra que con las áreas calculadas el pavimento es de tipo semirrígido o mixto (carpeta asfáltica, concreto y base granular).
- 6.2. La evaluación estructural del pavimento se determinó mediante el uso de las técnicas del retrocálculo utilizando el equipo de deflectómetro de impacto y la norma AASHTO 1993. Esto permitió identificar 7 sectores homogéneos calculados por el método de las diferencias acumuladas como se muestran en las figuras 20 y figura 21. La tabla 9 muestra que el sector homogéneo 2 de la calzada derecha tiene la mayor deflexión característica con 304.74  $\mu\text{m}$  y el sector homogéneo 7 de la calzada izquierda tiene la mayor deflexión característica con 562.48  $\mu\text{m}$ .
- 6.3. En relación con la carga dinámica aplicada por el deflectómetro de impacto (FWD) fue de 50 kN, recomendado para el tipo de pavimento evaluado. La aplicación de la carga generó deflexiones de los cuales para nuestra evaluación y por un tipo de pavimento

mixto solo se tomó en cuenta las 4 mayores deflexiones según como recomienda la norma AASHTO. En la tabla 9 se muestran los resultados de las deflexiones máximas calculadas por sectores homogéneos de la calzada derecha e izquierda. En la tabla 2 se presenta los intervalos de los valores de la deflexión máxima por tipo de pavimento, donde se puede evidenciar que el promedio de las deflexiones de 222.32  $\mu\text{m}$  y 361.31  $\mu\text{m}$  de la calzada derecha e izquierda respectivamente, están dentro del intervalo de un pavimento de concreto, lo que demuestra que el pavimento mixto evaluado presenta buena respuesta estructural a la demanda de las cargas del tráfico existente.

6.4. Mediante los ensayos no destructivos como el FWD permitió conocer el área del cuenco de deflexiones en cada punto evaluado, la importancia de la evaluación de este indicador no es tan solo el valor del área del cuenco de deflexiones, sino también en la forma del área tal como se muestra para la calzada derecha la figura 29, donde 2 puntos evaluados tienen prácticamente la misma deflexión máxima (434  $\mu\text{m}$ ) pero áreas diferentes (16.37 pulg y 25.80 pulg), para la calzada izquierda se muestra la figura 32, el comparativo de 2 puntos evaluados cuya deflexión máxima promedio es de 606  $\mu\text{m}$  pero áreas diferentes (19.47 pulg y 23.78 pulg). Esta evaluación e indicador de conocer la capacidad estructural en función de la forma y magnitud del área, permitió identificar que los espesores del paquete estructural influyen directamente en las deflexiones y área del cuenco de deflexiones de la carretera estudiada.

## VII. RECOMENDACIONES

- 7.1. Por la rapidez de obtener los datos, se recomienda seguir realizando investigaciones haciendo uso de la deflectometría de impacto y realizar evaluaciones aplicando la metodología del retrocálculo en los planes de mantenimiento periódico de nuestro país, y esto involucra al Ministerio de Transportes y Comunicaciones a normar el uso del Deflectómetro de Impacto como alternativa en la evaluación estructural de los Pavimentos.
  
- 7.2. Debido a que esta investigación se realizó en un paquete estructural conformado por carpeta asfáltica, concreto y base granular, es recomendable realizar estudios no destructivos con el Deflectómetro de Impacto en otras carreteras con paquetes estructurales similares a la estudiada, para conocer los valores de la deflexión máxima y la forma de su área del cuenco de deflexiones y seguir alimentando al modelo del paquete estructural presentado para poder comparar y concluir con valores típicos para el tipo de pavimento.
  
- 7.3. Se debe de procurar en lo posible realizar exploración mediante perforaciones diamantinas cada 100 m para obtener un perfil más preciso que permita establecer espesores del paquete estructural existente.

## VIII. REFERENCIAS

- AASHTO. (1993). Guide for Design of Pavement Structures. Washington D.C., E.E.U.U. In *Washington D.C., E.E.U.U.: Published American association of state highway and transportation officials.*
- Albuquerque dos Santos, H. C., & Barbosa Soares, J. (2015). Obtenção de módulos de resiliência em laboratório e por meio de retroanálise em rodovias no estado do Ceará e o efeito no dimensionamento de pavimentos. *Congreso Nacional de Pesquisas Em Transporte Da Anpet*, 172–175.  
[http://146.164.5.73:20080/ssat/interface/content/anais\\_2015/TrabalhosFormatados/RT955.pdf](http://146.164.5.73:20080/ssat/interface/content/anais_2015/TrabalhosFormatados/RT955.pdf)
- Andrade Neto, C., Machado López, I., & Rufino, J. (2015). Metodología de análisis de la condición del pavimento a partir del cuenco de deflexión. *Infraestructura Vial*, 17(29), 24–32.  
<https://doi.org/10.15517/iv.v17i29.15270>
- Ávila, E., Albarracín, F., & Bojorque, J. (2015). Evaluación de pavimentos en base a métodos no destructivos y análisis inverso. *Maskana*, 6(1), 149–167.  
<https://doi.org/10.18537/mskn.06.01.11>
- Bejarano, L. E. (2013). Análisis estructural de un pavimento flexible con presencia de deterioro, por medio de deflexiones obtenidas con equipo de carga dinámica y estática. *Universidad Nacional de Colombia – Sede Bogotá, Av. NQS 45-03 Ciudad Universitaria, Bogotá, D.C.*
- Camarini, G. C., Junior, C. A. P. da S., & Fontenele, H. B. (2019). Avaliação De Bacias De Deflexões Retroanalizadas Pelo Programa Backmedina (2018). *Congresso de Pesquisa e*

*Ensimo Em Transporte Da ANPET Balneário Camboriú-SC*, 53(9), 1689–1699.

[https://www.anpet.org.br/anais/documentos/2019v1.1simpo/Infraestrutura/Dimensionamento Avaliacao e Gestao de Pavimentos I/2\\_175\\_AC.pdf](https://www.anpet.org.br/anais/documentos/2019v1.1simpo/Infraestrutura/Dimensionamento%20Avaliacao%20e%20Gestao%20de%20Pavimentos%20I/2_175_AC.pdf)

Crespo del Río, R., & Ruiz Romero, J. F. (2001). Evaluación Estructural de Firmes de Carreteras, el área del Cuenco de Deflexiones, el Módulo de la Explanada. *AEPO Ingenieros Consultores*, 51.

<https://1library.co/document/yj769g85-evaluación-estructural-firmes-carreteras-cuenco-deflexiones-módulo-explanada.html>

Cruz, O., & Ocaña, F. (2019). *Evaluación estructural de pavimentos flexibles construidos en la localidad de Usme utilizando el deflectómetro de impacto o FWD* [Tesis de Maestría] Universidad Santo Tomás.

<http://hdl.handle.net/11634/16535>

Gaete P., R., Fuentes L., C., & Valverde P., S. (2013). *Uso del Deflectómetro de Impacto para la evaluación estructural de recapados asfálticos sobre pavimentos de hormigón.*

[http://www2.udec.cl/~provial/trabajos\\_pdf/27GaeteRecapadosobrehormigon.pdf](http://www2.udec.cl/~provial/trabajos_pdf/27GaeteRecapadosobrehormigon.pdf)

Higuera Sandoval, C. H. (2010). Caracterización de la resistencia de la subrasante con la información del deflectómetro de impacto. *Facultad de Ingeniería, UPTC*, 19(28), 73–92.

<https://doi.org/10.19053/01211129.1398>

Hoffman, M. S., & Del Aguila, P. M. (1985). *Estudios de Evaluación Estructural de Pavimentos basados en la interpretación de curvas de deflexiones (ensayos no destructivos).*

[https://www.academia.edu/15896692/estudios\\_de\\_evaluacion\\_estructural\\_de\\_pavimentos\\_basados\\_en\\_la\\_interpretacion\\_de\\_curvas\\_de\\_deflexiones\\_ensayos\\_no\\_destructivos](https://www.academia.edu/15896692/estudios_de_evaluacion_estructural_de_pavimentos_basados_en_la_interpretacion_de_curvas_de_deflexiones_ensayos_no_destructivos)

Instituto Nacional de Vías de Colombia. (2008). Guía metodológica para el Diseño de Obras de Rehabilitación de Pavimentos asfálticos de Carreteras. In *INVIAS* (Segunda Ed).

MTC. (2014). *Manual de Carreteras - Sección Suelos Geología, Geotecnia y Pavimentos*.

[https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas\\_carreteras/manuales.html](https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/manuales.html)

Nega, A., Nikraz, H., & Al-Qadi, I. L. (2016). Dynamic analysis of falling weight deflectometer. *Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition)*, 3(5), 427–437.

<https://doi.org/10.1016/j.jtte.2016.09.010>

Osorio Lird, A. (2008). *Metodología de evaluación in-situ de la capacidad de soporte de bases y subbases granulares de pavimentos flexibles con el deflectómetro de impacto liviano* [Tesis de maestría] Pontificia Universidad Católica de Chile.

<https://repositorio.uc.cl/handle/11534/1435>

Rivera, J., Alderete, N., Brizuela, L., & Villanueva, M. (2014). Diseño de pavimentos urbanos por retrocalculo según guía AASHTO 93 mediante la utilización del deflectómetro liviano de impacto. *Infraestructura Vial*, 16(27), 4–14.

<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5051931>

Sirithemontree, H., & Sapsathiarn, Y. (2017). Dynamic Soil Models for Backcalculation of Material Properties from Falling Weight Deflectometer Deflection Data. *Procedia Engineering*, 189(May), 152–157.

<https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.05.025>

Smith, K. D., Bruinsms, J. E., Wade, M. J., Chatti, K., Vandenbossche, J. M., & Yu, H. T. (2017). Using Falling Weight Deflectometer Data with Mechanistic-Empirical Design and Analysis, Volume I: Final Report. *Report No. Fhwa-Hrt-16-009. Federal Highway*

*Administration*, I(March), 1–170.

<https://www.fhwa.dot.gov/publications/research/infrastructure/pavements/16009/16009.pdf>

Thenoux, G., & Gaete, R. (1995). Evaluación Técnica Del Pavimento Y De Refuerzo Asfáltico.

*Revista Ingeniería de Construcción*, 14, 22.

<http://www.ricuc.cl/index.php/ric/article/view/364/306>

Vanegas Bernal, M. I. (2003). *Estudio de metodologías de retrocálculo de los módulos de las capas de pavimento a partir de las deflexiones tomadas con el deflectografo lacroix*

[[Tesis Maestría]. Universidad de los Andes].

<https://repositorio.uniandes.edu.co/bitstream/handle/1992/10030/u240094.pdf?isAllowed=y&sequence=1>

Vargas, M. (2017). *Metodología para la estimación del número estructural efectivo de los pavimentos flexibles recién construidos y su capacidad estructural* [Tesis Maestría

Universidad Militar Nueva Granada].

<https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/17379/VargasGuerreroMichelAntony2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

## IX. ANEXOS

Tabla 12

*Matriz de Consistencia*

DEFLECTOMETRÍA DE IMPACTO EN LA EVALUACIÓN ESTRUCTURAL, CARRETERA CENTRAL KM 12+250 – KM 26+500, LIMA 2020			
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPOTESIS	VARIABLES
<b>Problema general</b>	<b>Objetivo General</b>	<b>Hipótesis General</b>	<b>X: Variable Independiente</b>
¿Cuál es la incidencia de la Deflectometría de Impacto en la evaluación estructural, Carretera Central km 12+250 al km 26+500, ¿Lima 2020?	Determinar la Incidencia de la deflectometría de impacto en la evaluación estructural de la Carretera Central km 12+250 al km 26+500, Lima Metropolitana 2020.	La Deflectometría de Impacto incide significativamente en la evaluación estructural de la Carretera Central km 12+250 al km 26+500, Lima 2020.	Deflectometría de Impacto en Pavimentos
<b>Problema Especifico</b>	<b>Objetivos Específicos</b>	<b>Hipótesis Específicos</b>	<b>Y: Variable Dependiente</b>
a) ¿Cuáles la incidencia de la aplicación de las técnicas del retrocálculo para la evaluación estructural en la Carretera Central km 12+250 al km 26+500, Lima 2020?	a) Establecer la incidencia de la aplicación de las técnicas del retrocálculo para la evaluación estructural en la Carretera Central km 12+250 – km 26+500, Lima 2020.	a) La aplicación de la técnica del retrocálculo incide significativamente en la evaluación estructural en la Carretera Central km 12+250 – km 26+500, Lima 2020.	

b) ¿Cuál es la incidencia de las cargas en el pavimento en la evaluación estructural en la Carretera Central km 12+250 al km 26+500, Lima 2020?	b) Establecer las incidencias de las cargas en el pavimento en la evaluación estructural de la Carretera Central km 12+250 al km 26+500, Lima 2020.	b) Las cargas en pavimentos inciden significativamente en la evaluación estructural de la Carretera Central km 12+250 – km 26+500, Lima 2020.	Evaluación Estructural
c) ¿Cuál es la incidencia del área del cuenco de deflexiones en la capacidad estructural del pavimento en la Carretera Central km 12+250 al km 26+500, Lima 2020?	c) Establecer la incidencia del área del cuenco de deflexiones en la capacidad estructural de los pavimentos en la Carretera Central km 12+250 al km 26+500, Lima 2020.	c) El área del cuenco de deflexiones de los pavimentos incide significativamente en la capacidad estructural de la Carretera Central km 12+250 al km 26+500, Lima 2020.	

*Nota.* Elaboración Propia.

## **Validación y confiabilidad de Instrumentos**

La confiabilidad de nuestro instrumento refiere al grado en que su aplicación repetida al mismo objeto produce resultados iguales. Es así como el deflectómetro de impacto aplicando una carga de forma repetida en un punto, refleja vibraciones medibles en un tiempo determinado las cuales se registran evidenciando la deflexión del pavimento, la relación de dichos resultados genera un conjunto total de ítems es dividido en dos mitades y se comparan las puntuaciones obtenidas en ambas mediciones se encuentran sustancialmente correlacionadas. En la siguiente figura se muestra el certificado de calibración el cual avala la toma de datos tomada en campo.

### **Figura 34**

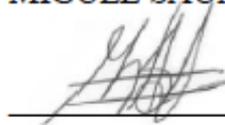
*Certificado de Calibración del Deflectómetro de Impacto Usado en la toma de Datos de Campo*



## FWD Calibration

Date of Calibration: 10-may-2018  
 Calibration Center: GeoSense SAS  
 Calibration Center Operator: MIGUEL SAUMETT

Signature



FWD Owner: ITINERIS\_FWD\_FV071  
 FWD Manufacturer: KUAB  
 FWD Model: model 150  
 FWD Serial Number: FV071  
 FWD Operator: ING DANIEL SANCHEZ

Reference Load Cell: HS009  
 Reference Accelerometer: SN 24066  
 WinFWDCal Software: Version 2.2.12

### LOAD CELL CALIBRATION

Serial Number	Initial Gain	Reference Gains		Average Gain	Final Gain
		1	2		
9949050	1.009	1.014	1.012	1.013	1.013

### DEFLECTION SENSOR CALIBRATION

Serial Number	Initial Gain	Reference Gains		Relative Gains		Final Gain
		1	2	1	2	
9201	1.020	1.053	1.053	1.020	1.020	1.020
9202	1.045	1.103	1.103	1.046	1.045	1.045
9203	1.051	1.102	1.102	1.050	1.051	1.051
9204	1.039	1.073	1.073	1.038	1.038	1.038
9205	1.065	1.128	1.128	1.065	1.064	1.065
9206	1.034	1.066	1.066	1.034	1.034	1.034
9207	1.063	1.127	1.127	1.063	1.063	1.063

#### Messages:

##### Load Cell:

All data checks passed

##### Sensor Reference Calibration:

Reference Calibrations Accepted.

Reference Trial Acceptance Criteria Met.

##### Sensor Relative Calibration:

Sensor Calibration Completed!

Final Acceptance Criteria are met for all sensors.

**Tabla 13.***Deflexiones Calzada Derecha*

Abscisa	Calzada Derecha	Temperatura	Espesor Carpeta asfáltica	DATOS OBTENIDOS EN CAMPO					EAC	D <sub>0</sub> compres
				Carga	Deflexiones medidas en $\mu\text{m}$					
					d <sub>0</sub>	d <sub>1</sub>	d <sub>2</sub>	d <sub>3</sub>		
(Km)	Carril	°C	Pulgadas	kN	0 cm	30 cm	60 cm	90 cm	PSI	$\mu\text{m}$
12+300	Central	27	4.7	53.30	177	157	142	115	478,700	11.3
12+400	Izquierdo	23	4.7	54.60	98	82	72	57	641,519	8.0
12+500	Central	24	4.7	53.00	79	60	59	43	597,662	8.7
12+600	Izquierdo	23	4.7	50.10	70	56	49	37	641,519	8.0
12+700	Central	23	4.7	53.90	86	66	63	45	641,519	8.0
12+800	Izquierdo	22	4.7	53.70	203	219	148	73	687,502	7.4
12+900	Central	22	4.7	54.00	99	82	75	58	687,502	7.4
13+000	Izquierdo	23	4.7	54.10	97	84	78	63	641,519	8.0
13+100	Central	22	4.7	53.70	113	85	79	61	687,502	7.4
13+200	Izquierdo	22	4.7	54.10	103	93	85	65	687,502	7.4
13+300	Central	23	4.7	53.80	109	81	71	56	641,519	8.0
13+400	Izquierdo	21	4.7	54.80	87	70	67	49	735,608	6.8
13+500	Central	21	4.7	53.60	90	74	68	49	735,608	6.8
13+600	Izquierdo	23	4.7	54.50	88	72	68	55	641,519	8.0
13+700	Central	21	4.7	53.40	83	62	49	37	735,608	6.8
13+800	Izquierdo	22	4.3	54.50	73	58	55	44	687,502	6.6
13+900	Central	23	4.3	54.30	92	79	68	55	641,519	7.2
14+000	Izquierdo	21	4.3	54.10	113	96	91	70	735,608	6.1
14+100	Central	22	4.3	54.30	123	78	59	43	687,502	6.6
14+200	Izquierdo	24	4.3	54.90	99	81	77	62	597,662	7.9

Abscisa	Calzada Derecha	Temperatura	Espesor Carpeta asfáltica	DATOS OBTENIDOS EN CAMPO					EAC	D <sub>0</sub> compres
				Carga	Deflexiones medidas en $\mu\text{m}$					
					d <sub>0</sub>	d <sub>1</sub>	d <sub>2</sub>	d <sub>3</sub>		
(Km)	Carril	°C	Pulgadas	kN	0 cm	30 cm	60 cm	90 cm	PSI	$\mu\text{m}$
14+300	Central	22	4.3	54.50	125	79	56	44	687,502	6.6
14+400	Izquierdo	23	4.3	54.30	92	78	73	68	641,519	7.2
14+500	Central	25	4.3	52.90	144	122	110	88	555,920	8.6
14+600	Izquierdo	20	4.3	54.00	117	99	94	78	785,827	5.6
14+700	Central	23	4.3	54.20	115	88	77	64	641,519	7.2
14+800	Izquierdo	23	4.7	53.30	97	81	75	63	641,519	8.0
14+900	Central	22	4.7	54.10	142	108	89	70	687,502	7.4
15+000	Izquierdo	23	4.7	54.10	97	83	77	61	641,519	8.0
15+100	Central	25	4.7	53.50	165	128	108	86	555,920	9.5
15+201	Izquierdo	23	4.7	53.90	110	92	83	68	641,519	8.0
15+300	Central	23	4.7	52.40	173	128	105	76	641,519	8.0
15+400	Izquierdo	24	4.7	53.60	118	100	100	83	597,662	8.7
15+500	Central	23	4.7	53.90	175	141	123	95	641,519	8.0
15+600	Izquierdo	27	4.7	54.10	102	88	86	73	478,700	11.3
15+700	Central	24	4.7	52.20	168	126	110	88	597,662	8.7
15+800	Izquierdo	24	4.7	54.40	99	78	74	61	597,662	8.7
15+900	Central	23	4.7	53.30	192	150	123	95	641,519	8.0
16+000	Izquierdo	24	4.7	53.30	96	78	70	56	597,662	8.7
16+100	Central	22	4.7	54.20	105	84	74	59	687,502	7.4
16+201	Izquierdo	22	4.7	54.60	104	86	78	59	687,502	7.4
16+300	Central	24	4.7	53.80	137	110	100	73	597,662	8.7
16+400	Izquierdo	22	4.7	54.60	80	67	66	50	687,502	7.4
16+500	Central	24	4.7	53.60	144	115	99	78	597,662	8.7
16+600	Izquierdo	24	4.7	55.10	114	85	81	69	597,662	8.7
16+700	Central	22	4.7	52.80	108	82	71	57	687,502	7.4
16+800	Izquierdo	23	4.3	52.30	87	71	65	56	641,519	7.2

Abscisa	Calzada Derecha	Temperatura	Espesor Carpeta asfáltica	DATOS OBTENIDOS EN CAMPO					EAC	D <sub>0</sub> compres
				Carga	Deflexiones medidas en $\mu\text{m}$					
					d <sub>0</sub>	d <sub>1</sub>	d <sub>2</sub>	d <sub>3</sub>		
(Km)	Carril	°C	Pulgadas	kN	0 cm	30 cm	60 cm	90 cm	PSI	$\mu\text{m}$
16+900	Central	24	4.3	55.20	106	87	80	58	597,662	7.9
17+000	Izquierdo	22	4.3	55.50	98	80	69	57	687,502	6.6
17+100	Central	22	4.3	50.80	453	253	104	57	687,502	6.6
17+200	Izquierdo	24	4.3	54.50	113	91	84	70	597,662	7.9
17+400	Izquierdo	21	4.7	53.50	58	48	42	33	735,608	6.8
17+500	Central	22	4.7	53.20	97	72	57	49	687,502	7.4
17+606	Izquierdo	25	4.7	51.50	125	106	94	78	555,920	9.5
17+700	Central	24	4.7	53.40	183	142	111	86	597,662	8.7
17+800	Izquierdo	24	3.1	55.00	109	72	58	47	597,662	5.3
17+900	Central	22	3.1	53.60	126	99	70	56	687,502	4.5
18+001	Izquierdo	24	3.1	54.70	120	84	69	51	597,662	5.3
18+200	Izquierdo	24	3.1	53.90	189	130	101	76	597,662	5.3
18+300	Central	22	3.1	53.60	139	95	86	66	687,502	4.5
18+401	Izquierdo	22	3.0	54.60	144	124	113	93	687,502	4.1
18+500	Central	24	3.0	53.60	160	117	87	68	597,662	4.9
18+605	Izquierdo	24	3.0	54.70	190	119	72	45	597,662	4.9
18+700	Central	23	3.0	52.80	270	181	101	60	641,519	4.5
18+800	Izquierdo	22	3.0	53.40	239	175	126	81	687,502	4.1
18+900	Central	24	3.0	54.60	175	142	120	97	597,662	4.9
19+000	Izquierdo	24	3.0	54.30	125	88	61	41	597,662	4.9
19+100	Central	22	3.0	53.40	176	158	136	108	687,502	4.1
19+200	Izquierdo	21	3.0	55.00	119	96	81	59	735,608	3.8
19+300	Central	23	3.0	53.30	268	232	196	148	641,519	4.5
19+400	Izquierdo	23	3.0	54.80	189	148	124	95	641,519	4.5
19+500	Central	22	3.0	54.10	188	169	160	124	687,502	4.1
19+600	Izquierdo	21	3.0	54.80	125	107	99	79	735,608	3.8

Abscisa	Calzada Derecha	Temperatura	Espesor Carpeta asfáltica	DATOS OBTENIDOS EN CAMPO					EAC	D <sub>0</sub> compres
				Carga	Deflexiones medidas en $\mu\text{m}$					
					d <sub>0</sub>	d <sub>1</sub>	d <sub>2</sub>	d <sub>3</sub>		
(Km)	Carril	°C	Pulgadas	kN	0 cm	30 cm	60 cm	90 cm	PSI	$\mu\text{m}$
19+700	Central	23	3.0	51.50	235	162	120	95	641,519	4.5
19+800	Izquierdo	24	3.0	54.50	129	105	77	57	597,662	4.9
19+900	Central	21	3.0	52.60	138	99	74	52	735,608	3.8
20+000	Izquierdo	24	3.0	54.90	86	70	59	49	597,662	4.9
20+100	Central	22	3.0	54.40	100	75	52	28	687,502	4.1
20+200	Izquierdo	25	3.0	54.40	129	110	104	77	555,920	5.4
20+300	Central	21	3.0	53.70	257	207	152	101	735,608	3.8
20+400	Izquierdo	22	3.0	54.90	148	129	113	95	687,502	4.1
20+500	Central	23	3.0	54.50	113	101	94	75	641,519	4.5
20+600	Izquierdo	21	3.0	54.70	113	95	84	66	735,608	3.8
20+700	Central	24	3.0	54.10	159	135	120	98	597,662	4.9
20+800	Izquierdo	23	3.0	54.60	158	135	117	94	641,519	4.5
20+900	Central	23	3.0	53.30	181	150	133	102	641,519	4.5
21+000	Izquierdo	22	3.0	54.70	124	105	93	78	687,502	4.1
21+100	Central	24	3.0	55.20	104	91	84	62	597,662	4.9
21+201	Izquierdo	22	3.0	54.80	115	95	85	68	687,502	4.1
21+300	Central	24	3.0	55.10	95	83	72	54	597,662	4.9
21+400	Izquierdo	23	2.8	54.40	181	128	111	81	641,519	4.1
21+500	Central	24	2.8	54.40	88	74	64	51	597,662	4.5
21+600	Izquierdo	22	2.8	54.50	162	119	99	77	687,502	3.8
21+700	Central	24	2.8	54.80	104	83	79	53	597,662	4.5
21+800	Izquierdo	21	2.8	54.80	145	98	70	49	735,608	3.4
21+900	Central	23	2.8	55.10	134	111	99	73	641,519	4.1
22+000	Izquierdo	19	2.8	54.30	137	118	97	78	838,133	2.9
22+100	Central	22	2.8	54.60	193	143	101	70	687,502	3.8
22+200	Izquierdo	21	2.8	55.40	89	68	54	35	735,608	3.4

Abscisa	Calzada Derecha	Temperatura	Espesor Carpeta asfáltica	DATOS OBTENIDOS EN CAMPO					EAC	D <sub>0</sub> compres
				Carga	Deflexiones medidas en $\mu\text{m}$					
					d <sub>0</sub>	d <sub>1</sub>	d <sub>2</sub>	d <sub>3</sub>		
(Km)	Carril	°C	Pulgadas	kN	0 cm	30 cm	60 cm	90 cm	PSI	$\mu\text{m}$
22+300	Central	23	2.8	52.00	456	357	284	209	641,519	4.1
22+400	Izquierdo	23	2.8	53.60	176	130	87	57	641,519	4.1
22+500	Central	21	2.8	53.40	237	170	117	78	735,608	3.4
22+600	Izquierdo	22	2.8	53.90	108	92	86	62	687,502	3.8
22+700	Central	24	2.8	53.80	144	101	77	56	597,662	4.5
22+806	Izquierdo	20	2.8	54.80	149	96	73	52	785,827	3.1
22+900	Central	22	2.8	54.70	148	105	84	56	687,502	3.8
23+000	Izquierdo	24	2.8	55.10	99	78	62	44	597,662	4.5
23+100	Central	21	2.8	54.80	111	94	88	61	735,608	3.4
23+201	Izquierdo	23	2.8	54.40	134	109	93	64	641,519	4.1
23+300	Central	24	2.8	53.30	330	266	206	153	597,662	4.5
23+400	Izquierdo	21	2.8	55.00	122	90	73	48	735,608	3.4
23+500	Central	22	2.8	54.10	166	146	139	117	687,502	3.8
23+600	Izquierdo	24	2.8	54.70	83	64	61	48	597,662	4.5
23+700	Central	21	2.8	53.90	243	191	147	109	735,608	3.4
23+800	Izquierdo	21	2.8	54.40	154	135	129	105	735,608	3.4
23+900	Central	23	2.8	54.40	187	157	134	109	641,519	4.1
24+000	Izquierdo	19	2.8	54.70	102	82	73	57	838,133	2.9
24+100	Central	22	2.8	53.50	160	141	131	103	687,502	3.8
24+200	Izquierdo	21	2.8	53.90	144	119	103	84	735,608	3.4
24+300	Central	23	2.8	55.10	153	126	116	100	641,519	4.1
24+400	Izquierdo	23	3.9	53.20	151	129	121	100	641,519	6.4
24+500	Central	21	3.9	53.70	146	117	102	79	735,608	5.4
24+600	Izquierdo	22	3.9	54.00	96	77	72	59	687,502	5.9
24+711	Central	24	3.9	53.90	185	156	148	119	597,662	7.0
24+800	Izquierdo	20	3.9	51.80	316	225	152	105	785,827	5.0

Abscisa	Calzada Derecha	Temperatura	Espesor Carpeta asfáltica	DATOS OBTENIDOS EN CAMPO					EAC	D <sub>0</sub> compres
				Carga	Deflexiones medidas en $\mu\text{m}$					
					d <sub>0</sub>	d <sub>1</sub>	d <sub>2</sub>	d <sub>3</sub>		
(Km)	Carril	°C	Pulgadas	kN	0 cm	30 cm	60 cm	90 cm	PSI	$\mu\text{m}$
24+900	Central	22	2.4	54.70	105	75	71	56	687,502	3.1
25+000	Izquierdo	21	2.4	53.60	184	99	55	36	735,608	2.8
25+100	Central	23	2.4	54.20	100	66	54	40	641,519	3.4
25+200	Izquierdo	21	2.4	54.90	130	89	60	42	735,608	2.8
25+300	Central	22	2.4	53.80	213	128	87	65	687,502	3.1
25+400	Izquierdo	21	4.7	54.80	142	97	82	64	735,608	6.8
25+500	Central	21	4.7	54.00	143	96	66	41	735,608	6.8
25+600	Izquierdo	19	4.7	55.00	120	66	47	36	838,133	5.8
25+700	Central	22	4.7	54.70	159	113	91	69	687,502	7.4
25+801	Izquierdo	23	4.7	55.10	124	77	62	50	641,519	8.0
25+900	Central	23	4.7	54.30	153	118	90	60	641,519	8.0
26+000	Izquierdo	22	4.7	54.60	176	110	83	63	687,502	7.4
26+100	Central	24	4.7	54.90	115	93	83	64	597,662	8.7
26+201	Izquierdo	22	4.7	55.00	118	69	57	42	687,502	7.4
26+300	Central	24	4.7	54.50	130	83	54	31	597,662	8.7
26+405	Izquierdo	23	5.5	55.30	105	72	59	46	641,519	9.6
26+500	Central	24	5.5	54.40	108	75	65	54	597,662	10.5
26+600	Izquierdo	22	5.5	55.30	110	65	48	37	687,502	8.9

Nota. Elaboración Propia.

**Tabla 14***Deflexiones Calzada Izquierda.*

Abscisa	Calzada izquierda	Temperatura	Espesor Carpeta asfáltica	DATOS OBTENIDOS EN CAMPO					EAC	D <sub>0</sub> compres
				Carga	Deflexiones medidas en $\mu\text{m}$					
					d <sub>0</sub>	d <sub>1</sub>	d <sub>2</sub>	d <sub>3</sub>		
(Km)	Carril	°C	Pulgadas	kN	0 cm	30 cm	60 cm	90 cm	PSI	$\mu\text{m}$
K12+300	Izquierdo	22	3.9	53.9	242	177	135	92	687,502	5.9
K12+400	Derecho	22	3.9	54.4	187	131	94	73	687,502	5.9
K12+500	Izquierdo	22	3.9	54.8	141	135	107	83	687,502	5.9
K12+600	Derecho	22	3.9	55.5	113	90	75	48	687,502	5.9
K12+700	Izquierdo	21	3.9	54	111	95	72	51	735,608	5.4
K12+800	Derecho	21	3.9	55.1	97	87	72	48	735,608	5.4
K12+900	Izquierdo	21	3.9	54.8	99	78	63	49	735,608	5.4
K13+000	Derecho	21	3.9	54.3	155	112	77	40	735,608	5.4
K13+100	Izquierdo	22	3.9	54.9	103	84	69	53	687,502	5.9
K13+200	Derecho	22	3.9	54.8	141	101	64	35	687,502	5.9
K13+300	Izquierdo	20	3.9	54.4	162	136	120	86	785,827	5.0
K13+400	Derecho	21	3.9	50.3	127	94	54	31	735,608	5.4
K13+500	Izquierdo	20	3.9	54.4	121	98	79	62	785,827	5.0
K13+600	Derecho	22	3.9	50.2	96	68	41	19	687,502	5.9
K13+700	Izquierdo	21	3.9	54.9	123	102	88	73	735,608	5.4
K13+800	Derecho	21	3.9	54.8	132	90	56	33	735,608	5.4
K13+900	Izquierdo	21	3.9	54.2	157	140	127	103	735,608	5.4
K14+000	Derecho	21	3.9	53.5	169	117	72	37	735,608	5.4
K14+100	Izquierdo	21	3.9	54.9	85	72	63	51	735,608	5.4
K14+200	Derecho	21	3.9	54.3	168	128	94	64	735,608	5.4
K14+300	Izquierdo	21	3.9	55.2	94	84	73	51	735,608	5.4

Abscisa	Calzada izquierda	Temperatura	Espesor Carpeta asfáltica	DATOS OBTENIDOS EN CAMPO					EAC	D <sub>0</sub> compres
				Carga	Deflexiones medidas en $\mu\text{m}$					
					d <sub>0</sub>	d <sub>1</sub>	d <sub>2</sub>	d <sub>3</sub>		
(Km)	Carril	°C	Pulgadas	kN	0 cm	30 cm	60 cm	90 cm	PSI	$\mu\text{m}$
K14+400	Derecho	21	3.9	54.1	182	140	98	59	735,608	5.4
K14+500	Izquierdo	21	3.9	54.8	146	128	107	75	735,608	5.4
K14+600	Derecho	21	3.9	53.3	251	196	142	89	735,608	5.4
K14+700	Izquierdo	20	3.9	54.5	148	127	114	95	785,827	5.0
K14+800	Derecho	22	3.9	52.8	263	198	135	85	687,502	5.9
K14+900	Izquierdo	20	3.9	54.6	149	127	115	87	785,827	5.0
K15+000	Derecho	21	3.9	53.2	267	209	149	93	735,608	5.4
K15+100	Izquierdo	21	3.9	54.2	158	138	123	97	735,608	5.4
K15+200	Derecho	21	3.9	54.3	166	122	82	48	735,608	5.4
K15+300	Izquierdo	22	3.9	55	143	120	101	79	687,502	5.9
K15+400	Derecho	21	3.9	53.1	266	209	150	103	735,608	5.4
K15+500	Izquierdo	21	3.9	54.7	118	101	89	68	735,608	5.4
K15+600	Derecho	20	3.9	53.9	176	134	96	59	785,827	5.0
K15+700	Izquierdo	21	3.9	54.5	138	116	109	86	735,608	5.4
K15+800	Derecho	20	3.9	52.3	259	195	127	82	785,827	5.0
K15+900	Izquierdo	22	3.9	54.8	161	133	118	89	687,502	5.9
K16+000	Derecho	21	3.9	53.3	234	196	140	95	735,608	5.4
K16+099	Izquierdo	21	3.9	54.9	141	118	102	77	735,608	5.4
K16+200	Derecho	21	3.9	52.9	248	200	144	89	735,608	5.4
K16+300	Izquierdo	21	3.9	53.9	189	163	150	127	735,608	5.4
K16+400	Derecho	21	3.9	53.9	223	147	94	54	735,608	5.4
K16+500	Izquierdo	21	3.9	54.2	222	187	158	125	735,608	5.4
K16+600	Derecho	21	3.9	52.3	360	278	192	116	735,608	5.4
K16+700	Izquierdo	21	3.9	54.6	137	117	96	72	735,608	5.4
K16+800	Derecho	22	3.9	53.2	635	409	249	95	687,502	5.9
K16+900	Izquierdo	22	3.9	54.4	109	91	77	56	687,502	5.9

Abscisa	Calzada izquierda	Temperatura	Espesor Carpeta asfáltica	DATOS OBTENIDOS EN CAMPO							EAC	D <sub>0</sub> compres
				Carga	Deflexiones medidas en $\mu\text{m}$							
					d <sub>0</sub>	d <sub>1</sub>	d <sub>2</sub>	d <sub>3</sub>				
(Km)	Carril	°C	Pulgadas	kN	0 cm	30 cm	60 cm	90 cm	PSI	$\mu\text{m}$		
K17+000	Derecho	21	3.9	51.6	366	278	175	113	735,608	5.4		
K17+100	Izquierdo	21	3.9	54.6	109	86	79	63	735,608	5.4		
K17+200	Derecho	21	3.9	54.1	175	123	73	42	735,608	5.4		
K17+300	Izquierdo	21	3.9	54.6	79	67	55	39	735,608	5.4		
K17+400	Derecho	21	3.9	54.4	118	81	51	28	735,608	5.4		
K17+500	Izquierdo	22	3.9	53.7	59	48	32	25	687,502	5.9		
K17+600	Derecho	22	3.9	51.1	465	501	89	50	687,502	5.9		
K17+697	Izquierdo	23	3.9	55.0	87	71	57	40	641,519	6.4		
K17+800	Derecho	21	3.9	54.6	134	99	67	45	735,608	5.4		
K17+900	Izquierdo	21	3.9	54.8	103	85	70	54	735,608	5.4		
K18+000	Derecho	21	3.9	53.9	216	172	74	47	735,608	5.4		
K18+100	Izquierdo	21	3.9	54.0	142	118	107	78	735,608	5.4		
K18+200	Derecho	23	3.9	54.3	152	110	76	39	641,519	6.4		
K18+300	Izquierdo	21	3.9	53.5	134	116	96	70	735,608	5.4		
K18+400	Derecho	21	3.9	52.1	450	288	134	55	735,608	5.4		
K18+500	Izquierdo	21	3.9	54.7	104	85	75	64	735,608	5.4		
K18+600	Derecho	22	3.9	55.2	66	53	44	27	687,502	5.9		
K18+700	Izquierdo	22	3.9	54.2	155	110	81	57	687,502	5.9		
K18+800	Derecho	21	3.9	55.2	82	70	61	44	735,608	5.4		
K18+900	Izquierdo	21	3.9	53.4	253	191	141	99	735,608	5.4		
K19+000	Derecho	22	3.9	54.2	112	97	87	65	687,502	5.9		
K19+100	Izquierdo	22	3.9	54.5	181	121	94	70	687,502	5.9		
K19+200	Derecho	22	3.9	55.1	89	77	67	47	687,502	5.9		
K19+300	Izquierdo	22	3.1	54.4	201	147	125	104	687,502	4.5		
K19+400	Derecho	22	3.1	54.6	161	118	100	77	687,502	4.5		
K19+500	Izquierdo	22	3.1	53.9	156	95	81	67	687,502	4.5		

Abscisa	Calzada izquierda	Temperatura	Espesor Carpeta asfáltica	DATOS OBTENIDOS EN CAMPO							EAC	D <sub>0</sub> compres
				Carga	Deflexiones medidas en $\mu\text{m}$							
					d <sub>0</sub>	d <sub>1</sub>	d <sub>2</sub>	d <sub>3</sub>				
(Km)	Carril	°C	Pulgadas	kN	0 cm	30 cm	60 cm	90 cm	PSI	$\mu\text{m}$		
K19+600	Derecho	24	3.1	54.7	87	73	64	41	597,662	5.3		
K19+700	Izquierdo	22	3.1	52.7	160	132	69	44	687,502	4.5		
K19+800	Derecho	23	2.8	53.9	126	114	99	83	641,519	4.1		
K19+900	Izquierdo	23	2.8	54.6	150	100	81	58	641,519	4.1		
K20+000	Derecho	23	2.8	54	215	178	150	112	641,519	4.1		
K20+100	Izquierdo	22	2.8	54.4	133	108	91	74	687,502	3.8		
K20+200	Derecho	23	2.8	52.7	204	176	148	113	641,519	4.1		
K20+300	Izquierdo	21	2.8	53.5	255	196	144	118	735,608	3.4		
K20+400	Derecho	23	2.8	54.9	114	100	91	69	641,519	4.1		
K20+495	Izquierdo	23	2.8	54.8	116	98	87	69	641,519	4.1		
K20+600	Derecho	23	2.8	54.4	96	87	78	56	641,519	4.1		
K20+700	Izquierdo	23	2.8	53.9	244	186	142	111	641,519	4.1		
K20+799	Derecho	22	2.8	54.9	139	123	115	93	687,502	3.8		
K20+900	Izquierdo	22	2.8	54.3	150	122	110	93	687,502	3.8		
K21+000	Derecho	22	2.8	53.4	238	187	140	98	687,502	3.8		
K21+100	Izquierdo	21	2.8	55.1	177	110	88	74	735,608	3.4		
K21+200	Derecho	22	2.8	53.9	173	122	80	45	687,502	3.8		
K21+300	Izquierdo	22	2.8	54.3	160	131	100	69	687,502	3.8		
K21+400	Derecho	22	2.8	53.4	228	172	118	71	687,502	3.8		
K21+500	Izquierdo	22	2.8	54.7	100	84	73	58	687,502	3.8		
K21+600	Derecho	22	2.8	54.6	150	109	71	33	687,502	3.8		
K21+700	Izquierdo	21	2.8	54.6	144	115	92	62	735,608	3.4		
K21+800	Derecho	23	2.8	54.1	168	123	82	42	641,519	4.1		
K21+900	Izquierdo	23	2.8	55.2	105	84	71	53	641,519	4.1		
K22+000	Derecho	22	2.8	53.3	309	219	135	73	687,502	3.8		
K22+094	Izquierdo	21	2.8	55.1	99	78	71	56	735,608	3.4		

Abscisa	Calzada izquierda	Temperatura	Espesor Carpeta asfáltica	DATOS OBTENIDOS EN CAMPO					EAC	D <sub>0</sub> compres
				Carga	Deflexiones medidas en $\mu\text{m}$					
					d <sub>0</sub>	d <sub>1</sub>	d <sub>2</sub>	d <sub>3</sub>		
(Km)	Carril	°C	Pulgadas	kN	0 cm	30 cm	60 cm	90 cm	PSI	$\mu\text{m}$
K22+200	Derecho	22	2.8	53.9	243	167	107	73	687,502	3.8
K22+300	Izquierdo	21	2.8	53.6	278	210	135	86	735,608	3.4
K22+400	Derecho	22	2.8	52.9	349	253	168	110	687,502	3.8
K22+500	Izquierdo	21	2.8	54.5	128	106	84	56	735,608	3.4
K22+600	Derecho	21	2.8	54.4	182	129	90	60	735,608	3.4
K22+700	Izquierdo	21	2.8	53.9	236	149	88	57	735,608	3.4
K22+800	Derecho	22	2.8	54.5	172	127	95	64	687,502	3.8
K22+899	Izquierdo	22	2.8	54.9	100	75	63	50	687,502	3.8
K23+000	Derecho	21	2.8	54.4	130	83	47	23	735,608	3.4
K23+100	Izquierdo	22	2.8	54	195	124	95	70	687,502	3.8
K23+200	Derecho	22	2.8	53.3	225	158	95	56	687,502	3.8
K23+300	Izquierdo	22	2.8	54	213	165	125	90	687,502	3.8
K23+400	Derecho	22	2.8	54.4	147	96	64	36	687,502	3.8
K23+500	Izquierdo	22	2.8	53.8	219	197	175	146	687,502	3.8
K23+600	Derecho	21	2.8	52.4	354	253	146	80	735,608	3.4
K23+700	Izquierdo	22	2.8	51.9	416	306	201	128	687,502	3.8
K23+800	Derecho	20	2.8	52.5	247	189	132	79	785,827	3.1
K23+895	Izquierdo	22	2.8	54.4	147	87	56	40	687,502	3.8
K24+000	Derecho	23	2.8	53.8	140	95	58	31	641,519	4.1
K24+100	Izquierdo	21	2.8	51.8	211	178	152	114	735,608	3.4
K24+200	Derecho	22	2.8	53.9	207	149	84	37	687,502	3.8
K24+300	Izquierdo	21	2.8	51.5	238	173	130	94	735,608	3.4
K24+400	Derecho	23	2.8	53.7	263	188	118	63	641,519	4.1
K24+500	Izquierdo	23	2.8	54.6	123	106	91	74	641,519	4.1
K24+600	Derecho	22	2.8	52.3	350	264	173	106	687,502	3.8
K24+700	Izquierdo	22	2.8	54.2	127	111	104	90	687,502	3.8

Abscisa	Calzada izquierda	Temperatura	Espesor Carpeta asfáltica	DATOS OBTENIDOS EN CAMPO					EAC	D <sub>0</sub> compres
				Carga	Deflexiones medidas en $\mu\text{m}$					
					d <sub>0</sub>	d <sub>1</sub>	d <sub>2</sub>	d <sub>3</sub>		
(Km)	Carril	°C	Pulgadas	kN	0 cm	30 cm	60 cm	90 cm	PSI	$\mu\text{m}$
K24+800	Derecho	22	2.8	53.4	304	227	147	85	687,502	3.8
K24+900	Izquierdo	21	2.8	52.3	238	170	106	60	735,608	3.4
K25+000	Derecho	23	2.8	53.6	206	142	86	52	641,519	4.1
K25+100	Izquierdo	23	2.8	52.5	334	228	128	61	641,519	4.1
K25+200	Derecho	23	2.8	54.3	174	118	65	30	641,519	4.1
K25+300	Izquierdo	21	2.8	52.1	190	139	90	53	735,608	3.4
K25+400	Derecho	23	2.8	53.9	214	129	65	35	641,519	4.1
K25+500	Izquierdo	21	2.8	54	252	158	75	33	735,608	3.4
K25+600	Derecho	23	2.8	55	109	62	31	19	641,519	4.1
K25+700	Izquierdo	22	2.8	53.7	228	141	68	25	687,502	3.8
K25+800	Derecho	24	2.8	53.9	261	164	91	48	597,662	4.5
K25+900	Izquierdo	21	2.8	50.8	636	488	351	198	735,608	3.4
K26+000	Derecho	23	2.8	54.5	172	109	60	34	641,519	4.1
K26+099	Izquierdo	21	2.8	52	395	262	118	47	735,608	3.4
K26+200	Derecho	23	2.8	53.8	242	158	80	37	641,519	4.1
K26+300	Izquierdo	21	2.8	52.1	423	292	161	92	735,608	3.4
K26+400	Derecho	22	2.8	51.5	476	296	144	63	687,502	3.8
K26+500	Izquierdo	22	2.8	51.8	482	307	175	99	687,502	3.8

Nota. Elaboración Propia.

**Tabla 15***Deflexión Máx. corregidas y Área del Cuenco - Calzada Derecha.*

Abscisa	Calzada Derecha	Temperatura	Espesor Carpeta asfáltica	EAC	D <sub>0</sub> compres	DEFLEXIONES CORREGIDAS POR CARGA					Espesor capa de asfalto	Espesor Losa	AREA
						Deflexiones medidas en $\mu\text{m}$							
						d <sub>0c</sub>	d <sub>0compresión</sub>	d <sub>1c</sub>	d <sub>2c</sub>	d <sub>3c</sub>			
(Km)	Carril	°C	Pulgadas	PSI	$\mu\text{m}$	0 cm	0 cm	30 cm	60 cm	90 cm	cm	cm	pulg.
12+300	Central	27	4.7	478,700	11.3	166	155	147	133	108	12.0	40.0	32
12+400	Izquierdo	23	4.7	641,519	8.0	90	82	75	66	52	12.0	40.0	31
12+500	Central	24	4.7	597,662	8.7	75	66	57	56	41	12.0	40.0	30
12+600	Izquierdo	23	4.7	641,519	8.0	70	62	56	49	37	12.0	40.0	30
12+700	Central	23	4.7	641,519	8.0	80	72	61	58	42	12.0	40.0	30
12+800	Izquierdo	22	4.7	687,502	7.4	189	182	204	138	68	12.0	40.0	31
12+900	Central	22	4.7	687,502	7.4	92	84	76	69	54	12.0	40.0	31
13+000	Izquierdo	23	4.7	641,519	8.0	90	82	78	72	58	12.0	40.0	32
13+100	Central	22	4.7	687,502	7.4	105	98	79	74	57	12.0	40.0	28
13+200	Izquierdo	22	4.7	687,502	7.4	95	88	86	79	60	12.0	40.0	33
13+300	Central	23	4.7	641,519	8.0	101	93	75	66	52	12.0	40.0	28
13+400	Izquierdo	21	4.7	735,608	6.8	79	73	64	61	45	12.0	40.0	30
13+500	Central	21	4.7	735,608	6.8	84	77	69	63	46	12.0	40.0	30
13+600	Izquierdo	23	4.7	641,519	8.0	81	73	66	62	50	12.0	40.0	31
13+700	Central	21	4.7	735,608	6.8	78	71	58	46	35	12.0	40.0	27
13+800	Izquierdo	22	4.3	687,502	6.6	67	60	53	50	40	11.0	40.0	31
13+900	Central	23	4.3	641,519	7.2	85	77	73	63	51	11.0	40.0	31
14+000	Izquierdo	21	4.3	735,608	6.1	104	98	89	84	65	11.0	40.0	31
14+100	Central	22	4.3	687,502	6.6	113	107	72	54	40	11.0	40.0	22
14+200	Izquierdo	24	4.3	597,662	7.9	90	82	74	70	56	11.0	40.0	31
14+300	Central	22	4.3	687,502	6.6	115	108	72	51	40	11.0	40.0	22

Abscisa	Calzada Derecha	Temperatura	Espesor Carpeta asfáltica	EAC	D <sub>0</sub> compres	DEFLEXIONES CORREGIDAS POR CARGA					Espesor capa de asfalto	Espesor Losa	AREA
						Deflexiones medidas en µm							
						d <sub>0c</sub>	d <sub>0compresión</sub>	d <sub>1c</sub>	d <sub>2c</sub>	d <sub>3c</sub>			
(Km)	Carril	°C	Pulgadas	PSI	µm	0 cm	0 cm	30 cm	60 cm	90 cm	cm	cm	pulg.
14+400	Izquierdo	23	4.3	641,519	7.2	85	77	72	67	63	11.0	40.0	32
14+500	Central	25	4.3	555,920	8.6	136	128	115	104	83	11.0	40.0	31
14+600	Izquierdo	20	4.3	785,827	5.6	108	103	92	87	72	11.0	40.0	31
14+700	Central	23	4.3	641,519	7.2	106	99	81	71	59	11.0	40.0	28
14+800	Izquierdo	23	4.7	641,519	8.0	91	83	76	70	59	12.0	30.0	31
14+900	Central	22	4.7	687,502	7.4	131	124	100	82	65	12.0	30.0	27
15+000	Izquierdo	23	4.7	641,519	8.0	90	82	77	71	56	12.0	30.0	32
15+100	Central	25	4.7	555,920	9.5	154	145	120	101	80	12.0	30.0	28
15+201	Izquierdo	23	4.7	641,519	8.0	102	94	85	77	63	12.0	30.0	31
15+300	Central	23	4.7	641,519	8.0	165	157	122	100	73	12.0	39.0	26
15+400	Izquierdo	24	4.7	597,662	8.7	110	101	93	93	77	12.0	39.0	33
15+500	Central	23	4.7	641,519	8.0	162	154	131	114	88	12.0	39.0	28
15+600	Izquierdo	27	4.7	478,700	11.3	94	83	81	79	67	12.0	39.0	34
15+700	Central	24	4.7	597,662	8.7	161	152	121	105	84	12.0	39.0	27
15+800	Izquierdo	24	4.7	597,662	8.7	91	82	72	68	56	12.0	39.0	30
15+900	Central	23	4.7	641,519	8.0	180	172	141	115	89	12.0	39.0	27
16+000	Izquierdo	24	4.7	597,662	8.7	90	81	73	66	53	12.0	39.0	30
16+100	Central	22	4.7	687,502	7.4	97	89	77	68	54	12.0	39.0	29
16+201	Izquierdo	22	4.7	687,502	7.4	95	88	79	71	54	12.0	39.0	30
16+300	Central	24	4.7	597,662	8.7	127	119	102	93	68	12.0	20.0	29
16+400	Izquierdo	22	4.7	687,502	7.4	73	66	61	60	46	12.0	20.0	32
16+500	Central	24	4.7	597,662	8.7	134	126	107	92	73	12.0	20.0	29
16+600	Izquierdo	24	4.7	597,662	8.7	103	95	77	74	63	12.0	20.0	29
16+700	Central	22	4.7	687,502	7.4	102	95	78	67	54	12.0	20.0	28
16+800	Izquierdo	23	4.3	641,519	7.2	83	76	68	62	54	11.0	20.0	31
16+900	Central	24	4.3	597,662	7.9	96	88	79	72	53	11.0	20.0	30

Abscisa	Calzada Derecha	Temperatura	Espesor Carpeta asfáltica	EAC	D <sub>0 compres</sub>	DEFLEXIONES CORREGIDAS POR CARGA					Espesor capa de asfalto	Espesor Losa	AREA
						Deflexiones medidas en µm							
						d <sub>0c</sub>	d <sub>0compresión</sub>	d <sub>1c</sub>	d <sub>2c</sub>	d <sub>3c</sub>			
(Km)	Carril	°C	Pulgadas	PSI	µm	0 cm	0 cm	30 cm	60 cm	90 cm	cm	cm	pulg.
17+000	Izquierdo	22	4.3	687,502	6.6	88	82	72	62	51	11.0	20.0	30
17+100	Central	22	4.3	687,502	6.6	446	439	249	102	56	11.0	20.0	16
17+200	Izquierdo	24	4.3	597,662	7.9	104	96	83	77	64	11.0	20.0	30
17+400	Izquierdo	21	4.7	735,608	6.8	54	47	45	39	31	12.0	37.0	31
17+500	Central	22	4.7	687,502	7.4	91	84	68	54	46	12.0	37.0	27
17+606	Izquierdo	25	4.7	555,920	9.5	121	112	103	91	76	12.0	37.0	31
17+700	Central	24	4.7	597,662	8.7	171	163	133	104	81	12.0	37.0	26
17+800	Izquierdo	24	3.1	597,662	5.3	99	94	65	53	43	8.0	30.0	24
17+900	Central	22	3.1	687,502	4.5	118	113	92	65	52	8.0	30.0	26
18+001	Izquierdo	24	3.1	597,662	5.3	110	104	77	63	47	8.0	30.0	25
18+200	Izquierdo	24	3.1	597,662	5.3	175	170	121	94	71	8.0	30.0	24
18+300	Central	22	3.1	687,502	4.5	130	125	89	80	62	8.0	30.0	25
18+401	Izquierdo	22	3.0	687,502	4.1	132	128	114	103	85	7.5	20.0	30
18+500	Central	24	3.0	597,662	4.9	149	144	109	81	63	7.5	20.0	24
18+605	Izquierdo	24	3.0	597,662	4.9	174	169	109	66	41	7.5	20.0	20
18+700	Central	23	3.0	641,519	4.5	256	251	171	96	57	7.5	20.0	20
18+800	Izquierdo	22	3.0	687,502	4.1	224	220	164	118	76	7.5	20.0	23
18+900	Central	24	3.0	597,662	4.9	160	155	130	110	89	7.5	20.0	28
19+000	Izquierdo	24	3.0	597,662	4.9	115	110	81	56	38	7.5	20.0	23
19+100	Central	22	3.0	687,502	4.1	165	161	148	127	101	7.5	20.0	30
19+200	Izquierdo	21	3.0	735,608	3.8	108	104	87	74	54	7.5	20.0	28
19+300	Central	23	3.0	641,519	4.5	251	247	218	184	139	7.5	20.0	29
19+400	Izquierdo	23	3.0	641,519	4.5	172	168	135	113	87	7.5	20.0	27
19+500	Central	22	3.0	687,502	4.1	174	170	156	148	115	7.5	20.0	32
19+600	Izquierdo	21	3.0	735,608	3.8	114	110	98	90	72	7.5	20.0	30
19+700	Central	23	3.0	641,519	4.5	228	224	157	117	92	7.5	20.0	23

Abscisa	Calzada Derecha	Temperatura	Espesor Carpeta asfáltica	EAC	D <sub>0</sub> compres	DEFLEXIONES CORREGIDAS POR CARGA					Espesor capa de asfalto	Espesor Losa	AREA
						Deflexiones medidas en µm							
						d <sub>0c</sub>	d <sub>0compresión</sub>	d <sub>1c</sub>	d <sub>2c</sub>	d <sub>3c</sub>			
(Km)	Carril	°C	Pulgadas	PSI	µm	0 cm	0 cm	30 cm	60 cm	90 cm	cm	cm	pulg.
19+800	Izquierdo	24	3.0	597,662	4.9	118	113	96	71	52	7.5	20.0	26
19+900	Central	21	3.0	735,608	3.8	131	127	94	70	49	7.5	20.0	24
20+000	Izquierdo	24	3.0	597,662	4.9	78	73	64	54	45	7.5	20.0	29
20+100	Central	22	3.0	687,502	4.1	92	88	69	48	26	7.5	20.0	24
20+200	Izquierdo	25	3.0	555,920	5.4	119	113	101	96	71	7.5	20.0	31
20+300	Central	21	3.0	735,608	3.8	239	236	193	142	94	7.5	20.0	25
20+400	Izquierdo	22	3.0	687,502	4.1	135	131	117	103	87	7.5	20.0	30
20+500	Central	23	3.0	641,519	4.5	104	99	93	86	69	7.5	20.0	32
20+600	Izquierdo	21	3.0	735,608	3.8	103	100	87	77	60	7.5	20.0	29
20+700	Central	24	3.0	597,662	4.9	147	142	125	111	91	7.5	20.0	30
20+800	Izquierdo	23	3.0	641,519	4.5	145	140	124	107	86	7.5	20.0	29
20+900	Central	23	3.0	641,519	4.5	170	165	141	125	96	7.5	20.0	29
21+000	Izquierdo	22	3.0	687,502	4.1	113	109	96	85	71	7.5	20.0	30
21+100	Central	24	3.0	597,662	4.9	94	89	82	76	56	7.5	20.0	31
21+201	Izquierdo	22	3.0	687,502	4.1	105	101	87	78	62	7.5	20.0	29
21+300	Central	24	3.0	597,662	4.9	86	81	75	65	49	7.5	20.0	30
21+400	Izquierdo	23	2.8	641,519	4.1	166	162	118	102	74	7.0	20.0	25
21+500	Central	24	2.8	597,662	4.5	81	76	68	59	47	7.0	20.0	30
21+600	Izquierdo	22	2.8	687,502	3.8	149	145	109	91	71	7.0	20.0	25
21+700	Central	24	2.8	597,662	4.5	95	90	76	72	48	7.0	20.0	29
21+800	Izquierdo	21	2.8	735,608	3.4	132	129	89	64	45	7.0	20.0	22
21+900	Central	23	2.8	641,519	4.1	122	117	101	90	66	7.0	20.0	29
22+000	Izquierdo	19	2.8	838,133	2.9	126	123	109	89	72	7.0	20.0	29
22+100	Central	22	2.8	687,502	3.8	177	173	131	92	64	7.0	20.0	24
22+200	Izquierdo	21	2.8	735,608	3.4	80	77	61	49	32	7.0	20.0	26
22+300	Central	23	2.8	641,519	4.1	438	434	343	273	201	7.0	20.0	26

Abscisa	Calzada Derecha	Temperatura	Espesor Carpeta asfáltica	EAC	D <sub>0 compres</sub>	DEFLEXIONES CORREGIDAS POR CARGA					Espesor capa de asfalto	Espesor Losa	AREA
						Deflexiones medidas en µm							
						d <sub>0c</sub>	d <sub>0compresión</sub>	d <sub>1c</sub>	d <sub>2c</sub>	d <sub>3c</sub>			
(Km)	Carril	°C	Pulgadas	PSI	µm	0 cm	0 cm	30 cm	60 cm	90 cm	cm	cm	pulg.
22+400	Izquierdo	23	2.8	641,519	4.1	164	160	121	81	53	7.0	20.0	23
22+500	Central	21	2.8	735,608	3.4	222	218	159	110	73	7.0	20.0	23
22+600	Izquierdo	22	2.8	687,502	3.8	100	96	85	80	58	7.0	20.0	30
22+700	Central	24	2.8	597,662	4.5	134	129	94	72	52	7.0	20.0	24
22+806	Izquierdo	20	2.8	785,827	3.1	136	133	88	67	47	7.0	20.0	22
22+900	Central	22	2.8	687,502	3.8	135	132	96	77	51	7.0	20.0	24
23+000	Izquierdo	24	2.8	597,662	4.5	90	85	71	56	40	7.0	20.0	27
23+100	Central	21	2.8	735,608	3.4	101	98	86	80	56	7.0	20.0	30
23+201	Izquierdo	23	2.8	641,519	4.1	123	119	100	85	59	7.0	20.0	28
23+300	Central	24	2.8	597,662	4.5	310	305	250	193	144	7.0	20.0	26
23+400	Izquierdo	21	2.8	735,608	3.4	111	107	82	66	44	7.0	20.0	25
23+500	Central	22	2.8	687,502	3.8	153	150	135	128	108	7.0	20.0	31
23+600	Izquierdo	24	2.8	597,662	4.5	76	71	59	56	44	7.0	20.0	29
23+700	Central	21	2.8	735,608	3.4	225	222	177	136	101	7.0	20.0	26
23+800	Izquierdo	21	2.8	735,608	3.4	142	138	124	119	97	7.0	20.0	31
23+900	Central	23	2.8	641,519	4.1	172	168	144	123	100	7.0	20.0	29
24+000	Izquierdo	19	2.8	838,133	2.9	93	90	75	67	52	7.0	20.0	28
24+100	Central	22	2.8	687,502	3.8	150	146	132	122	96	7.0	20.0	31
24+200	Izquierdo	21	2.8	735,608	3.4	134	130	110	96	78	7.0	20.0	29
24+300	Central	23	2.8	641,519	4.1	139	135	114	105	91	7.0	20.0	30
24+400	Izquierdo	23	3.9	641,519	6.4	142	135	121	114	94	10.0	20.0	31
24+500	Central	21	3.9	735,608	5.4	136	131	109	95	74	10.0	20.0	28
24+600	Izquierdo	22	3.9	687,502	5.9	89	83	71	67	55	10.0	20.0	30
24+711	Central	24	3.9	597,662	7.0	172	165	145	137	110	10.0	20.0	31
24+800	Izquierdo	20	3.9	785,827	5.0	305	300	217	147	101	10.0	20.0	23
24+900	Central	22	2.4	687,502	3.1	96	93	69	65	51	6.0	40.0	27

Abscisa	Calzada Derecha	Temperatura	Espesor Carpeta asfáltica	EAC	D <sub>0</sub> compres	DEFLEXIONES CORREGIDAS POR CARGA					Espesor capa de asfalto	Espesor Losa	AREA
						Deflexiones medidas en $\mu\text{m}$							
						d <sub>0c</sub>	d <sub>0compresión</sub>	d <sub>1c</sub>	d <sub>2c</sub>	d <sub>3c</sub>			
(Km)	Carril	°C	Pulgadas	PSI	$\mu\text{m}$	0 cm	0 cm	30 cm	60 cm	90 cm	cm	cm	pulg.
25+000	Izquierdo	21	2.4	735,608	2.8	172	169	92	51	34	6.0	40.0	17
25+100	Central	23	2.4	641,519	3.4	92	89	61	50	37	6.0	40.0	23
25+200	Izquierdo	21	2.4	735,608	2.8	118	116	81	55	38	6.0	40.0	22
25+300	Central	22	2.4	687,502	3.1	198	195	119	81	60	6.0	40.0	20
25+400	Izquierdo	21	4.7	735,608	6.8	130	123	89	75	58	12.0	13.0	25
25+500	Central	21	4.7	735,608	6.8	132	126	89	61	38	12.0	13.0	22
25+600	Izquierdo	19	4.7	838,133	5.8	109	103	60	43	33	12.0	13.0	20
25+700	Central	22	4.7	687,502	7.4	145	138	103	83	63	12.0	13.0	25
25+801	Izquierdo	23	4.7	641,519	8.0	113	105	70	56	45	12.0	13.0	23
25+900	Central	23	4.7	641,519	8.0	141	133	109	83	55	12.0	15.0	26
26+000	Izquierdo	22	4.7	687,502	7.4	161	154	101	76	58	12.0	15.0	22
26+100	Central	24	4.7	597,662	8.7	105	96	85	76	58	12.0	15.0	30
26+201	Izquierdo	22	4.7	687,502	7.4	107	100	63	52	38	12.0	15.0	22
26+300	Central	24	4.7	597,662	8.7	119	111	76	50	28	12.0	15.0	21
26+405	Izquierdo	23	5.5	641,519	9.6	95	85	65	53	42	14.0	15.0	26
26+500	Central	24	5.5	597,662	10.5	99	89	69	60	50	14.0	15.0	27
26+600	Izquierdo	22	5.5	687,502	8.9	99	91	59	43	33	14.0	15.0	22

Nota. Elaboración Propia.

Tabla 16

*Deflexión Máx. corregidas y Área del Cuenco - Calzada Izquierda.*

Abscisa	Calzada izquierda	Temperatura	Espesor Carpeta asfáltica	EAC	D <sub>0</sub> compres	DEFLEXIONES CORREGIDAS POR CARGA					Espesor capa de asfalto	Espesor Losa	AREA
						Deflexiones medidas en $\mu\text{m}$							
						d <sub>0c</sub>	d <sub>0compresión</sub>	d <sub>1c</sub>	d <sub>2c</sub>	d <sub>3c</sub>			
(Km)	Carril	°C	Pulgadas	PSI	$\mu\text{m}$	0 cm	0 cm	30 cm	60 cm	90 cm	cm	cm	pulg
K12+300	Izquierdo	22	3.9	687,502	5.9	224	219	164	125	85	10.0	20.0	24
K12+400	Derecho	22	3.9	687,502	5.9	172	166	120	86	67	10.0	20.0	23
K12+500	Izquierdo	22	3.9	687,502	5.9	129	123	123	98	76	10.0	20.0	31
K12+600	Derecho	22	3.9	687,502	5.9	102	96	81	68	43	10.0	20.0	27
K12+700	Izquierdo	21	3.9	735,608	5.4	103	97	88	67	47	10.0	20.0	28
K12+800	Derecho	21	3.9	735,608	5.4	88	83	79	65	44	10.0	20.0	30
K12+900	Izquierdo	21	3.9	735,608	5.4	90	85	71	57	45	10.0	20.0	27
K13+000	Derecho	21	3.9	735,608	5.4	143	137	103	71	37	10.0	20.0	23
K13+100	Izquierdo	22	3.9	687,502	5.9	94	88	77	63	48	10.0	20.0	28
K13+200	Derecho	22	3.9	687,502	5.9	129	123	92	58	32	10.0	20.0	22
K13+300	Izquierdo	20	3.9	785,827	5.0	149	144	125	110	79	10.0	20.0	29
K13+400	Derecho	21	3.9	735,608	5.4	126	120	93	53	30	10.0	20.0	22
K13+500	Izquierdo	20	3.9	785,827	5.0	111	106	90	73	57	10.0	20.0	28
K13+600	Derecho	22	3.9	687,502	5.9	95	89	67	40	18	10.0	20.0	22
K13+700	Izquierdo	21	3.9	735,608	5.4	112	107	93	80	66	10.0	20.0	29
K13+800	Derecho	21	3.9	735,608	5.4	120	115	82	51	30	10.0	20.0	21
K13+900	Izquierdo	21	3.9	735,608	5.4	145	139	129	117	95	10.0	20.0	31
K14+000	Derecho	21	3.9	735,608	5.4	158	153	109	67	35	10.0	20.0	21
K14+100	Izquierdo	21	3.9	735,608	5.4	77	72	66	57	46	10.0	20.0	30
K14+200	Derecho	21	3.9	735,608	5.4	155	149	118	87	59	10.0	20.0	25
K14+300	Izquierdo	21	3.9	735,608	5.4	85	80	76	66	46	10.0	20.0	31

Abscisa	Calzada izquierda	Temperatura	Espesor Carpeta asfáltica	EAC	D <sub>0</sub> compres	DEFLEXIONES CORREGIDAS POR CARGA					Espesor capa de asfalto	Espesor Losa	AREA
						Deflexiones medidas en $\mu\text{m}$							
						d <sub>0c</sub>	d <sub>0compresión</sub>	d <sub>1c</sub>	d <sub>2c</sub>	d <sub>3c</sub>			
(Km)	Carril	°C	Pulgadas	PSI	$\mu\text{m}$	0 cm	0 cm	30 cm	60 cm	90 cm	cm	cm	pulg
K14+400	Derecho	21	3.9	735,608	5.4	168	163	129	91	55	10.0	20.0	24
K14+500	Izquierdo	21	3.9	735,608	5.4	133	128	117	98	68	10.0	20.0	29
K14+600	Derecho	21	3.9	735,608	5.4	235	230	184	133	83	10.0	20.0	25
K14+700	Izquierdo	20	3.9	785,827	5.0	136	131	117	105	87	10.0	20.0	30
K14+800	Derecho	22	3.9	687,502	5.9	249	243	188	128	80	10.0	20.0	24
K14+900	Izquierdo	20	3.9	785,827	5.0	136	131	116	105	80	10.0	20.0	30
K15+000	Derecho	21	3.9	735,608	5.4	251	246	196	140	87	10.0	20.0	25
K15+100	Izquierdo	21	3.9	735,608	5.4	146	140	127	113	89	10.0	20.0	30
K15+200	Derecho	21	3.9	735,608	5.4	153	147	112	76	44	10.0	20.0	23
K15+300	Izquierdo	22	3.9	687,502	5.9	130	124	109	92	72	10.0	20.0	29
K15+400	Derecho	21	3.9	735,608	5.4	250	245	197	141	97	10.0	20.0	25
K15+500	Izquierdo	21	3.9	735,608	5.4	108	102	92	81	62	10.0	20.0	30
K15+600	Derecho	20	3.9	785,827	5.0	163	158	124	89	55	10.0	20.0	24
K15+700	Izquierdo	21	3.9	735,608	5.4	127	121	106	100	79	10.0	20.0	30
K15+800	Derecho	20	3.9	785,827	5.0	248	243	186	121	78	10.0	20.0	23
K15+900	Izquierdo	22	3.9	687,502	5.9	147	141	121	108	81	10.0	20.0	29
K16+000	Derecho	21	3.9	735,608	5.4	220	214	184	131	89	10.0	20.0	26
K16+099	Izquierdo	21	3.9	735,608	5.4	128	123	107	93	70	10.0	20.0	29
K16+200	Derecho	21	3.9	735,608	5.4	234	229	189	136	84	10.0	20.0	25
K16+300	Izquierdo	21	3.9	735,608	5.4	175	170	151	139	118	10.0	20.0	31
K16+400	Derecho	21	3.9	735,608	5.4	207	201	136	87	50	10.0	20.0	21
K16+500	Izquierdo	21	3.9	735,608	5.4	205	199	173	146	115	10.0	20.0	29
K16+600	Derecho	21	3.9	735,608	5.4	344	339	266	184	111	10.0	20.0	24
K16+700	Izquierdo	21	3.9	735,608	5.4	125	120	107	88	66	10.0	20.0	29
K16+800	Derecho	22	3.9	687,502	5.9	596	590	384	234	89	10.0	20.0	19
K16+900	Izquierdo	22	3.9	687,502	5.9	100	94	84	71	51	10.0	20.0	29

Abscisa	Calzada izquierda	Temperatura	Espesor Carpeta asfáltica	EAC	D <sub>0</sub> compres	DEFLEXIONES CORREGIDAS POR CARGA					Espesor capa de asfalto	Espesor Losa	AREA
						Deflexiones medidas en $\mu\text{m}$							
						d <sub>0c</sub>	d <sub>0compresión</sub>	d <sub>1c</sub>	d <sub>2c</sub>	d <sub>3c</sub>			
(Km)	Carril	°C	Pulgadas	PSI	$\mu\text{m}$	0 cm	0 cm	30 cm	60 cm	90 cm	cm	cm	pulg
K17+000	Derecho	21	3.9	735,608	5.4	355	349	269	170	109	10.0	20.0	23
K17+100	Izquierdo	21	3.9	735,608	5.4	100	94	79	72	58	10.0	20.0	29
K17+200	Derecho	21	3.9	735,608	5.4	162	156	114	67	39	10.0	20.0	21
K17+300	Izquierdo	21	3.9	735,608	5.4	72	67	61	50	36	10.0	20.0	29
K17+400	Derecho	21	3.9	735,608	5.4	108	103	74	47	26	10.0	20.0	22
K17+500	Izquierdo	22	3.9	687,502	5.9	148	142	137	76	54	10.0	20.0	26
K17+600	Derecho	22	3.9	687,502	5.9	455	449	490	87	49	10.0	20.0	22
K17+697	Izquierdo	23	3.9	641,519	6.4	79	73	65	52	36	10.0	20.0	28
K17+800	Derecho	21	3.9	735,608	5.4	123	117	91	61	41	10.0	20.0	24
K17+900	Izquierdo	21	3.9	735,608	5.4	94	89	78	64	49	10.0	20.0	29
K18+000	Derecho	21	3.9	735,608	5.4	200	195	160	69	44	10.0	20.0	21
K18+100	Izquierdo	21	3.9	735,608	5.4	131	126	109	99	72	10.0	20.0	29
K18+200	Derecho	23	3.9	641,519	6.4	140	134	101	70	36	10.0	20.0	23
K18+300	Izquierdo	21	3.9	735,608	5.4	125	120	108	90	65	10.0	20.0	29
K18+400	Derecho	21	3.9	735,608	5.4	432	426	276	129	53	10.0	20.0	18
K18+500	Izquierdo	21	3.9	735,608	5.4	95	90	78	69	59	10.0	20.0	29
K18+600	Derecho	22	3.9	687,502	5.9	60	54	48	40	24	10.0	20.0	28
K18+700	Izquierdo	22	3.9	687,502	5.9	143	137	101	75	53	10.0	20.0	24
K18+800	Derecho	21	3.9	735,608	5.4	74	69	63	55	40	10.0	20.0	30
K18+900	Izquierdo	21	3.9	735,608	5.4	237	231	179	132	93	10.0	20.0	25
K19+000	Derecho	22	3.9	687,502	5.9	103	97	89	80	60	10.0	20.0	31
K19+100	Izquierdo	22	3.9	687,502	5.9	166	160	111	86	64	10.0	20.0	23
K19+200	Derecho	22	3.9	687,502	5.9	81	75	70	61	43	10.0	20.0	30
K19+300	Izquierdo	22	3.1	687,502	4.5	185	180	135	115	96	8.0	21.0	26
K19+400	Derecho	22	3.1	687,502	4.5	147	143	108	92	71	8.0	21.0	26
K19+500	Izquierdo	22	3.1	687,502	4.5	145	140	88	75	62	8.0	21.0	23

Abscisa	Calzada izquierda	Temperatura	Espesor Carpeta asfáltica	EAC	D <sub>0</sub> compres	DEFLEXIONES CORREGIDAS POR CARGA					Espesor capa de asfalto	Espesor Losa	AREA
						Deflexiones medidas en $\mu\text{m}$							
						d <sub>0c</sub>	d <sub>0compresión</sub>	d <sub>1c</sub>	d <sub>2c</sub>	d <sub>3c</sub>			
(Km)	Carril	°C	Pulgadas	PSI	$\mu\text{m}$	0 cm	0 cm	30 cm	60 cm	90 cm	cm	cm	pulg
K19+600	Derecho	24	3.1	597,662	5.3	80	74	67	59	37	8.0	21.0	29
K19+700	Izquierdo	22	3.1	687,502	4.5	161	156	134	65	51	8.0	21.0	23
K19+800	Derecho	23	2.8	641,519	4.1	117	113	106	92	77	7.0	20.0	31
K19+900	Izquierdo	23	2.8	641,519	4.1	137	133	92	74	53	7.0	20.0	23
K20+000	Derecho	23	2.8	641,519	4.1	199	195	165	139	104	7.0	20.0	28
K20+100	Izquierdo	22	2.8	687,502	3.8	122	118	99	84	68	7.0	20.0	28
K20+200	Derecho	23	2.8	641,519	4.1	194	189	167	140	107	7.0	20.0	29
K20+300	Izquierdo	21	2.8	735,608	3.4	238	235	183	135	110	7.0	20.0	25
K20+400	Derecho	23	2.8	641,519	4.1	104	100	91	83	63	7.0	20.0	31
K20+495	Izquierdo	23	2.8	641,519	4.1	106	102	89	79	63	7.0	20.0	30
K20+600	Derecho	23	2.8	641,519	4.1	88	84	80	72	51	7.0	20.0	31
K20+700	Izquierdo	23	2.8	641,519	4.1	226	222	173	132	103	7.0	20.0	25
K20+799	Derecho	22	2.8	687,502	3.8	127	123	112	105	85	7.0	20.0	31
K20+900	Izquierdo	22	2.8	687,502	3.8	138	134	112	101	86	7.0	20.0	29
K21+000	Derecho	22	2.8	687,502	3.8	223	219	175	131	92	7.0	20.0	25
K21+100	Izquierdo	21	2.8	735,608	3.4	161	157	100	80	67	7.0	20.0	22
K21+200	Derecho	22	2.8	687,502	3.8	160	157	113	74	42	7.0	20.0	22
K21+300	Izquierdo	22	2.8	687,502	3.8	147	144	121	92	64	7.0	20.0	26
K21+400	Derecho	22	2.8	687,502	3.8	213	210	161	110	66	7.0	20.0	23
K21+500	Izquierdo	22	2.8	687,502	3.8	91	88	77	67	53	7.0	20.0	29
K21+600	Derecho	22	2.8	687,502	3.8	137	134	100	65	30	7.0	20.0	22
K21+700	Izquierdo	21	2.8	735,608	3.4	132	128	105	84	57	7.0	20.0	26
K21+800	Derecho	23	2.8	641,519	4.1	155	151	114	76	39	7.0	20.0	23
K21+900	Izquierdo	23	2.8	641,519	4.1	95	91	76	64	48	7.0	20.0	28
K22+000	Derecho	22	2.8	687,502	3.8	290	286	205	127	68	7.0	20.0	21
K22+094	Izquierdo	21	2.8	735,608	3.4	90	86	71	64	51	7.0	20.0	28

Abscisa	Calzada izquierda	Temperatura	Espesor Carpeta asfáltica	EAC	D <sub>0</sub> compres	DEFLEXIONES CORREGIDAS POR CARGA					Espesor capa de asfalto	Espesor Losa	AREA
						Deflexiones medidas en $\mu\text{m}$							
						d <sub>0c</sub>	d <sub>0compresión</sub>	d <sub>1c</sub>	d <sub>2c</sub>	d <sub>3c</sub>			
(Km)	Carril	°C	Pulgadas	PSI	$\mu\text{m}$	0 cm	0 cm	30 cm	60 cm	90 cm	cm	cm	pulg
K22+200	Derecho	22	2.8	687,502	3.8	225	222	155	99	68	7.0	20.0	22
K22+300	Izquierdo	21	2.8	735,608	3.4	259	256	196	126	80	7.0	20.0	23
K22+400	Derecho	22	2.8	687,502	3.8	330	326	239	159	104	7.0	20.0	23
K22+500	Izquierdo	21	2.8	735,608	3.4	117	114	97	77	51	7.0	20.0	27
K22+600	Derecho	21	2.8	735,608	3.4	167	164	119	83	55	7.0	20.0	23
K22+700	Izquierdo	21	2.8	735,608	3.4	219	215	138	82	53	7.0	20.0	20
K22+800	Derecho	22	2.8	687,502	3.8	158	154	117	87	59	7.0	20.0	24
K22+899	Izquierdo	22	2.8	687,502	3.8	91	87	68	57	46	7.0	20.0	26
K23+000	Derecho	21	2.8	735,608	3.4	119	116	76	43	21	7.0	20.0	19
K23+100	Izquierdo	22	2.8	687,502	3.8	181	177	115	88	65	7.0	20.0	22
K23+200	Derecho	22	2.8	687,502	3.8	211	207	148	89	53	7.0	20.0	21
K23+300	Izquierdo	22	2.8	687,502	3.8	197	193	153	116	83	7.0	20.0	25
K23+400	Derecho	22	2.8	687,502	3.8	135	131	88	59	33	7.0	20.0	21
K23+500	Izquierdo	22	2.8	687,502	3.8	204	200	183	163	136	7.0	20.0	31
K23+600	Derecho	21	2.8	735,608	3.4	338	334	241	139	76	7.0	20.0	21
K23+700	Izquierdo	22	2.8	687,502	3.8	401	397	295	194	123	7.0	20.0	23
K23+800	Derecho	20	2.8	785,827	3.1	235	232	180	126	75	7.0	20.0	24
K23+895	Izquierdo	22	2.8	687,502	3.8	135	131	80	51	37	7.0	20.0	20
K24+000	Derecho	23	2.8	641,519	4.1	130	126	88	54	29	7.0	20.0	21
K24+100	Izquierdo	21	2.8	735,608	3.4	204	200	172	147	110	7.0	20.0	28
K24+200	Derecho	22	2.8	687,502	3.8	192	188	138	78	34	7.0	20.0	21
K24+300	Izquierdo	21	2.8	735,608	3.4	231	228	168	126	91	7.0	20.0	24
K24+400	Derecho	23	2.8	641,519	4.1	245	241	175	110	59	7.0	20.0	22
K24+500	Izquierdo	23	2.8	641,519	4.1	113	109	97	83	68	7.0	20.0	30
K24+600	Derecho	22	2.8	687,502	3.8	335	331	252	165	101	7.0	20.0	23
K24+700	Izquierdo	22	2.8	687,502	3.8	117	113	102	96	83	7.0	20.0	31

Abscisa	Calzada izquierda	Temperatura	Espesor Carpeta asfáltica	EAC	D <sub>0</sub> compres	DEFLEXIONES CORREGIDAS POR CARGA					Espesor capa de asfalto	Espesor Losa	AREA
						Deflexiones medidas en µm							
						d <sub>0c</sub>	d <sub>0compresión</sub>	d <sub>1c</sub>	d <sub>2c</sub>	d <sub>3c</sub>			
(Km)	Carril	°C	Pulgadas	PSI	µm	0 cm	0 cm	30 cm	60 cm	90 cm	cm	cm	pulg
K24+800	Derecho	22	2.8	687,502	3.8	285	281	213	138	80	7.0	20.0	23
K24+900	Izquierdo	21	2.8	735,608	3.4	228	224	163	101	57	7.0	20.0	22
K25+000	Derecho	23	2.8	641,519	4.1	192	188	132	80	49	7.0	20.0	21
K25+100	Izquierdo	23	2.8	641,519	4.1	318	314	217	122	58	7.0	20.0	20
K25+200	Derecho	23	2.8	641,519	4.1	160	156	109	60	28	7.0	20.0	20
K25+300	Izquierdo	21	2.8	735,608	3.4	182	179	133	86	51	7.0	20.0	22
K25+400	Derecho	23	2.8	641,519	4.1	199	194	120	60	32	7.0	20.0	18
K25+500	Izquierdo	21	2.8	735,608	3.4	233	230	146	69	31	7.0	20.0	18
K25+600	Derecho	23	2.8	641,519	4.1	99	95	56	28	17	7.0	20.0	18
K25+700	Izquierdo	22	2.8	687,502	3.8	212	209	131	63	23	7.0	20.0	18
K25+800	Derecho	24	2.8	597,662	4.5	242	238	152	84	45	7.0	20.0	19
K25+900	Izquierdo	21	2.8	735,608	3.4	626	623	480	345	195	7.0	20.0	24
K26+000	Derecho	23	2.8	641,519	4.1	158	154	100	55	31	7.0	20.0	19
K26+099	Izquierdo	21	2.8	735,608	3.4	380	376	252	113	45	7.0	20.0	18
K26+200	Derecho	23	2.8	641,519	4.1	225	221	147	74	34	7.0	20.0	19
K26+300	Izquierdo	21	2.8	735,608	3.4	406	403	280	155	88	7.0	20.0	20
K26+400	Derecho	22	2.8	687,502	3.8	462	458	287	140	61	7.0	20.0	18
K26+500	Izquierdo	22	2.8	687,502	3.8	465	461	296	168	95	7.0	20.0	19

Nota. Elaboración Propia.