

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**DETERMINACIÓN DEL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DEL  
PAVIMENTO FLEXIBLE DE LA CARRETERA CAJAMARCA-CELENDÍN-  
BALSAS, TRAMO CHAQUILPAMPA-SANTA ROSA DE CHAQUIL,  
MEDIANTE EL ANÁLISIS DEFLECTOMÉTRICO**

## **TESIS**

**Para Optar el Título Profesional de:  
INGENIERO CIVIL**

**Presentado por la Bachiller en Ingeniería Civil:  
MAYLE ALYNY FERNANDEZ RUIZ**

**Asesor:  
Ing. Marco Wilder Hoyos Saucedo**

**CAJAMARCA-PERÚ  
2020**

COPYRIGHT © 2020 by  
MAYLE ALYNY FERNÁNDEZ RUIZ  
Todos los derechos reservados

**AGRADECIMIENTO:**

*En memoria del Mg. Héctor Pérez Loayza, porque no habría sido posible escribir esta tesis sin su ayuda, apoyo, paciencia y disposición.*

*Así mismo agradezco al Ing. Marco Wilder Hoyos Saucedo por haberme brindado su tiempo, sugerencias, críticas y amistad en el desarrollo de esta tesis.*

**DEDICATORIA:**

*A **Dios**, por todo lo dado.*

*A mis abuelos, **Isolina y Evaristo**, por su inmenso cariño y aliento constante durante toda una vida.*

*A mis padres, **Amerita y Héctor**, quienes me apoyaron todo el tiempo.*

*A mi compañero de vida **Kevin**, quien fue mi fuente de inspiración en mi deseo de superación.*

*A mi hijo **Demian**, quien es mi motivación más grande para concluir esta tesis.*

# CONTENIDO

CAPÍTULO I .....	1
INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	2
1.3. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA .....	2
1.4. HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN.....	2
1.5. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN .....	3
1.6. ALCANCES DE LA INVESTIGACIÓN.....	3
1.7. OBJETIVOS.....	4
1.7.1. OBJETIVO GENERAL.....	4
1.7.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	4
CAPÍTULO II .....	5
MARCO TEÓRICO .....	5
2.1. ANTECEDENTES TEÓRICOS.....	5
2.1.1. ANTECEDENTES INTERNACIONALES .....	5
2.1.2. ANTECEDENTES NACIONALES .....	6
2.1.3. ANTECEDENTES LOCALES.....	7
2.2. BASES TEÓRICAS.....	8
2.2.1. DEFINICIÓN DE PAVIMENTO.....	8
2.2.2. TIPOS DE PAVIMENTOS.....	9
A. PAVIMENTO FLEXIBLE .....	9
B. PAVIMENTO RÍGIDO.....	10
2.2.3. COMPORTAMIENTO DEL PAVIMENTO FRENTE A CARGAS DE TRÁNSITO. ....	11
2.2.4. EVALUACIÓN DE PAVIMENTOS FLEXIBLES.....	12
A. EVALUACIÓN FUNCIONAL DE PAVIMENTOS FLEXIBLES.....	13
B. EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DE PAVIMENTOS FLEXIBLES.....	13
2.2.5. MÉTODOS DE EVALUACIÓN ESTRUCTURAL.....	14
A. EVALUACIÓN ESTRUCTURAL BASADA EN ENSAYOS DESTRUCTIVOS.....	15
B. EVALUACIÓN ESTRUCTURAL BASADA EN ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS.....	16
2.2.6. DEFLEXIÓN COMO PARÁMETRO DE EVALUACIÓN ESTRUCTURAL .....	17
2.2.7. MEDICIÓN DE DEFLEXIÓN ESTÁTICA O DE MOVIMIENTO LENTO .....	18
2.2.8. VIGA BENKELMAN.....	19
2.2.9. PROCEDIMIENTO PARA EL ENSAYO CON LA VIGA BENKELMAN.....	20

2.2.10.	CÁLCULO DE LAS DEFLEXIONES.....	25
2.2.11.	CORRECCIÓN POR TEMPERATURA.....	26
2.2.12.	CORRECCIÓN POR CONDICIONES AMBIENTALES .....	26
2.2.13.	METODOLOGÍA DE RETROCÁLCULO .....	27
A.	MODELO DE HOGG .....	28
B.	METODOLOGÍA EMPÍRICA CONREVIAL.....	32
CAPÍTULO III	.....	41
MATERIALES Y MÉTODOS	.....	41
3.1.	UBICACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO .....	41
3.1.1.	UBICACIÓN POLÍTICA .....	41
3.1.2.	UBICACIÓN GEOGRÁFICA.....	41
3.2.	PERIODO DE ESTUDIO .....	42
3.3.	METODOLOGÍA .....	42
3.4.	DESCRIPCIÓN DE LA CARRETERA .....	43
3.5.	PROCEDIMIENTO DE INSPECCIÓN.....	43
3.5.1.	ASPECTOS PREVIOS .....	43
3.5.2.	EQUIPOS Y HERRAMIENTAS .....	44
3.5.3.	PERSONAL .....	46
3.5.4.	PROCEDIMIENTO DE CAMPO .....	47
3.6.	DATOS DE CAMPO.....	51
CAPÍTULO IV	.....	54
ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	54	
4.1.	CARGA DE TRÁNSITO.....	54
4.2.	MÉTODO PARA MEDICIÓN DE DEFORMACIONES EN PAVIMENTOS .....	54
4.3.	CARRIL DE PRUEBA.....	54
4.4.	FRECUENCIA DE MEDICIÓN.....	54
4.5.	DETERMINACIÓN DE LAS DEFLEXIONES EN EL PAVIMENTO.....	57
4.6.	INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	58
A.	CÁLCULO DE LOS PARÁMETROS .....	60
B.	EVALUACIÓN DE LOS PARÁMETROS .....	61
C.	MANTENIMIENTO Y REPARACIÓN .....	71
CAPÍTULO V	.....	72
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	72	
5.1.	CONCLUSIONES .....	72
5.2.	RECOMENDACIONES.....	72
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	.....	73

ANEXO 1 .....	74
ANEXO 2 .....	79
ANEXO 3 .....	86
ANEXO 4 .....	95
ANEXO 5 .....	100
ANEXO 6 .....	151
ANEXO 7 .....	153
ANEXO 8 .....	156
ANEXO 9 .....	159

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> <i>Tabla de distancias para ensayos</i> .....	21
<b>Tabla 2.</b> <i>Tabla de valores para corrección por condiciones ambientales</i> .....	27
<b>Tabla 3.</b> <i>Representación de la metodología de retrocalculo</i> .....	27
<b>Tabla 4.</b> <i>Coefficientes para el cálculo de <math>R_5</math></i> .....	30
<b>Tabla 5.</b> <i>Coefficientes para el cálculo de <math>L_0</math></i> .....	30
<b>Tabla 6.</b> <i>Valor de "t" y probabilidad de ocurrencia de <math>D &gt; DC</math></i> .....	36
<b>Tabla 7.</b> <i>Características del pavimento de acuerdo al tipo de deflexión y Radio de curvatura</i> .....	38
<b>Tabla 8.</b> <i>Características del pavimento de acuerdo al cuenco de deflexiones</i> .....	39
<b>Tabla 9.</b> <i>Recomendaciones a tener en cuenta para el diseño de refuerzo</i> .....	39
<b>Tabla 10.</b> <i>Ubicación Geográfica</i> .....	41
<b>Tabla 11.</b> <i>Distancia del punto de ensayo al borde de la vía</i> .....	47
<b>Tabla 12.</b> <i>Datos de campo</i> .....	51
<b>Tabla 13.</b> <i>Unidades de Prueba</i> .....	54
<b>Tabla 14.</b> <i>Resumen de cálculo de Deflexiones y Radio de curvatura de cada prueba de la carretera Cajamarca-Celendín-Balsas tramo entre el km 20+000 y el km 25+000</i> .....	58
<b>Tabla 15.</b> <i>Evaluación de la Deflexión máxima y el Radio de curvatura</i> .....	61
<b>Tabla 16.</b> <i>Resumen de resultados de deflexiones máximas</i> .....	64
<b>Tabla 17.</b> <i>Resumen de resultados de radios de curvaturas</i> .....	64
<b>Tabla 18.</b> <i>Comparación de parámetros</i> .....	71



## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Estructura típica de un pavimento flexible .....	10
<b>Figura 2.</b> Estructura típica de un pavimento rígido .....	11
<b>Figura 3.</b> Distribución de la carga en pavimentos flexibles y rígidos .....	12
<b>Figura 4.</b> Características del cuenco de deflexiones .....	17
<b>Figura 5.</b> Esquema de la Viga Benkelman.....	19
<b>Figura 6.</b> Principio de operación de la Viga Benkelman.....	20
<b>Figura 7.</b> Ubicación del centro de gravedad del eje posterior .....	21
<b>Figura 8.</b> Alineamiento del Extremo de la Viga Benkelman con el Centro de las Llantas.....	22
<b>Figura 9.</b> Posición inicial ( $D_0$ = Deflexión máxima).....	24
<b>Figura 10.</b> Posición a 25cm ( $D_{25}$ ). .....	24
<b>Figura 11.</b> Posición final ( $D = 0$ ).....	24
<b>Figura 12.</b> Esquema del Modelo de Hogg (Hoffman, Mario. 1985).....	28
<b>Figura 13.</b> Radio de curvatura .....	33
<b>Figura 14.</b> Distribución de esfuerzos en un pavimento flexible .....	33
<b>Figura 15.</b> Ubicación del pavimento estudiado .....	42
<b>Figura 16.</b> Sección típica de la estructura del pavimento.....	43
<b>Figura 17.</b> Viga Benkelman.....	44
<b>Figura 18.</b> Vehículo de carga .....	44
<b>Figura 19.</b> Odómetro manual .....	45
<b>Figura 20.</b> Termómetro.....	45
<b>Figura 21.</b> Balanza .....	46
<b>Figura 22.</b> Pesado de vehiculo de carga .....	47
<b>Figura 23.</b> Centrado de la viga en el punto de ensayo.....	48
<b>Figura 24.</b> Marcado de guía en la viga .....	48
<b>Figura 25.</b> Establecer la lectura inicial en cero .....	49
<b>Figura 26.</b> Toma de datos .....	49
<b>Figura 27.</b> Planilla de recolección de datos .....	50
<b>Figura 28.</b> Toma de temperatura del pavimento.....	50
<b>Figura 29.</b> Porcentaje de unidades de prueba con un comportamiento de subrasante malo, regular y bueno, de la carretera Cajamarca - Celendin – Balsas, tramo del km 20+000 al km 25+000 .....	65
<b>Figura 30.</b> Porcentaje de unidades de prueba con un comportamiento de pavimento malo y bueno, de la carretera Cajamarca - Celendin – Balsas, tramo del km 20+000 al km 25+000 .....	66

<b>Figura 31.</b> Porcentaje de unidades de prueba con un comportamiento de pavimento y subrasante en conjunto malo, regular y bueno, de la carretera Cajamarca - Celendin – Balsas, tramo desde el km 20+000 al km 25+000.....	67
<b>Figura 32.</b> Deflectograma de la carretera Cajamarca - Celendin – Balsas, tramo del km 20+000 al km 25+000. ....	68
<b>Figura 33.</b> Cuenco de deflexiones Carretera Cajamarca - Celendín – Balsas, tramo del km 20+000 al km 25+000 ida y retorno.....	70
<b>Figura 34.</b> Cuenco de deflexiones Carretera Cajamarca - Celendín – Balsas, tramo del km 20+000 al km 25+000 Tramos críticos .....	70

## RESUMEN

El objetivo principal del presente trabajo ha sido la determinación del comportamiento estructural del pavimento flexible de la carretera Cajamarca - Celendín –Balsas, tramo Chaquilpampa - Santa Rosa de Chaquil, mediante el análisis deflectométrico en un tramo de 5 km de dicha carretera. La vía pertenece a la red vial Nacional que fue rehabilitada y mejorada en el año 2012.

Para la evaluación del pavimento primero se recolectó datos de campo, con ayuda de la viga Benkelman se tomaron las medidas de las deflexiones del pavimento flexible bajo la carga de un camión con peso en su eje posterior de 8.2 ton, dichas mediciones fueron tomadas cada 100 metros, haciendo un total de 101 lecturas en ambos carriles.

Con los datos de campo obtenidos se realizó la evaluación del pavimento utilizando el método CONREVIAl obteniéndose la deflexión característica de  $67 \times 10^{-2}$  mm menor a la deflexión admisible ( $71 \times 10^{-2}$  mm) y un radio de curvatura promedio de 333.28 m, mayor al mínimo establecido por el método (100 m), llegando a la conclusión que dicho pavimento actualmente tiene un comportamiento estructural bueno.

**Palabras clave:** Pavimento, Subrasante, Viga Benkelman, Deflexión admisible, Radio de curvatura

## ABSTRAC

The main objective of this work has been to determine the structural behavior of the flexible pavement in a 5 km section of the Cajamarca - Celendín –Balsas highway, Chaquilpampa - Santa Rosa de Chaquil section, using the deflections measured with the Benkelman beam. The road belongs to the National road network that was rehabilitated and improved in 2012.

For the evaluation of the pavement, field data was first collected, with the help of the Benkelman beam the measurements of the deflections of the flexible pavement were taken under the load of a truck with weight on its rear axle of 8.2 ton, these measurements were taken every 100 meters, making a total of 101 readings on both lanes.

With the field data obtained, the evaluation of the pavement was carried out using the CONREVI method, obtaining a characteristic deflection of  $67 \times 10^{-2}$  mm less than the admissible deflection ( $71 \times 10^{-2}$  mm) and an average radius of curvature of 333.28 m, greater than the minimum established by the method (100 m), concluding that said pavement currently has a good structural behavior.

**Keywords:** Evaluation Pavement, Pavement performance, Benkelman Beam, Deflection feature, Deflection admissible, Bending radius.

## **CAPÍTULO I**

### **INTRODUCCIÓN**

#### **1.1. INTRODUCCIÓN**

Las carreteras y vías urbanas son un factor muy importante en el desarrollo socio-económico de las regiones de un país, a su vez en las zonas urbanas y rurales.

La determinación del comportamiento estructural es una de estas herramientas que permite conocer el estado del pavimento mediante la medición de las deflexiones en la superficie de un pavimento bajo una carga dada. Su medición es simple, rápida, económica y "no destructiva", es decir, no se alteran el equilibrio ni la integridad del sistema.

El presente trabajo se realizó en la carretera Cajamarca - Celendín -Balsas, tramo Chaquilpampa - Santa Rosa de Chaquil, en un tramo de 5 km. Para determinar el comportamiento estructural del pavimento primero se recolectaron datos de campo, con ayuda de la viga Benkelman se tomaron las medidas de las deflexiones del pavimento flexible bajo la carga de un camión con peso en su eje posterior de 8.2 ton, dichas mediciones fueron realizadas cada 100 metros, haciendo un total de 101 lecturas en ambos carriles. Con los resultados obtenidos se realizó la evaluación del pavimento utilizando el método CONREVIAL.

## **1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

Uno de los problemas que más afecta a la provincia de Cajamarca, es el pésimo estado en que se encuentran los pavimentos de sus carreteras. Cualquiera que sea el tipo de pavimento; ya sea flexible, rígido o mixto, es usual encontrar en ellos fisuras, depresiones y baches que dificultan el tránsito normal de los vehículos que circulan la ciudad y sus alrededores; y no se puede hablar de una causa única del deterioro de las pistas, debido a que las fallas que afectan al pavimento se producen por múltiples factores, entre ellos tenemos: el resultado de un mal diseño del paquete estructural, la mala calidad de los materiales, errores constructivos, el efecto de solicitaciones externas como carga vehicular y agentes climáticos, entre otros; pero el principal problema consiste en que no se lleva a cabo un mantenimiento adecuado ni se toma en cuenta el plan de vida de la vía, es decir, no se evalúa el comportamiento estructural del pavimento con el paso del tiempo y sólo se interviene cuando el deterioro del pavimento es grave, este es el caso de la carretera Cajamarca - Celendin –Balsas (km 20+000 al km 25+000), el cual tiene una serie de fallas visuales como fisuras longitudinales de severidad baja, agrietamiento de piel de cocodrilo de severidad media y teniendo en cuenta que en los últimos años el parque automotor ha experimentado un acelerado crecimiento existe un aumento considerable de tráfico vehicular; razón por la cual es necesario evaluar dicho pavimento.

## **1.3. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

¿Cuál es el comportamiento estructural actual del pavimento flexible de la Carretera Cajamarca-Celendín-Balsas tramo del km 20+000 al km 25+000?

## **1.4. HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN**

El comportamiento estructural del pavimento flexible de la Carretera Cajamarca-Celendín-Balsas tramo del km 20+000 al km 25+000 ante las cargas solicitadas es regular.

## **1.5. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN**

El presente proyecto se desarrolló por la necesidad de aplicar de manera práctica y económica métodos de diagnóstico estructural no destructivos, como la evaluación estructural con Viga Benkelman, que faciliten conocer el comportamiento estructural actual de un pavimento flexible, calificándolo como bueno, regular o malo. Este tipo de diagnóstico es importante ya que para invertir en la reparación de estos pavimentos es necesario tener primero un diagnóstico de ellos, por tal razón los métodos de deflectometría son adecuados para tales fines.

Se buscó determinar datos actuales del comportamiento estructural de la Carretera Cajamarca-Celendín-Balsas tramo del km 20+000 al km 25+000, para posteriormente realizar mantenimientos o rehabilitaciones en torno a su carpeta asfáltica,

## **1.6. ALCANCES DE LA INVESTIGACIÓN**

La investigación contiene la determinación del comportamiento estructural del pavimento flexible de la Carretera Cajamarca-Celendín-Balsas tramo del km 20+000 al km 25+000, lo cual puede ser de utilidad para establecer las necesidades de refuerzo del pavimento existente.

Los resultados obtenidos pueden ser usados por la entidad Provias Nacional– Unidad Zonal IV – Cajamarca, para que se pueda dar el mantenimiento adecuado al pavimento flexible evaluado.

Esta investigación servirá a los alumnos como guía metodológica para posteriores trabajos de investigación.

## **1.7. OBJETIVOS**

### **1.7.1. OBJETIVO GENERAL**

- Determinar el comportamiento estructural del pavimento flexible de la Carretera Cajamarca-Celendín-Balsas tramo del km 20+000 al km 25+000.

### **1.7.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Obtener las deflexiones del pavimento flexible de la Carretera Cajamarca-Celendín-Balsas tramo del km 20+000 al km 25+000 producidas por un vehículo estandarizado.
- Analizar e Interpretar las deflexiones del pavimento flexible obtenidas de acuerdo a los valores admisibles.



## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1. ANTECEDENTES TEÓRICOS

##### 2.1.1. ANTECEDENTES INTERNACIONALES

**Barrantes y Elizondo (2008)** en su informe “Análisis Estructural del Pavimento Esterillos – Loma”. Costa Rica. describe la evaluación de la capacidad estructural de la carretera, donde se procedió a realizar un análisis estructural, aplicando la metodología de retrocálculo, a partir de los datos de los materiales constitutivos del pavimento y espesores de capa recolectados mediante sondeos realizados por parte del LanammeUCR, además de los resultados de deflectometría y una evaluación visual realizados también por parte de LanammeUCR. Mediante su análisis se logró identificar importantes zonas de deterioro. El agrietamiento transversal es el que presenta mayor severidad. Los cálculos realizados muestran una evidente pérdida de capacidad estructural luego de 14 años de servicio.

**Ávila y Albarracín (2014)** en su tesis “Evaluación de Pavimentos en base a métodos no destructivos y análisis inverso, caso de estudio: vía chicti – Sevilla de oro”. Ecuador. se realiza el análisis de la factibilidad y eficiencia de la deflectometría para la evaluación de la capacidad portante de la estructura del pavimento, a través de la aplicación de metodologías de análisis inverso. Del análisis realizado se concluyó que el modelo de LUKANEN presenta buenos resultados correspondientes al cálculo del módulo resiliente de subrasante, el modelo de AASHTO 93 presenta los resultados más altos con respecto al módulo resiliente de la subrasante, el modelo ROHDE presenta características similares a las de AASHTO 93.

**Escobar y García (2007)** en su tesis “Análisis comparativo de la evaluación de pavimentos por medio de la Viga Benkelman y el Deflectómetro de Impacto”. Se determinó la ecuación de correlación entre las deflexiones medidas tanto por el Deflectómetro de Impacto como por la Viga Benkelman, se halló el valor de correlación de 0.89 correspondiente a una correlación positiva del 89% entre las deflexiones obtenidas mediante el Deflectómetro de Impacto y la Viga Benkelman.

### 2.1.2. ANTECEDENTES NACIONALES

**Castro (2003)** En la tesis Universitaria “Propuesta de gestión de pavimentos para la ciudad de Piura” tiene como objetivo principal, brindar una alternativa al problema del mantenimiento de la infraestructura vial, mediante un sistema de gestión de pavimentos, dentro de la organización municipal y concluye que cuando se decide pavimentar o reforzar un camino con un tráfico de más de 500 vehículos diarios y es difícil controlar las cargas por eje, es probable que el ahorro económico que se derive de la construcción sea inferior al costo de las fallas prematuras del pavimento. Por lo tanto, en las ciudades, como Piura, en que es difícil hacer cumplir los límites de carga los caminos deben construirse inicialmente con arreglo a normas elevadas, aun cuando esto por lo general significa la construcción de menos caminos.

**Flores (2012).** En sus tesis de postgrado “Evaluación estructural de pavimentos flexibles de carreteras de bajo volumen de tránsito” realizada en el tramo km 74 – km 84 de la carretera entre Cañete-Chupaca, concluye que el modelo de Hogg es el mejor de los métodos analíticos estudiados en el presente trabajo, sus resultados se pueden emplear como parámetros iniciales para FEM 3D, FEM 2D y MM. El valor sugerido  $h/L_0 = 10$ , resulta ser el promedio de otras relaciones  $h/L_0$ , los esfuerzos producidos por la carga aplicada son importantes hasta profundidades comprendidas entre 50 cm y 150 cm, las longitudes características están comprendidas entre 10 cm y 20 cm, lo que sugiere valores de 5, 10 y 15 para  $h/L_0$  en el presente estudio.

**Jiménez (2014)** En la tesis Universitaria “diagnostico estructural de afirmado estabilizado con cloruro de magnesio mediante el modelo matemático de Hogg y Viga Benkelman” tiene como objetivo principal analizar el comportamiento estructural que posee el afirmado estabilizado con cloruro de magnesio del tramo Supe – Caral, obteniendo los módulos elásticos de la subrasante y con ello el CBR en cada punto ensayado, con esto se pudo determinar qué sectores necesitan mantenimiento y que otros necesitan mejoramiento de subrasante, además se calculó la diferencia de costo entre realizar una base estabilizada con cloruro de magnesio y otra simplemente afirmada, resultando más barato la primera opción en un periodo de diez años.

**Balarezo (2017)** En la tesis Universitaria “Evaluación estructural usando Viga Benkelman aplicada a un pavimento” que se realizó en el pavimento de la Universidad

de Piura se tuvo como objetivo principal dar a conocer la evaluación estructural con viga Benkelman como inicio de un plan de evaluación de mantenimiento para los gobiernos locales, con lo cual pudo establecer y cuantificar una necesidad de rehabilitación de un pavimento. Determinó el S<sub>Neff</sub> que es un parámetro con valiosa información que puede ser utilizado para realizar un rediseño de un pavimento que está llegando al tiempo final de su vida útil.

### **2.1.3. ANTECEDENTES LOCALES**

**Ignacio (2003)** En la Universidad Nacional de Cajamarca, en la Tesis “Análisis Deflectométrico de las capas del pavimento flexible con Subrasante de suelo arenoso en la Panamericana Norte km 355+500 al 375+500”, el análisis se realizó con los ensayos de deflexiones que se tomaron en la carpeta de rodadura, los que dan la idea de cómo se comporta el pavimento y la Subrasante mediante la interpretación de las curvas de deflexiones obtenidas, estos se procesaron en gabinete, obteniendo una buena capacidad estructural en todo el tramo de estudio. Además se controló las deflexiones en todos la capas del paquete estructural y Subrasante donde se construyó el pavimento flexible con la finalidad de evaluar puntos que noten inestabilidad. Así como también se determinó cualitativamente la capacidad estructural del pavimento flexible mediante experiencia recopilada en obra y con el apoyo de fórmulas empíricas sustentados por el teorema del Hogg.

**Carahuatay (2015)**. En su tesis de pregrado de la Universidad Nacional de Cajamarca “Determinación del comportamiento estructural del pavimento flexible de la carretera San Miguel - San Pablo, Tramo San Miguel - Sunuden; mediante el análisis deflectométrico” , determinó el comportamiento estructural de las capas del pavimento flexible de la carretera San Miguel - San Pablo, tramo San Miguel - Sunuden, indicando que dicha carretera presenta actualmente un comportamiento estructural de mala calidad debido a que la deflexión promedio ( $137.12 \times 10^{-2}$  mm) es mayor a la deflexión admisible ( $108 \times 10^{-2}$  mm). Por lo que no se garantiza una estructura de comportamiento satisfactorio. También llegó a la conclusión de que las principales fallas que se producen en el pavimento están asociadas a las deformaciones excesivas a nivel de la sub-rasante, reflejando así el comportamiento

del terreno de fundación y la deformación por tracción, asociado al agrietamiento de la carpeta de rodadura.

**Rojas (2016).** En su tesis de pregrado de la Universidad Nacional de Cajamarca “ Comportamiento estructural del pavimento de la carretera Cajamarca - Baños del Inca, utilizando la viga Benkelman, determinó el comportamiento estructural de las capas del pavimento flexible de la carretera Cajamarca - Baños del Inca, indicando que dicha carretera presenta actualmente un comportamiento estructural de regular calidad. Debido a que la deflexión promedio ( $126.89 \times 10^{-2}$  mm) es mayor a la deflexión admisible ( $63 \times 10^{-2}$  mm); Se contrastó los resultados de las deflexiones obtenidas en campo con la deflexión admisible, determinándose con ello la capacidad estructural del pavimento.

## **2.2. BASES TEÓRICAS**

### **2.2.1. DEFINICIÓN DE PAVIMENTO.**

Un pavimento puede definirse como la capa o conjunto de capas de materiales apropiados, comprendidas entre el nivel superior de las terracerías y la superficie de rodamiento, cuyas principales funciones son las de proporcionar una superficie de rodamiento uniforme, de color y textura apropiados, resistente a la acción de tránsito, a la del interperismo y otros agentes perjudiciales, así como transmitir adecuadamente a las terracerías los esfuerzos producidos por las cargas impuestas por el tránsito. (Rico, 1977)

Además debe ser resistente al desgaste debido a la abrasión producida por las llantas y tener buenas condiciones de drenaje. En cuanto a la seguridad vial debe presentar una textura apropiada de acuerdo a la velocidad de circulación de los vehículos para mejorar la fricción, debe tener un color adecuado de tal manera que se eviten los reflejos y deslumbramientos. Con el fin de brindar comodidad a los usuarios, debe procurar tener regularidad superficial, tanto transversal como longitudinal. También se debería tener en cuenta en el diseño medidas para disminuir el ruido de la rodadura. Como toda obra de infraestructura los factores de costo y de vida útil son

muy importantes por lo que el pavimento debe ser durable y económico. (Montejo, 2006)

Existen varios tipos de pavimento; sin embargo, sólo se profundizará en dos por el alcance del presente trabajo: flexible y rígido.

## 2.2.2. TIPOS DE PAVIMENTOS

### A. PAVIMENTO FLEXIBLE

Este tipo de pavimentos se caracteriza por estar conformado en la superficie por una capa de material bituminoso o mezcla asfáltica que se apoya sobre capas de material granular, las cuales generalmente van disminuyendo su calidad conforme se acercan más a la subrasante. Esto se debe a que los esfuerzos que se producen por el tránsito van disminuyendo con la profundidad. (Huang, 2004)

Según (Montejo, 2006) las capas que generalmente componen la estructura de un pavimento flexible son las siguientes:

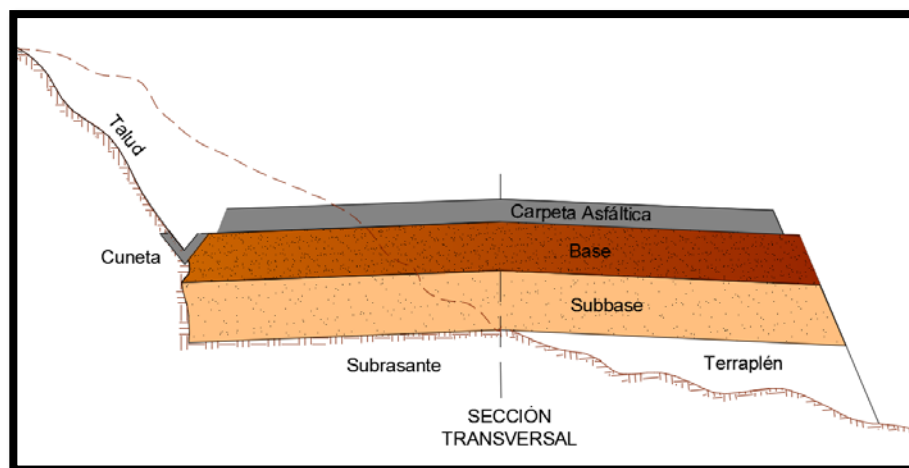
- **Carpeta asfáltica:** es la capa superficial de la estructura. Tiene tres funciones principales: servir como superficie de rodamiento uniforme y estable para permitir el tránsito, impermeabilizar la estructura para evitar en lo posible la percolación del agua al interior del pavimento y ser resistente a los esfuerzos producidos por las cargas aplicadas.
- **Base:** sirve como apoyo a la carpeta asfáltica y transmite los esfuerzos producidos por el tránsito a las capas inferiores en un nivel adecuado.
- **Sub-base:** principalmente cumple con una función económica ya que permite la utilización de materiales de menor calidad en un porcentaje del espesor del pavimento. Entonces, dependiendo de la calidad y el costo del material disponible, se puede utilizar sólo base o sub-base y base. Con la construcción de la sub-base, puede ser que el espesor final de la capa sea mayor pero aún así resultar en un diseño más económico.

Además puede servir como una capa de transición ya que actúa como un filtro que separa a la base de la subrasante impidiendo que los finos penetren en la primera y la dañen estructuralmente.

Esta capa ayuda a controlar los cambios volumétricos que podrían tomar lugar en la subrasante debido a cambios en su contenido de agua o a cambios de temperatura. De esta manera, las deformaciones serían absorbidas por la sub-base evitando que se reflejen en la carpeta asfáltica.

En cuanto a resistencia cumple la misma función que las capas superiores de transmitir los esfuerzos a la subrasante.

Por último, a través de esta capa se puede drenar el agua e impedir la ascensión capilar.



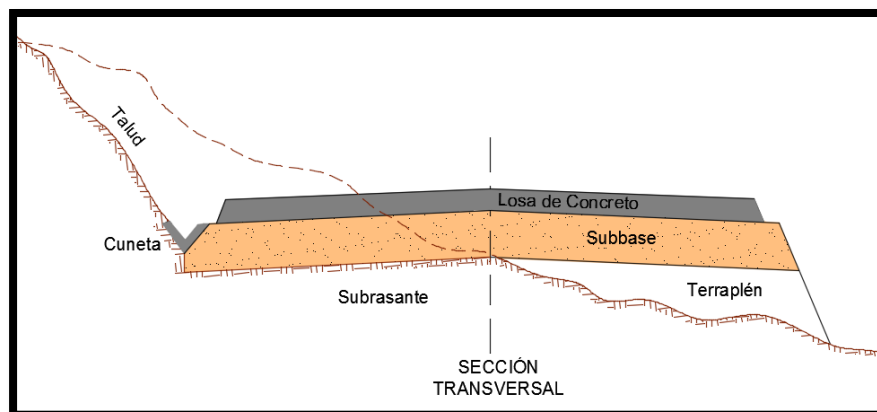
**Figura 1.** Estructura típica de un pavimento flexible

## **B. PAVIMENTO RÍGIDO**

Un pavimento rígido, tiene como elemento estructural fundamental una losa de concreto. Esta se apoya sobre una capa de material seleccionado, a la que se da el nombre de subbase; cuando la subrasante del pavimento tenga una calidad suficientemente buena, la losa de concreto puede colocarse directamente sobre ella, prescindiéndose así de una subbase. De lo que se trata es que la losa de concreto tenga un apoyo suficientemente uniforme y estable. (Rico, 1977)

Según (Montejo, 2006) las funciones de las capas que componen la estructura de un pavimento rígido:

- **Sub-base:** Capa que sirve como apoyo uniforme, estable y permanente a la losa, la función más importante es impedir la acción del bombeo en las juntas, grietas y extremos del pavimento. Se entiende por bombeo a la fluencia de material fino con agua fuera de la estructura del pavimento, debido a la infiltración de agua por las juntas de las losas. El agua que penetra a través de las juntas licúa el suelo fino de la subrasante facilitando así su evacuación a la superficie bajo la presión ejercida por las cargas circulantes a través de las losas.
- **Losa de Concreto:** Las funciones de la losa en el pavimento rígido son las mismas de la carpeta en el flexible, más la función estructural de soportar y transmitir en nivel adecuado los esfuerzos que le apliquen.



**Figura 2.** Estructura típica de un pavimento rígido

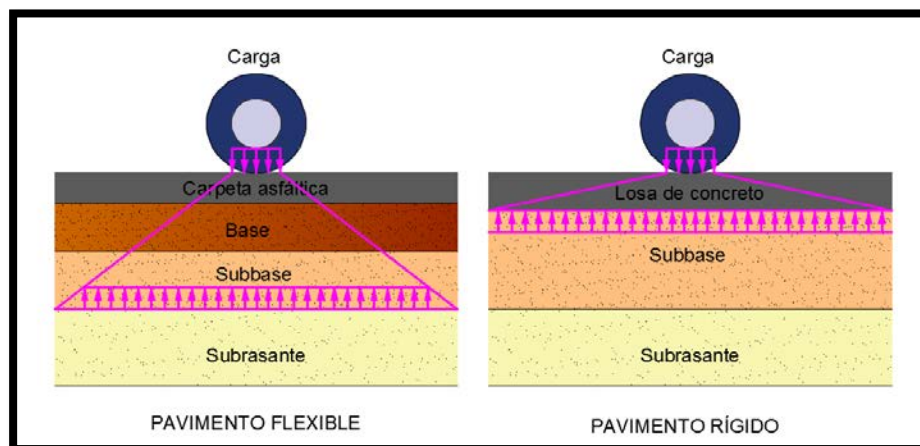
### 2.2.3. COMPORTAMIENTO DEL PAVIMENTO FRENTE A CARGAS DE TRÁNSITO.

El comportamiento estructural de un pavimento frente a cargas externas, varía de acuerdo a las capas que lo constituyen. La principal diferencia entre el comportamiento de pavimentos flexibles y rígidos es la forma cómo se reparten las cargas. Ver figura 3.

En un pavimento flexible, la distribución de la carga está determinada por las características del sistema de capas que lo conforman. Las capas de mejor calidad están cerca a la superficie donde las tensiones son mayores, y estas cargas se distribuyen de mayor a menor a medida que se va profundizando hacia los niveles inferiores.

En el caso de pavimentos rígidos, la losa es la capa que asume casi toda la carga. Las capas inferiores a la losa, en términos de resistencia, son despreciables.

En los pavimentos rígidos, las cargas se distribuyen uniformemente debido a la rigidez del concreto, dando como resultado tensiones muy bajas en la subrasante. En cambio, los pavimentos flexibles tienen menor rigidez, por eso se deforma más que el rígido y se producen tensiones mayores en la subrasante.



**Figura 3.** Distribución de la carga en pavimentos flexibles y rígidos

#### 2.2.4. EVALUACIÓN DE PAVIMENTOS FLEXIBLES

La evaluación de los pavimentos se describe como el conjunto de actividades que se realizan para determinar las condiciones estructurales y funcionales en que se encuentra un pavimento. Constituye un aspecto que ha adquirido gran importancia en la tecnología de los pavimentos, que empiezan desde la misma ejecución de la obra, su puesta en operación y durante el ciclo de vida mediante operaciones periódicas del comportamiento del pavimento, investigando la evolución en el tiempo y en el



espacio, de los deterioros, capacidad estructural calidad de rodamiento, seguridad, costos asociados a la conservación y operación del pavimento. (Thenoux Z., 2019)

### **A. EVALUACIÓN FUNCIONAL DE PAVIMENTOS FLEXIBLES**

La evaluación funcional del pavimento, tiene por objeto el reconocimiento de aquellas deficiencias que se relacionan principalmente con la calidad de la superficie y el estado general de las condiciones del pavimento, considerando todos aquellos factores que afectan negativamente a la serviciabilidad, seguridad y costos del usuario. Entre este tipo de deficiencias se encuentran: (Thenoux Z., 2019)

- Textura
- Adecuada fricción superficial
- Trazado de la carretera, incluyendo peralte y radio de curvatura
- Fisuras

### **B. EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DE PAVIMENTOS FLEXIBLES**

La evaluación estructural de pavimentos consiste, básicamente, en la determinación de la capacidad resistente del sistema en una estructura vial existente, en cualquier momento de su vida de servicio, para establecer y cuantificar las necesidades de rehabilitación, cuando el pavimento se acerca al fin de su vida útil o cuando el pavimento va a cambiar su función de demanda de tráfico.

En general la evaluación estructural está comprendida por la auscultación estructural y el retrocálculo, entendiéndose por auscultación estructural las técnicas de recolección de información del pavimento (deflexiones) y la segunda la aplicación de la metodología a utilizar para definir los resultados finales de la evaluación estructural.

La auscultación estructural de los pavimentos ha ido variando con el tiempo en función de los avances tecnológicos, requiriendo cada vez un mejor rendimiento de trabajo, una recolección sistemática de los parámetros del pavimento y menor daño físico y operacional al pavimento en estudio. Dentro de las

mediciones realizadas en la auscultación estructural habrá que considerar los siguientes aspectos ya que pueden inducir errores al interpretar los resultados:

**Temperatura.** Será necesario realizar ajustes en las deflexiones en base a la temperatura bajo las que se realizaron los ensayos y se observará cual es el comportamiento térmico del pavimento.

**Humedad.** Esta afecta a las bases, subbases y subrasantes, ya que algunos de los materiales componentes de las mismas tienen una gran susceptibilidad a dicha humedad.

**Tiempo de carga.** Esta condición tiene una gran influencia en los valores obtenidos de deflexión, por ejemplo:

- Materiales ligados con cemento asfáltico: Están fuertemente influenciados por el tiempo de carga debido a la naturaleza visco elástica del asfalto. Este efecto se reduce a bajas temperaturas.
- Materiales ligados con cemento hidráulico: El módulo dinámico para materiales cementados puede ser de aproximadamente el doble del módulo estático, si el tiempo de aplicación de carga es muy alta, este efecto se reduce a medida que el módulo aumenta.
- Suelos finos: Manifiestan mayor rigidez en respuesta a cargas dinámicas.

Con el análisis estructural se encuentran los estudios de vida remanente, capacidad estructural y rehabilitaciones. Para realizar todos estos estudios se utilizan diversos métodos, los cuales han sido orientados para predecir y solucionar fallas estructurales que ocurren en los pavimentos.

#### **2.2.5. MÉTODOS DE EVALUACIÓN ESTRUCTURAL**

Ante un problema de evaluación estructural, tradicionalmente se recurre a la perforación de calicatas, a la toma de muestras para ensayo en el laboratorio, y al

análisis de cada uno de sus componentes (materiales) por separado, para incorporarlos luego al sistema denominado pavimento y deducir acerca de las características estructurales del mismo. Esta metodología es lenta y es "destruktiva". (Hoffman, 1985)

En la actualidad se está aplicando nueva tecnología no destructiva "NDT" (non destructive test) basándose en la interpretación de las deflexiones medidas en la superficie de un pavimento. Su medición es simple, rápida, económica y lo más importante no altera el equilibrio de la estructura porque es una metodología "no destructiva". Esta metodología se fundamenta en la información valiosa que nos presta la curva o cuenco de deflexiones, para interpretar esta información de forma cuantitativa, se compara el sistema pavimento-subrasante con un modelo matemático.

## **A. EVALUACIÓN ESTRUCTURAL BASADA EN ENSAYOS DESTRUCTIVOS**

(Thenoux Z., 2019) La ejecución de estos ensayos, requiere alterar el pavimento existente en algún punto. Entre los ensayos destructivos más utilizados para la evaluación de la capacidad de soporte de la estructura existente, se encuentran:

- **Excavación de calicatas.** Este procedimiento corresponde al procedimiento tradicional de recolectar información de diseño y tiene como objetivo la determinación de distintas propiedades de los materiales de las capas que conforman el pavimento, para el diseño y/o evaluación estructural.
- **Extracción de testigos.** Mediante una extractora de testigos, se obtiene una probeta cilíndrica de las capas superficiales del pavimento. En general solo es aplicable a la extracción de materiales de capas de asfalto y hormigón. Permite medir los espesores y propiedades mecánicas de resistencia de capas cementadas.
- **Placa de carga.** El ensayo de placa de carga sirve para la evaluación de la capacidad portante del material de subrasante, bases, y en algunos

casos, del pavimento completo utilizando placas de diámetros relativamente grandes. Para aplicar este método en pavimentos existentes, se requiere efectuar calicatas de gran superficie, lo cual resulta poco práctico y costoso. Este ensayo ha quedado paulatinamente en desuso.

- **Penetrómetro Dinámico de Cono.** El Penetrómetro Dinámico de Cono (DCP) es un dispositivo que permite realizar de un modo expedito, una auscultación in-situ de las capas de suelo de la subrasante y bases granulares. El principio se basa en la acción de una masa dinámica que cae desde una altura preestablecida, lo que produce la penetración de una sonda en forma de cono. Como resultado del ensayo, se encuentra la penetración de la sonda para un determinado número de golpes (PR), el cual está relacionado con las propiedades de CBR.

## **B. EVALUACIÓN ESTRUCTURAL BASADA EN ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS**

(Thenoux Z., 2019). Se denominan así, debido a que permiten estudiar la capacidad estructural existente de un pavimento sin necesidad de intervenir este en ningún punto. Entre los métodos no destructivos, se reconocen dos clases: Medidas de Deflexión y Evaluaciones Empíricas

**Medidas de Deflexión:** Estos métodos se basan en producir deformaciones elásticas o deflexiones en el pavimento mediante dispositivos especiales, los cuales actúan bajo una sollicitación estática o dinámica. Estas deflexiones desaparecen una vez que deja de actuar el dispositivo de medición. Existen varios equipos capaces de medir deflexiones, destacándose entre los más importantes los siguientes:

- Viga Benkelman
- Deflectómetro
- Dynaflect
- Falling Weight Deflectometer (FWD)

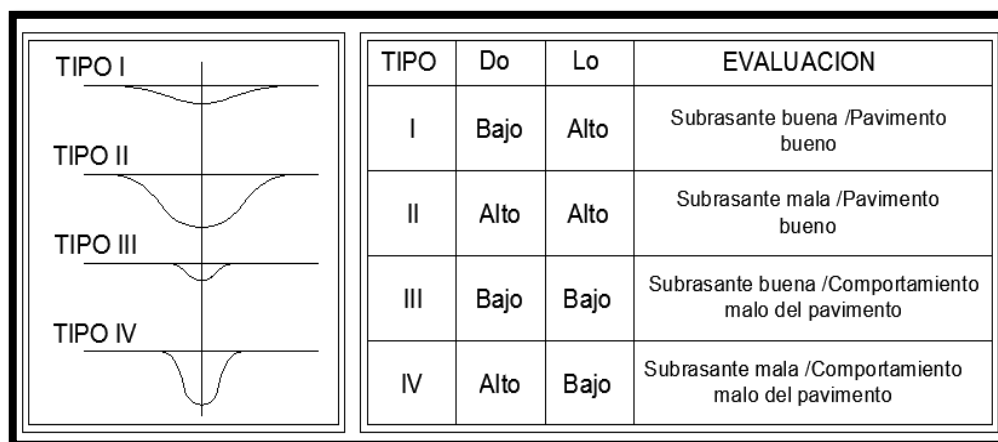
**Evaluaciones Empíricas (Vida Remanente):** Este método de evaluación no constituye en sí un ensayo, corresponde más bien a una evaluación la cual está basada en relacionar directamente la pérdida de capacidad estructural del pavimento con las solicitaciones de tránsito reales acumuladas.

### 2.2.6. DEFLEXIÓN COMO PARÁMETRO DE EVALUACIÓN ESTRUCTURAL

(Murillo F., 2019) La deflexión de una estructura de pavimento asfáltico es el desplazamiento vertical de la superficie en respuesta a la aplicación de una carga externa. Cuando esta carga es aplicada en la superficie, todas las capas son deflectadas, desarrollando tensiones en cada capa, como se muestra en la Figura 4.

La forma y dimensión del cuenco de deflexiones cubre importante información acerca de las características estructurales tanto del pavimento como de la subrasante. Las deflexiones medidas hacia el final del cuenco reflejan la condición de la subrasante, mientras las mediciones tomadas en el centro de la aplicación de la carga refleja la condición de la capa superficial. La figura 4. Muestra la evaluación del pavimento de acuerdo a la longitud ( $L_o$ ) y una profundidad máxima ( $D_o$ ) del cuenco.

**Cuenca:** línea de forma cóncava formada por las deflexiones obtenidas a partir de la carga a la que es sometido un pavimento flexible.



**Figura 4.** Características del cuenco de deflexiones

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. (Higuera Sandoval, 2019)

### **2.2.7. MEDICIÓN DE DEFLEXIÓN ESTÁTICA O DE MOVIMIENTO LENTO**

La respuesta de un pavimento a la aplicación sencilla de una carga estática o de una carga de movimiento lento generalmente se obtiene midiendo la deflexión de la superficie del pavimento bajo la carga.

El instrumento más utilizado para medir la deformación elástica de un pavimento dado es la viga de deflexiones desarrollada por Alvin Carlton Benkelman, que permite conocer diferentes estados y propiedades del pavimento; de gran utilidad para el diseño, construcción y conservación de su estructura

El vehículo de carga consiste en un camión de dos ejes, con una capacidad aproximada de 5 toneladas con una carga en el eje trasero igual a 8.2 toneladas, igualmente distribuidas en dos ruedas cada una de las cuales debe tener dos llantas. Las llantas deben ser de 10" por 20" y doce lonas, infladas a una presión de 5.6 kg/cm<sup>2</sup> (80 lb/pulg<sup>2</sup>). Las llantas deben ser de las mismas características y estar en buenas condiciones.

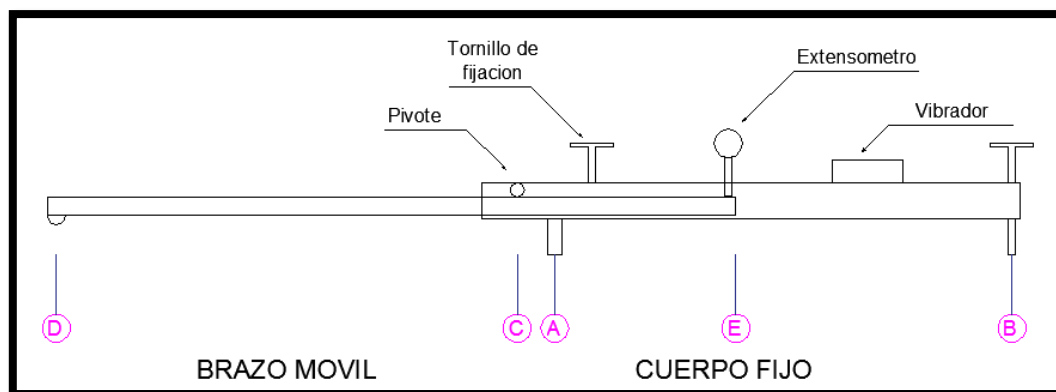
Los ensayos de deflexión deben elaborarse con la rueda exterior del camión. Los puntos para la medida de la deflexión deben estar situados a unos 70 cm, aproximadamente, del borde de la calzada, sobre la superficie de rodadura, o sea sobre la zona más afectada por el paso de los vehículos.

Las mediciones deben hacerse normalmente a distancias máximas de 50 m en forma alterna a cada lado de la calzada de tal manera que sean representativas de las condiciones generales del pavimento. (Montejo, 2006)

### 2.2.8. VIGA BENKELMAN

(Hoffman, 1985) El deflectómetro Benkelman funciona según el principio de la palanca. Es un instrumento completamente mecánico y de diseño simple. Según se esquematiza en la figura 5, la viga consta esencialmente de dos partes: (1) Un cuerpo de sostén que se sitúa directamente sobre el terreno mediante tres apoyos (dos delanteros fijos "A" y uno trasero regulable "B") y (2) Un brazo móvil acoplado al cuerpo fijo mediante una articulación de giro o pivote "C", uno de cuyos extremos apoya sobre el terreno (punto "D") y el otro se encuentra en contacto sensible con el vástago de un micrómetro de movimiento vertical (punto "E").

Adicionalmente el equipo posee un vibrador incorporado que al ser accionado, durante la realización de los ensayos, evita que el indicador del dial se trabe y/o que cualquier interferencia exterior afecte las lecturas.

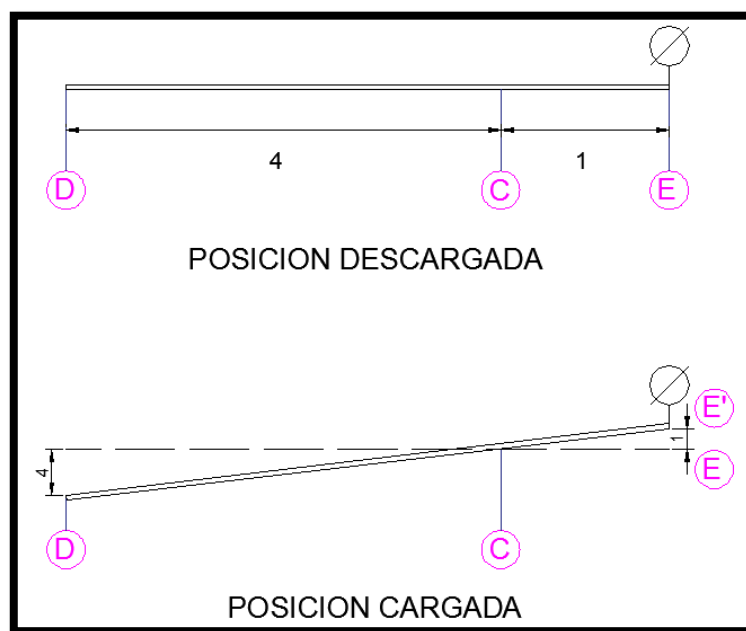


**Figura 5.** Esquema de la Viga Benkelman

El extremo "D" o "punta de la viga" es de espesor tal que puede ser colocado entre una de las llantas dobles del eje trasero de un camión cargado. Por el peso aplicado se produce una deformación del pavimento, consecuencia de lo cual la punta baja una cierta cantidad, con respecto al nivel descargado de la superficie. Como efecto de dicha acción el brazo DE gira en torno al punto fijo "C", con respecto al cuerpo AB, determinando que el extremo "E" produzca un movimiento vertical en el vástago del micrómetro apoyado en él, generando así una lectura en el dial indicador. Si se retiran luego las llantas cargadas, el punto "D" se recupera en lo que a deformación elástica

se refiere y por el mismo mecanismo anterior se genera otra lectura en el dial del micrómetro.

La operación expuesta representa el "principio de medición" con la Viga Benkelman. Lo que se hace después son sólo cálculos en base a los datos recogidos. Así, con las dos lecturas obtenidas es posible determinar cuánto reflectó el pavimento en el lugar subyacente al punto "D" de la viga, durante el procedimiento descrito. Es de anotar que en realidad lo que se mide es la recuperación del punto "D" al remover la carga (rebote elástico) y no la deformación al colocar ésta. Para calcular la deflexión deberá considerarse la geometría de la viga, toda vez que los valores dados por el micrómetro (EE') no están en escala real sino que dependen de la relación de brazos existentes (Ver figura 6).



**Figura 6.** Principio de operación de la Viga Benkelman

### 2.2.9. PROCEDIMIENTO PARA EL ENSAYO CON LA VIGA BENKELMAN

Según ((MTC), 2016) el procedimiento para el ensayo con la viga Benkelman es el siguiente:

- El punto del pavimento a ser ensayado, deberá ser marcado convenientemente con una línea transversal al camino. Sobre dicha línea será localizado el punto



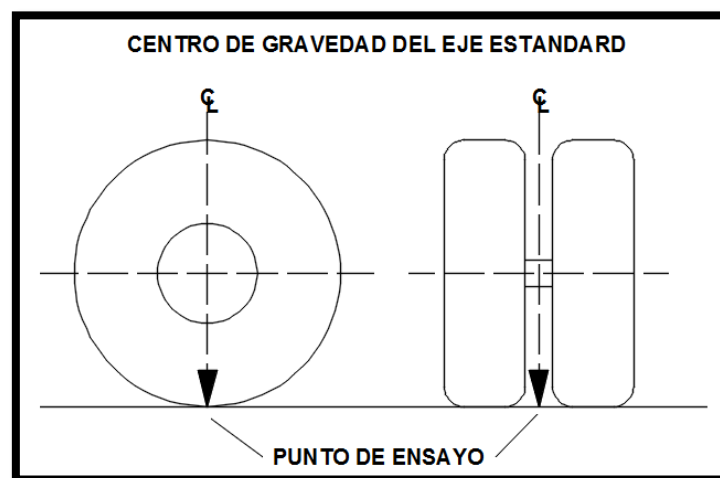
de ensayo a una distancia prefijada del borde. Se recomienda utilizar las distancias indicadas en la siguiente tabla (ver Tabla 1).

**Tabla 1.** Tabla de distancias para ensayos

ANCHO DE CARRIL	DISTANCIA DEL PUNTO DEL ENSAYO DESDE EL BORDE DEL PAVIMENTO (m)
2.70 m.	0.45
3.00 m.	0.60
3.30 m.	0.75
3.60 m. o más	0.90

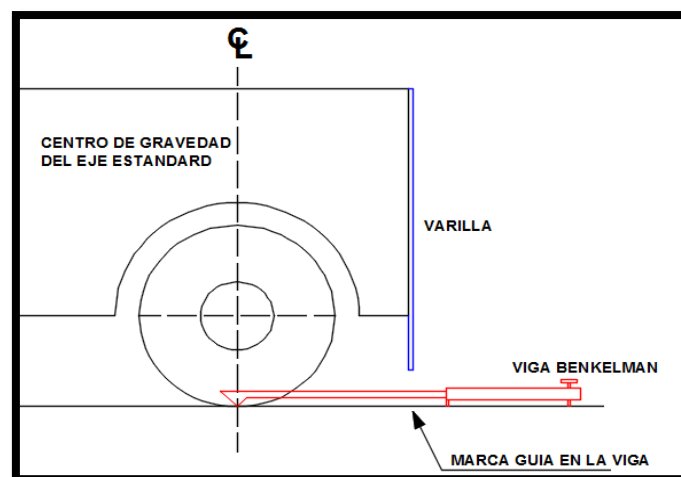
**Fuente:** MTC E 1002 – 2000

- La rueda dual externa deberá ser colocada sobre el punto seleccionado, quedando este ubicado entre ambas llantas. Para la correcta ubicación de la misma es conveniente colocar en la parte trasera externa del camión una guía vertical en correspondencia con el eje de carga; desplazando suavemente el camión, se hace coincidir la guía vertical con la línea transversal indicada en el paso número I, de modo que simultáneamente el punto que entre ambas llantas de la rueda dual y que coincida aproximadamente con el eje vertical del centro de gravedad del conjunto (ver Figura 7). para toda esta operación es aceptable una tolerancia en el rango de 3" alrededor del punto.



**Figura 7.** Ubicación del centro de gravedad del eje posterior

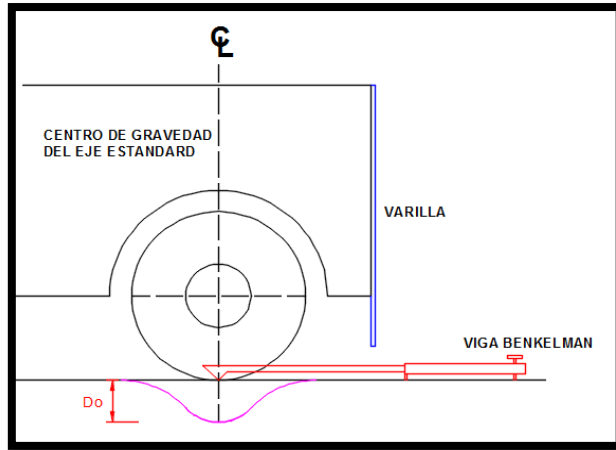
- Se coloca la viga sobre el pavimento, detrás del camión, perpendicularmente al eje de carga, de modo que la punta de prueba del brazo móvil (del primer brazo de mayor longitud, el caso sea doble) coincida con el punto de ensayo y la viga no roce contra las cubiertas de las llantas de la rueda dual. Dado que eso último se dificulta por la inaccesibilidad tanto visual como manual, se realizara previamente la siguiente operación:
- Se coloca la viga en la posición como estuviera entre las llantas pero en la parte exterior de las mismas, haciendo coincidir igualmente, haciendo uso de una plomada, el extremo del brazo móvil con el eje vertical del centro de gravedad, tomando como punto de referencia la varilla vertical adosada a la parte trasera del camión (ver Figura 8), se efectúa una marca en la viga de manera tal que, en adelante, basta con hacerlas coincidir para asegurarse que el extremo de la viga coincide con el centro de las llantas, en el momento de iniciar las mediciones.



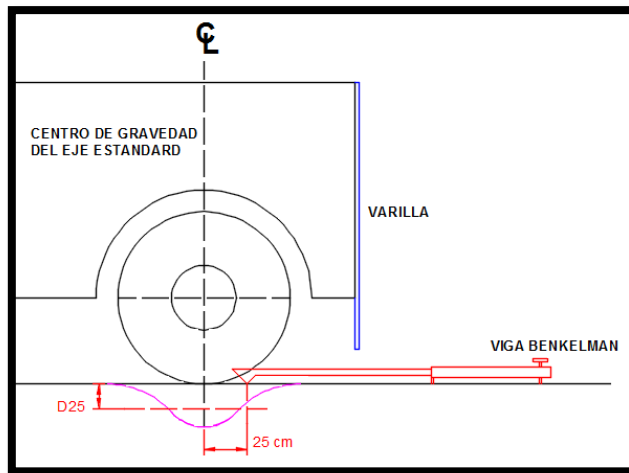
**Figura 8.** Alineamiento del extremo de la Viga Benkelman con el centro de las llantas.

- De igual forma se puede efectuar, a partir de la primera, sucesivas marcas a distancias elegidas a las cuales se desee medir deflexiones adicionales (puede ser a 25, 50, 75 y 100 cm) o por lo menos 3 lecturas, pero se pueden obtener más, con fines de verificación, lo cual es recomendable, o si es que se desea obtener una idea grafica del tipo de curva de deflexiones que se producen.

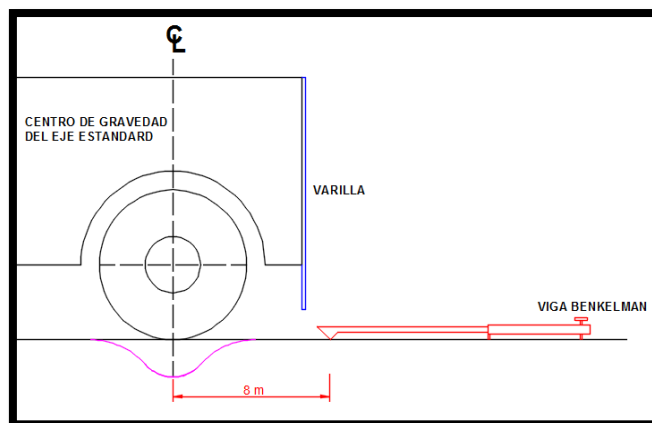
- Una vez instalada la viga en el punto de medición haciendo coincidir con la guía vertical y la marca inicial, se verificará que ésta se encuentre alineada longitudinalmente con la dirección del movimiento del camión.
- Se retira o liberan los seguros de los brazos móviles y se ajusta la base de la viga por medio del tornillo trasero, de manera que los brazos móviles de medición queden en contacto con el vástago de los diales.
- Se ajusta el dial de modo que su vástago tenga un recorrido libre entre 4 y 6 mm (4 o 6 vueltas).
- Se gira la esfera del dial del extensómetro, hasta que la aguja quede en cero y se verificara la lectura golpeando suavemente con un lápiz y poniendo en marcha el vibrador de la viga. Girar la esfera si es necesario y repetir la operación hasta obtener la posición cero (0).
- El ensayo comenzará cuando se compruebe que dicha lectura permanece constante, asegurando el equilibrio del pavimento bajo carga. Se da por estabilizada la deformación producida por la carga, cuando la lectura inicial varía en 0.01 mm/minuto o menos.
- Establecida la lectura inicial en cero, se hace avanzar suave y lentamente el camión procediéndose a tomar las lecturas conforme la varilla vertical vaya coincidiendo con la primera, segunda y demás marcas adicionales (Figuras 10, 11 y 12), y una lectura final cuando el camión se haya alejado lo suficiente del punto de ensayo hasta una distancia de 4 o 5 m aproximadamente en que el indicador del dial ya no tenga movimiento, registro que corresponde al punto de referencia con deflexión cero.



**Figura 9.** Posición inicial ( $D_0 =$  Deflexión máxima)



**Figura 10.** Posición a 25cm ( $D_{25}$ ).



**Figura 11.** Posición final ( $D = 0$ )

- Con el fin de medir la temperatura del pavimento se practica un orificio (antes de comenzar el ensayo y simultáneamente con el trazado de la línea) cuyas dimensiones serán: 4 cm de profundidad y 10 mm de diámetro, aproximadamente emplazado sobre la línea demarcada entre el punto de medición y el borde del pavimento.
- Se llena con agua el orificio y, una vez pasada el tiempo prudencial para que el líquido adquiriera la temperatura del pavimento (no menos de 10 minutos), se inserta el termómetro y se lee la temperatura antes del desplazamiento del camión.
- Para detectar deformación plástica entre los neumáticos de la rueda dual del camión o verificación del descenso de las patas de la viga se procede según lo dispuesto en la norma o especificación MTC E 1002-2000, el cual se adjunta en los anexos.

Para la realización de esta rutina de medición en campo será necesario del concurso de tres operadores: un técnico calificado que lea y dicte las lecturas, un operador que anote las mediciones y un ayudante que coordine con el conductor del camión y a la vez de aviso cuando las varillas adosada al camión vaya coincidiendo con las marcas hechas en la viga.

Todo el trabajo será supervisado por un ingeniero de campo quien verificara los valores que se hayan obtenido así como tomara anotación de cualquier factor que a su juicio pueda explicar los resultados.

#### **2.2.10. CÁLCULO DE LAS DEFLEXIONES**

Para el cálculo de las deflexiones máximas, se debe calcular la diferencia entre la lectura final y las demás lecturas. Las diferencias se multiplican por la relación de brazos de la Viga Benkelman utilizada, en este caso 1:4.

$$D_n = (L_f - L_n) \times 4 \quad (1)$$

Donde:

$D_n$ : Deflexión en la medida n.

$L_f$ : Lectura en la medida final.

$L_n$ : Lectura en la medida n.

### 2.2.11. CORRECCIÓN POR TEMPERATURA

Las deflexiones características deben referirse a una temperatura normal de 20°C. No se requiere corrección por temperatura en estructuras de pavimentos compuestas por un tratamiento superficial o mezclas asfálticas delgadas, colocadas sobre bases cuyo módulo de rigidez sea insensible a cambios de temperatura.

Si las carpetas asfálticas son gruesas, el efecto de la temperatura sobre la deflexión posee mayor importancia, por lo que se ha recomendado aplicar algún factor de corrección, el cual se determina así:

$$Dc(20^{\circ}C) = \frac{Dc(T)}{1 + 8 \times 10^{-4}h(T - 20)} \quad (2)$$

Donde:

$Dc(T)$ : Deflexión Característica de la sección, para la temperatura del pavimento en el momento del ensayo (T).

h: Espesor promedio de las capas asfálticas de la sección, en cm.

Expresión que es válida para temperaturas menores o iguales a 40°C.

### 2.2.12. CORRECCIÓN POR CONDICIONES AMBIENTALES

(Montejo, 2006) Los valores de deflexión característica deberán afectarse por los siguientes valores:

**Tabla 2.** Tabla de valores para corrección por condiciones ambientales

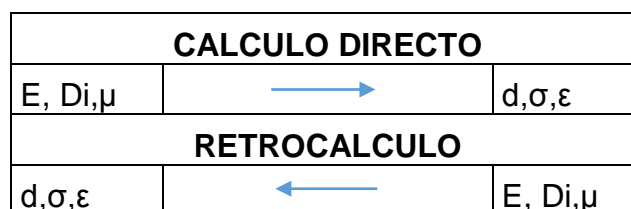
NATURALEZA DEL SUELO DE SUBRASANTE	PERIODO LLUVIAS	PERIODO INTERMEDIO	PERIODO SECO
Suelos arenosos y permeables	1.0	1.0 a 1.1	1.1 a 1.3
Suelos arcillosos e impermeables	1.0	1.3 a 1.5	1.5 a 1.8

**Fuente:** Montejo, A. (2006)

### 2.2.13. METODOLOGÍA DE RETROCÁLCULO

(Murillo F., 2019) La tabla 3. muestra los fundamentos de la metodología de retrocálculo. Las salidas del retrocálculo son el módulo de elasticidad de la estructura del pavimento, el número estructural efectivo de las capas del pavimento y el módulo resiliente de la subrasante.

**Tabla 3.** Representación de la metodología de retrocálculo



**Fuente:** Murillo (2013)

Donde:

E=Modulo elástico de los materiales

μ= Relación de Poison

d=Deflexión de la estructura del pavimento

σ=Tensión en cada capa de la estructura

D= Espesor de las capas

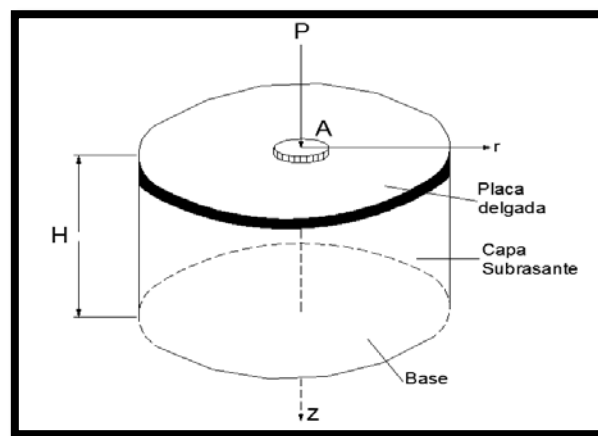
Existen pocas metodologías desarrolladas para las deflexiones bajo cargas estáticas. En 1975, Mario Hoffman presento una metodología basada en el Modelo de Hogg, la

cual se usara en el presente estudio, el cual está basado en las deflexiones obtenidas usando la Viga Benkelman.

## A. MODELO DE HOGG

(Hoffman, 1985) En 1994, Hogg presentó la solución matemática del modelo que es conocido por su nombre. Esto supone que las capas del pavimento están caracterizadas por una placa delgada con una cierta rigidez a la flexión.

La subrasante está representada como un medio elástico, lineal, homogéneo e isotrópico (Figura 12)



**Figura 12.** Esquema del Modelo de Hogg (Hoffman, Mario. 1985)

Hoffman, en 1977 presento la solución computarizada del modelo, que es resumido abajo.

$$A = \sqrt{\frac{P/2}{\pi p}} \quad \Rightarrow \quad R_5 = R \frac{A^c - B}{\left[ A \left( \frac{D_0}{D_R} - 1 \right) \right]^c - B}$$

$$L_0 = \frac{Y R_5 + \sqrt{(Y R_5)^2 - 4 A X R_5}}{2} \quad \Rightarrow \quad \frac{S_0}{S} = 1 - M \left( \frac{A}{L_0} - 0.1 \right) \quad \Rightarrow \quad E_0 = \left( \frac{K * I * P}{L_0 * D_0} \right) \frac{S_0}{S}$$



### - **MODELO DE CARGA**

(Hoffman, 1985) La carga en el ensayo con la Viga Benkelman proviene del eje trasero simple con llanta doble de un camión. La carga del eje es del orden de los 18,000 libras y la presión de inflado es de 75 a 85 psi. En el modelo de carga (ver figura 12) se asume que la presión de inflado es igual a la presión de contacto, que la huella de contacto de cada llanta es circular y de radio "A" y, que hay una distancia de "3A" entre los centros de cada llanta, Por equilibrio se establece la siguiente relación:

$$A = \sqrt{\frac{P/2}{\pi p}} \quad (3)$$

Donde:

A: Radio de huella circular de contacto

P: Carga sobre una llanta

p: Presión de inflado

### - **DETERMINACION DE R<sub>5</sub>**

(Hoffman, 1985) R<sub>5</sub> es la distancia "R" del centro geométrico de la llanta doble en dirección longitudinal, en la cual se obtiene que la relación D<sub>R</sub>/D<sub>0</sub> = 0.5 en la curva de deflexiones. Para el modelo de HOGG se ha establecido que R<sub>5</sub> puede determinarse usando la siguiente ecuación:

$$R_5 = R \frac{A^C - B}{\left[ A \left( \frac{D_0}{D_R} - 1 \right) \right]^C - B} \quad (4)$$

Donde:

R: Distancia a la que se mide la deflexión D<sub>R</sub>

D<sub>0</sub>: Deflexión máxima

D<sub>R</sub>: Deflexión a la distancia R

A,B y C: Coeficientes de correlación se obtienen de la tabla 4.

**Tabla 4. Coeficientes para el cálculo de  $R_5$**

H/Lo	$\mu$	A	B	C
$\infty$	Cualquier valor	3.115	0	0.584
10 DR/Do>0.7	0.5	2.46	0	0.592
10 DR/Do<0.7	0.5	371.1	2	0.219
10 DR/Do>0.426	0.4	2.629	0	0.548
10 DR/Do<0.426	0.4	2283.4	3	0.2004

**Fuente:** Hoffman (1985)

- **DETERMINACIÓN DE LA LONGITUD ELÁSTICA ( $L_0$ )**

La longitud elástica ( $L_0$ ) del pavimento puede calcularse usando la ecuación (5).

$$L_0 = \frac{YR_5 + \sqrt{(YR_5)^2 - 4AXR_5}}{2} \quad (5)$$

Donde:

$R_5$ : Calculado en la ecuación (4)

A: Radio de la huella circular de carga

X,Y: Coeficiente de correlación se obtienen de la tabla 5.

$\mu$ : Relación de Poison

**Tabla 5. Coeficientes para el cálculo de  $L_0$**

H/Lo	$\mu$	X	Y
10	0.5	0.183	0.62
10	0.4	0.192	0.602
$\infty$	Cualquier valor	0.18	0.525

**Fuente:** Hoffman (1985)

- **DETERMINACIÓN DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD DE LA SUBRASANTE (E<sub>0</sub>)**

La determinación del módulo de elasticidad de la subrasante constituye un punto central de la metodología de evaluación. Para desarrollar soluciones numéricas programables en computadora, esta determinación se efectúa en dos pasos:

- Primer Paso: Consiste en establecer la relación teórica entre la rigidez para carga puntual y la rigidez para carga distribuida sobre un área, para un cociente dado del valor A/L<sub>0</sub>. La rigidez se define como el cociente entre la carga y la deflexión (S= P/D<sub>0</sub>).

La relación teórica se calcula por medio de la ecuación:

$$\frac{S_0}{S} = 1 - M\left(\frac{A}{L_0} - 0.1\right) \quad (6)$$

Donde:

S<sub>0</sub>: Rigidez para carga puntual

S: Rigidez para carga de área

M: Coeficiente numérico que adopta los siguientes valores:

Para H/L<sub>0</sub>= 10 ; μ=0.5 ; M=0.52

Para H/L<sub>0</sub>= 10 ; μ=0.4 ; M=0.48

Para H/L<sub>0</sub>= ∞ ; μ=cualquier valor; M=0.44

- Segundo Paso: Una vez determinado el valor de S<sub>0</sub>/S, se calcula el módulo de elasticidad de la subrasante por medio de la siguiente ecuación:

$$E_0 = \left(\frac{K * I * P}{L_0 * D_0}\right) \frac{S_0}{S} \quad (7)$$

Donde:

K: Coeficiente numérico que depende del coeficiente de Poisson de la subrasante y que adopta los siguientes valores:

Para  $\mu = 0.5$ ;  $K= 1.5$

Para  $\mu = 0.4$ ;  $K= 1.633$

I: Coeficiente numérico que adopta los siguientes valores:

Para  $H/L0 = 10$ ;  $\mu =0.4$  ;  $I = 0.1689$

Para  $H/L0 = 10$ ;  $\mu =0.5$  ;  $I = 0.1614$

Para  $H/L0 = \infty$  ;  $\mu =$ cualquier valor;  $I=0.1925$

P: Carga total en la llanta doble

Lo: Longitud elástica (ecuación 5)

Do: Deflexión máxima

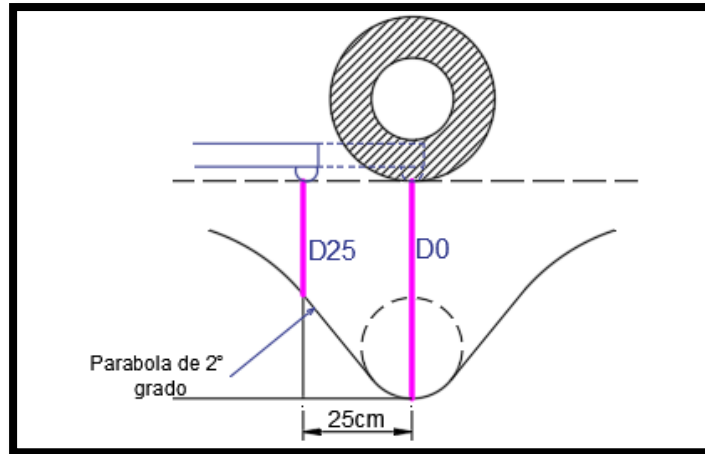
## B. METODOLOGÍA EMPÍRICA CONREVIAl

(CONREVIAl, 1983) Se basa en el valor de la deflexión máxima y el tipo de curvatura que adopta la superficie cargada, siendo sus resultados confiables a medida que exista una base comparativa en una gran variedad de estructuras.

**Hipótesis del método:** Las deflexiones son el reflejo del comportamiento mecánico de la subrasante.

**Fundamento teórico de la metodología empírica Conrevial.** Los trabajos de evaluar estructuralmente los pavimentos, están referidos a determinar las características mecánicas de las diferentes capas que conforman la estructura del pavimento y su comportamiento integral con respecto a la sub-rasante.

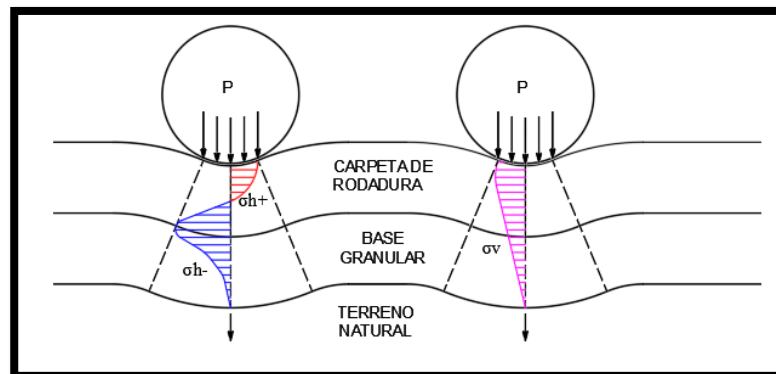
La Viga de brazo doble y su método empírico, genera una deformada del tipo parábola. La figura 13 muestra la deformada y el círculo inscrito de radio de curvatura ( $R_c$ ).



**Figura 13. Radio de curvatura**

La evaluación estructural de la subrasante está basada en el análisis de las curvas de deflexiones medidas, utilizando para ello modelos matemáticos y la teoría de la elasticidad. Se basa en que la deflexión máxima es un indicador de la capacidad de soporte del suelo de fundación. Además, la curvatura que adopta la subrasante, reflejada en el radio de curvatura o longitud de curva, es un indicador de la calidad y resistencia de la subrasante.

La llanta no solo genera esfuerzos verticales sino también esfuerzos horizontales. En una estructura típica de pavimento (carpeta asfáltica, base y subbase granular) los esfuerzos horizontales se disipan a través de la carpeta asfáltica, pasando de un valor positivo en la superficie a uno negativo en su fibra interior. La figura 14 muestra la distribución de esfuerzos horizontales ( $\sigma_h$ ) y verticales ( $\sigma_v$ ) de pavimentos típicos.



**Figura 14. Distribución de esfuerzos en un pavimento flexible**

Como se observa en la figura 14, los esfuerzos son reducidos a nivel de base granular, la carpeta de rodadura contribuye en la función estructural cuando posee un espesor mayor de 3 pulgadas, en menores espesores solo contribuye como una capa protectora del pavimento la cual distribuye los esfuerzos a la base, sin disminuirlos.

#### - DETERMINACIÓN DEL RADIO DE CURVATURA

(CONREVIAl, 1983) El grado de curvatura de la línea elástica de deflexión es una característica de fundamental importancia, que determina la magnitud de la deformación lineal por tracción que sufren las capas elásticas al flexionar bajo las cargas de tránsito. El método para determinar el radio de curvatura, se basa en la hipótesis de que la línea de deflexiones de la distancia hasta el eje de la carga, se aproxima a una parábola hasta una distancia superior a 25 cm, sufriendo luego una inflexión para atender asintóticamente hacia la horizontal (Ver figura 13). La curvatura de la parábola queda entonces definida por su parámetro, el cual, en la zona de máxima curvatura, se confunde con el radio del arco oscular en dicho punto, es decir exactamente bajo el centro del eje de la rueda cargada. El radio de curvatura según la metodología francesa se expresa mediante la siguiente fórmula:

$$R_c = \frac{10 \times 25^2}{2 * (D_0 - D_{25})} \quad (8)$$

Donde:

$R_c$  : Radio de Curvatura (m)

$D_0$  : Deflexión máxima corregida por temperatura (1/100 mm)

$D_{25}$  : Deflexión a 25 cm corregida por temperatura (1/100 mm)

10 : Coeficiente por cambio de unidades

#### - DEFLEXIÓN CARACTERÍSTICA

(CONREVIAl, 1983) La deflexión característica, es un parámetro estadístico, empleado para la caracterización representativa de los pavimentos. Para su determinación, es necesario contar con una base de datos de deflexiones recuperables máximas ( $D_0$ ), del tramo que se quiere evaluar y establecer los parámetros estadísticos de dichos datos.

Los estudios de deflexiones recuperables han demostrado que las deflexiones medidas en una sección del pavimento, presentan una distribución de frecuencias que se asemejan a una distribución normal.

Por ende, a partir de las deflexiones individuales, asumiendo que se hallan distribuidas de acuerdo a la ley de Gauss se han determinado la deflexión promedio ( $\bar{D}$ ), el desvío cuadrático medio o desviación estándar ( $\sigma$ ) y el coeficiente de variación CV, usando las siguientes expresiones; donde n es el número de determinaciones:

$$\bar{D} = \frac{\sum_{i=1}^n D_i}{n} \quad (9)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (D_i - \bar{D})^2}{(n - 1)}}, \text{ para } n > 30 \quad (10)$$

$$CV = \frac{\sigma}{\bar{D}} * 10 \quad (11)$$

Dado que la desviación estándar aumenta con un incremento de las deflexiones, y mayores deflexiones están asociadas a pavimentos más débiles en general son más variables, y que la deflexión de diseño, cuando se utiliza en algún método para el cálculo de refuerzo, debe basarse tanto en la deflexión media como en la dispersión.

Para diseño se emplea la deflexión característica, valor que representa mejor a una determinada sección; siguiendo el criterio adoptado normalmente en análisis estadístico, se establece como deflexión característica:

$$D_c = \bar{D} + t * \sigma \quad (12)$$

Donde:

$D_c$  : Deflexión característica

$\bar{D}$  : Deflexión promedio de los valores individuales  $D_0$  corregidos

$t$  : Coeficiente que representa al porcentaje del área total con probabilidad de presentar deflexiones superiores a la deflexión característica

$\sigma$  : Desviación estándar

Considerando que cada deflexión media representa una cierta extensión o área de pavimento, cada valor “t” corresponderá a un porcentaje del área total con probabilidad de presentar deflexiones superiores a las características correspondientes.

**Tabla 6.** Valor de “t” y probabilidad de ocurrencia de  $D > D_c$

VALOR DE DISEÑO	$D_c$	Área $D > D_c$ %
50	D	50
75	$D + 0.67\sigma$	25
85	$D + \sigma$	15
90	$D + 1.3\sigma$	10
95	$D + 1.645\sigma$	5
98	$D + 2\sigma$	2
99	$D + 2.33\sigma$	1

**Fuente:** José Wilfredo L., *Modelación Geotécnica de Pavimentos Flexibles con Fines de Análisis y Diseño en el Perú, Lima Perú, 2007.*

En el caso del diseño de un refuerzo, el espesor deberá ser tal que solo una pequeña área resulte infradiseñada. La elección del valor “t” es una decisión técnico - económica que dependerá del número de determinaciones, del grado de confiabilidad, de la relación entre costos de mantenimiento y de rehabilitación, de la variabilidad de capacidad estructural o constructiva, del tráfico, ubicación e importancia de la carretera, etc.

En el método CONREVIAl se adopta como deflexión característica aquella que corresponde al 95%, es decir la que es superada solo por el 5% de las determinaciones ( $D_p + 1.645\sigma$ ).

#### - DEFLEXIÓN ADMISIBLE

(CONREVIAl, 1983) La deflexión admisible, es un parámetro definido en función al tráfico de diseño, que establece un límite para la deflexión característica, por encima



del cual no se garantiza un comportamiento satisfactorio de la estructura, durante el periodo considerado. La expresión analítica que define este parámetro es:

$$D_a = \left(\frac{1.15}{N18}\right)^{\frac{1}{4}} \quad (13)$$

Donde:

- $D_c$  : Deflexión admisible (mm)
- $N18$  : Número de repeticiones de ejes equivalente a 8.2 ton (millones)

**Nota:** Los valores de N18 resultan del estudio de tránsito, el cual integra los conteos de vehículos, el pesaje de los vehículos de mayor capacidad y hallar los factores equivalentes de carga y tasas de crecimiento anual de tránsito.

#### - DEFLEXIÓN CRÍTICA

(CONREVIAl, 1983) La deflexión crítica, es un parámetro definido en función al tráfico de diseño, que establece un límite para la deflexión al término de su servicio, por encima del cual no se garantiza un comportamiento satisfactorio de la estructura, durante el periodo considerado. La expresión analítica que define este parámetro es:

$$D_{CR} = \left(\frac{1.90}{N18}\right)^{\frac{1}{5.3}} \quad (14)$$

Donde:

- $D_{CR}$  : Deflexión crítica (mm)
- $N18$  : Número de repeticiones de ejes equivalente a 8.2 ton (millones)

#### - VALORES DE EJES EQUIVALENTES DE CARGA - EAL

Para el cálculo del EAL se emplea la fórmula dada por el AASHTO:

$$EAL = \sum_{i=1}^n (IMD_o)_i (FE_{CV})(G)(D)(L)(365)(N) \quad (15)$$

Donde:

(IMDo)<sub>i</sub> : Número de vehículos inicial de tipo "i"

N : Período de diseño o vida útil del pavimento.

D : Factor direccional

L : Factor de distribución del tránsito por carril.

G : Factor de crecimiento.

FECV : Factor de Ejes Equivalentes

#### - FACTOR DE CRECIMIENTO

(CONREVIAl, 1983) El factor de crecimiento del tráfico se calcula aplicando la siguiente fórmula:

$$G = \frac{[(1+r)^n - 1]}{r} \quad (16)$$

Dónde:

r = Tasa de crecimiento anual (decimales.)

n= Período de diseño (años).

#### - ANÁLISIS

Con los parámetros calculados se procede al siguiente análisis:

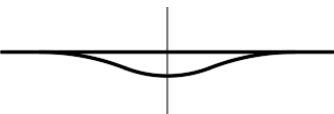
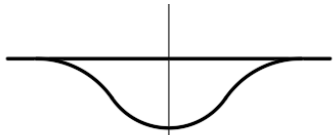
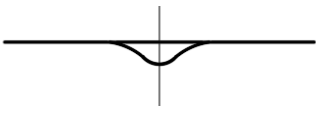
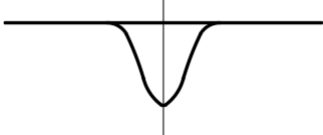
**Tabla 7.** Características del pavimento de acuerdo al tipo de deflexión y Radio de curvatura

TIPO DE DEFLEXIÓN	COMPORTAMIENTO DE LA SUBRASANTE	COMPORTAMIENTO DEL PAVIMENTO
Tipo I	Bueno $D_c < D_a$	Bueno $R_c > 100$
Tipo II	Malo $D_c > D_a$	Bueno $R_c > 100$
Tipo III	Bueno	Malo

	$D_c < D_a$	$R_c > 100$
Tipo IV	Malo $D_c > D_a$	Malo $R_c < 100$

**Fuente:** Método CONREVIAL

**Tabla 8.** Características del pavimento de acuerdo al cuenco de deflexiones

TIPO	CUENCO DE DEFLEXIONES	CURVA MEDIDA	PAVIMENTO EVALUADO
I		Curva extensa poco pronunciada	Buen Pavimento Buena subrasante
II		Curva extensa profunda	Buen Pavimento Mala subrasante
III		Curva corta poco Profunda	Mal Pavimento Buena subrasante
IV		Curva corta profunda	Mal Pavimento Mala subrasante

**Fuente:** Método CONREVIAL

**Tabla 9.** Recomendaciones a tener en cuenta para el diseño de refuerzo

DEFLECTOMETRIA	ESTADO VISUAL	ESTADO ESTRUCTURA	RECOMENDACIÓN
<p>La deflexión característica es superior a la admisible. Los radios de curvatura son elevados o aceptables (en relación a la estructura). <b><math>D_c &gt; D_a</math></b> <b><math>+R_c</math></b></p>	No hay fallas de origen estructural.	<p>Estructura infradiseñada, pero la capacidad portante de las capas decrece en profundidad. (No existe capa débil inmediatamente debajo capa asfáltica)</p>	<p>Examinar fecha y tipo de las últimas obras ejecutadas, para justificar estado del pavimento. <b>1° CASO</b></p>
	Hay fallas de origen estructural generalizadas.		<p>Hay acuerdo entre todas las variables. a) Las deflexiones son empleadas para el cálculo de refuerzo. b) Para deflexiones muy fuertes analizar económicamente reconstrucción.</p>

			Verificar refuerzo con métodos de diseño. <b>2° CASO</b>
La deflexión característica es superior a la admisible. Los radios de curvatura son pequeños (aún para deflexiones reducidas). <b>DC &gt; Da</b> <b>-RC</b>		Existe una capa débil inmediatamente debajo de las capas asfálticas (Relación entre módulos de elasticidad <1).	Se trata de neutralizar el efecto de la capa que falla, ya sea por reconstrucción parcial, o refuerzo. No es conveniente emplear la deflexión ya que puede no ser representativa. <b>3° CASO</b>
La deflexión característica es inferior a la admisible. Los radios de curvatura son reducidos. <b>DC &lt; Da</b> <b>-RC</b>	Hay fallas de origen estructural por fatiga (Fisuras tipo piel de cocodrilo).	Existe una capa débil inmediatamente debajo de las capas asfálticas.	Analizar fecha de mediciones y tipo de estructura. Neutralizar el efecto de la capa débil (reconstrucción o refuerzo). De ninguna manera se pueden considerar las deflexiones para el proyecto; emplear métodos de diseño. <b>3° CASO</b>
La deflexión característica es inferior a la admisible. <b>DC &lt; Da</b>	Hay fallas de origen estructural: deformaciones permanentes de la fundación.	Estructura degradada no adecuada para la fundación.	Evaluar aporte estructural de la calzada existente (reconstrucción o refuerzo). La deflexión no es representativa. <b>4° CASO</b>
	No hay fallas de origen estructural	Estructura bien diseñada.	Corregir fallas de origen superficial, las soluciones dependerán de los defectos observados y sus causas. Mejora superficial. <b>5° CASO</b>

**Fuente:** Modelación Geotécnica de Pavimento Flexible con Fines de Análisis y Diseño en el Perú.

## CAPÍTULO III

### MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. UBICACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

##### 3.1.1. UBICACIÓN POLÍTICA

Departamento	:	Cajamarca
Provincia	:	Cajamarca
Distrito	:	Baños del Inca – Encañada
Localidades	:	Chaquilpampa – Santa Rosa de Chaquil

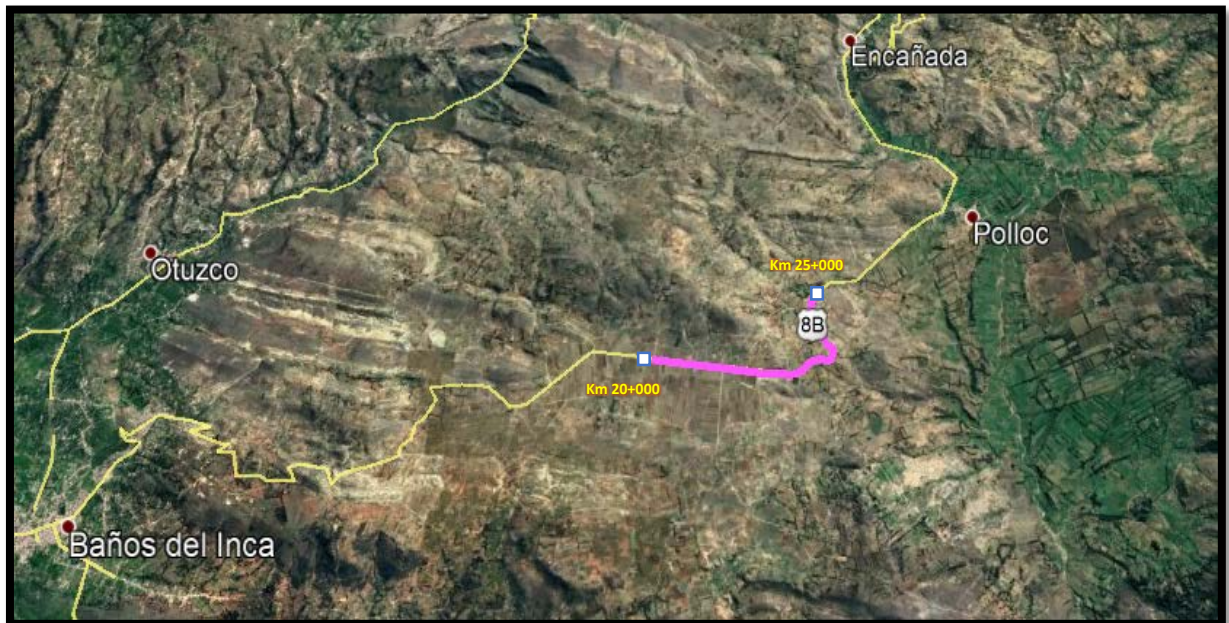
El pavimento estudiado corresponde a la carretera transversal Ruta N° PE-08 B (ramal), tramo del km 20+000 al km 25+000.

##### 3.1.2. UBICACIÓN GEOGRÁFICA

Las coordenadas del tramo estudiado son:

*Tabla 10. Ubicación Geográfica*

UBICACIÓN GEOGRAFICA							
Lugar	Progresiva (Km)	Coordenadas Geográficas		Coordenadas UTM			Elevación (m.s.n.m)
		Longitud	Latitud	Este	Norte	Zona	
Chaquilpampa	20+000	78°22'37"O	7°8'22"S	789705	9209996	17M	3095
Santa Rosa de Chaquil	25+000	78°21'6" S	7°7'47"S	792522	9211060	17M	3037



**Figura 15.** Ubicación del pavimento estudiado

### **3.2. PERIODO DE ESTUDIO**

La investigación se realizó en el mes de Junio del año 2018

### **3.3. METODOLOGÍA**

La metodología utilizada en este estudio es “no destructiva” y se basa en la interpretación de las deflexiones medidas en la superficie de un pavimento. Las deflexiones en la superficie de un pavimento reflejan una respuesta global del sistema pavimento-subrasante bajo una carga dada. Su medición es simple, rápida, económica y “no destructiva”.

La metodología consiste, básicamente, en tomar deflexiones en el pavimento que se va a estudiar haciendo uso de la Viga Benkelman en ambas calzadas bajo la carga de un camión con peso en su eje posterior de 8.2 ton, dichas mediciones son tomadas cada 100m y son compararlas con las deflexiones admisibles según la metodología CONREVIAl. El procesamiento de los datos se lo realizó de forma manual.

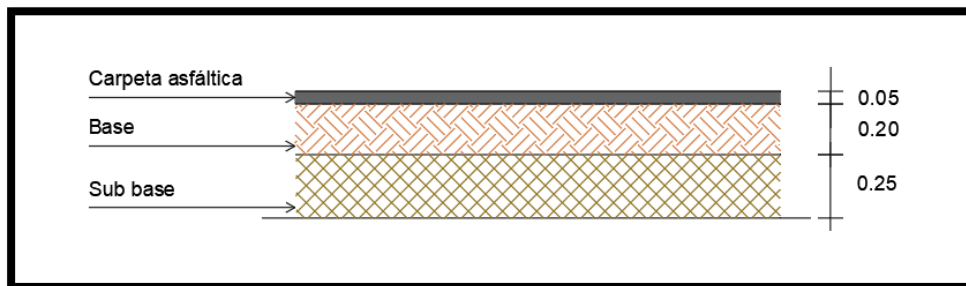
### 3.4. DESCRIPCIÓN DE LA CARRETERA

#### Clasificación de la vía

- Según su función : Sistema Nacional (Ruta PE-08 B)
- Según demanda : Carretera de segunda clase (ver anexo 3)
- Según su orografía : Tipo I

#### Características de la vía

- Longitud del tramo : 5.00 km
- Ancho de la calzada : 6.00 m
- Ancho de Bermas : 75 cm
- N° de calzadas : 01
- N° de carriles : 02
- Ancho de carriles : 3.00 m
- Estructura del pavimento
  - Carpeta asfáltica : 5 cm
  - Base granular : 20 cm
  - Sub base granular : 25 cm



**Figura 16.** Sección típica de la estructura del pavimento

### 3.5. PROCEDIMIENTO DE INSPECCIÓN

#### 3.5.1. ASPECTOS PREVIOS

Las deflexiones se tomaron espaciadas cada una de ellas en 100 m en cada carril.

### 3.5.2. EQUIPOS Y HERRAMIENTAS

- **Viga Benkelman:** Viga Benkelman de doble brazo con sus correspondientes diales registradores.



*Figura 17. Viga Benkelman*

- **Vehículo de carga.** Camión cargado de tal forma que lleve una carga de 80 KN (8164.66 Kg) en sus ruedas duales en el eje posterior y con presión de inflado de 5.27 a 5.98 kg/cm<sup>2</sup> y una distancia entre los puntos medios de las bandas de rodamiento igual a 32 cm



*Figura 18. Vehículo de carga*

- **Odómetro.** Instrumento de medición que calcula la distancia total o parcial recorrida por un cuerpo.





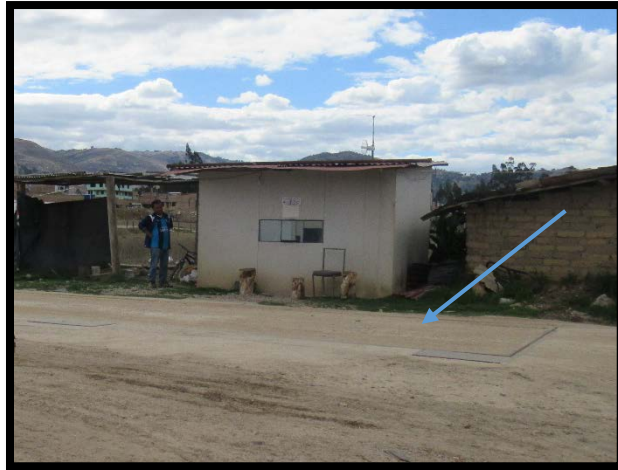
**Figura 19.** Odómetro manual

- **Termómetro.** Instrumento utilizado para medir la temperatura del pavimento estudiado.



**Figura 20.** Termómetro

- **Balanza.** Balanza utilizada para pesaje del vehículo de carga.



**Figura 21. Balanza**

- **Plano de Distribución.** Plano de red de pavimento que será evaluada.
- **Accesorios.** Hojas de campo, lapiceros, conos de seguridad, cincel, martillo, varilla de metal, cinta aislante, etc.

### **3.5.3. PERSONAL**

- **Especialista en Evaluación de Pavimentos:** Se encargará de la supervisión del ensayo, es decir, verificará los valores que se vayan obteniendo.
- **Técnico Operador:** Se encargará de leer y anotar las lecturas. Uno para cada dial.
- **Ayudante Auxiliar:** Que coordine con el conductor del Vehículo y a la vez de aviso al técnico que realiza las lecturas, cuando la varilla adosada al camión vaya coincidiendo con las marcas hechas en la viga.
- **Ayudantes vigías:** Se encargaron de vigilar la seguridad.
- **Conductor:** Para que conduzca el volquete.

### 3.5.4. PROCEDIMIENTO DE CAMPO

- Pesado del Vehículo en la balanza



**Figura 22.** Pesado de vehiculo de carga

- Medición de la distancia desde el borde de la vía al punto de ensayo, de acuerdo a la siguiente tabla.

**Tabla 11.** Distancia del punto de ensayo al borde de la vía

<b>ANCHO DE CARRIL (m)</b>	<b>DISTANCIA DEL PUNTO DE ENSAYO Y EL BORDE DE LA VIA (cm)</b>
2.70	45
<b>3.00</b>	<b>60</b>
3.30	75
≥ 3.60	90

**Fuente:** Manual de ensayo de materiales (MTC E 1002)

- Centrado de la punta delantera de la viga entre las dos ruedas, perpendicular al eje de carga, de tal forma que la punta de prueba del primer brazo coincida con el punto de ensayo.



**Figura 23.** Centrado de la viga en el punto de ensayo

- Para facilitar esta operación se utiliza una varilla vertical adosada a la parte trasera del camión y se efectúa una marca en la viga de tal manera que, basta con hacerlas coincidir para asegurarse que el extremo de la viga coincide con el centro de las llantas.



**Figura 24.** Marcado de guía en la viga

- A partir de la primera marca, se efectúan marcas sucesivas a las distancias a las cuales se desea medir las deflexiones adicionales, en este caso se realizaron a 25 cm, 50cm, 75 cm y 100cm.

- Se libera los seguros de los brazos de la viga y se ajusta la base por medio del tornillo trasero, de manera que los dos brazos de medición queden en contacto con los diales.
- Colocar en ceros los diales de medición.



**Figura 25.** Establecer la lectura inicial en cero

- Ordenar que el vehículo de carga comience a avanzar a baja velocidad.
- Tomar las lecturas a las distancias señaladas en los brazos de la viga.



**Figura 26.** Toma de datos



### 3.6. DATOS DE CAMPO

*Tabla 12. Datos de campo*

N°	Progresiva		Temperatura (°C)	Lecturas del dial (x 10 <sup>-2</sup> )					
	Km	Calzada		L <sub>0</sub>	L <sub>25</sub>	L <sub>50</sub>	L <sub>75</sub>	L <sub>100</sub>	L <sub>f</sub>
1	20+000	ida	17.60	0	2	4	7	10	11
2	20+100	ida	17.60	0	4	6	7	9	11
3	20+200	ida	17.60	0	1	2	3	4	9
4	20+300	ida	17.60	0	2	3	5	7	9
5	20+400	ida	17.60	0	3	5	6	9	11
6	20+500	ida	17.60	0	2	4	6	10	14
7	20+600	ida	17.60	0	2	4	5	6	14
8	20+700	ida	17.60	0	2	3	4	8	15
9	20+800	ida	17.60	0	2	4	6	9	14
10	20+900	ida	17.60	0	2	3	5	7	14
11	21+000	ida	27.20	0	1	3	6	10	11
12	21+100	ida	27.20	0	1	3	6	8	11
13	21+200	ida	30.70	0	2	4	6	7	11
14	21+300	ida	30.10	0	1	4	5	9	11
15	21+400	ida	30.10	0	2	3	6	8	10
16	21+500	ida	30.10	0	4	6	7	10	11
17	21+600	ida	30.10	0	4	6	8	10	11
18	21+700	ida	30.10	0	3	5	8	10	11
19	21+800	ida	30.10	0	4	6	7	9	11
20	21+900	ida	30.10	0	3	5	6	10	12
21	22+000	ida	30.10	0	4	6	8	9	11
22	22+100	ida	30.10	0	4	5	6	8	11
23	22+200	ida	31.40	0	3	5	6	7	11
24	22+300	ida	31.40	0	2	3	4	6	9
25	22+400	ida	31.40	0	2	4	7	9	12
26	22+500	ida	31.40	0	2	3	6	9	10
27	22+600	ida	31.40	0	4	6	7	9	11
28	22+700	ida	31.40	0	3	4	6	7	9
29	22+800	ida	31.40	0	3	5	6	9	10
30	22+900	ida	31.40	0	3	6	7	9	11
31	23+000	ida	31.40	0	4	5	7	10	11
32	23+100	ida	31.40	0	5	7	8	10	12
33	23+200	ida	31.40	0	4	6	7	8	11
34	23+300	ida	31.40	0	2	4	5	7	9
35	23+400	ida	31.40	0	3	4	6	8	10
36	23+500	ida	32.30	0	4	6	7	9	11
37	23+600	ida	32.30	0	4	5	9	11	12

38	23+700	ida	32.30	0	8	9	12	16	18
39	23+800	ida	32.30	0	8	10	13	16	19
40	23+900	ida	32.30	0	8	10	11	12	14
41	24+000	ida	32.30	0	8	11	13	15	18
42	24+100	ida	32.30	0	3	6	7	12	15
43	24+200	ida	32.30	0	10	12	15	17	19
44	24+300	ida	32.30	0	2	4	7	9	11
45	24+400	ida	32.30	0	4	6	8	10	12
46	24+500	ida	32.30	0	2	5	8	10	11
47	24+600	ida	32.30	0	3	5	9	11	12
48	24+700	ida	32.30	0	1	4	6	9	12
49	24+800	ida	33.60	0	2	5	7	10	11
50	24+900	ida	33.60	0	4	6	9	11	12
51	25+000	ida	33.60	0	3	5	7	9	10
52	24+950	retorno	33.60	0	3	4	5	8	10
53	24+850	retorno	33.60	0	3	5	6	7	10
54	24+750	retorno	33.60	0	3	4	5	6	8
55	24+650	retorno	33.60	0	2	4	5	7	9
56	24+550	retorno	33.60	0	4	5	8	10	11
57	24+450	retorno	33.60	0	3	5	7	8	11
58	24+350	retorno	33.60	0	2	5	8	9	11
59	24+250	retorno	33.60	0	2	4	5	6	9
60	24+150	retorno	33.90	0	3	5	8	12	15
61	24+050	retorno	33.90	0	6	9	13	17	18
62	23+950	retorno	33.90	0	8	9	10	12	13
63	23+850	retorno	33.90	0	9	11	16	19	20
64	23+750	retorno	33.90	0	9	12	15	17	19
65	23+650	retorno	33.90	0	8	10	12	15	18
66	23+550	retorno	33.90	0	2	4	5	8	11
67	23+450	retorno	33.90	0	2	4	6	8	11
68	23+350	retorno	33.90	0	3	5	8	10	11
69	23+250	retorno	33.90	0	2	4	5	6	10
70	23+150	retorno	32.70	0	3	5	7	8	11
71	23+050	retorno	32.70	0	2	4	5	7	11
72	22+950	retorno	32.70	0	3	5	7	8	11
73	22+850	retorno	32.70	0	2	4	5	7	10
74	22+750	retorno	32.70	0	4	5	7	10	11
75	22+650	retorno	32.70	0	2	3	5	7	10
76	22+550	retorno	32.70	0	2	4	5	8	11
77	22+450	retorno	32.70	0	1	3	4	6	11
78	22+350	retorno	32.70	0	2	4	6	9	12
79	22+250	retorno	32.70	0	2	3	6	8	10
80	22+150	retorno	31.90	0	1	3	5	6	9
81	22+050	retorno	31.90	0	1	3	4	6	11
82	21+950	retorno	31.90	0	1	2	4	7	10



83	21+850	retorno	31.90	0	2	4	6	7	10
84	21+750	retorno	31.90	0	1	3	5	7	10
85	21+650	retorno	26.20	0	2	4	6	7	11
86	21+550	retorno	26.20	0	2	4	5	8	11
87	21+450	retorno	26.20	0	2	4	5	7	9
88	21+350	retorno	26.20	0	2	3	5	6	8
89	21+250	retorno	26.20	0	2	3	4	6	8
90	21+150	retorno	26.20	0	2	4	5	6	8
91	21+050	retorno	26.20	0	2	4	6	7	9
92	20+950	retorno	22.80	0	1	3	5	7	10
93	20+850	retorno	22.80	0	2	6	11	13	15
94	20+750	retorno	22.80	0	3	5	10	12	14
95	20+650	retorno	22.80	0	2	6	10	13	15
96	20+550	retorno	22.80	0	3	6	11	13	14
97	20+450	retorno	20.10	0	2	3	5	7	10
98	20+350	retorno	20.10	0	3	4	6	7	10
99	20+250	retorno	20.10	0	1	3	5	7	9
100	20+150	retorno	20.10	0	2	3	4	5	8
101	20+050	retorno	20.10	0	2	3	4	6	8

## CAPÍTULO IV

### ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

#### 4.1. CARGA DE TRÁNSITO

EL tipo de vehículos que circula por la carretera Cajamarca - Celendín -Balsas se presenta en el estudio de tránsito (Anexo 3).

#### 4.2. MÉTODO PARA MEDICIÓN DE DEFORMACIONES EN PAVIMENTOS

La metodología aplicada está dada por el MTC E 1002 “Medida de la deflexión de un pavimento flexible empleando la viga Benkelman”

#### 4.3. CARRIL DE PRUEBA

Los puntos de ensayo son ubicados a 60 cm. del borde del pavimento (Ver anexo 1) en ambos carriles de la calzada.

#### 4.4. FRECUENCIA DE MEDICIÓN

La ubicación de las pruebas, según la norma ASTM D 4695 - 03, se llevó a cabo para un nivel general de proyecto, el cual proporciona un análisis más detallado del pavimento. Las pruebas deben realizarse en un intervalo de 50 m hasta 200 m (Ver anexo 2). Para nuestro caso se realizó la toma de lecturas cada 100 m.

**Tabla 13. Unidades de Prueba**

Ensayo N°	Progresiva (Km.)	Longitud de tramo	Ancho de calzada	Tramo
1	20+000	-	6	Cajamarca-Encañada
2	20+100	100	6	Cajamarca-Encañada
3	20+200	100	6	Cajamarca-Encañada
4	20+300	100	6	Cajamarca-Encañada
5	20+400	100	6	Cajamarca-Encañada
6	20+500	100	6	Cajamarca-Encañada
7	20+600	100	6	Cajamarca-Encañada
8	20+700	100	6	Cajamarca-Encañada
9	20+800	100	6	Cajamarca-Encañada
10	20+900	100	6	Cajamarca-Encañada

11	21+000	100	6	Cajamarca-Encañada
12	21+100	100	6	Cajamarca-Encañada
13	21+200	100	6	Cajamarca-Encañada
14	21+300	100	6	Cajamarca-Encañada
15	21+400	100	6	Cajamarca-Encañada
16	21+500	100	6	Cajamarca-Encañada
17	21+600	100	6	Cajamarca-Encañada
18	21+700	100	6	Cajamarca-Encañada
19	21+800	100	6	Cajamarca-Encañada
20	21+900	100	6	Cajamarca-Encañada
21	22+000	100	6	Cajamarca-Encañada
22	22+100	100	6	Cajamarca-Encañada
23	22+200	100	6	Cajamarca-Encañada
24	22+300	100	6	Cajamarca-Encañada
25	22+400	100	6	Cajamarca-Encañada
26	22+500	100	6	Cajamarca-Encañada
27	22+600	100	6	Cajamarca-Encañada
28	22+700	100	6	Cajamarca-Encañada
29	22+800	100	6	Cajamarca-Encañada
30	22+900	100	6	Cajamarca-Encañada
31	23+000	100	6	Cajamarca-Encañada
32	23+100	100	6	Cajamarca-Encañada
33	23+200	100	6	Cajamarca-Encañada
34	23+300	100	6	Cajamarca-Encañada
35	23+400	100	6	Cajamarca-Encañada
36	23+500	100	6	Cajamarca-Encañada
37	23+600	100	6	Cajamarca-Encañada
38	23+700	100	6	Cajamarca-Encañada
39	23+800	100	6	Cajamarca-Encañada
40	23+900	100	6	Cajamarca-Encañada
41	24+000	100	6	Cajamarca-Encañada
42	24+100	100	6	Cajamarca-Encañada
43	24+200	100	6	Cajamarca-Encañada
44	24+300	100	6	Cajamarca-Encañada
45	24+400	100	6	Cajamarca-Encañada
46	24+500	100	6	Cajamarca-Encañada
47	24+600	100	6	Cajamarca-Encañada
48	24+700	100	6	Cajamarca-Encañada
49	24+800	100	6	Cajamarca-Encañada
50	24+900	100	6	Cajamarca-Encañada
51	25+000	100	6	Cajamarca-Encañada
52	24+950	100	6	Encañada-Cajamarca
53	24+850	100	6	Encañada-Cajamarca

54	24+750	100	6	Encañada-Cajamarca
55	24+650	100	6	Encañada-Cajamarca
56	24+550	100	6	Encañada-Cajamarca
57	24+450	100	6	Encañada-Cajamarca
58	24+350	100	6	Encañada-Cajamarca
59	24+250	100	6	Encañada-Cajamarca
60	24+150	100	6	Encañada-Cajamarca
61	24+050	100	6	Encañada-Cajamarca
62	23+950	100	6	Encañada-Cajamarca
63	23+850	100	6	Encañada-Cajamarca
64	23+750	100	6	Encañada-Cajamarca
65	23+650	100	6	Encañada-Cajamarca
66	23+550	100	6	Encañada-Cajamarca
67	23+450	100	6	Encañada-Cajamarca
68	23+350	100	6	Encañada-Cajamarca
69	23+250	100	6	Encañada-Cajamarca
70	23+150	100	6	Encañada-Cajamarca
71	23+050	100	6	Encañada-Cajamarca
72	22+950	100	6	Encañada-Cajamarca
73	22+850	100	6	Encañada-Cajamarca
74	22+750	100	6	Encañada-Cajamarca
75	22+650	100	6	Encañada-Cajamarca
76	22+550	100	6	Encañada-Cajamarca
77	22+450	100	6	Encañada-Cajamarca
78	22+350	100	6	Encañada-Cajamarca
79	22+250	100	6	Encañada-Cajamarca
80	22+150	100	6	Encañada-Cajamarca
81	22+050	100	6	Encañada-Cajamarca
82	21+950	100	6	Encañada-Cajamarca
83	21+850	100	6	Encañada-Cajamarca
84	21+750	100	6	Encañada-Cajamarca
85	21+650	100	6	Encañada-Cajamarca
86	21+550	100	6	Encañada-Cajamarca
87	21+450	100	6	Encañada-Cajamarca
88	21+350	100	6	Encañada-Cajamarca
89	21+250	100	6	Encañada-Cajamarca
90	21+150	100	6	Encañada-Cajamarca
91	21+050	100	6	Encañada-Cajamarca
92	20+950	100	6	Encañada-Cajamarca
93	20+850	100	6	Encañada-Cajamarca
94	20+750	100	6	Encañada-Cajamarca
95	20+650	100	6	Encañada-Cajamarca
96	20+550	100	6	Encañada-Cajamarca

97	20+450	100	6	Encañada-Cajamarca
98	20+350	100	6	Encañada-Cajamarca
99	20+250	100	6	Encañada-Cajamarca
100	20+150	100	6	Encañada-Cajamarca
101	20+050	100	6	Encañada-Cajamarca

#### 4.5. DETERMINACIÓN DE LAS DEFLEXIONES EN EL PAVIMENTO

Se tomaron 101 puntos de ensayo en la vía separados por 100 m entre ellos.

La medición de las deflexiones en campo haciendo el uso de una viga Benkelman con una relación de brazos 1:4.

El factor de corrección por estacionalidad es de  $FC_E = 1.1$ , debido a que los ensayos se realizaron en el mes de Junio, siendo este un mes de estación regular seca en Cajamarca.

A continuación, se presenta los datos de campo obtenidos en la carretera Cajamarca–Celendín – Balsas, tramo Chaquilpampa-Santa Rosa de Chaquil y sus respectivos cálculos para obtener los resultados.

#### PRUEBA N° 01

Lecturas ( $\times 10^{-2}$ mm.)					
Linicial	L25	L50	L75	L100	Lfinal
0	2	4	7	10	11

Deflexiones ( $\times 10^{-2}$ mm.)					
Dinicial	D25	D50	D75	D100	Dfinal
$(11-0)\times 4=44$	$(11-2)\times 4=36$	$(11-4)\times 4=28$	$(11-7)\times 4=16$	$(11-10)\times 4=4$	$(11-11)\times 4=0$

Deflexiones corregidas ( $\times 10^{-2}$ mm.)					
$FC_T = 1 / ((1 + 8 \times 10^{-4}) \times (17.6^\circ - 20^\circ) \times 5 \text{cm}) + 1 = 1.009693053$			$FC_E = 1.1$		
Dinicial	D25	D50	D75	D100	Dfinal
$44 \times 1.01 \times 1.1 = 49$	$36 \times 1.01 \times 1.1 = 40$	$28 \times 1.01 \times 1.1 = 31$	$16 \times 1.01 \times 1.1 = 18$	$4 \times 1.01 \times 1.1 = 4$	$0 \times 1.01 \times 1.1 = 0$

Radio de Curvatura	
$R_c = (10 \times 25^2) / (2 \times (49 - 40)) = 347$	

Las siguientes 100 pruebas se ubican en el Anexo 5.

#### 4.6. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

A continuación, se presenta un cuadro resumen de los datos necesarios para la evaluación del pavimento; así como para la elaboración del deflectograma correspondiente.

**Tabla 14.** Resumen de cálculo de Deflexiones y Radio de curvatura de cada prueba de la carretera Cajamarca-Celendín-Balsas tramo entre el km 20+000 y el km 25+000

Resultados									
Prueba N°	Progresiva		Deflexiones						Radio de curvatura
	Km	Sentido	D <sub>0</sub>	D <sub>25</sub>	D <sub>50</sub>	D <sub>75</sub>	D <sub>100</sub>	D <sub>f</sub>	
1	20+000	ida	49	40	31	18	4	0	347
2	20+100	ida	49	31	22	18	9	0	174
3	20+200	ida	40	36	31	27	22	0	781
4	20+300	ida	40	31	27	18	9	0	347
5	20+400	ida	49	36	27	22	9	0	240
6	20+500	ida	62	53	44	36	18	0	347
7	20+600	ida	62	53	44	40	36	0	347
8	20+700	ida	67	58	53	49	31	0	347
9	20+800	ida	62	53	44	36	22	0	347
10	20+900	ida	62	53	49	40	31	0	347
11	21+000	ida	47	43	34	21	4	0	781
12	21+100	ida	47	43	34	21	13	0	781
13	21+200	ida	46	38	30	21	17	0	391
14	21+300	ida	47	42	30	25	8	0	625
15	21+400	ida	42	34	30	17	8	0	391
16	21+500	ida	47	30	21	17	4	0	184
17	21+600	ida	47	30	21	13	4	0	184
18	21+700	ida	47	34	25	13	4	0	240
19	21+800	ida	47	30	21	17	8	0	184
20	21+900	ida	51	38	30	25	8	0	240
21	22+000	ida	47	30	21	13	8	0	184
22	22+100	ida	47	30	25	21	13	0	184
23	22+200	ida	46	34	25	21	17	0	260
24	22+300	ida	38	29	25	21	13	0	347
25	22+400	ida	50	42	34	21	13	0	391
26	22+500	ida	42	34	29	17	4	0	391
27	22+600	ida	46	29	21	17	8	0	184
28	22+700	ida	38	25	21	13	8	0	240
29	22+800	ida	42	29	21	17	4	0	240
30	22+900	ida	46	34	21	17	8	0	260
31	23+000	ida	46	29	25	17	4	0	184
32	23+100	ida	50	29	21	17	8	0	149

33	23+200	ida	46	29	21	17	13	0	184
34	23+300	ida	38	29	21	17	8	0	347
35	23+400	ida	42	29	25	17	8	0	240
36	23+500	ida	46	29	21	17	8	0	184
37	23+600	ida	50	34	29	13	4	0	195
38	23+700	ida	75	42	38	25	8	0	95
39	23+800	ida	80	46	38	25	13	0	92
40	23+900	ida	59	25	17	13	8	0	92
41	24+000	ida	75	42	29	21	13	0	95
42	24+100	ida	63	50	38	34	13	0	240
43	24+200	ida	80	38	29	17	8	0	74
44	24+300	ida	46	38	29	17	8	0	391
45	24+400	ida	50	34	25	17	8	0	195
46	24+500	ida	46	38	25	13	4	0	391
47	24+600	ida	50	38	29	13	4	0	260
48	24+700	ida	50	46	34	25	13	0	781
49	24+800	ida	46	38	25	17	4	0	391
50	24+900	ida	50	33	25	13	4	0	184
51	25+000	ida	42	29	21	13	4	0	240
52	24+950	retorno	42	29	25	21	8	0	240
53	24+850	retorno	42	29	21	17	13	0	240
54	24+750	retorno	33	21	17	13	8	0	260
55	24+650	retorno	38	29	21	17	8	0	347
56	24+550	retorno	46	29	25	13	4	0	184
57	24+450	retorno	46	33	25	17	13	0	240
58	24+350	retorno	46	38	25	13	8	0	391
59	24+250	retorno	38	29	21	17	13	0	347
60	24+150	retorno	63	50	42	29	13	0	240
61	24+050	retorno	75	50	38	21	4	0	125
62	23+950	retorno	54	21	17	13	4	0	95
63	23+850	retorno	83	46	38	17	4	0	84
64	23+750	retorno	79	42	29	17	8	0	84
65	23+650	retorno	75	42	33	25	13	0	95
66	23+550	retorno	46	38	29	25	13	0	391
67	23+450	retorno	46	38	29	21	13	0	391
68	23+350	retorno	46	33	25	13	4	0	240
69	23+250	retorno	42	33	25	21	17	0	347
70	23+150	retorno	46	33	25	17	13	0	240
71	23+050	retorno	46	38	29	25	17	0	391
72	22+950	retorno	46	33	25	17	13	0	240
73	22+850	retorno	42	33	25	21	13	0	347
74	22+750	retorno	46	29	25	17	4	0	184
75	22+650	retorno	42	33	29	21	13	0	347
76	22+550	retorno	46	38	29	25	13	0	391
77	22+450	retorno	46	42	33	29	21	0	781

78	22+350	retorno	50	42	33	25	13	0	391
79	22+250	retorno	42	33	29	17	8	0	347
80	22+150	retorno	38	34	25	17	13	0	781
81	22+050	retorno	46	42	34	29	21	0	781
82	21+950	retorno	42	38	34	25	13	0	781
83	21+850	retorno	42	34	25	17	13	0	391
84	21+750	retorno	42	38	29	21	13	0	781
85	21+650	retorno	47	39	30	21	17	0	391
86	21+550	retorno	47	39	30	26	13	0	391
87	21+450	retorno	39	30	21	17	9	0	347
88	21+350	retorno	34	26	21	13	9	0	391
89	21+250	retorno	34	26	21	17	9	0	391
90	21+150	retorno	34	26	17	13	9	0	391
91	21+050	retorno	39	30	21	13	9	0	347
92	20+950	retorno	44	39	30	22	13	0	625
93	20+850	retorno	65	57	39	17	9	0	391
94	20+750	retorno	61	48	39	17	9	0	240
95	20+650	retorno	65	57	39	22	9	0	391
96	20+550	retorno	61	48	35	13	4	0	240
97	20+450	retorno	44	35	31	22	13	0	347
98	20+350	retorno	44	31	26	18	13	0	240
99	20+250	retorno	40	35	26	18	9	0	625
100	20+150	retorno	35	26	22	18	13	0	347
101	20+050	retorno	35	26	22	18	9	0	347

## A. CÁLCULO DE LOS PARÁMETROS

- **Deflexión Promedio:** Usamos la ecuación (9), teniendo como  $D_i = D_0$

$$\bar{D} = \frac{\sum_{i=1}^{101} D_i}{101}$$

$$\bar{D} = 49.03 \times 10^{-2} \text{ mm}$$

- **Deflexión Característica:** Usamos la ecuación (12)

$$D_c = \bar{D} + t * \sigma$$

Hallamos la Desviación estándar utilizando la ecuación (10)

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (D_i - \bar{D})^2}{(n - 1)}}$$

$$\sigma = 11.08 \times 10^{-2} \text{ mm}$$

Si:  $\bar{D} = 49.03 \times 10^{-2} \text{ mm}$ ,  $t = 1.645$  y  $\sigma = 11.08 \times 10^{-2} \text{ mm}$ ; entonces ;



$$D_C = 49.03 \times 10^{-2} + 1.645 \times 11.08 \times 10^{-2}$$

$$D_C = 67 \times 10^{-2} \text{ mm}$$

- **Deflexión admisible:** Usamos la ecuación (13)

$$D_a = \left(\frac{1.15}{N18}\right)^{\frac{1}{4}}$$

$$D_a = \left(\frac{1.15}{4.62}\right)^{\frac{1}{4}}$$

$$D_a = 0.706 \text{ mm}$$

$$D_a = 71 \times 10^{-2} \text{ mm}$$

- **Deflexión crítica:** Usamos la ecuación (14)

$$D_{CR} = \left(\frac{1.90}{N18}\right)^{\frac{1}{5.3}}$$

$$D_{CR} = \left(\frac{1.90}{4.62}\right)^{\frac{1}{5.3}}$$

$$D_{CR} = 0.845 \text{ mm}$$

$$D_{CR} = 85 \times 10^{-2} \text{ mm}$$

## B. EVALUACIÓN DE LOS PARÁMETROS

En la tabla 15, se analizó la condición de cada prueba tomada en la vía de estudio comparada con los datos propuestos por el método CONREVIAL

**Tabla 15.** Evaluación de la Deflexión máxima y el Radio de curvatura

Prueba N°	Progresiva (Km)	Sentido	Deflexión Máxima x 10 <sup>^(-2)</sup> mm	Deflexión Admisible x 10 <sup>^(-2)</sup> mm	Condición subrasante	Radio de curvatura (m)	Radio de curvatura mínimo (m)	Condición de pavimento
1	20+000	ida	49	71	BUENO	347	100	BUENO
2	20+050	retorno	35	71	BUENO	347	100	BUENO
3	20+100	ida	49	71	BUENO	174	100	BUENO
4	20+150	retorno	35	71	BUENO	347	100	BUENO
5	20+200	ida	40	71	BUENO	781	100	BUENO
6	20+250	retorno	40	71	BUENO	625	100	BUENO
7	20+300	ida	40	71	BUENO	347	100	BUENO
8	20+350	retorno	44	71	BUENO	240	100	BUENO
9	20+400	ida	49	71	BUENO	240	100	BUENO
10	20+450	retorno	44	71	BUENO	347	100	BUENO

11	20+500	ida	62	71	REGULAR	347	100	BUENO
12	20+550	retorno	61	71	REGULAR	240	100	BUENO
13	20+600	ida	62	71	REGULAR	347	100	BUENO
14	20+650	retorno	65	71	REGULAR	391	100	BUENO
15	20+700	ida	67	71	REGULAR	347	100	BUENO
16	20+750	retorno	61	71	REGULAR	240	100	BUENO
17	20+800	ida	62	71	REGULAR	347	100	BUENO
18	20+850	retorno	65	71	REGULAR	391	100	BUENO
19	20+900	ida	62	71	REGULAR	347	100	BUENO
20	20+950	retorno	44	71	BUENO	625	100	BUENO
21	21+000	ida	47	71	BUENO	781	100	BUENO
22	21+050	retorno	39	71	BUENO	347	100	BUENO
23	21+100	ida	47	71	BUENO	781	100	BUENO
24	21+150	retorno	34	71	BUENO	391	100	BUENO
25	21+200	ida	46	71	BUENO	391	100	BUENO
26	21+250	retorno	34	71	BUENO	391	100	BUENO
27	21+300	ida	47	71	BUENO	625	100	BUENO
28	21+350	retorno	34	71	BUENO	391	100	BUENO
29	21+400	ida	42	71	BUENO	391	100	BUENO
30	21+450	retorno	39	71	BUENO	347	100	BUENO
31	21+500	ida	47	71	BUENO	184	100	BUENO
32	21+550	retorno	47	71	BUENO	391	100	BUENO
33	21+600	ida	47	71	BUENO	184	100	BUENO
34	21+650	retorno	47	71	BUENO	391	100	BUENO
35	21+700	ida	47	71	BUENO	240	100	BUENO
36	21+750	retorno	42	71	BUENO	781	100	BUENO
37	21+800	ida	47	71	BUENO	184	100	BUENO
38	21+850	retorno	42	71	BUENO	391	100	BUENO
39	21+900	ida	51	71	REGULAR	240	100	BUENO
40	21+950	retorno	42	71	BUENO	781	100	BUENO
41	22+000	ida	47	71	BUENO	184	100	BUENO
42	22+050	retorno	46	71	BUENO	781	100	BUENO
43	22+100	ida	47	71	BUENO	184	100	BUENO
44	22+150	retorno	38	71	BUENO	781	100	BUENO
45	22+200	ida	46	71	BUENO	260	100	BUENO
46	22+250	retorno	42	71	BUENO	347	100	BUENO
47	22+300	ida	38	71	BUENO	347	100	BUENO
48	22+350	retorno	50	71	BUENO	391	100	BUENO
49	22+400	ida	50	71	BUENO	391	100	BUENO
50	22+450	retorno	46	71	BUENO	781	100	BUENO
51	22+500	ida	42	71	BUENO	391	100	BUENO

52	22+550	retorno	46	71	BUENO	391	100	BUENO
53	22+600	ida	46	71	BUENO	184	100	BUENO
54	22+650	retorno	42	71	BUENO	347	100	BUENO
55	22+700	ida	38	71	BUENO	240	100	BUENO
56	22+750	retorno	46	71	BUENO	184	100	BUENO
57	22+800	ida	42	71	BUENO	240	100	BUENO
58	22+850	retorno	42	71	BUENO	347	100	BUENO
59	22+900	ida	46	71	BUENO	260	100	BUENO
60	22+950	retorno	46	71	BUENO	240	100	BUENO
61	23+000	ida	46	71	BUENO	184	100	BUENO
62	23+050	retorno	46	71	BUENO	391	100	BUENO
63	23+100	ida	50	71	BUENO	149	100	BUENO
64	23+150	retorno	46	71	BUENO	240	100	BUENO
65	23+200	ida	46	71	BUENO	184	100	BUENO
66	23+250	retorno	42	71	BUENO	347	100	BUENO
67	23+300	ida	38	71	BUENO	347	100	BUENO
68	23+350	retorno	46	71	BUENO	240	100	BUENO
69	23+400	ida	42	71	BUENO	240	100	BUENO
70	23+450	retorno	46	71	BUENO	391	100	BUENO
71	23+500	ida	46	71	BUENO	184	100	BUENO
72	23+550	retorno	46	71	BUENO	391	100	BUENO
73	23+600	ida	50	71	BUENO	195	100	BUENO
74	23+650	retorno	75	71	MALO	95	100	MALO
75	23+700	ida	75	71	MALO	95	100	MALO
76	23+750	retorno	79	71	MALO	84	100	MALO
77	23+800	ida	80	71	MALO	92	100	MALO
78	23+850	retorno	83	71	MALO	84	100	MALO
79	23+900	ida	59	71	REGULAR	92	100	MALO
80	23+950	retorno	54	71	REGULAR	95	100	MALO
81	24+000	ida	75	71	MALO	95	100	MALO
82	24+050	retorno	75	71	MALO	125	100	BUENO
83	24+100	ida	63	71	REGULAR	240	100	BUENO
84	24+150	retorno	63	71	REGULAR	240	100	BUENO
85	24+200	ida	80	71	MALO	74	100	MALO
86	24+250	retorno	38	71	BUENO	347	100	BUENO
87	24+300	ida	46	71	BUENO	391	100	BUENO
88	24+350	retorno	46	71	BUENO	391	100	BUENO
89	24+400	ida	50	71	BUENO	195	100	BUENO
90	24+450	retorno	46	71	BUENO	240	100	BUENO
91	24+500	ida	46	71	BUENO	391	100	BUENO
92	24+550	retorno	46	71	BUENO	184	100	BUENO

93	24+600	ida	50	71	BUENO	260	100	BUENO
94	24+650	retorno	38	71	BUENO	347	100	BUENO
95	24+700	ida	50	71	BUENO	781	100	BUENO
96	24+750	retorno	33	71	BUENO	260	100	BUENO
97	24+800	ida	46	71	BUENO	391	100	BUENO
98	24+850	retorno	42	71	BUENO	240	100	BUENO
99	24+900	ida	50	71	BUENO	184	100	BUENO
100	24+950	retorno	42	71	BUENO	240	100	BUENO
101	25+000	ida	42	71	BUENO	240	100	BUENO

Nota: Se considera regular a las deflexiones menores que la deflexión admisible ( $71 \times 10^{-2}$  mm), pero mayor a  $50 \times 10^{-2}$  mm.

De la tabla 15. Tenemos que:

**Tabla 16.** Resumen de resultados de deflexiones máximas

Puntos de ensayo que sobrepasan la deflexión admisible ( $71 \times 10^{-2}$ mm)		Puntos que están cerca de la deflexión admisible ( $71 \times 10^{-2}$ mm)		Puntos que cumplen con la deflexión admisible ( $71 \times 10^{-2}$ mm)	
Cantidad	Porcentaje(%)	Cantidad	Porcentaje(%)	Cantidad	Porcentaje(%)
8	7.9	14	13.9	79	78.2

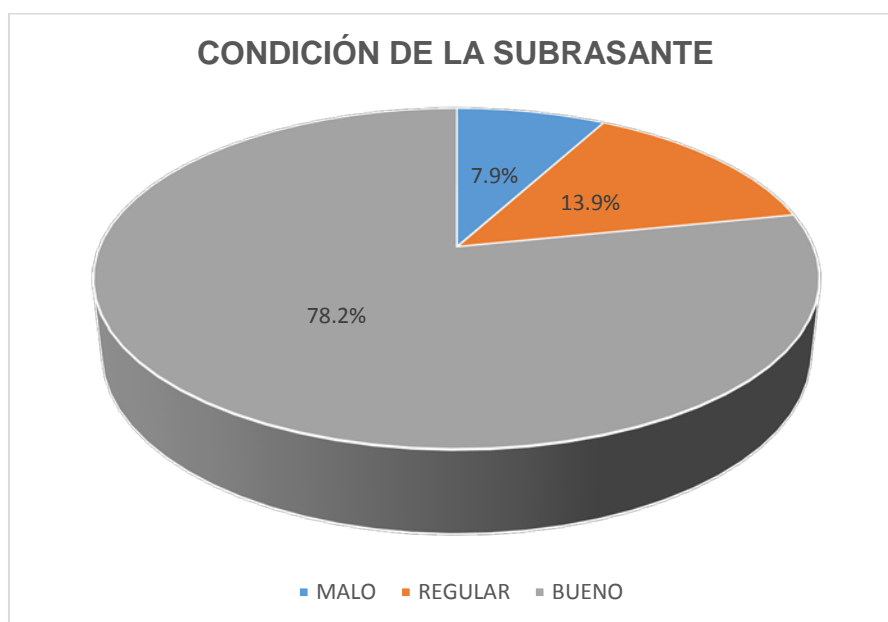
**Tabla 17.** Resumen de resultados de radios de curvaturas

Puntos de ensayo que no cumplen con el radio de curvatura > 100m		Puntos de ensayo que si cumplen con el radio de curvatura > 100m	
Cantidad	Porcentaje (%)	Cantidad	Porcentaje (%)
9	8.9	92	91.1

De la tabla 16. y 17. Se obtuvo:

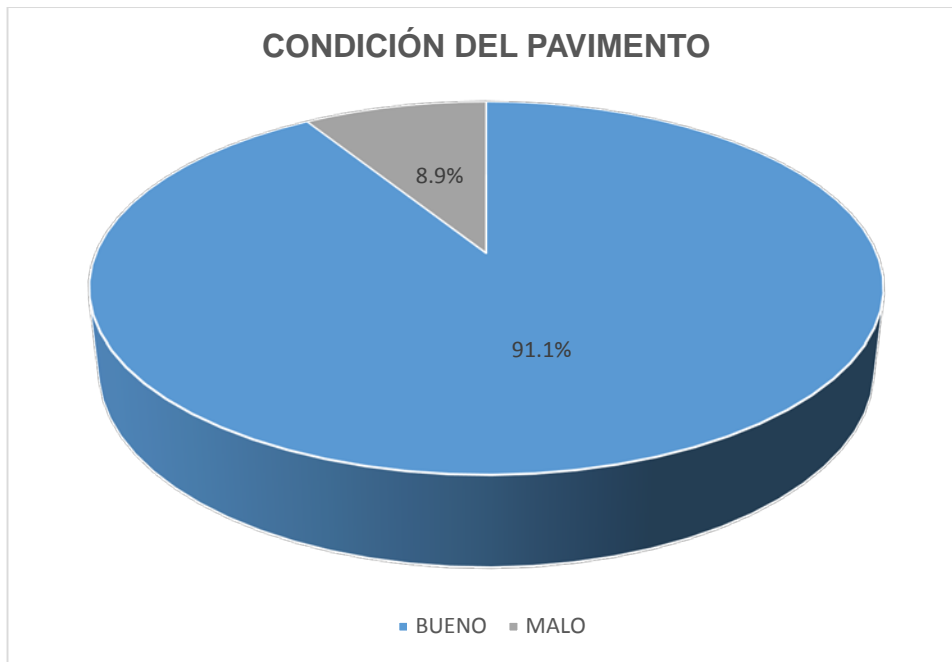
- **Comportamiento de la subrasante:** Observamos el comportamiento de la subrasante según las unidades de prueba de la Carretera Cajamarca-Celendín-Balsas tramo entre el km 20+000 y el km 25+000; estos datos se calcularon en base a la deflexión máxima de cada punto ensayado comparada con la deflexión admisible ( $71 \times 10^{-2}$  mm). El porcentaje de unidades de prueba

con un comportamiento malo es del 7.9%, con un comportamiento regular es del 13.9% y con un comportamiento bueno es del 78.2%.



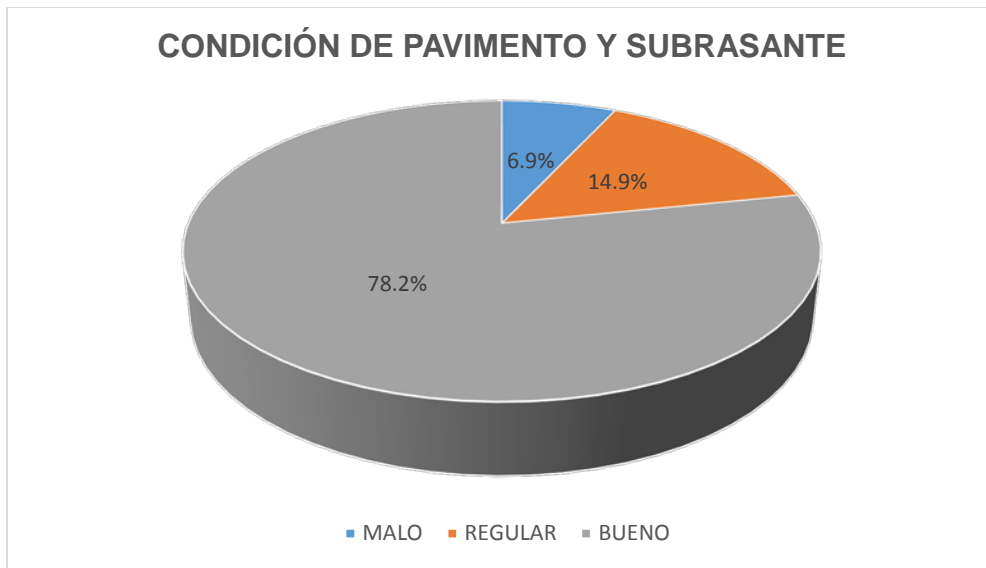
**Figura 29.** Porcentaje de unidades de prueba con un comportamiento de subrasante malo, regular y bueno, de la carretera Cajamarca - Celendin – Balsas, tramo del km 20+000 al km 25+000

- **Comportamiento del pavimento:** La figura 30. muestra el porcentaje de unidades de prueba de la Carretera Cajamarca-Celendín-Balsas tramo del km 20+000 al km 25+000, con un comportamiento de pavimento malo y bueno; estos datos se calcularon en base al radio de curvatura de cada punto ensayado comparada con el radio de curvatura mínimo (100 m). El porcentaje de unidades de prueba con un comportamiento malo es sólo el 8.9% y el porcentaje de pruebas con un comportamiento bueno es del 91.1%.



**Figura 30.** *Porcentaje de unidades de prueba con un comportamiento de pavimento malo y bueno, de la carretera Cajamarca - Celendín – Balsas, tramo del km 20+000 al km 25+000*

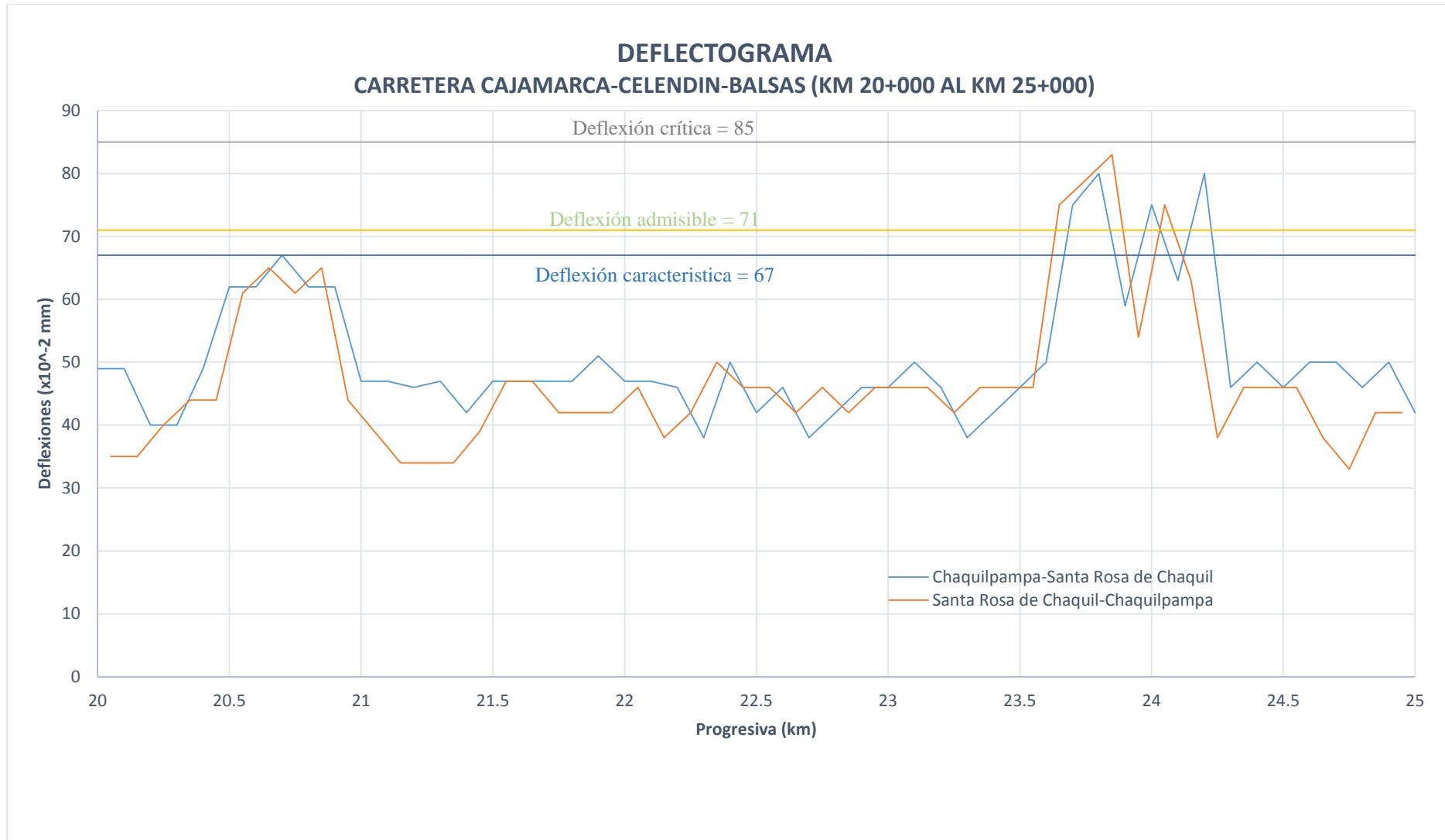
- Comportamiento del pavimento y subrasante en conjunto:** La figura 31. muestra el porcentaje de unidades de prueba de la Carretera Cajamarca-Celendín-Balsas tramo del km 20+000 al km 25+000, con un comportamiento de pavimento y subrasante malo, regular y bueno; estos datos se dedujeron de los datos de la subrasante y pavimento en conjunto detallados en la tabla N° 15. Siendo un 78.2% de unidades de prueba con un comportamiento bueno, un 13.9% de unidades de prueba con un comportamiento regular y un 7.9% de unidades de prueba con un comportamiento malo.



**Figura 31.** Porcentaje de unidades de prueba con un comportamiento de pavimento y subrasante en conjunto malo, regular y bueno, de la carretera Cajamarca - Celendin – Balsas, tramo desde el km 20+000 al km 25+000

- Deflectograma:** La figura 32. muestra el deflectograma resultante de graficar las deflexiones máximas obtenidas en cada punto evaluado en campo, con ello podemos observar la variación de los distintos puntos, desde  $33 \times 10^{-2}$  mm. hasta  $83 \times 10^{-2}$  mm. aproximadamente; siendo los puntos más elevados los que presentan menor capacidad estructural. Además, nos muestra la deflexión característica ( $67 \times 10^{-2}$  mm.) de los puntos ensayados y la deflexión admisible ( $71 \times 10^{-2}$  mm.)

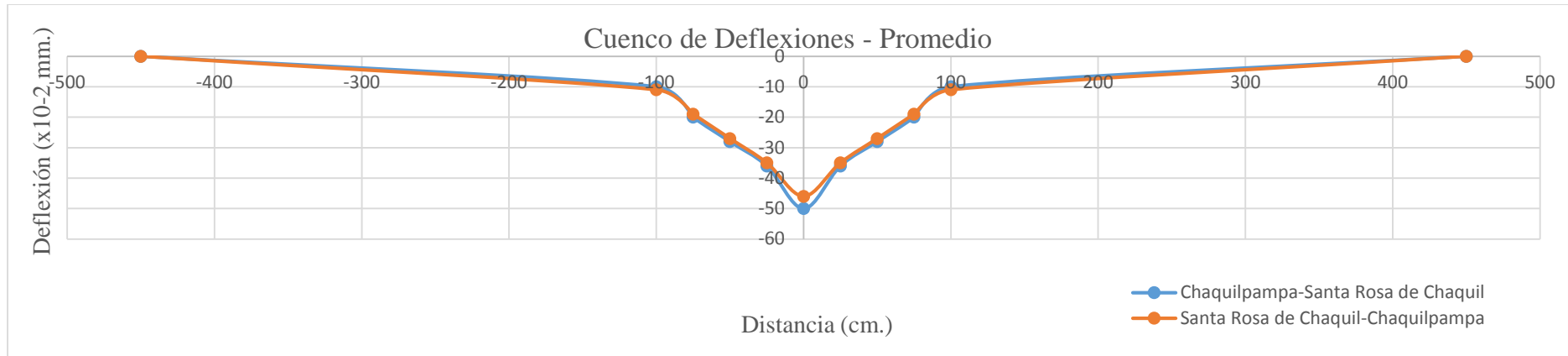
El deflectograma permite detectar de forma rápida el comportamiento estructural de la Carretera Cajamarca-Celendín-Balsas tramo del km 20+000 al km 25+000, estando entre el Km 23 + 500 al Km 24 + 500 el tramo más crítico debido a los elevados picos que se observan en el deflectograma.



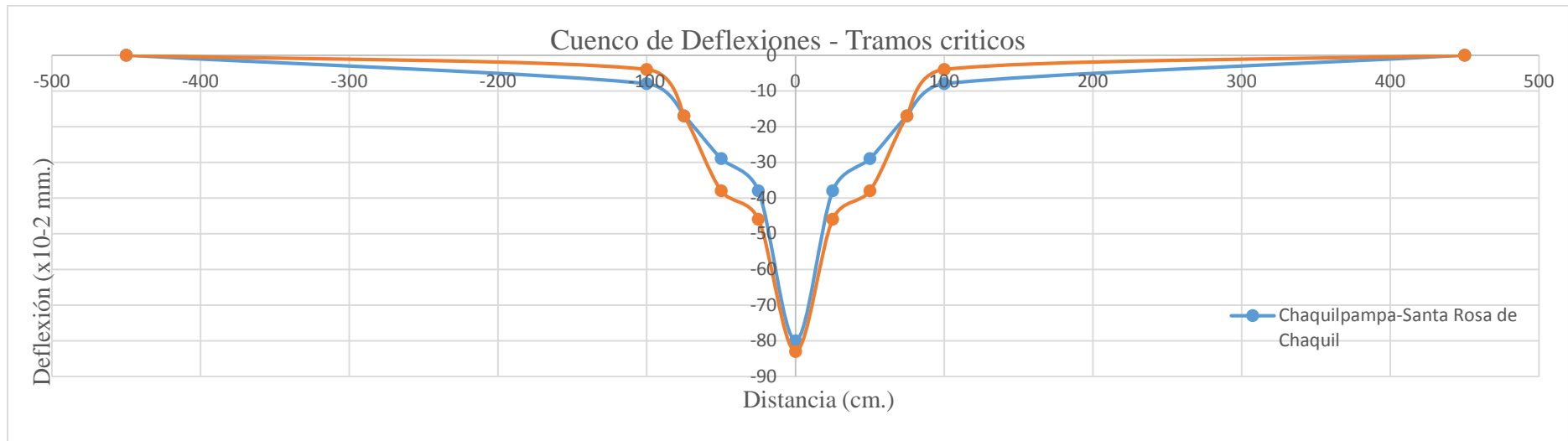
**Figura 32.** Deflectograma de la carretera Cajamarca - Celendin – Balsas, tramo del km 20+000 al km 25+000.



- **Cuenco de deflexiones:** Para graficar el cuenco se tomó promedio de las deflexiones a 25 cm, 50 cm, 75 cm, 100 cm y deflexión final de cada punto ensayado, una de ida y otra de retorno (Ver Figura 33.) con estos datos tanto del pavimento de ida como el de retorno se puede observar que el cuenco presenta una curva extensa poco pronunciada, por lo tanto, de acuerdo a la tabla 8. el cuenco de deflexiones es de tipo I, siendo la calzada de ida la que presenta un cuenco más profundo. Asimismo, se graficó el cuenco de deflexiones de los tramos más críticos tanto de ida como de retorno (Ver Figura 34.)



**Figura 33.** Cuenco de deflexiones Carretera Cajamarca - Celendín – Balsas, tramo del km 20+000 al km 25+000 ida y retorno



**Figura 34.** Cuenco de deflexiones Carretera Cajamarca - Celendín – Balsas, tramo del km 20+000 al km 25+000 Tramos críticos

- **Resumen de resultados:** En la tabla 18. se presenta la comparación de los parámetros de evaluación del pavimento en estudio; en donde la deflexión característica es menor a la deflexión admisible y el radio de curvatura promedio si cumple con el Radio mínimo establecido por el método CONREVIAl.

**Tabla 18.** Comparación de parámetros

<b>PARAMETROS A EVALUAR</b>			
<b>Deflexión Característica (mm)</b>	<b>Radio de Curvatura Promedio (m)</b>	<b>Deflexión Admisible (mm)</b>	<b>Radio de Curvatura mínimo (m)</b>
67 x 10 <sup>-2</sup>	329.38	71 x 10 <sup>-2</sup>	100

### **C. MANTENIMIENTO Y REPARACIÓN**

La deflexión característica (67 x 10<sup>-2</sup> mm) es menor que la deflexión admisible calculada según el método CONREVIAl (71 x 10<sup>-2</sup> mm) y los radios de curvatura son aceptables en un 91.1% como se puede observar en la Figura 30. Y de acuerdo a un estado visual no hay fallas de origen estructural a lo largo de la carretera Cajamarca - Celendin – Balsas, tramo del km 20+000 al km 25+000; por lo tanto, de acuerdo a la tabla 9. la estructura está bien diseñada y las necesidades de mantenimiento y reparación solo se basan en corregir fallas de origen superficial, las soluciones dependerán de los defectos observados y sus causas.

Específicamente, de las pruebas realizadas tenemos que el conjunto pavimento-subrasante del km 20+500 al km 21+000 tiene un comportamiento regular y del km 23+650 al km 24+000 tienen un comportamiento que varía de regular a malo y en el resto de pruebas se tiene un comportamiento bueno.

## CAPÍTULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1. CONCLUSIONES

- El comportamiento estructural del pavimento flexible de la carretera Cajamarca - Celendín – Balsas, tramo del km 20+000 al km 25+000, determinado a través de las deflexiones obtenidas en campo mediante el uso de la Viga Benkelman; es bueno, debido a que la deflexión característica ( $67 \times 10^{-2}$  mm) es menor que las deflexiones admisible ( $71 \times 10^{-2}$  mm) y crítica ( $85 \times 10^{-2}$  mm); además el radio de curvatura en un 91.1 % de las pruebas tomadas es mayor que el mínimo (100 m)
- Se determinaron las deflexiones del pavimento flexible haciendo uso de la viga Benkelman; obteniéndose una deflexión promedio de  $49.03 \times 10^{-2}$  mm.
- De las deflexiones del pavimento flexible se obtuvo lo siguiente:
  - Deflexión admisible:  $71 \times 10^{-2}$  mm
  - Deflexión crítica:  $85 \times 10^{-2}$  mm
  - Deflexión característica:  $67 \times 10^{-2}$  mm

#### 5.2. RECOMENDACIONES

- Se recomienda un monitoreo periódico del comportamiento estructural y funcional de la vía por parte de PROVIAS NACIONAL – Unidad Zonal IV - Cajamarca, con el fin de evitar daños mayores que afectan a la población.
- Se recomienda hacer el estudio del CBR de la Vía estudiada para poder obtener resultados más exactos.
- Se recomienda utilizar el Método de Hogg para contrastar resultados con el Método CONREVIAl.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. Higuera Sandoval, C. H. (29 de Mayo de 2019). *Universidad Pedagogica Tecnologica de Colombia*. Obtenido de <http://revistas.uptc.edu.co/revistas/index.php/ingenieria/article/view/1>
2. Hoffman, M. S. (1985). *Estudios de evaluacion estructural de pavimentos basados en la interpretacion de curvas de deflexiones (ensayos no destructivos)*.
3. Huang, Y. H. (2004). *Pavement analysis and design (Segunda ed.)*. Pearson Education Hall.
4. Montejo, A. (2006). *Ingenieria de pavimentos (Tercera ed.)*. Bogotá: Universidad Católica de Colombia.
5. Murillo F., C. A. (29 de Mayo de 2019). *International Society for Soil Mechanics and Geotechnical Engineering*. Obtenido de <http://www.issmge.org/images/joomd/3>
6. Rico, A. y. (1977). *La ingenieria de suelos en las vías terrestres. Volumen 2*. Mexico D.F.: Limusa.
7. Thenoux Z., G. y. (21 de Mayo de 2019). *Revista Ingeniería de Construcción*. Obtenido de <http://www.ricuc.cl/index.php/ric/article/view/364/306>
8. Manual de Ensayo de Materiales-MTC. Lima, Perú.
9. Norma ASTM D-4695-03 Guía estándar para las mediciones de deflexiones del pavimento en general.

**ANEXO 1**  
NORMA MTC E 1002



## MEDIDA DE LA DEFLEXION Y DETERMINACION DEL RADIO DE CURVATURA DE UN PAVIMENTO FLEXIBLE EMPLEANDO LA VIGA BENKELMAN

### MTC E 1002-2000

Este Modo Operativo está basado en la Norma ASTM D 4695, la misma que se ha adaptado al nivel de implementación y a las condiciones propias de nuestra realidad. Cabe indicar que este Modo Operativo está sujeto a revisión y actualización continua.

Este Modo Operativo no propone los requisitos concernientes a seguridad. Es responsabilidad del Usuario establecer las cláusulas de seguridad y salubridad correspondientes, y determinar además las obligaciones de su uso e interpretación

#### 1. OBJETIVO

Detalla el procedimiento para determinar simultáneamente con una viga Benkelman la Deflexión Recuperable y el Radio de Curvatura de un pavimento flexible, producidos por una carga estática. A tal fin se utiliza un camión donde la carga, tamaño de llantas, espaciamiento entre ruedas duales y presión de inflado están normalizadas.

#### 2. APARATO

**2.1** Una viga Benkelman de doble brazo con sus correspondientes diales registradores (al 0.01 mm y recorrido 12 mm) y las siguientes dimensiones fundamentales:

- Longitud del primer brazo de ensayo, desde el pivote a la punta de prueba = 2,440 m.
- Longitud del primer brazo de ensayo, desde el pivote al punto de apoyo del vástago de su dial registrador = 0,610 m.
- Longitud del segundo brazo de ensayo, desde el pivote a la punta de prueba = 2,190 m.
- Longitud del segundo brazo de ensayo, desde el pivote al punto de apoyo del vástago de su dial registrador = 0,5475 m.

**Nota 1.** Se permite el empleo de vigas con dimensiones diferentes siempre y cuando no sean tan reducidas que el radio de acción de la carga no afecte permanentemente la posición de sus patas (ver numeral 3.8).

**2.2** Un camión para ensayo con las siguientes características.

El eje trasero pesará en la balanza 8.175 kilogramos, igualmente distribuidos en sus ruedas duales y estará equipado con llantas de caucho y cámaras neumáticas. Las llantas deberán ser 10" x 20"; 12 lonas e infladas a 5,6 kg/cm<sup>2</sup> (80 libras por pulgada cuadrada). La distancia entre los puntos medios de la banda de rodamiento de ambas llantas de cada rueda dual deber ser de 32 cm.

- 2.3 Un medidor de presión de inflado.
- 2.4 Un termómetro de 0 a 100 °C con divisiones cada grado.
- 2.5 Un barreno para ejecutar orificios en el pavimento de 4 cm de profundidad y 10 mm de diámetro.
- 2.6 Un cronometro.
- 2.7 Una Wincha de acero de 2 m y otra de 25 m.
- 2.8 Un vibrador.

### 3. PROCEDIMIENTO

3.1 El punto del pavimento a ser ensayado deberá ser marcado convenientemente con una línea transversal al camino. Sobre dicha línea será localizado el punto de ensayo a una distancia prefijada del borde. Se recomienda utilizar las distancias indicadas en la Tabla 1.

**Tabla 1**

Ancho del carril	Distancia del punto de ensayo desde el borde del pavimento
2,70 m	0,45 m
3,00 m	0,60 m
3,30 m	0,75 m
3,60 m o más	0.90

3.2 La rueda dual externa del camión deberá ser colocada sobre el punto seleccionado; para la correcta ubicación de la misma, deberá colocarse en la parte trasera extrema del camión una guía vertical en correspondencia con el eje de carga. Desplazando suavemente el camión, se hace coincidir la guía vertical con la línea transversal indicada en 3,1 de modo que simultáneamente el punto quede entre ambas llantas de la rueda dual.

3.3 Se coloca la viga sobre el pavimento, detrás del camión, perpendicularmente al eje de carga, de modo que la punta de prueba del primer brazo coincida con el punto de ensayo y la viga no roce contra las llantas de la rueda dual.

3.4 Se liberan los seguros de los brazos y se ajusta la base de la viga por medio del tornillo trasero, de manera que los dos brazos de medición queden en contacto con los diales.

3.5 Se ajustan a los diales de modo que sus vástagos tengan un recorrido libre comprendido entre 4 y 6 mm. Se giran las esferas de los diales hasta que las agujas queden en cero y se verifica la lectura golpeándolos suavemente con un lápiz. Girar la esfera si es necesario y repetir la operación hasta obtener la posición 0 (cero).



**3.6** Se hace avanzar suave y lentamente el camión; se pone en marcha el cronómetro y vibrador y se leen los diales cada 60 segundos. Cuando dos lecturas sucesivas de cada uno de ellos no difieran en más de 0,01 mm, se da por finalizada la recuperación, registrándose las últimas lecturas observadas (L0 y L25)

**3.7** Con el fin de medir la temperatura del pavimento se practica un orificio (antes de comenzar el ensayo y simultáneamente con el trazado de la línea), cuyas dimensiones serán: 4 cm de profundidad y 10 mm de diámetro, aproximadamente, emplazado sobre la línea paralela al eje del camino, que pasa por el punto de determinación de la deflexión y a 50 cm del mismo, en el sentido de avance del camión. Se llena con aceite no menos de 10 minutos antes de iniciar el ensayo, se inserta el termómetro y se lee la temperatura, retirando el mismo antes del desplazamiento del camión.

El rango de temperatura de trabajo deberá quedar dentro de los siguientes límites:

Límite inferior: 5 °C

Límite superior : 35°C

**3.8** No obstante el límite superior indicado en el párrafo 3.7, el ensayo no se deberá efectuar a temperaturas inferiores si ellas producen deformación plástica entre ambas llantas de la rueda dual. Para detectar si dicha deformación se produce, se deberá proceder de la siguiente forma:

Una vez registradas las lecturas L0 y L25, se hace retroceder suave y lentamente el camión hasta que la rueda dual externa quede colocada sobre el punto de ensayo, observando la marcha en la aguja del dial. Si alcanzada cierta posición la aguja se detiene y luego se observa un desplazamiento en sentido contrario, como si se produjera la recuperación del pavimento, ello indica que existe deformación plástica medible entre ambas llantas de la rueda dual. Esa aparente recuperación puede ser, debida, también, al hecho de que el radio de acción de la carga del camión afecte las patas de la viga (ver numeral 3.9).

**3.9** Tampoco deberá efectuarse el ensayo si, aun cuando no se detectara deformación plástica mediante el procedimiento recién indicado, se constatará que el radio de acción de la carga del camión afecta las patas de la regla, para lo cual se procederá de la siguiente forma:

Una vez registradas las lecturas de los diales, se hace retroceder lentamente el camión observando el dial del primer brazo. Cuando se observe que el dial comienza a desplazarse acusando la deformación producida por la carga, se marca sobre el pavimento la posición de la guía vertical mencionada en el párrafo 3.2 y se detiene el retroceso del camión.

Se mide la distancia entre la punta de prueba del primer brazo y la marca practicada sobre el pavimento, de acuerdo con lo indicado antes. Sea  $d$  esa distancia, si  $d$  es mayor de 2,40 m, la acción de la carga del camión afecta las patas de la viga.

## 4. CÁLCULOS

4.1 La deflexión bajo el eje de la carga ( $D_0$ ), se calcula mediante la expresión:

$$D_0 = 4 \times L_0 \text{ . (expresada en 0,01 mm)}$$

donde  $L_0$  es la lectura registrada en el dial del primer brazo de ensayo.

4.2 La deflexión a 25 cm del eje de la carga ( $D_{25}$ ), se calcula con la expresión:

$$D_{25} = 4 \times L_{25} \text{ (expresada en 0.01 mm).}$$

**Nota 2.** El valor 4 usado por el cálculo de  $D_0$  y  $D_{25}$  obedece a que la relación de longitudes de brazo indicadas en 2.1 es 4. En caso de que la viga utilizada tenga una relación diferente, se aplicará el factor que corresponda.

4.3 El radio de curvatura en el punto de ensayo se calcula con la expresión

$$RC = \frac{3125}{(D_0 - D_{25})} \text{ expresado en m}$$

## 5. INFORME

Para cada ensayo, el informe deberá incluir la abscisa de la prueba, el estado superficial y la temperatura del pavimento, las deflexiones ( $D_0 - D_{25}$ ) y el radio de curvatura ( $R_c$ ).

La aplicación de correcciones por efecto de la temperatura y el procesamiento estadístico de los datos, se efectuarán conforme lo establezca la normativa respectiva.

## 6. REFERENCIAS NORMATIVAS

ASTM	D 4695
------	--------

**ANEXO 2**  
ASTM D 4695-03

# Guía estándar para las mediciones de deflexión del pavimento en general

Esta norma ha sido publicada bajo la designación fija D 4695; el número inmediatamente después de la designación indica el año de adopción original o, en el caso de revisión, el año de la última revisión. Un número entre paréntesis indica el año de la última aprobación. Una épsilon superíndice (e) indica un cambio editorial desde la última revisión o re-aprobación

## 1. Alcance

**1.1** Esta guía proporciona información sobre el procedimiento para medir deflexiones de la superficie del pavimento, directamente debajo, o en lugares radialmente hacia fuera, en estado estacionario, estático conocido, o carga de impulso. Las deflexiones se miden con sensores que controlan el movimiento vertical de una superficie del pavimento debido a la carga. Esta guía describe los procedimientos para la medición de deflexión usando varios dispositivos de prueba de deflexión y proporciona la información general que se debe obtener independientemente del tipo de dispositivo de prueba utilizado.

**1.2** Esta Guía es aplicable para las mediciones de deformación realizadas en un pavimento flexible (AC), pavimento rígido (PCC), o compuesto (PCC AC). Los pavimentos rígidos pueden ser lisos, articulado, reforzados, o armado continuo de hormigón.

**1.3** Los valores indicados en unidades SI deben ser considerados como unidades pulgada-libra entre paréntesis son para la información.

**1.4** Esta norma puede involucrar materiales peligrosos, operaciones y equipamiento. Esta norma no pretende abordar todos los problemas de seguridad, si los hay, asociados con su utilización. Es la responsabilidad del usuario de esta norma establecer prácticas de seguridad y salud y determinar la aplicabilidad de las limitaciones reglamentarias antes de su uso.

## 2. Documentos De Referencia

### 2.1 Normas ASTM:

D 4602 Prueba no destructiva de Pavimentos El uso de cíclico- Equipo de carga dinámica de deflexión.

D 4694 deflexiones Con una caída de Peso - Tipo Impulso dispositivo de carga.

D 5858 Guía para el Cálculo de In Situ Equivalente elástico Módulos de materiales en capas del pavimento, con Teoría elástica.

### 2.2 Normas AASHTO:

T256 - Método Estándar de la prueba para mediciones de la deflexión de pavimentos

PDDX –Deflexión de pavimentos intercambio de datos- Guía de datos técnica, Versión 1, abril de 1998

## 3. Terminología

### 3.1 Definiciones de los términos específicos para esta Norma:

**3.1.1 cuenco de deflexiones, n-** La forma de tazón de la deformación de la superficie del pavimento debido a una carga especificada, como se representa a partir de las mediciones de pico de una serie de sensores de deflexión situado en desplazamientos radiales desde el centro de la placa de carga.

**3.1.2 prueba cuenco de deflexiones, n-** Prueba con sensores de deflexión colocado en diversos desplazamientos radiales desde el centro de la placa de carga.

La prueba se utiliza para registrar la forma del cuenco de deflexiones como resultado de una carga aplicada.

La información de este análisis puede ser usado para estimar las propiedades del material para una estructura de pavimento dada.

**3.1.3 sensor de deflexión, dispositivo (s) n-** electrónico capaz de medir el movimiento vertical relativo de la superficie de un pavimento y montado de manera que se minimice la rotación angular con respecto a su plano de medición en el esperado movimiento. Tales dispositivos pueden incluir sismómetros, velocidad transductores, o acelerómetros.

**3.1.4 célula de carga, n-** Capaz de medir con precisión la carga que se aplica perpendicular a la placa de carga y se coloca en una posición para minimizar la masa entre la célula de carga y la pavimento. La célula de carga se colocará de tal manera que no restrinja la capacidad de obtener las mediciones de deformación bajo el centro de la placa de carga. La celda de carga deberá ser resistente al agua, y deberán ser resistentes a los choques mecánicos de la carretera impactos durante las pruebas o de viaje.

**3.1.5 plato de carga, n-**Capaz de una distribución uniforme de la carga sobre la superficie del pavimento. placas de carga pueden ser de forma circular (o rectangular en algunos casos), de una sola pieza o segmentado, para mediciones en carreteras convencionales y aeródromos o pavimentos rígidos similares. La placa deberá estar construida de manera adecuada para permitir mediciones de deformación de la superficie del pavimento en el centro de la placa.

**3.1.6 prueba de transferencia de carga, n -** Una prueba, por lo general en el pavimento PCC, con sensores de deflexión en ambos lados de una rotura o conjunta en el pavimento. La prueba se utiliza para determinar la capacidad del pavimento para la transferencia de carga desde un lado de la pausa para el otro. Además, los datos de carga -deflexión se pueden utilizar para predecir la existencia de vacíos debajo de la acera.

**3.1.7 lugar de la prueba, n -** El punto en el que el centro de la carga aplicada o cargas se encuentran.

## 4. Resumen de Guía y Limitaciones

4.1 Esta guía consta de estándares para la medición de deflexiones de la superficie de un pavimento directamente debajo y/o en su caso de desplazamiento de poblaciones de centro de carga. cada dispositivo de prueba destructiva (NDT) se hace funcionar de acuerdo con la norma procedimiento de operación aplicables al dispositivo.

4.2 Esta guía incluye una descripción general de los distintos tipos de dispositivos de prueba de deflexión estática y semicontinua, y los procedimientos para la medición de la deflexión correspondiente a cada dispositivo de prueba.

4.3 El recojo de información general que se describe en esta guía, tales como configuración de la prueba, la temperatura del ambiente, la temperatura del pavimento, la calibración del equipo, número de pruebas, y la ubicación de prueba, pertenecen a todos los dispositivos.

## 5. Importancia y Uso

**5.1** Medición de las deflexiones de la superficie del pavimento proporciona información que puede ser utilizada para la evaluación estructural de pavimentos

nuevos o en servicio. Estas mediciones se pueden utilizar para determinar las siguientes características del pavimento:

5.1.1 Módulo de cada capa.

5.1.2 rigidez total del sistema de pavimento.

5.1.3 eficiencia de transferencia de carga de juntas del pavimento PCC.

5.1.4 coeficiente de balasto.

5.1.5 espesor efectivo, el número estructural o de soporte del suelo.

5.1.6 Capacidad de carga o capacidad de carga de un pavimento.

5.2 Estos parámetros se pueden usar para el análisis y diseño del reconstruido y rehabilitado flexibles y rígidos pavimentos, evaluación de la adecuación estructural del pavimento incluyendo la eficiencia conjunta del PCC pavimento, detección de vacío en el PCC pavimento, la investigación y / o fines de inventario estructural de la red.

## **6. Aparatos**

6.1 El aparato utilizado en esta Guía será uno de los dispositivos de medición de la deflexión de los descrito en el apartado 6.2 y consistirá en algún tipo de sensor de la sonda o de la superficie de contacto (s) para medir los movimientos verticales de pavimento o deformaciones cuando se somete a una carga dada.

6.2 Dispositivos de medición:

6.2.1 Dispositivo Estático no continuo, que opera con el principio de la palanca de brazo único. Este dispositivo deberá contar con un mínimo 2,5 m (8,2 ft.) De la sonda de largo, y la extensión de la sonda deberá deprimir una carátula o un sensor electrónico que mide el máximo deflexión superficie del pavimento con una resolución de 0.025 mm (0,001 pulg.) o mejor. El vehículo utilizado para impartir la rueda de carga para el pavimento será un camión capaz de transportar una carga de prueba mínima de 80 kN (18.000 lbf) en un solo eje trasero.

La configuración de carga, incluidas las cargas por eje, tamaño de los neumáticos, y presiones de inflado, se pueden obtener usando del fabricante especificación; Sin embargo, esta información debe indicarse claramente en el informe de ingeniería.

6.2.2 Dispositivo Estático semicontinuo, que funciona en una el doble principio de la palanca de brazo. El vehículo utilizado para llevar este dispositivo será un camión que transportaba un 130 kN (29.000 lbf) sola carga de ensayo de eje. La configuración de carga incluyendo cargas por eje, los tamaños de neumático, y las presiones de inflación se puede obtener mediante las especificaciones del fabricante;

Sin embargo, esta información debe se indicará claramente en el informe de ingeniería. El vehículo de prueba deberá estar equipados con un brazo de palanca doble con sondas, la geometría y el tamaño de los cuales hace posible medir la deflexión máxima superficie del pavimento en ambos caminos de rueda con una resolución de 0,025 mm (0,001in.) o mejor. La extensión de cada palanca de brazo que sostiene la sonda deberá deprimir un sensor electrónico, que puede ser de cualquier tipo siempre que el sensor suministra una señal analógica o digital. La señal digital deberá correlacionarse con el movimiento de esta extensión y, por lo tanto, con la deflexión de la superficie del pavimento bajo el efecto de la carga de prueba en movimiento. El camión deberá ser capaz de levantar y mover las sondas de un punto de medición a la siguiente, bajarlos sobre la superficie del pavimento, y hacer otra serie de mediciones en un proceso

totalmente automatizado en una constante Velocidad del vehículo.

6.2.3 Estado estacionario de dispositivos dinámicos, que utiliza una dinámica forzar generador para producir una carga dinámica. El generador de fuerza puede utilizar, por ejemplo, una masa en rotación libre o un servo controlado actuador hidráulico para producir la carga dinámica. El dispositivo que utiliza una masa en rotación contador funciona a una frecuencia fija para producir una carga dinámica bajo un peso estático aplicada a través de un par de ruedas de acero rígidos. Tanto la carga la frecuencia y la magnitud de las cargas dinámicas pueden estar variado por el operador de los dispositivos que utilizan un servocontrolados actuador hidráulico. Dependiendo del modelo, de funcionamiento normal frecuencias varían de 8 a 60 Hz y la máxima dinámica fuerzas varían desde 2,2 hasta 35,5 kN (500 a 8.000 lbf) aplicada a través de una sola circular o placa rectangular doble, doble o acero ruedas tales como los utilizados en el dispositivo Dynaflect estándar. Un dispositivo de carga de estado estacionario puede ser montada en una camioneta, en la delantero de un vehículo, o en un remolque. medición de deflexión dispositivos deben tener cinco o más sensores de forma satisfactoria medir la cuenca de deflexión con una resolución de 0.002 mm (0,0001 pulg.) O mejor.

6.2.4 Dispositivo de Impulso que crea una carga de impulso en el pavimento dejando caer una masa a partir de una altura variable sobre una caucho o sistema tampón primavera.

Genéricamente conocido como un Peso Deflectómetro (FWD), el dispositivo generador de fuerza deberá ser capaz de ser elevada a uno o más predeterminado alturas y se dejó caer. La fuerza resultante, transmitida al pavimento a través de una placa de carga circular, no deberá variar entre caídas repetitivas en más de un 6 % 3. El impulso de fuerza deberá aproximar la forma de una onda o de media onda sinusoidal y una fuerza máxima en el rango de 7 a 105 kN (1.500 a 24.000 lbf) será alcanzable. El dispositivo de carga será de impulso deflexiones la superficie del pavimento utilizando siete o más sensores con una resolución de 0,002 mm (0,0001 pulg.) o mejor.

## **7. Calibración de Instrumentos de medición de deflexión**

7.1 El sensor (s) de desviación y la célula de carga (si procede) del dispositivo de deflexión debe calibrarse para garantizar que todos tengan una precisión dentro de los límites especificados. Para los dispositivos donde la carga se supone que es constante y no se mide, la exactitud de la magnitud de la carga impartida debe comprobarse utilizando periódicamente la calibración recomendada por el fabricante procedimiento. El dispositivo de carga será de impulso deflexiones la superficie del pavimento utilizando siete o más sensores con una resolución de 0,002 mm.

## **7. Calibración de Instrumentos de medición de deflexión**

7.1 El sensor (s) de desviación y la célula de carga (si procede) del dispositivo de deflexión debe calibrarse para garantizar que todos tengan una precisión dentro de los límites especificados. Para los dispositivos donde la carga se supone que es constante y no se mide, la exactitud de la magnitud de la carga impartida debe comprobarse utilizando periódicamente la calibración recomendada por el fabricante procedimiento.

Tabla 2 Célula de carga de frecuencia de calibración

Tipo de dispositivo	Frecuencia de calibración
Discontinuo y semicontinuo	Al menos una vez al año con el fabricante instrucciones sobre cómo utilizar el procedimiento de Apéndice A del Informe SHRP - P 661
Tipos estáticos Cargando	Por lo menos una vez al año utilizando el procedimiento descrito en el Apéndice A de SHRP Informe SHRP - P -661
Tipos de carga de estado estacionario (Ver 7.2.2 para los dispositivos que no cuentan con una célula de carga).	Tabla 3 Frecuencia del sensor desviación de calibración
Tipos de impulso Cargando (Deflectómetro)	

Antes de la prueba

Tabla 3 Frecuencia del sensor desviación de calibración

Tipo de dispositivo	Frecuencia de calibración	Frecuencia mínima de comprobación de la calibración
Discontinuo y semicontinuo	Diariamente durante la operación	Diariamente durante la operación
Tipos estáticos Cargando	Al menos una vez al año calibración de referencia al menos una vez al año	Una vez al mes durante el funcionamiento
Tipos de carga de estado estacionario	utilizando el procedimiento descrito en el Apéndice A de SHRP	Calibración relativa una vez al mes durante el funcionamiento utilizando el procedimiento en el Apéndice A de SHRP Informe SHRP - P -661
Tipos de impulso Cargando (Deflectómetro)	Informe SHRP - P -661	

## 7.2 Célula de carga:

**7.2.1 General** El procedimiento para la calibración de la celda de carga (Si el dispositivo utiliza una célula de carga) depende del tipo de dispositivo utilizado. La calibración de la celda de carga se puede comprobar informalmente mediante la observación de las lecturas de las células de carga y comparando contra lecturas esperados en base a la experiencia o los valores de calibración en el caso de Deflectómetro o la Ruta de Rater. Referencia de celda de carga (o absoluta) de calibración se llevará a cabo al menos una vez al año, excepto la no continuo y dispositivos de carga semicontinuos (ver Tabla 1).

**7.2.2** Dispositivos discontinuo y semicontinuo carga estática-Inmediatamente antes de la prueba, pese la carga por eje del camión si el lastre consiste en un material que puede absorber humedad (arena o grava, y así sucesivamente) o podría haber cambiado por alguna razón.

Los camiones con sólo cargas de bloques de hormigón o de acero deben sopesarse si las cargas se cambian o podrían tener desplazada. Calibración de la celda de carga al dispositivo de referencia

**7.2.3** Impulso Cargando debe llevarse a cabo al menos una vez al año. Apéndice A de SHRP Informe SHRP-P 661 contiene un esquema de ejemplo para tal tarea.

### 7.3 Sensores de deflexión:

**7.3.1 General** El procedimiento para la calibración de la desviación sensores depende del tipo de aparato utilizado. Calibración de los sensores de desviación deben ser revisados al menos una vez mes durante las pruebas de producción, excepto no continuo y dispositivos de carga semicontinuos (ver Tabla 2).

**7.3.2** discontinuo y semicontinuo carga estática dispositivos de carga dispositivos estáticos deben ser calibrados al día con galgas de espesores. Cuando se realiza la calibración del sensor de deflexión, desviaciones inducidas deben ser similares en magnitud a la deflexión encontraron durante la prueba normal.

**7.3.3** Dispositivos de carga-A Steady-State calibración de rutina verificación de los sensores de deflexión se llevará a cabo una vez al mes. Si se observan diferencias significativas para un sensor, deberá ser devueltos al fabricante para su comprobación o calibración bajo vibraciones oscilatorias de calibración estándar. Sensores de deflexión deberá ser calibrado anualmente. Sensor de deflexión.

**7.3.4** Dispositivos de impulso Cargando-Referencia calibración debe llevarse a cabo de acuerdo con el Protocolo

SHRP (véase el Apéndice A del Informe SHRP SHRP-P-661 para dispositivos de carga de impulso). Una verificación de calibración relativa debe llevarse a cabo una vez al mes, utilizando el Protocolo de SHRP (Véase el Apéndice A del Informe SHRP SHRP-P-661).

**7.4** Sensores de temperatura: calibración del sensor de temperatura del pavimento debe realizarse a cabo usando un termómetro de referencia calibrado y dos de referencia superficies tales como una superficie "fría" y "caliente". Temperatura del aire sensor (si existe) de calibración debe llevarse a cabo utilizando dos temperaturas de referencia, por ejemplo, controlados cuidadosamente hielo agua (0 ° C) y agua caliente (60 ° C). Calibración de la temperatura

Los sensores deben llevarse a cabo al menos una vez al año.

## 8. Procedimientos para la recolección de datos de campo y pruebas

**8.1 General** El procedimiento a seguir es, en cierta medida, depende de que se utiliza el tipo de dispositivo. La siguiente información general se sugiere como mínimo datos que necesita ser recogida, independientemente del tipo de dispositivo usado.

**8.1.1** Carga-Para dispositivos de carga de impulso, registrar el pico carga aplicada a la superficie del pavimento por el dispositivo de desviación.

Para los dispositivos de carga de estado estacionario, registrar la carga de pico a pico y la configuración de la carga. Para los dispositivos de carga estática, registrar la

carga por eje, presión de los neumáticos, el tipo y el tamaño y la configuración de la carga (Espaciado doble) del vehículo de ensayo.

8.1.2 Carga Frecuencia- Si procede, registrar la recuencia de la carga oscilatoria calculado para dispositivos de carga vibratorios.

**NOTA 1-** Para algunos dispositivos, el fabricante preestablece en general, la frecuencia de carga cíclica a un valor predeterminado de 8 Hz.

8.1.3 Geometría del Espacio cargado y el sensor de deflexión Lugares-para el modelado adecuado de la estructura del pavimento y / o retrocálculo de parámetros de la capa, etc., es necesario que la ubicación de la carga, sensores de deflexión, pavimento grietas de superficie, y las articulaciones de PCC son conocidos y registrados.

Registrar la ubicación de las grietas y juntas entre la carga y cada sensor dentro de 2 m (6,5 ft.) desde el centro de la carga hacia los sensores. Registrar la ubicación y la orientación de todos sensores como medida radialmente hacia el exterior desde el centro de la de carga, por ejemplo, "300 mm (11,8 pulg.) por delante de la aplicada carga ". De acuerdo con el método seleccionado de evaluar eficiencia de la unión o de transferencia de carga, la carga (s) y la deflexión Sensor (s) se debe configurar correctamente y señaló, por ejemplo, pruebas pueden llevarse a cabo con uno o más sensores en cada lado de la articulación, con la placa de carga situada inmediatamente adyacente al lado de la licencia (aguas abajo) de la articulación. Otras configuraciones también se pueden usar. El no tener en cuenta la presencia de juntas y grietas dentro de la zona de influencia de la carga podría dar lugar a errores en el análisis posterior del grabado deflexiones. Del mismo modo, si no se tenga en cuenta adecuadamente el actual posición de los sensores de desviación podría resultar en graves errores de análisis.

8.1.4 Tiempo de Test-Registrar el tiempo para cada medición ubicación.

8.1.5 estacionamiento o PK-Registrar el número de estación o ubicación del punto de prueba para cada ensayo de deflexión a cabo.

8.1.6 Aire y el pavimento Temperaturas-Como mínimo, registrar la temperatura del aire ambiente y la superficie del pavimento la temperatura en los intervalos especificados como se recomienda por el ingeniero. Temperaturas adicionales pueden ser necesarios para la métodos de post-procesamiento. Por ejemplo, las temperaturas de las capas del pavimento puede ser determinado por los agujeros de perforación a una o más profundidades dentro de la capa de pavimento y llenando la parte inferior de estos agujeros con 10 a 15 mm (1/3 a 2/3 pulg.) de un fluido que tiene una baja tasa de evaporación (para evitar el enfriamiento), tal como glicerina o un producto a base de aceite, y el registro de la temperatura en el parte inferior de cada agujero después de la temperatura en el fluido tiene estabilizado. Si la prueba se lleva a cabo durante un período prolongado de tiempo, tomar mediciones de temperatura del líquido cada hora para establecer una correlación directa entre el aire, la superficie del pavimento, y mediciones de temperatura / o en profundidad. Si esto no es posible, algún procedimiento también existe para la estimación de la acera temperatura como una función de la profundidad utilizando la alta y baja la temperatura del aire para el anterior día de 24 horas y la corriente temperatura de la superficie del pavimento.

8.2 de intervalo de prueba-La separación o el intervalo de prueba de campo sitios es dependiente del nivel de prueba

seleccionada, como se discutió en la Sección 9 de esta norma.

8.3 Método de Ensayo-Dependiendo del tipo de aparato, diferentes métodos de ensayo usados pueden ser utilizados.

Estado estable dispositivos de carga capaces de cargas variables y frecuencias pueden ser utilizados para llevar a cabo barridos de frecuencia (" múltiples pruebas en varias frecuencias, en el mismo lugar de la prueba y la carga). Dispositivos de carga de impulso son típicamente capaces de aplicar varias cargas; algunos dispositivos pueden controlar la forma y la duración del impulso de carga. Medidas conjuntas de eficiencia en articulado pavimentos PCC pueden llevarse a cabo con dispositivos equipados con múltiples sensores de desviación, mediante la colocación de la carga en un lado de la articulación y de posicionamiento de uno o más sensores en cada lado de la articulación. El uso de un dispositivo de Benkelman Beam, la transferencia de carga mediciones pueden llevarse a cabo mediante el uso de dos dispositivos, uno en cada lado de la unión como el eje camión cargado cruza lentamente la articulación.

8.4 Procedimiento para las mediciones de deformación:

8.4.1 Generales-Los procedimientos para llevar a cabo la deflexión específica las pruebas deben ser los suministrados por el fabricante del dispositivo y complementarias para reflejar las directrices generales proporcionada en la presente norma. se llevarán a cabo los siguientes pasos con independencia del dispositivo utilizado.

8.4.1.1 Calibrar el sensor (s) de desviación y la célula de carga (si aplicable) del dispositivo, siguiendo el procedimiento discutido en Sección 7.

8.4.1.2 Transporte el dispositivo a la ubicación de la prueba sobre el punto de prueba deseado.

8.4.1.3 medir la temperatura del aire ambiente y el pavimento temperaturas en conformidad con las directrices contenidas en 8.1.6.

8.4.1.4 Registre la siguiente información para cada pavimento ubicación del proyecto, nombre del operador, la fecha y hora, la calibración: la prueba factores, la estación de comienzo y final o física ubicación, como el "Jct. IH 635 y Beltline Road ", la ubicación de corte y relleno, lugares de alcantarillas, puentes y otras verticales funciones de control, así como los límites y el alcance de las angustias de la superficie, las condiciones climáticas, y una descripción del tipo de pavimento.

8.4.1.5 La ubicación de la prueba deberá estar libre de todas las rocas y escombros para asegurarse de que la placa de carga (si es aplicable) será debidamente montados. Grava o suelo superficies deberán ser lo más suave material de posible y todos sueltos se evita o se retira.

8.4.2 Dispositivo de carga estática no continuas:

8.4.2.1 Posición del haz entre los neumáticos de manera que la sonda es de 1.37 m (4,5 ft.) hacia delante de y perpendicular al eje trasero. Tenga en cuenta si se utiliza el conjunto de la derecha o de la izquierda de los neumáticos duales (o tanto en el caso de dos haces).

8.4.2.2 Ajustar el comparador de carátula para leer 0.000 mm (0.000 pulg.) O Anote la lectura antes de iniciar la secuencia de prueba.

8.4.2.3 Conducir el vehículo de ensayo de aproximadamente 8 m (25 pies). remitir a velocidad lenta y registrar la lectura del dial máximo (Dm) con una resolución de 0,025 mm (0,001 in.) O mejor.

8.4.2.4 Después de la aguja de línea se ha estabilizado, registre la final marque la lectura (Df) con una resolución de 0,025 mm (0,001 pulg.) o mejor.

8.4.2.5 Calcular la desviación superficie usando del fabricante fórmula recomendada, que se basa en la configuración del pivote en la viga.

8.4.2.6 Repetir este proceso en los intervalos de medición específica en la Sección 9. Normalmente, las dos huellas de las ruedas son medido utilizando dos instrumentos. Sin embargo, cuando se prueba con sólo un instrumento, la prueba puede ser o estar en la exterior pista de la rueda (por lo general más crítico), o puede alternarse entre huellas de ruedas, por ejemplo, mediante la obtención de dos mediciones en la pista rueda exterior para cada uno en la medida la pista rueda interior a lo largo de la sección de prueba.

8.4.2.7 Informe de las mediciones individuales, además del promedio (media) de desviación para cada pista de la rueda y la desviación estándar de estas mediciones, para cada uniforme sección de pruebas.

8.4.3 Dispositivo de carga estática semicontinuo:

8.4.3.1 Obtener mediciones de deformación de la superficie del pavimento para ambas huellas de las ruedas como se especifica en la Sección 9 en un continuo gráfico.

8.4.3.2 Leer las mediciones de deformación de la deflexión trazas con una resolución de 0,025 mm (0,001 pulg.) o mejores, y tabular el uso de hojas de datos de deflexión junto con cualesquiera notas que se acompañan.

8.4.3.3 Para cada sección del examen uniforme, calcular el promedio (Media) las mediciones de deformación de ambas pistas de rueda, e informar de estos datos junto con los datos tabulados y acompañando Apuntes de la 8.4.3.2.

8.4.4 Estado Estacionario Dispositivo de carga:

8.4.4.1 configurar el software para la recolección de datos si el dispositivo está equipado para ello.

8.4.4.2 Registro de la información que identifica la exacta configuración del dispositivo de deflexión en el momento de la prueba. Los datos de configuración de dispositivos por lo general incluyen número y el espaciamiento de desviación sensores y orientación de los sensores de desviación.

8.4.4.3 localizar el dispositivo de tal manera que el centro de carga está en el lugar de la prueba seleccionada y la barra de sensores es paralela a la sentido de la marcha (o en todo el conjunto para longitudinal o articulaciones asimétricas).

8.4.4.4 Bajar la barra de sensores para colocar los sensores y la placa de carga (o placas), o las ruedas de carga. Iniciar la generación de fuerzas hasta que se alcanza la estabilidad a la frecuencia de carga seleccionado y la magnitud de la carga.

**Nota 3:** Cuando se utiliza un dispositivo de estado estacionario, las primeras vibraciones son inestable en términos de producción debido a que los sensores pueden no tener plenamente respondido a la frecuencia de salida seleccionado.

8.4.4.5 Registro de la frecuencia y la magnitud del pico-Topeak carga de estado estacionario.

8.4.4.6 Registro de la precarga estática, ya que esto influirá en la magnitud de la deflexión.

8.4.4.7 Leer y registrar las deflexiones medidos para cada uno de los sensores, ya sea manualmente en hojas de datos o directamente si los datos grabación está automatizado.

8.4.5 Impulso Dispositivo de carga:

8.4.5.1 configurar el software para la recolección de datos.

8.4.5.2 Introducir la información que identifica la configuración exacta del dispositivo de deflexión en el

momento de la prueba. Los los datos de configuración del dispositivo se almacenan en el archivo de salida de datos y son una entrada directa al análisis de datos. Esta información normalmente incluye el tamaño de la placa de carga, el número y la posición de sensores de desviación, y la orientación de los sensores de desviación con respecto a la placa de carga.

8.4.5.3 Seleccione el formato de archivo de datos adecuado. Varios archivos formatos están disponibles, por ejemplo, unidades de EE.UU. habituales, SI unidades, y otras opciones.

8.4.5.4 Bajo la placa de carga y sensores para asegurar que se están descansando sobre una superficie firme y estable.

8.4.5.5 Elevar el generador de fuerza a la altura deseada y deje caer el "peso". Realice una o más de caída (s) prueba en cualquier carga nivel. Uno o más "asiento" cae también puede ser utilizado; sin embargo, registrar los datos de las gotas de asientos, que posteriormente puede ser utilizado en el análisis para determinar la cantidad de "acondicionado" el pavimento misma experiencia, en su caso. Registrar el pico desviaciones de la superficie y la carga máxima (teniendo en cuenta las gotas de asientos), o registrar la respuesta a plena carga y la historia de los tiempos de desviación, como se recomendado por el ingeniero.

8.4.5.6 Para permitir al ingeniero para determinar la no linealidad del sistema de pavimento, poniendo a prueba en múltiples niveles de carga puede ser llevado a cabo. El analista puede utilizar cuenca promediado, si al azar error es motivo suficiente de preocupación.

## 9. Lugar y frecuencia de muestreo

9.1 La ubicación de las pruebas variará según el propósito para el cual se obtengan los datos. Por lo general, el método que comúnmente es utilizado es el de realizar la prueba principalmente en las huellas de las ruedas, puesto que la reacción del pavimento en estos lugares refleja el efecto del daño que se ha estado acumulando. Se pueden efectuar pruebas de deflexión entre las huellas de circulación en pavimentos flexibles, para comparar con los resultados bajo las huellas de las ruedas, de manera de conocer el daño relativo.

**9.2 Ensayos a nivel de red** - Este nivel de prueba proporciona una perspectiva general de la capacidad de resistencia del pavimento con un número limitado de pruebas. Las pruebas de deflexión se ejecutan generalmente a intervalos de 200 a 500 metros (656 a 1640 pies), dependiendo de las condiciones específicas del pavimento.

Un mínimo de siete pruebas por sección de pavimento uniforme, se recomienda para asegurar una muestra estadísticamente significativa. Como mínimo, la carga para los pavimentos de concreto asfáltico (AC) y los de concreto con refuerzo continuo (CRPC) debe ser posicionada a lo largo del trayecto de la llanta externa o, alternativamente, a lo largo de la línea central de las losas del CRCP. Para pavimentos de concreto con juntas, la carga de red se debe colocar primero en el centro geométrico de la losa. Para los ensayos a nivel de red, por lo menos el 10% de las losas cubiertas deberán ser probadas también en sus juntas para conocer la eficiencia en la transferencia de carga.

**9.3 Ensayos a nivel general de proyecto** - Este nivel de prueba proporciona un análisis más detallado del pavimento, por ejemplo: para el diseño de un refuerzo o una rehabilitación. Las pruebas se deberán hacer a intervalos de 50 a 200 m (164 a 656 pies), dependiendo de las condiciones específicas del pavimento, con un mínimo



de 15 pruebas recomendadas por cada sección de pavimento uniforme.

Como un mínimo, la carga para pavimentos de concreto asfáltico ó rígidos con refuerzo continuo, se coloca generalmente a lo largo de la trayectoria de la llanta externa o, alternativamente, a lo largo de la línea central de las losas del pavimento con refuerzo continuo. Para pavimentos de concreto con juntas, la carga se debe posicionar primero en ó cerca del centro geométrico de la losa y luego se debe mover a la junta más cercana y posicionarse a lo largo de la misma línea, generalmente en el lado de salida de la junta.

En calles y carreteras, las pruebas en las juntas se hacen generalmente a lo largo de la trayectoria de la llanta externa.

Para el nivel general de proyecto, usualmente no todas las juntas asociadas con cada losa interior ensayada son cubiertas; sin embargo, se recomienda una tasa mínima de cobertura de juntas del 25%. En pavimentos de concreto con juntas con pistas de aterrizaje se deben tomar medidas de eficiencia de las juntas y tanto en las juntas transversales como en las longitudinales.

**9.4 Ensayos a nivel detallado de proyecto** - Este nivel de prueba proporciona un análisis altamente detallado y específico del pavimento para propósitos tales como la identificación de áreas de alta deflexión o para detectar vacíos sub-superficiales en pavimentos de concreto, etc.

Para pavimentos de concreto asfáltico (AC) o de concreto con refuerzo continuo, las pruebas se hacen, generalmente, a intervalos entre 10 y 50 m (32.8 a 164 pies), según recomiende el ingeniero. En calles y carreteras, la prueba se hace a menudo en ambas huellas de las ruedas. Para pavimentos de concreto con juntas, la carga se deberá posicionar primero en o cerca del centro geométrico de cada losa a lo largo de la sección de prueba y luego moverse a la junta o grieta más cercana a cada losa, ya sea a lo largo de las huellas de la llanta externa o a la esquina de la losa o ambas. En pavimentos de concreto con juntas en pistas de aterrizajes, se deben tomar medidas de eficiencia de las juntas transversales como en las longitudinales.

**10. Otros datos necesarios para el análisis de deflexión**

10.1 Los siguientes datos del sistema de pavimento pueden ser necesarios para facilitar el análisis de la carga-deflexión:

10.1.1 pavimento tipos de materiales y espesores de capa.

10.1.2 La profundidad hasta la roca madre o capa rígida.

**11. Informe de pruebas de deflexión**

Los informes de campo (tanto electrónica e impresa) para cada proyecto de evaluación de las pruebas de deflexión debe contener información sobre los siguientes puntos como mínimo.

11.1 Fecha y hora de la prueba.

11.2 Identificación del operador.

11.3 La información del vehículo.

11.4 Condiciones meteorológicas.

11.5 Las temperaturas del aire y del pavimento.

11.6 Información Sección - esto es generalmente especificado, pero la información de la sección generalmente incluye lo siguiente:

11.6.1 Carreteras y el condado o distrito en el que se encuentra.

11.6.2 tipo de pavimento se está probando.

11.6.3 Sentido de la marcha.

11.6.4 carril está probando (por ejemplo, conducir o transmitir carril), y la posición dentro del carril (camino de rueda interior, mediados de carril, trayectoria rueda exterior, y así sucesivamente).

11.7 Operaciones de carga y de deflexión de datos.

11.7.1 Tipo de dispositivo de desviación.

11.7.2 Tipo de prueba de deflexión, tales como cuencas de deflexión o transferencia de carga.

11.7.3 Ubicación de los sensores.

11.7.4 la carga aplicada y la frecuencia de carga.

11.7.5 deflexiones medidas bajo carga.

**12. Software de Adquisición de Datos**

12.1 Algunos dispositivos de prueba de deflexión utilizan su propio campo programa para adquirir los datos de carga y de deflexión. Tradicionalmente, archivos de datos de deflexión del pavimento de superficie se han estructurado utilizando formatos ASCII que son muy dependientes del dispositivo. A pesar de que formato ASCII permite a los usuarios y las agencias acceder fácilmente a los archivos de salida de datos, se necesita un programa separado para acceder al archivo de salida para cada tipo de dispositivo de prueba. Para mitigar este problema, AASHTO ha desarrollado una superficie de pavimento universal el intercambio de datos de deflexión

(PDDX) especificación de formato. UN Descripción de esta memoria descriptiva se puede encontrar en la última referencia en el punto 2.2 de esta norma.

**13 Software de procesamiento de datos**

13.1 Varios programas de software retrocálculo han sido desarrollado para el procesamiento y análisis de los datos de deflexión. ASTM D 5858 proporciona una discusión de algunas de las principales diferencias entre los programas de cálculo regresivo más comúnmente utilizados. Si retrocálculo técnicas se emplean, utilizan la última versión del programa Versión para retrocálculo de los módulos de capa de pavimento.

**14. Precisión y Parcialidad**

14.1 Dado que esta Guía estándar cubre el uso de diversos dispositivos de ensayos no destructivos utilizados en cualquier tipo de superficie del pavimento encuadrado, los datos de precisión y error de la carga medida y la deflexión ser una función tanto de las características del pavimento de prueba y el dispositivo utilizado. Información sobre la fiabilidad, precisión y repetitividad de varios dispositivos de carga vibratorios y de impulso se pueden encontrar en un informe que describe el experimento realizado en la Estación de Navegación (WES)

9 en Vicksburg, Mississippi.

15. Palabras clave

15.1 viga Benkelman; sensor de deflexión; encuestas de desviación; Deflectómetro-peso que cae (FWD); deflexión impulso, dispositivo de prueba; célula de carga; carga / pruebas de deflexión; no destructivo (NDT); deflexión superficie del pavimento; pruebas de pavimento; frecuencia de muestreo; dispositivo de prueba de deflexión estática; estado estable dispositivo de prueba de deflexión dinámico

**ANEXO 3**  
**ESTUDIO DE TRÁFICO**

## ESTUDIO DE TRÁFICO

### 1. VOLÚMENES VEHICULARES

DIA	SENTIDO	AUTOMOVIL	CAMIONETA	COMBI	MICRO BUS	OMNIBUS		CAMIÓN			SEMITRAYLER				TRAYLER				TOTAL
						B2	B3-1	C2	C3	C4	T2S1/T2S2	T2S3	T3S1/T3S2	>=3S3	C2-R2	C2-R3	C3-R2	>=C3-R3	
LUNES	HACIA ENCAÑADA	193	204	231	0	14	10	38	7	0	4	5	4	3	4	1	0	0	718
	HACIA CAJAMARCA	156	145	219	0	13	9	33	3	1	5	3	3	3	2	0	1	0	596
	AMBOS SENTIDOS	<b>349</b>	<b>349</b>	<b>450</b>	<b>0</b>	<b>27</b>	<b>19</b>	<b>71</b>	<b>10</b>	<b>1</b>	<b>9</b>	<b>8</b>	<b>7</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>1314</b>
MARTES	HACIA ENCAÑADA	172	185	205	0	15	8	36	6	10	6	5	6	4	4	3	2	0	667
	HACIA CAJAMARCA	165	179	199	0	17	5	35	5	11	6	4	2	1	2	1	2	0	634
	AMBOS SENTIDOS	<b>337</b>	<b>364</b>	<b>404</b>	<b>0</b>	<b>32</b>	<b>13</b>	<b>71</b>	<b>11</b>	<b>21</b>	<b>12</b>	<b>9</b>	<b>8</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>0</b>	<b>1301</b>
MIERCOLES	HACIA ENCAÑADA	168	174	210	0	10	6	31	10	15	8	4	4	2	2	2	3	0	649
	HACIA CAJAMARCA	176	181	215	0	16	5	36	6	12	9	2	1	3	4	2	1	0	669
	AMBOS SENTIDOS	<b>344</b>	<b>355</b>	<b>425</b>	<b>0</b>	<b>26</b>	<b>11</b>	<b>67</b>	<b>16</b>	<b>27</b>	<b>17</b>	<b>6</b>	<b>5</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>0</b>	<b>1318</b>
JUEVES	HACIA ENCAÑADA	161	170	189	0	18	4	42	9	15	12	7	6	2	3	3	1	0	642
	HACIA CAJAMARCA	168	159	181	0	15	5	36	7	11	4	4	3	1	2	0	2	0	598
	AMBOS SENTIDOS	<b>329</b>	<b>329</b>	<b>370</b>	<b>0</b>	<b>33</b>	<b>9</b>	<b>78</b>	<b>16</b>	<b>26</b>	<b>16</b>	<b>11</b>	<b>9</b>	<b>3</b>	<b>5</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>0</b>	<b>1240</b>
VIERNES	HACIA ENCAÑADA	177	168	213	0	19	7	45	10	25	32	6	3	4	6	4	2	0	721
	HACIA CAJAMARCA	156	143	199	0	16	4	38	6	13	5	4	2	2	3	2	3	0	596
	AMBOS SENTIDOS	<b>333</b>	<b>311</b>	<b>412</b>	<b>0</b>	<b>35</b>	<b>11</b>	<b>83</b>	<b>16</b>	<b>38</b>	<b>37</b>	<b>10</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>9</b>	<b>6</b>	<b>5</b>	<b>0</b>	<b>1317</b>
SABADO	HACIA ENCAÑADA	248	189	191	0	7	6	34	12	13	13	5	3	3	3	3	0	0	730
	HACIA CAJAMARCA	253	165	187	0	8	5	38	5	9	3	6	4	3	4	2	2	0	694
	AMBOS SENTIDOS	<b>501</b>	<b>354</b>	<b>378</b>	<b>0</b>	<b>15</b>	<b>11</b>	<b>72</b>	<b>17</b>	<b>22</b>	<b>16</b>	<b>11</b>	<b>7</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>5</b>	<b>2</b>	<b>0</b>	<b>1424</b>
DOMINGO	HACIA ENCAÑADA	296	229	215	0	25	9	54	8	9	12	8	5	5	6	3	2	0	886
	HACIA CAJAMARCA	279	180	198	0	14	10	40	10	12	4	6	5	3	2	1	1	0	765
	AMBOS SENTIDOS	<b>575</b>	<b>409</b>	<b>413</b>	<b>0</b>	<b>39</b>	<b>19</b>	<b>94</b>	<b>18</b>	<b>21</b>	<b>16</b>	<b>14</b>	<b>10</b>	<b>8</b>	<b>8</b>	<b>4</b>	<b>3</b>	<b>0</b>	<b>1651</b>
TOTAL	HACIA ENCAÑADA	1415	1319	1454	0	108	50	280	62	87	87	40	31	23	28	19	10	0	5013
	HACIA CAJAMARCA	1353	1152	1398	0	99	43	256	42	69	36	29	20	16	19	8	12	0	4552
	AMBOS SENTIDOS	<b>2768</b>	<b>2471</b>	<b>2852</b>	<b>0</b>	<b>207</b>	<b>93</b>	<b>536</b>	<b>104</b>	<b>156</b>	<b>123</b>	<b>69</b>	<b>51</b>	<b>39</b>	<b>47</b>	<b>27</b>	<b>22</b>	<b>0</b>	<b>9565</b>

**A. CÁLCULO DEL NUMERO DE VEHICULOS INICIAL DE TIPO "i"**

DIA	AUTOMOVIL	CAMIONETA	COMBI	MICRO BUS	OMNIBUS		CAMIÓN			SEMITRAYLER				TRAYLER				TOTAL
					B2	B3-1	C2	C3	C4	T2S1/T2S2	T2S3	T3S1/T3S2	>=3S3	C2- R2	C2- R3	C3- R2	>=C3-R3	
LUNES	349	349	450	0	27	19	71	10	1	9	8	7	6	6	1	1	0	1314
MARTES	337	364	404	0	32	13	71	11	21	12	9	8	5	6	4	4	0	1301
MIERCOLES	344	355	425	0	26	11	67	16	27	17	6	5	5	6	4	4	0	1318
JUEVES	329	329	370	0	33	9	78	16	26	16	11	9	3	5	3	3	0	1240
VIERNES	333	311	412	0	35	11	83	16	38	37	10	5	6	9	6	5	0	1317
SABADO	501	354	378	0	15	11	72	17	22	16	11	7	6	7	5	2	0	1424
DOMINGO	575	409	413	0	39	19	94	18	21	16	14	10	8	8	4	3	0	1651
TOTAL	2768	2471	2852	0	207	93	536	104	156	123	69	51	39	47	27	22	0	9565
(IMDo) <sub>i</sub>	395	353	407	0	30	13	77	15	22	18	10	7	6	7	4	3	0	1367
(IMDo) <sub>i</sub>	1155				30	13	77	15	22	18	10	7	6	7	4	3	0	1367

## B. FACTOR DIRECCIONAL

A menos que existan consideraciones especiales, se considera una distribución del 50% del tránsito para cada dirección. En algunos casos puede variar de 0,3 a 0,7 dependiendo de la dirección que acumula mayor porcentaje de vehículos cargados.

Por lo tanto:

$$D = 0.50$$

## C. FACTOR DE DISTRIBUCIÓN

En una carretera de dos carriles, uno en cada dirección, el carril de diseño es uno de ellos, por lo tanto, el factor de distribución por carril es 100%. Para autopistas multicarriles el carril de diseño es el carril exterior y el factor de distribución depende del número de carriles en cada dirección que tenga la autopista. En la tabla siguiente se muestran los valores utilizados por la AASHTO:

N° CARRILES EN CADA DIRECCIÓN	PORCENTAJE DE EJES SIMPLES EQUIVALENTES DE 18KIPS EN EL CARRIL DE DISEÑO (FC)
1	100
2	80-100
3	60-80
4 ó más	50-75

Por lo tanto:

$$L = 1.00$$

## D. FACTOR DE CRECIMIENTO

El factor de crecimiento del tráfico se calcula aplicando la siguiente fórmula:

$$G = \frac{[(1+r)^n - 1]}{r} \dots\dots\dots(1)$$

Dónde:

r = tasa de crecimiento anual (decimales.)

n= Período de diseño (años).

Reemplazando r= 0.04 y n=20 en (1), tenemos:

$$G = \frac{[(1 + 0.04)^{20} - 1]}{0.04} = 26.87$$

Por lo tanto:

$G = 26.87$
-------------

### E. FACTOR DE EJES EQUIVALENTES


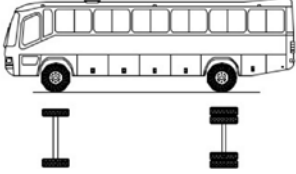
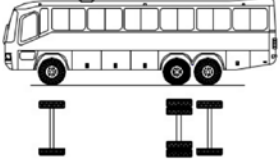
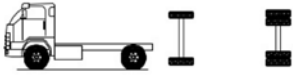

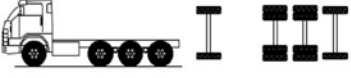
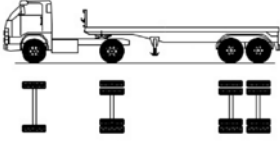
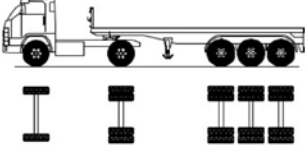
En la siguiente tabla se muestran los factores de equivalencia de carga publicada en la Guía AASHTO 1986.

Carga Total por Eje o Conjunto de Ejes.		Factores de Equivalencia de Carga.		
Kn	lb	Eje Sencillo	Ejes dobles	Ejes Triples
4.45	1,000	0.00002		
8.9	2,000	0.00018		
17.8	4,000	0.00209	0.0003	
26.7	6,000	0.01043	0.001	0.0003
35.6	8,000	0.0343	0.003	0.001
44.5	10,000	0.0877	0.007	0.002
53.4	12,000	0.189	0.014	0.003
62.3	14,000	0.360	0.027	0.006
71.2	16,000	0.623	0.047	0.011
80.0	18,000	1.000	0.077	0.017
89.0	20,000	1.51	0.121	0.027
97.9	22,000	2.18	0.180	0.040
106.8	24,000	3.03	0.260	0.057
115.6	26,000	4.09	0.364	0.080
124.5	28,000	5.39	0.495	0.109
133.4	30,000	6.97	0.658	0.145
142.3	32,000	8.88	0.857	0.191
151.2	34,000	11.18	1.095	0.246
160.1	36,000	13.93	1.38	0.313
169.0	38,000	17.20	1.70	0.393
178.0	40,000	21.08	2.08	0.487
187.0	42,000	25.64	2.51	0.597
195.7	44,000	31.00	3.00	0.723
204.5	46,000	37.24	3.55	0.868
213.5	48,000	44.50	4.17	1.033
222.4	50,000	52.88	4.86	1.22
231.3	52,000		5.63	1.43
240.2	54,000		6.47	1.66
249.0	56,000		7.41	1.91
258.0	58,000		8.45	2.20
267.0	60,000		9.59	2.51
275.8	62,000		10.84	2.85
284.5	64,000		12.22	3.22
293.5	66,000		13.73	3.62
302.5	68,000		15.38	4.05
311.5	70,000		17.19	4.52
320.0	72,000		19.16	5.03
329.0	74,000		21.32	5.57
338.0	76,000		23.66	6.15
347.0	78,000		26.22	6.78
356.0	80,000		29.00	7.45
364.7	82,000		32.00	8.2
373.6	84,000		35.30	8.9
382.5	86,000		38.80	9.8
391.4	88,000		42.60	10.6
400.3	90,000		46.80	11.6

- Tabulando los datos de la tabla, encontramos los siguientes factores de equivalencia para las cargas puntuales para el estudio de tráfico:

<b>TON</b>	<b>LB</b>	<b>FE</b>
1	2204.62	0.000371
7	15432.34	0.54835271
11	24250.82	3.1629346
16	35273.92	1.2765336
18	39683.16	2.0198004
23	50706.26	1.2941573
25	55115.5	1.7994375

- Calculo de trenes de carga de los diferentes tipos de vehículo:

PESOS Y MEDIDAS VEHICULARES								
Veh.	Descripción de vehículos	Long. máx. (m)	Peso máximo (Ton.)				Peso bruto máx. (Ton.)	
			Eje delant.	Conjunto de ejes posteriores				
				1°	2°	3°		4°
Ac		-	1	1			2	
B2		13.20	7	11			18	
B3-1		14.00	7	16			23	
C2		12.30	7	11			18	
C3		13.20	7	18			25	
C4		13.20	7	23			30	
T2S1/T2S2		20.50	7	11	18		36	
T2S3		20.50	7	11	25		43	



<b>T3S1/T3S2</b>		<b>20.50</b>	<b>7</b>	<b>18</b>	<b>18</b>		<b>43</b>
<b>≥3S3</b>		<b>20.50</b>	<b>7</b>	<b>18</b>	<b>25</b>		<b>48</b>
<b>C2-R2</b>		<b>23</b>	<b>7</b>	<b>11</b>	<b>11</b>	<b>11</b>	<b>40</b>
<b>C2-R3</b>		<b>23</b>	<b>7</b>	<b>11</b>	<b>11</b>	<b>18</b>	<b>47</b>
<b>C3-R2</b>		<b>23</b>	<b>7</b>	<b>18</b>	<b>11</b>	<b>11</b>	<b>47</b>
<b>≥C3-R3</b>		<b>23</b>	<b>7</b>	<b>18</b>	<b>11</b>	<b>18</b>	<b>54</b>

➤ Cálculo del factor equivalente total para cada tipo de vehículo.

TIPO VEHÍCULO	EJES SIMPLE			EJES TANDÉM		EJES TRIDÉM		FACTOR DE EQUIVALENCIA
	1 TON	7 TON	11 TON	16 TON	18 TON	23 TON	25 TON	
Ac	0.0003710							0.00074200
B2		0.54835271	3.16293460					3.71128731
B3-1		0.54835271		1.2765336				1.82488631
C2		0.54835271	3.16293460					3.71128731
C3		0.54835271			2.0198004			2.56815311
C4		0.54835271				1.2941573		1.84251001
T2S1/T2S2		0.54835271	3.16293460		2.0198004			5.73108771
T2S3		0.54835271	3.16293460				1.7994375	5.51072481
T3S1/T3S2		0.54835271			2.0198004			4.58795351
≥3S3		0.54835271			2.0198004		1.7994375	4.36759061
C2-R2		0.54835271	3.16293460					10.03715651
C2-R3		0.54835271	3.16293460		2.0198004			8.89402231
C3-R2		0.54835271	3.16293460		2.0198004			8.89402231
≥C3-R3		0.54835271	3.16293460		2.0198004			7.75088811

## F. CÁLCULO DEL EAL

TIPO VEHÍCULO	VEH/DÍA	FECV	G	D	L	N° VEH/AÑO	N	EAL
Ac	1155	0.00074200	29.77	0.5	1	365	1	4656.15676
B2	30	3.71128731	29.77	0.5	1	365	1	604905.502
B3-1	13	1.82488631	29.77	0.5	1	365	1	128890.488
C2	77	3.71128731	29.77	0.5	1	365	1	1552590.79
C3	15	2.56815311	29.77	0.5	1	365	1	209292.601
C4	22	1.84251001	29.77	0.5	1	365	1	220228.865
T2S1/T2S2	18	5.73108771	29.77	0.5	1	365	1	560468.571
T2S3	10	5.51072481	29.77	0.5	1	365	1	299399.057
T3S1/T3S2	7	4.58795351	29.77	0.5	1	365	1	174485.263
≥3S3	6	4.36759061	29.77	0.5	1	365	1	142375.374
C2-R2	7	10.03715651	29.77	0.5	1	365	1	381724.856
C2-R3	4	8.89402231	29.77	0.5	1	365	1	193285.782
C3-R2	3	8.89402231	29.77	0.5	1	365	1	144964.337
≥C3-R3	0	7.75088811	29.77	0.5	1	365	1	0
<b>TOTAL</b>								<b>4617267.64</b>

**ANEXO 4**  
GALERÍA FOTOGRÁFICA

## GALERÍA FOTOGRÁFICA



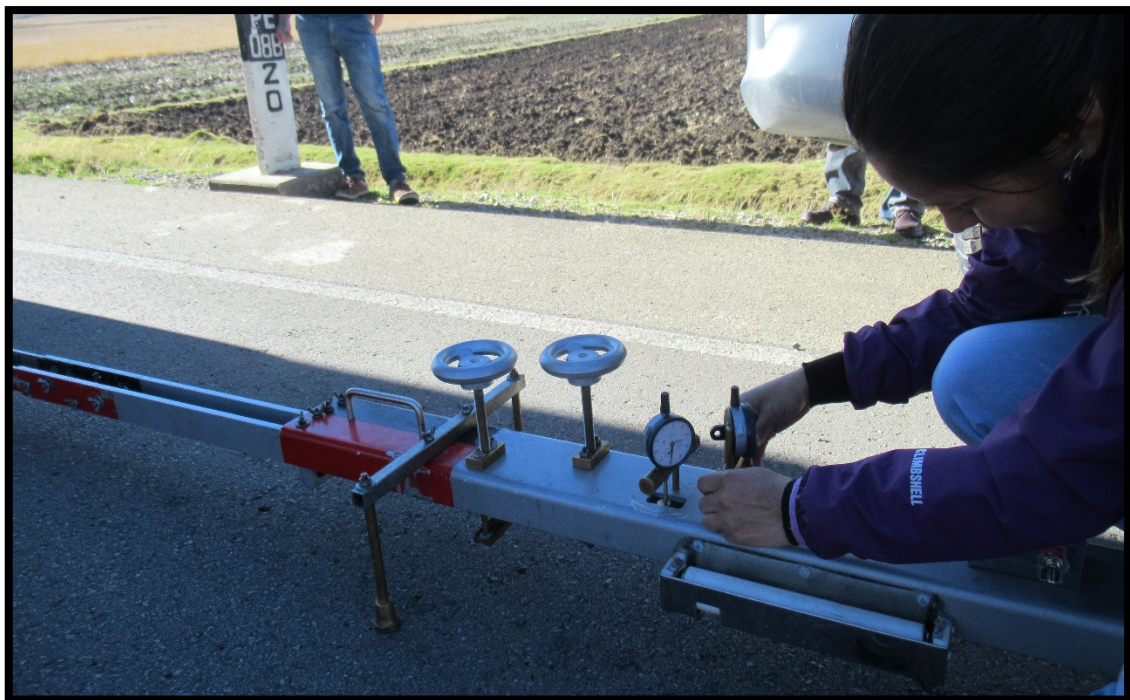
**Figura 0.1.** Pesado del camión en la balanza.



**Figura 0.2.** Armado de la Viga Benkelman.



**Figura 0.3.** *Marcado de la Guía en la viga*



**Figura 0.4.** *Estableciendo la lectura inicial en cero de los extensómetros*



**Figura 0.5.** Toma de temperatura del pavimento flexible



**Figura 0.6.** Toma de datos del punto de ensayo U-12



**Figura 0.7.** Toma de datos del punto de ensayo U-23



**Figura 0.8.** Toma de datos del punto de ensayo U-82

**ANEXO 5**  
DATOS PROCESADOS



**UNIDAD DE PRUEBA U-02**

<b>PROGRESIVA: Km 20 + 100</b>					
Ancho de calzada	:	6.00 m	Relación de brazos	:	4
Espesor de capa de rodadura	:	5 cm	Temperatura pavimento (°C)	:	17.60

<b>Lecturas (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
Linicial	L25	L50	L75	L100	Lfinal
0	4	6	7	9	11

<b>Deflexiones (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
Dinicial	D25	D50	D75	D100	Dfinal
(11-0)x4=44	(11-4)x4=28	(11-6)x4=20	(11-7)x4=16	(11-9)x4=8	(11-11)x4=0

<b>Deflexiones corregidas (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
$FC_T = 1 / ((1 + 8 \cdot 10^{-4}) \cdot (17.6^\circ - 20^\circ) \cdot 5 \text{ cm}) + 1 = 1.009693053$			$FCE = 1.1$		
Dinicial	D25	D50	D75	D100	Dfinal
44x1.01x1.1=49	28x1.01x1.1=31	20x1.01x1.1=22	16x1.01x1.1=18	8x1.01x1.1=9	0x1.01x1.1=0

<b>Radio de Curvatura</b>	
$R_c = (10 \cdot 25^2) / (2 \cdot (49 - 31)) = 174$	

**UNIDAD DE PRUEBA U-03**

<b>PROGRESIVA: Km 20 + 200</b>					
Ancho de calzada	:	6.00 m	Relación de brazos	:	4
Espesor de capa de rodadura	:	5 cm	Temperatura pavimento (°C)	:	17.60

<b>Lecturas (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
Linicial	L25	L50	L75	L100	Lfinal
0	1	2	3	4	9

<b>Deflexiones (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
Dinicial	D25	D50	D75	D100	Dfinal
(9-0)x4=36	(9-1)x4=32	(9-2)x4=28	(9-3)x4=24	(9-4)x4=20	(9-9)x4=0

<b>Deflexiones corregidas (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
$FC_T = 1 / ((1 + 8 \cdot 10^{-4}) \cdot (17.6^\circ - 20^\circ) \cdot 5 \text{ cm}) + 1 = 1.009693053$			$FCE = 1.1$		
Dinicial	D25	D50	D75	D100	Dfinal
36x1.01x1.1=40	32x1.01x1.1=36	28x1.01x1.1=31	24x1.01x1.1=27	20x1.01x1.1=22	0x1.01x1.1=0

<b>Radio de Curvatura</b>	
$R_c = (10 \cdot 25^2) / (2 \cdot (40 - 36)) = 781$	

**UNIDAD DE PRUEBA U-04**

<b>PROGRESIVA: Km 20 + 300</b>					
Ancho de calzada	:	6.00 m	Relación de brazos	:	4
Espesor de capa de rodadura	:	5 cm	Temperatura pavimento (°C)	:	17.60

<b>Lecturas (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
Linicial	L25	L50	L75	L100	Lfinal
0	2	3	5	7	9

<b>Deflexiones (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
Dinicial	D25	D50	D75	D100	Dfinal
(9-0)x4=36	(9-2)x4=28	(9-3)x4=24	(9-5)x4=16	(9-7)x4=8	(9-9)x4=0

<b>Deflexiones corregidas (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
$FC_T = 1 / ((1 + 8 \cdot 10^{-4}) \cdot (17.6^\circ - 20^\circ) \cdot 5 \text{ cm}) + 1 = 1.009693053$			$FC_E = 1.1$		
Dinicial	D25	D50	D75	D100	Dfinal
36x1.01x1.1=40	28x1.01x1.1=31	24x1.01x1.1=27	16x1.01x1.1=18	8x1.01x1.1=9	0x1.01x1.1=0

<b>Radio de Curvatura</b>	
$R_c = (10 \cdot 25^2) / (2 \cdot (40 - 31)) = 347$	

**UNIDAD DE PRUEBA U-05**

<b>PROGRESIVA: Km 20 + 400</b>					
Ancho de calzada	:	6.00 m	Relación de brazos	:	4
Espesor de capa de rodadura	:	5 cm	Temperatura pavimento (°C)	:	17.60

<b>Lecturas (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
Linicial	L25	L50	L75	L100	Lfinal
0	3	5	6	9	11

<b>Deflexiones (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
Dinicial	D25	D50	D75	D100	Dfinal
(11-0)x4=44	(11-3)x4=32	(11-5)x4=24	(11-6)x4=20	(11-9)x4=8	(11-11)x4=0

<b>Deflexiones corregidas (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
$FC_T = 1 / ((1 + 8 \cdot 10^{-4}) \cdot (17.6^\circ - 20^\circ) \cdot 5 \text{ cm}) + 1 = 1.009693053$			$FC_E = 1.1$		
Dinicial	D25	D50	D75	D100	Dfinal
44x1.01x1.1=49	32x1.01x1.1=36	24x1.01x1.1=27	20x1.01x1.1=22	8x1.01x1.1=9	0x1.01x1.1=0

<b>Radio de Curvatura</b>	
$R_c = (10 \cdot 25^2) / (2 \cdot (49 - 36)) = 240$	

**UNIDAD DE PRUEBA U-06**

<b>PROGRESIVA: Km 20 + 500</b>			
Ancho de calzada :	6.00 m	Relación de brazos :	4
Espesor de capa de rodadura :	5 cm	Temperatura pavimento (°C) :	17.60

<b>Lecturas (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
L inicial	L25	L50	L75	L100	L final
0	2	4	6	10	14

<b>Deflexiones (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
D inicial	D25	D50	D75	D100	D final
(14-0)x4=56	(14-2)x4=48	(14-4)x4=40	(14-6)x4=32	(14-10)x4=16	(14-14)x4=0

<b>Deflexiones corregidas (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
$FCT=1/((1+8*10^{(-4)})x(17.6^{\circ}-20^{\circ})x5cm)+1=1.009693053$			$FCE=1.1$		
D inicial	D25	D50	D75	D100	D final
56x1.01x1.1=62	48x1.01x1.1=53	40x1.01x1.1=44	32x1.01x1.1=36	16x1.01x1.1=18	0x1.01x1.1=0

<b>Radio de Curvatura</b>	
$Rc=(10x25^2)/(2x(62-53))=347$	

**UNIDAD DE PRUEBA U-07**

<b>PROGRESIVA: Km 20 + 600</b>			
Ancho de calzada :	6.00 m	Relación de brazos :	4
Espesor de capa de rodadura :	5 cm	Temperatura pavimento (°C) :	17.60

<b>Lecturas (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
L inicial	L25	L50	L75	L100	L final
0	2	4	5	6	14

<b>Deflexiones (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
D inicial	D25	D50	D75	D100	D final
(14-0)x4=56	(14-2)x4=48	(14-4)x4=40	(14-5)x4=36	(14-6)x4=32	(14-14)x4=0

<b>Deflexiones corregidas (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
$FCT=1/((1+8*10^{(-4)})x(17.6^{\circ}-20^{\circ})x5cm)+1=1.009693053$			$FCE=1.1$		
D inicial	D25	D50	D75	D100	D final
56x1.01x1.1=62	48x1.01x1.1=53	40x1.01x1.1=44	36x1.01x1.1=40	32x1.01x1.1=36	0x1.01x1.1=0

<b>Radio de Curvatura</b>	
$Rc=(10x25^2)/(2x(62-53))=347$	

**UNIDAD DE PRUEBA U-08**

<b>PROGRESIVA: Km 20 + 700</b>			
Ancho de calzada :	6.00 m	Relación de brazos :	4
Espesor de capa de rodadura :	5 cm	Temperatura pavimento (°C) :	17.60

<b>Lecturas (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
Linicial	L25	L50	L75	L100	Lfinal
0	2	3	4	8	15

<b>Deflexiones (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
Dinicial	D25	D50	D75	D100	Dfinal
(15-0)x4=60	(15-2)x4=52	(15-3)x4=48	(15-4)x4=44	(15-8)x4=28	(15-15)x4=0

<b>Deflexiones corregidas (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
$FCT=1/((1+8*10^{(-4)})x(17.6^{\circ}-20^{\circ})x5cm)+1=1.009693053$			$FCE=1.1$		
Dinicial	D25	D50	D75	D100	Dfinal
60x1.01x1.1=67	52x1.01x1.1=58	48x1.01x1.1=53	44x1.01x1.1=49	28x1.01x1.1=31	0x1.01x1.1=0

<b>Radio de Curvatura</b>	
$Rc=(10x25^2)/(2x(67-58))=347$	

**UNIDAD DE PRUEBA U-09**

<b>PROGRESIVA: Km 20 + 800</b>			
Ancho de calzada :	6.00 m	Relación de brazos :	4
Espesor de capa de rodadura :	5 cm	Temperatura pavimento (°C) :	17.60

<b>Lecturas (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
Linicial	L25	L50	L75	L100	Lfinal
0	2	4	6	9	14

<b>Deflexiones (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
Dinicial	D25	D50	D75	D100	Dfinal
(14-0)x4=56	(14-2)x4=48	(14-4)x4=40	(14-6)x4=32	(14-9)x4=20	(14-14)x4=0

<b>Deflexiones corregidas (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
$FCT=1/((1+8*10^{(-4)})x(17.6^{\circ}-20^{\circ})x5cm)+1=1.009693053$			$FCE=1.1$		
Dinicial	D25	D50	D75	D100	Dfinal
56x1.01x1.1=62	48x1.01x1.1=53	40x1.01x1.1=44	32x1.01x1.1=36	20x1.01x1.1=22	0x1.01x1.1=0

<b>Radio de Curvatura</b>	
$Rc=(10x25^2)/(2x(62-53))=347$	

### UNIDAD DE PRUEBA U-10

<b>PROGRESIVA: Km 20 + 900</b>			
Ancho de calzada :	6.00 m	Relación de brazos :	4
Espesor de capa de rodadura :	5 cm	Temperatura pavimento (°C) :	17.60

<b>Lecturas (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
L inicial	L25	L50	L75	L100	L final
0	2	3	5	7	14

<b>Deflexiones (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
D inicial	D25	D50	D75	D100	D final
(14-0)x4=56	(14-2)x4=48	(14-3)x4=44	(14-5)x4=36	(14-7)x4=28	(14-14)x4=0

<b>Deflexiones corregidas (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
$FC_T=1/((1+8*10^{(-4)})x(17.6^\circ-20^\circ)x5cm)+1=1.009693053$			$FCE=1.1$		
D inicial	D25	D50	D75	D100	D final
56x1.01x1.1=62	48x1.01x1.1=53	44x1.01x1.1=49	36x1.01x1.1=40	28x1.01x1.1=31	0x1.01x1.1=0

<b>Radio de Curvatura</b>	
$Rc=(10x25^2)/(2x(62-53))=347$	

### UNIDAD DE PRUEBA U-11

<b>PROGRESIVA: Km 21 + 000</b>			
Ancho de calzada :	6.00 m	Relación de brazos :	4
Espesor de capa de rodadura :	5 cm	Temperatura pavimento (°C) :	27.20

<b>Lecturas (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
L inicial	L25	L50	L75	L100	L final
0	1	3	6	10	11

<b>Deflexiones (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
D inicial	D25	D50	D75	D100	D final
(11-0)x4=44	(11-1)x4=40	(11-3)x4=32	(11-6)x4=20	(11-10)x4=4	(11-11)x4=0

<b>Deflexiones corregidas (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
$FC_T=1/((1+8*10^{(-4)})x(27.2^\circ-20^\circ)x5cm)+1=0.972006221$			$FCE=1.1$		
D inicial	D25	D50	D75	D100	D final
44x0.97x1.1=47	40x0.97x1.1=43	32x0.97x1.1=34	20x0.97x1.1=21	4x0.97x1.1=4	0x0.97x1.1=0

<b>Radio de Curvatura</b>	
$Rc=(10x25^2)/(2x(47-43))=781$	

## UNIDAD DE PRUEBA U-12

<b>PROGRESIVA: Km 21 + 100</b>					
Ancho de calzada	:	6.00 m	Relación de brazos	:	4
Espesor de capa de rodadura	:	5 cm	Temperatura pavimento (°C)	:	27.20

<b>Lecturas (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
L inicial	L25	L50	L75	L100	L final
0	1	3	6	8	11

<b>Deflexiones (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
D inicial	D25	D50	D75	D100	D final
(11-0)x4=44	(11-1)x4=40	(11-3)x4=32	(11-6)x4=20	(11-8)x4=12	(11-11)x4=0

<b>Deflexiones corregidas (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
$FC_T=1/((1+8*10^{(-4)})x(27.2^\circ-20^\circ)x5cm)+1=0.972006221$			$FC_E=1.1$		
D inicial	D25	D50	D75	D100	D final
44x0.97x1.1=47	40x0.97x1.1=43	32x0.97x1.1=34	20x0.97x1.1=21	12x0.97x1.1=13	0x0.97x1.1=0

<b>Radio de Curvatura</b>	
$R_c=(10x25^2)/(2x(47-43))=781$	

## UNIDAD DE PRUEBA U-13

<b>PROGRESIVA: Km 21 + 200</b>					
Ancho de calzada	:	6.00 m	Relación de brazos	:	4
Espesor de capa de rodadura	:	5 cm	Temperatura pavimento (°C)	:	30.70

<b>Lecturas (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
L inicial	L25	L50	L75	L100	L final
0	2	4	6	7	11

<b>Deflexiones (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
D inicial	D25	D50	D75	D100	D final
(11-0)x4=44	(11-2)x4=36	(11-4)x4=28	(11-6)x4=20	(11-7)x4=16	(11-11)x4=0

<b>Deflexiones corregidas (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
$FC_T=1/((1+8*10^{(-4)})x(30.7^\circ-20^\circ)x5cm)+1=0.958956655$			$FC_E=1.1$		
D inicial	D25	D50	D75	D100	D final
44x0.96x1.1=46	36x0.96x1.1=38	28x0.96x1.1=30	20x0.96x1.1=21	16x0.96x1.1=17	0x0.96x1.1=0

<b>Radio de Curvatura</b>	
$R_c=(10x25^2)/(2x(46-38))=391$	

### UNIDAD DE PRUEBA U-14

<b>PROGRESIVA: Km 21 + 300</b>			
Ancho de calzada :	6.00 m	Relación de brazos :	4
Espesor de capa de rodadura :	5 cm	Temperatura pavimento (°C) :	30.10

<b>Lecturas (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
L inicial	L25	L50	L75	L100	L final
0	1	4	5	9	11

<b>Deflexiones (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
D inicial	D25	D50	D75	D100	D final
(11-0)x4=44	(11-1)x4=40	(11-4)x4=28	(11-5)x4=24	(11-9)x4=8	(11-11)x4=0

<b>Deflexiones corregidas (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
$FC_T=1/((1+8*10^{(-4)})x(30.1^{\circ}-20^{\circ})x5cm)+1=0.961168781$			$FC_E=1.1$		
D inicial	D25	D50	D75	D100	D final
44x0.96x1.1=47	40x0.96x1.1=42	28x0.96x1.1=30	24x0.96x1.1=25	8x0.96x1.1=8	0x0.96x1.1=0

<b>Radio de Curvatura</b>	
$R_c=(10x25^2)/(2x(47-42))=625$	

### UNIDAD DE PRUEBA U-15

<b>PROGRESIVA: Km 21 + 400</b>			
Ancho de calzada :	6.00 m	Relación de brazos :	4
Espesor de capa de rodadura :	5 cm	Temperatura pavimento (°C) :	30.10

<b>Lecturas (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
L inicial	L25	L50	L75	L100	L final
0	2	3	6	8	10

<b>Deflexiones (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
D inicial	D25	D50	D75	D100	D final
(10-0)x4=40	(10-2)x4=32	(10-3)x4=28	(10-6)x4=16	(10-8)x4=8	(10-10)x4=0

<b>Deflexiones corregidas (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
$FC_T=1/((1+8*10^{(-4)})x(30.1^{\circ}-20^{\circ})x5cm)+1=0.961168781$			$FC_E=1.1$		
D inicial	D25	D50	D75	D100	D final
40x0.96x1.1=42	32x0.96x1.1=34	28x0.96x1.1=30	16x0.96x1.1=17	8x0.96x1.1=8	0x0.96x1.1=0

<b>Radio de Curvatura</b>	
$R_c=(10x25^2)/(2x(42-34))=391$	

### UNIDAD DE PRUEBA U-16

<b>PROGRESIVA: Km 21 + 500</b>			
Ancho de calzada :	6.00 m	Relación de brazos :	4
Espesor de capa de rodadura :	5 cm	Temperatura pavimento (°C) :	30.10

<b>Lecturas (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
Linicial	L25	L50	L75	L100	Lfinal
0	4	6	7	10	11

<b>Deflexiones (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
Dinicial	D25	D50	D75	D100	Dfinal
(11-0)x4=44	(11-4)x4=28	(11-6)x4=20	(11-7)x4=16	(11-10)x4=4	(11-11)x4=0

<b>Deflexiones corregidas (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
$FC_T=1/((1+8*10^{(-4)})x(30.1^{\circ}-20^{\circ})x5cm)+1=0.961168781$			$FCE=1.1$		
Dinicial	D25	D50	D75	D100	Dfinal
44x0.96x1.1=47	28x0.96x1.1=30	20x0.96x1.1=21	16x0.96x1.1=17	4x0.96x1.1=4	0x0.96x1.1=0

<b>Radio de Curvatura</b>	
$Rc=(10x25^2)/(2x(47-30))=184$	

### UNIDAD DE PRUEBA U-17

<b>PROGRESIVA: Km 21 + 600</b>			
Ancho de calzada :	6.00 m	Relación de brazos :	4
Espesor de capa de rodadura :	5 cm	Temperatura pavimento (°C) :	30.10

<b>Lecturas (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
Linicial	L25	L50	L75	L100	Lfinal
0	4	6	8	10	11

<b>Deflexiones (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
Dinicial	D25	D50	D75	D100	Dfinal
(11-0)x4=44	(11-4)x4=28	(11-6)x4=20	(11-8)x4=12	(11-10)x4=4	(11-11)x4=0

<b>Deflexiones corregidas (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
$FC_T=1/((1+8*10^{(-4)})x(30.1^{\circ}-20^{\circ})x5cm)+1=0.961168781$			$FCE=1.1$		
Dinicial	D25	D50	D75	D100	Dfinal
44x0.96x1.1=47	28x0.96x1.1=30	20x0.96x1.1=21	12x0.96x1.1=13	4x0.96x1.1=4	0x0.96x1.1=0

<b>Radio de Curvatura</b>	
$Rc=(10x25^2)/(2x(47-30))=184$	



### UNIDAD DE PRUEBA U-18

<b>PROGRESIVA: Km 21 + 700</b>			
Ancho de calzada :	6.00 m	Relación de brazos :	4
Espesor de capa de rodadura :	5 cm	Temperatura pavimento (°C) :	30.10

<b>Lecturas (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
Linicial	L25	L50	L75	L100	Lfinal
0	3	5	8	10	11

<b>Deflexiones (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
Dinicial	D25	D50	D75	D100	Dfinal
(11-0)x4=44	(11-3)x4=32	(11-5)x4=24	(11-8)x4=12	(11-10)x4=4	(11-11)x4=0

<b>Deflexiones corregidas (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
$FC_T=1/((1+8*10^{(-4)})x(30.1^{\circ}-20^{\circ})x5cm)+1=0.961168781$			$FC_E=1.1$		
Dinicial	D25	D50	D75	D100	Dfinal
44x0.96x1.1=47	32x0.96x1.1=34	24x0.96x1.1=25	12x0.96x1.1=13	4x0.96x1.1=4	0x0.96x1.1=0

<b>Radio de Curvatura</b>	
$R_c=(10x25^2)/(2x(47-34))=240$	

### UNIDAD DE PRUEBA U-19

<b>PROGRESIVA: Km 21 + 800</b>			
Ancho de calzada :	6.00 m	Relación de brazos :	4
Espesor de capa de rodadura :	5 cm	Temperatura pavimento (°C) :	30.10

<b>Lecturas (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
Linicial	L25	L50	L75	L100	Lfinal
0	4	6	7	9	11

<b>Deflexiones (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
Dinicial	D25	D50	D75	D100	Dfinal
(11-0)x4=44	(11-4)x4=28	(11-6)x4=20	(11-7)x4=16	(11-9)x4=8	(11-11)x4=0

<b>Deflexiones corregidas (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
$FC_T=1/((1+8*10^{(-4)})x(30.1^{\circ}-20^{\circ})x5cm)+1=0.961168781$			$FC_E=1.1$		
Dinicial	D25	D50	D75	D100	Dfinal
44x0.96x1.1=47	28x0.96x1.1=30	20x0.96x1.1=21	16x0.96x1.1=17	8x0.96x1.1=8	0x0.96x1.1=0

<b>Radio de Curvatura</b>	
$R_c=(10x25^2)/(2x(47-30))=184$	

### UNIDAD DE PRUEBA U-20

<b>PROGRESIVA: Km 21 + 900</b>			
Ancho de calzada :	6.00 m	Relación de brazos :	4
Espesor de capa de rodadura :	5 cm	Temperatura pavimento (°C) :	30.10

<b>Lecturas (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
L inicial	L25	L50	L75	L100	L final
0	3	5	6	10	12

<b>Deflexiones (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
D inicial	D25	D50	D75	D100	D final
(12-0)x4=48	(12-3)x4=36	(12-5)x4=28	(12-6)x4=24	(12-10)x4=8	(12-12)x4=0

<b>Deflexiones corregidas (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
$FC_T=1/((1+8*10^{(-4)})x(30.1^{\circ}-20^{\circ})x5cm)+1=0.961168781$			$FC_E=1.1$		
D inicial	D25	D50	D75	D100	D final
48x0.96x1.1=51	36x0.96x1.1=38	28x0.96x1.1=30	24x0.96x1.1=25	8x0.96x1.1=8	0x0.96x1.1=0

<b>Radio de Curvatura</b>	
$R_c=(10x25^2)/(2x(51-38))=240$	

### UNIDAD DE PRUEBA U-21

<b>PROGRESIVA: Km 22 + 000</b>			
Ancho de calzada :	6.00 m	Relación de brazos :	4
Espesor de capa de rodadura :	5 cm	Temperatura pavimento (°C) :	30.10

<b>Lecturas (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
L inicial	L25	L50	L75	L100	L final
0	4	6	8	9	11

<b>Deflexiones (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
D inicial	D25	D50	D75	D100	D final
(11-0)x4=44	(11-4)x4=28	(11-6)x4=20	(11-8)x4=12	(11-9)x4=8	(11-11)x4=0

<b>Deflexiones corregidas (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
$FC_T=1/((1+8*10^{(-4)})x(30.1^{\circ}-20^{\circ})x5cm)+1=0.961168781$			$FC_E=1.1$		
D inicial	D25	D50	D75	D100	D final
44x0.96x1.1=47	28x0.96x1.1=30	20x0.96x1.1=21	12x0.96x1.1=13	8x0.96x1.1=8	0x0.96x1.1=0

<b>Radio de Curvatura</b>	
$R_c=(10x25^2)/(2x(47-30))=184$	

## UNIDAD DE PRUEBA U-22

<b>PROGRESIVA: Km 22 + 100</b>			
Ancho de calzada :	6.00 m	Relación de brazos :	4
Espesor de capa de rodadura :	5 cm	Temperatura pavimento (°C) :	30.10

<b>Lecturas (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
Linicial	L25	L50	L75	L100	Lfinal
0	4	5	6	8	11

<b>Deflexiones (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
Dinicial	D25	D50	D75	D100	Dfinal
(11-0)x4=44	(11-4)x4=28	(11-5)x4=24	(11-6)x4=20	(11-8)x4=12	(11-11)x4=0

<b>Deflexiones corregidas (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
$FC_T=1/((1+8*10^{(-4)})x(30.1^{\circ}-20^{\circ})x5cm)+1=0.961168781$			$FC_E=1.1$		
Dinicial	D25	D50	D75	D100	Dfinal
44x0.96x1.1=47	28x0.96x1.1=30	24x0.96x1.1=25	20x0.96x1.1=21	12x0.96x1.1=13	0x0.96x1.1=0

<b>Radio de Curvatura</b>	
$R_c=(10x25^2)/(2x(47-30))=184$	

## UNIDAD DE PRUEBA U-23

<b>PROGRESIVA: Km 22 + 200</b>			
Ancho de calzada :	6.00 m	Relación de brazos :	4
Espesor de capa de rodadura :	5 cm	Temperatura pavimento (°C) :	31.40

<b>Lecturas (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
Linicial	L25	L50	L75	L100	Lfinal
0	3	5	6	7	11

<b>Deflexiones (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
Dinicial	D25	D50	D75	D100	Dfinal
(11-0)x4=44	(11-3)x4=32	(11-5)x4=24	(11-6)x4=20	(11-7)x4=16	(11-11)x4=0

<b>Deflexiones corregidas (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
$FC_T=1/((1+8*10^{(-4)})x(31.4^{\circ}-20^{\circ})x5cm)+1=0.95638868$			$FC_E=1.1$		
Dinicial	D25	D50	D75	D100	Dfinal
44x0.96x1.1=46	32x0.96x1.1=34	24x0.96x1.1=25	20x0.96x1.1=21	16x0.96x1.1=17	0x0.96x1.1=0

<b>Radio de Curvatura</b>	
$R_c=(10x25^2)/(2x(46-34))=260$	

### UNIDAD DE PRUEBA U-24

<b>PROGRESIVA: Km 22 + 300</b>			
Ancho de calzada :	6.00 m	Relación de brazos :	4
Espesor de capa de rodadura :	5 cm	Temperatura pavimento (°C) :	31.40

<b>Lecturas (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
L inicial	L25	L50	L75	L100	L final
0	2	3	4	6	9

<b>Deflexiones (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
D inicial	D25	D50	D75	D100	D final
(9-0)x4=36	(9-2)x4=28	(9-3)x4=24	(9-4)x4=20	(9-6)x4=12	(9-9)x4=0

<b>Deflexiones corregidas (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
$FC_T=1/((1+8*10^{(-4)}x(31.4^{\circ}-20^{\circ})x5cm)+1)=0.95638868$			$FC_E=1.1$		
D inicial	D25	D50	D75	D100	D final
36x0.96x1.1=38	28x0.96x1.1=29	24x0.96x1.1=25	20x0.96x1.1=21	12x0.96x1.1=12	0x0.96x1.1=0

<b>Radio de Curvatura</b>	
$R_c=(10x25^2)/(2x(38-29))=347$	

### UNIDAD DE PRUEBA U-25

<b>PROGRESIVA: Km 22 + 400</b>			
Ancho de calzada :	6.00 m	Relación de brazos :	4
Espesor de capa de rodadura :	5 cm	Temperatura pavimento (°C) :	31.40

<b>Lecturas (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
L inicial	L25	L50	L75	L100	L final
0	2	4	7	9	12

<b>Deflexiones (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
D inicial	D25	D50	D75	D100	D final
(12-0)x4=48	(12-2)x4=40	(12-4)x4=32	(12-7)x4=20	(12-9)x4=12	(12-12)x4=0

<b>Deflexiones corregidas (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
$FC_T=1/((1+8*10^{(-4)}x(31.4^{\circ}-20^{\circ})x5cm)+1)=0.95638868$			$FC_E=1.1$		
D inicial	D25	D50	D75	D100	D final
48x0.96x1.1=50	40x0.96x1.1=42	32x0.96x1.1=34	20x0.96x1.1=21	12x0.96x1.1=13	0x0.96x1.1=0

<b>Radio de Curvatura</b>	
$R_c=(10x25^2)/(2x(50-42))=391$	

**UNIDAD DE PRUEBA U-26**

<b>PROGRESIVA: Km 22 + 500</b>			
Ancho de calzada :	6.00 m	Relación de brazos :	4
Espesor de capa de rodadura :	5 cm	Temperatura pavimento (°C) :	31.40

<b>Lecturas (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
L inicial	L25	L50	L75	L100	L final
0	2	3	6	9	10

<b>Deflexiones (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
D inicial	D25	D50	D75	D100	D final
(10-0)x4=40	(10-2)x4=32	(10-3)x4=28	(10-6)x4=16	(10-9)x4=4	(10-10)x4=0

<b>Deflexiones corregidas (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
$FCT=1/((1+8*10^{(-4)}x(31.4^{\circ}-20^{\circ})x5cm)+1)=0.95638868$			$FCE=1.1$		
D inicial	D25	D50	D75	D100	D final
40x0.96x1.1=42	32x0.96x1.1=34	28x0.96x1.1=29	16x0.96x1.1=17	4x0.96x1.1=4	0x0.96x1.1=0

<b>Radio de Curvatura</b>	
$Rc=(10x25^2)/(2x(42-34))=391$	

**UNIDAD DE PRUEBA U-27**

<b>PROGRESIVA: Km 22 + 600</b>			
Ancho de calzada :	6.00 m	Relación de brazos :	4
Espesor de capa de rodadura :	5 cm	Temperatura pavimento (°C) :	31.40

<b>Lecturas (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
L inicial	L25	L50	L75	L100	L final
0	4	6	7	9	11

<b>Deflexiones (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
D inicial	D25	D50	D75	D100	D final
(11-0)x4=44	(11-4)x4=28	(11-6)x4=20	(11-7)x4=16	(11-9)x4=8	(11-11)x4=0

<b>Deflexiones corregidas (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
$FCT=1/((1+8*10^{(-4)}x(31.4^{\circ}-20^{\circ})x5cm)+1)=0.95638868$			$FCE=1.1$		
D inicial	D25	D50	D75	D100	D final
44x0.96x1.1=46	28x0.96x1.1=29	20x0.96x1.1=21	16x0.96x1.1=17	8x0.96x1.1=8	0x0.96x1.1=0

<b>Radio de Curvatura</b>	
$Rc=(10x25^2)/(2x(46-29))=184$	

**UNIDAD DE PRUEBA U-28**

<b>PROGRESIVA: Km 22 + 700</b>					
Ancho de calzada	:	6.00 m	Relación de brazos	:	4
Espesor de capa de rodadura	:	5 cm	Temperatura pavimento (°C)	:	31.40

<b>Lecturas (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
L <sub>inicial</sub>	L <sub>25</sub>	L <sub>50</sub>	L <sub>75</sub>	L <sub>100</sub>	L <sub>final</sub>
0	3	4	6	7	9

<b>Deflexiones (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
D <sub>inicial</sub>	D <sub>25</sub>	D <sub>50</sub>	D <sub>75</sub>	D <sub>100</sub>	D <sub>final</sub>
(9-0)x4=36	(9-3)x4=24	(9-4)x4=20	(9-6)x4=12	(9-7)x4=8	(9-9)x4=0

<b>Deflexiones corregidas (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
$FC_T = 1 / ((1 + 8 \cdot 10^{(-4)}) \cdot (31.4^\circ - 20^\circ) \cdot 5 \text{ cm}) + 1 = 0.95638868$			$FC_E = 1.1$		
D <sub>inicial</sub>	D <sub>25</sub>	D <sub>50</sub>	D <sub>75</sub>	D <sub>100</sub>	D <sub>final</sub>
36x0.96x1.1=38	24x0.96x1.1=25	20x0.96x1.1=21	12x0.96x1.1=13	8x0.96x1.1=8	0x0.96x1.1=0

<b>Radio de Curvatura</b>	
$R_c = (10 \cdot 25^2) / (2 \cdot (38 - 25)) = 240$	

**UNIDAD DE PRUEBA U-29**

<b>PROGRESIVA: Km 22 + 800</b>					
Ancho de calzada	:	6.00 m	Relación de brazos	:	4
Espesor de capa de rodadura	:	5 cm	Temperatura pavimento (°C)	:	31.40

<b>Lecturas (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
L <sub>inicial</sub>	L <sub>25</sub>	L <sub>50</sub>	L <sub>75</sub>	L <sub>100</sub>	L <sub>final</sub>
0	3	5	6	9	10

<b>Deflexiones (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
D <sub>inicial</sub>	D <sub>25</sub>	D <sub>50</sub>	D <sub>75</sub>	D <sub>100</sub>	D <sub>final</sub>
(10-0)x4=40	(10-3)x4=28	(10-5)x4=20	(10-6)x4=16	(10-9)x4=4	(10-10)x4=0

<b>Deflexiones corregidas (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
$FC_T = 1 / ((1 + 8 \cdot 10^{(-4)}) \cdot (31.4^\circ - 20^\circ) \cdot 5 \text{ cm}) + 1 = 0.95638868$			$FC_E = 1.1$		
D <sub>inicial</sub>	D <sub>25</sub>	D <sub>50</sub>	D <sub>75</sub>	D <sub>100</sub>	D <sub>final</sub>
40x0.96x1.1=42	28x0.96x1.1=29	20x0.96x1.1=21	16x0.96x1.1=17	4x0.96x1.1=4	0x0.96x1.1=0

<b>Radio de Curvatura</b>	
$R_c = (10 \cdot 25^2) / (2 \cdot (42 - 29)) = 240$	

**UNIDAD DE PRUEBA U-30**

<b>PROGRESIVA: Km 22 + 900</b>			
Ancho de calzada :	6.00 m	Relación de brazos :	4
Espesor de capa de rodadura :	5 cm	Temperatura pavimento (°C) :	31.40

<b>Lecturas (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
L inicial	L25	L50	L75	L100	L final
0	3	6	7	9	11

<b>Deflexiones (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
D inicial	D25	D50	D75	D100	D final
(11-0)x4=44	(11-3)x4=32	(11-6)x4=20	(11-7)x4=16	(11-9)x4=8	(11-11)x4=0

<b>Deflexiones corregidas (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
$FC_T = 1 / ((1 + 8 * 10^{(-4)}) * (31.4^\circ - 20^\circ) * 5 \text{ cm}) + 1 = 0.95638868$			$FC_E = 1.1$		
D inicial	D25	D50	D75	D100	D final
44x0.96x1.1=46	32x0.96x1.1=34	20x0.96x1.1=21	16x0.96x1.1=17	8x0.96x1.1=8	0x0.96x1.1=0

<b>Radio de Curvatura</b>	
$R_c = (10 * 25^2) / (2 * (46 - 34)) = 260$	

**UNIDAD DE PRUEBA U-31**

<b>PROGRESIVA: Km 23 + 000</b>			
Ancho de calzada :	6.00 m	Relación de brazos :	4
Espesor de capa de rodadura :	5 cm	Temperatura pavimento (°C) :	31.40

<b>Lecturas (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
L inicial	L25	L50	L75	L100	L final
0	4	5	7	10	11

<b>Deflexiones (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
D inicial	D25	D50	D75	D100	D final
(11-0)x4=44	(11-4)x4=28	(11-5)x4=24	(11-7)x4=16	(11-10)x4=4	(11-11)x4=0

<b>Deflexiones corregidas (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
$FC_T = 1 / ((1 + 8 * 10^{(-4)}) * (31.4^\circ - 20^\circ) * 5 \text{ cm}) + 1 = 0.95638868$			$FC_E = 1.1$		
D inicial	D25	D50	D75	D100	D final
44x0.94x1.1=46	28x0.94x1.1=29	24x0.94x1.1=25	16x0.94x1.1=17	4x0.94x1.1=4	0x0.94x1.1=0

<b>Radio de Curvatura</b>	
$R_c = (10 * 25^2) / (2 * (46 - 29)) = 184$	

### UNIDAD DE PRUEBA U-32

<b>PROGRESIVA: Km 23 + 100</b>			
Ancho de calzada :	6.00 m	Relación de brazos :	4
Espesor de capa de rodadura :	5 cm	Temperatura pavimento (°C) :	31.40

<b>Lecturas (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
L inicial	L25	L50	L75	L100	L final
0	5	7	8	10	12

<b>Deflexiones (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
D inicial	D25	D50	D75	D100	D final
(12-0)x4=48	(12-5)x4=28	(12-7)x4=20	(12-8)x4=16	(12-10)x4=8	(12-12)x4=0

<b>Deflexiones corregidas (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
$FC_T=1/((1+8*10^{(-4)})x(31.4^{\circ}-20^{\circ})x5cm)+1=0.95638868$			$FC_E=1.1$		
D inicial	D25	D50	D75	D100	D final
48x0.96x1.1=50	28x0.96x1.1=29	20x0.96x1.1=21	16x0.96x1.1=17	8x0.96x1.1=8	0x0.96x1.1=0

<b>Radio de Curvatura</b>	
$R_c=(10x25^2)/(2x(50-29))=149$	

### UNIDAD DE PRUEBA U-33

<b>PROGRESIVA: Km 23 + 200</b>			
Ancho de calzada :	6.00 m	Relación de brazos :	4
Espesor de capa de rodadura :	5 cm	Temperatura pavimento (°C) :	31.40

<b>Lecturas (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
L inicial	L25	L50	L75	L100	L final
0	4	6	7	8	11

<b>Deflexiones (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
D inicial	D25	D50	D75	D100	D final
(11-0)x4=44	(11-4)x4=28	(11-6)x4=20	(11-7)x4=16	(11-8)x4=12	(11-11)x4=0

<b>Deflexiones corregidas (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
$FC_T=1/((1+8*10^{(-4)})x(31.4^{\circ}-20^{\circ})x5cm)+1=0.95638868$			$FC_E=1.1$		
D inicial	D25	D50	D75	D100	D final
44x0.96x1.1=46	28x0.96x1.1=29	20x0.96x1.1=21	16x0.96x1.1=17	12x0.96x1.1=13	0x0.96x1.1=0

<b>Radio de Curvatura</b>	
$R_c=(10x25^2)/(2x(46-29))=184$	



### UNIDAD DE PRUEBA U-34

<b>PROGRESIVA: Km 23 + 300</b>			
Ancho de calzada :	6.00 m	Relación de brazos :	4
Espesor de capa de rodadura :	5 cm	Temperatura pavimento (°C) :	31.40

<b>Lecturas (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
L inicial	L25	L50	L75	L100	L final
0	2	4	5	7	9

<b>Deflexiones (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
D inicial	D25	D50	D75	D100	D final
(9-0)x4=36	(9-2)x4=28	(9-4)x4=20	(9-5)x4=16	(9-7)x4=8	(9-9)x4=0

<b>Deflexiones corregidas (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
$FC_T=1/((1+8*10^{(-4)})x(31.4^{\circ}-20^{\circ})x5cm)+1=0.95638868$			$FC_E=1.1$		
D inicial	D25	D50	D75	D100	D final
36x0.96x1.1=38	28x0.96x1.1=29	20x0.96x1.1=21	16x0.96x1.1=17	8x0.96x1.1=8	0x0.96x1.1=0

<b>Radio de Curvatura</b>	
$R_c=(10x25^2)/(2x(38-29))=347$	

### UNIDAD DE PRUEBA U-35

<b>PROGRESIVA: Km 23 + 400</b>			
Ancho de calzada :	6.00 m	Relación de brazos :	4
Espesor de capa de rodadura :	5 cm	Temperatura pavimento (°C) :	31.40

<b>Lecturas (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
L inicial	L25	L50	L75	L100	L final
0	3	4	6	8	10

<b>Deflexiones (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
D inicial	D25	D50	D75	D100	D final
(10-0)x4=40	(10-3)x4=28	(10-4)x4=24	(10-6)x4=16	(10-8)x4=8	(10-10)x4=0

<b>Deflexiones corregidas (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
$FC_T=1/((1+8*10^{(-4)})x(31.4^{\circ}-20^{\circ})x5cm)+1=0.95638868$			$FC_E=1.1$		
D inicial	D25	D50	D75	D100	D final
40x0.96x1.1=42	28x0.96x1.1=29	24x0.96x1.1=25	16x0.96x1.1=17	8x0.96x1.1=8	0x0.96x1.1=0

<b>Radio de Curvatura</b>	
$R_c=(10x25^2)/(2x(42-29))=240$	

### UNIDAD DE PRUEBA U-36

<b>PROGRESIVA: Km 23 + 500</b>			
Ancho de calzada :	6.00 m	Relación de brazos :	4
Espesor de capa de rodadura :	5 cm	Temperatura pavimento (°C) :	32.30

<b>Lecturas (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
L inicial	L25	L50	L75	L100	L final
0	4	6	7	9	11

<b>Deflexiones (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
D inicial	D25	D50	D75	D100	D final
(11-0)x4=44	(11-4)x4=28	(11-6)x4=20	(11-7)x4=16	(11-9)x4=8	(11-11)x4=0

<b>Deflexiones corregidas (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
$FC_T=1/((1+8*10^{(-4)})x(32.3^\circ-20^\circ)x5cm)+1=0.95310713$			$FC_E=1.1$		
D inicial	D25	D50	D75	D100	D final
44x0.95x1.1=46	28x0.95x1.1=29	20x0.95x1.1=21	16x0.95x1.1=17	8x0.95x1.1=8	0x0.95x1.1=0

<b>Radio de Curvatura</b>	
$R_c=(10x25^2)/(2x(46-29))=184$	

### UNIDAD DE PRUEBA U-37

<b>PROGRESIVA: Km 23 + 600</b>			
Ancho de calzada :	6.00 m	Relación de brazos :	4
Espesor de capa de rodadura :	5 cm	Temperatura pavimento (°C) :	32.30

<b>Lecturas (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
L inicial	L25	L50	L75	L100	L final
0	4	5	9	11	12

<b>Deflexiones (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
D inicial	D25	D50	D75	D100	D final
(12-0)x4=48	(12-4)x4=32	(12-5)x4=28	(12-9)x4=12	(12-11)x4=4	(12-12)x4=0

<b>Deflexiones corregidas (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
$FC_T=1/((1+8*10^{(-4)})x(32.3^\circ-20^\circ)x5cm)+1=0.95310713$			$FC_E=1.1$		
D inicial	D25	D50	D75	D100	D final
48x0.95x1.1=50	32x0.95x1.1=34	28x0.95x1.1=29	12x0.95x1.1=13	4x0.95x1.1=4	0x0.95x1.1=0

<b>Radio de Curvatura</b>	
$R_c=(10x25^2)/(2x(50-34))=195$	

**UNIDAD DE PRUEBA U-38**

<b>PROGRESIVA: Km 23 + 700</b>					
Ancho de calzada	:	6.00 m	Relación de brazos	:	4
Espesor de capa de rodadura	:	5 cm	Temperatura pavimento (°C)	:	32.30

<b>Lecturas (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
L inicial	L25	L50	L75	L100	L final
0	8	9	12	16	18

<b>Deflexiones (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
D inicial	D25	D50	D75	D100	D final
(18-0)x4=72	(18-8)x4=40	(18-9)x4=36	(18-12)x4=24	(18-16)x4=8	(18-18)x4=0

<b>Deflexiones corregidas (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
$FC_T = 1 / ((1 + 8 \cdot 10^{-4}) \cdot (32.3^\circ - 20^\circ) \cdot 5 \text{ cm}) + 1 = 0.95310713$			$FC_E = 1.1$		
D inicial	D25	D50	D75	D100	D final
72x0.95x1.1=75	40x0.95x1.1=42	36x0.95x1.1=38	24x0.95x1.1=25	8x0.95x1.1=8	0x0.95x1.1=0

<b>Radio de Curvatura</b>	
$R_c = (10 \cdot 25^2) / (2 \cdot (75 - 42)) = 95$	

**UNIDAD DE PRUEBA U-39**

<b>PROGRESIVA: Km 23 + 800</b>					
Ancho de calzada	:	6.00 m	Relación de brazos	:	4
Espesor de capa de rodadura	:	5 cm	Temperatura pavimento (°C)	:	32.30

<b>Lecturas (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
L inicial	L25	L50	L75	L100	L final
0	8	10	13	16	19

<b>Deflexiones (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
D inicial	D25	D50	D75	D100	D final
(19-0)x4=76	(19-8)x4=44	(19-10)x4=36	(19-13)x4=24	(19-16)x4=12	(19-19)x4=0

<b>Deflexiones corregidas (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
$FC_T = 1 / ((1 + 8 \cdot 10^{-4}) \cdot (32.3^\circ - 20^\circ) \cdot 5 \text{ cm}) + 1 = 0.95310713$			$FC_E = 1.1$		
D inicial	D25	D50	D75	D100	D final
76x0.95x1.1=80	44x0.95x1.1=46	36x0.95x1.1=38	24x0.95x1.1=25	12x0.95x1.1=13	0x0.95x1.1=0

<b>Radio de Curvatura</b>	
$R_c = (10 \cdot 25^2) / (2 \cdot (80 - 46)) = 92$	

**UNIDAD DE PRUEBA U-40**

<b>PROGRESIVA: Km 23 + 900</b>			
Ancho de calzada :	6.00 m	Relación de brazos :	4
Espesor de capa de rodadura :	5 cm	Temperatura pavimento (°C) :	32.30

<b>Lecturas (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
Linicial	L25	L50	L75	L100	Lfinal
0	8	10	11	12	14

<b>Deflexiones (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
Dinicial	D25	D50	D75	D100	Dfinal
(14-0)x4=56	(14-8)x4=24	(14-10)x4=16	(14-11)x4=12	(14-12)x4=8	(14-14)x4=0

<b>Deflexiones corregidas (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
$FCT=1/((1+8*10^{(-4)}x(32.3^{\circ}-20^{\circ})x5cm)+1)=0.95310713$			$FCE=1.1$		
Dinicial	D25	D50	D75	D100	Dfinal
56x0.95x1.1=59	24x0.95x1.1=25	16x0.95x1.1=17	12x0.95x1.1=13	8x0.95x1.1=8	0x0.95x1.1=0

<b>Radio de Curvatura</b>	
$Rc=(10x25^2)/(2x(59-25))=92$	

**UNIDAD DE PRUEBA U-41**

<b>PROGRESIVA: Km 24 + 000</b>			
Ancho de calzada :	6.00 m	Relación de brazos :	4
Espesor de capa de rodadura :	5 cm	Temperatura pavimento (°C) :	32.30

<b>Lecturas (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
Linicial	L25	L50	L75	L100	Lfinal
0	8	11	13	15	18

<b>Deflexiones (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
Dinicial	D25	D50	D75	D100	Dfinal
(18-0)x4=72	(18-8)x4=40	(18-11)x4=28	(18-13)x4=20	(18-15)x4=12	(18-18)x4=0

<b>Deflexiones corregidas (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
$FCT=1/((1+8*10^{(-4)}x(32.3^{\circ}-20^{\circ})x5cm)+1)=0.95310713$			$FCE=1.1$		
Dinicial	D25	D50	D75	D100	Dfinal
72x0.95x1.1=75	40x0.95x1.1=42	28x0.95x1.1=29	20x0.95x1.1=21	12x0.95x1.1=13	0x0.95x1.1=0

<b>Radio de Curvatura</b>	
$Rc=(10x25^2)/(2x(75-42))=95$	

### UNIDAD DE PRUEBA U-42

<b>PROGRESIVA: Km 24 + 100</b>			
Ancho de calzada :	6.00 m	Relación de brazos :	4
Espesor de capa de rodadura :	5 cm	Temperatura pavimento (°C) :	32.30

<b>Lecturas (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
Linicial	L25	L50	L75	L100	Lfinal
0	3	6	7	12	15

<b>Deflexiones (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
Dinicial	D25	D50	D75	D100	Dfinal
(15-0)x4=60	(15-3)x4=48	(15-6)x4=36	(15-7)x4=32	(15-12)x4=12	(15-15)x4=0

<b>Deflexiones corregidas (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
$FC_T=1/((1+8*10^{(-4)})x(32.3^\circ-20^\circ)x5cm)+1=0.95310713$			$FCE=1.1$		
Dinicial	D25	D50	D75	D100	Dfinal
60x0.95x1.1=63	48x0.95x1.1=50	36x0.95x1.1=38	32x0.95x1.1=34	12x0.95x1.1=13	0x0.95x1.1=0

<b>Radio de Curvatura</b>	
$Rc=(10x25^2)/(2x(63-50))=240$	

### UNIDAD DE PRUEBA U-43

<b>PROGRESIVA: Km 24 + 200</b>			
Ancho de calzada :	6.00 m	Relación de brazos :	4
Espesor de capa de rodadura :	5 cm	Temperatura pavimento (°C) :	32.30

<b>Lecturas (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
Linicial	L25	L50	L75	L100	Lfinal
0	10	12	15	17	19

<b>Deflexiones (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
Dinicial	D25	D50	D75	D100	Dfinal
(19-0)x4=76	(19-10)x4=36	(19-12)x4=28	(19-15)x4=16	(19-17)x4=8	(19-19)x4=0

<b>Deflexiones corregidas (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
$FC_T=1/((1+8*10^{(-4)})x(32.3^\circ-20^\circ)x5cm)+1=0.95310713$			$FCE=1.1$		
Dinicial	D25	D50	D75	D100	Dfinal
76x0.95x1.1=80	36x0.95x1.1=38	28x0.95x1.1=29	16x0.95x1.1=17	8x0.95x1.1=8	0x0.95x1.1=0

<b>Radio de Curvatura</b>	
$Rc=(10x25^2)/(2x(80-38))=74$	

### UNIDAD DE PRUEBA U-44

<b>PROGRESIVA: Km 24 + 300</b>			
Ancho de calzada :	6.00 m	Relación de brazos :	4
Espesor de capa de rodadura :	5 cm	Temperatura pavimento (°C) :	32.30

<b>Lecturas (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
L inicial	L25	L50	L75	L100	L final
0	2	4	7	9	11

<b>Deflexiones (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
D inicial	D25	D50	D75	D100	D final
(11-0)x4=44	(11-2)x4=36	(11-4)x4=28	(11-7)x4=16	(11-9)x4=8	(11-11)x4=0

<b>Deflexiones corregidas (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
$FC_T=1/((1+8*10^{(-4)})x(32.3^{\circ}-20^{\circ})x5cm)+1=0.95310713$			$FC_E=1.1$		
D inicial	D25	D50	D75	D100	D final
44x0.95x1.1=46	36x0.95x1.1=38	28x0.95x1.1=29	16x0.95x1.1=17	8x0.95x1.1=8	0x0.95x1.1=0

<b>Radio de Curvatura</b>	
$R_c=(10x25^2)/(2x(46-38))=391$	

### UNIDAD DE PRUEBA U-45

<b>PROGRESIVA: Km 24 + 400</b>			
Ancho de calzada :	6.00 m	Relación de brazos :	4
Espesor de capa de rodadura :	5 cm	Temperatura pavimento (°C) :	32.30

<b>Lecturas (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
L inicial	L25	L50	L75	L100	L final
0	4	6	8	10	12

<b>Deflexiones (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
D inicial	D25	D50	D75	D100	D final
(12-0)x4=48	(12-4)x4=32	(12-6)x4=24	(12-8)x4=16	(12-10)x4=8	(12-12)x4=0

<b>Deflexiones corregidas (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
$FC_T=1/((1+8*10^{(-4)})x(32.3^{\circ}-20^{\circ})x5cm)+1=0.95310713$			$FC_E=1.1$		
D inicial	D25	D50	D75	D100	D final
48x0.95x1.1=50	32x0.95x1.1=34	24x0.95x1.1=25	16x0.95x1.1=17	8x0.95x1.1=8	0x0.95x1.1=0

<b>Radio de Curvatura</b>	
$R_c=(10x25^2)/(2x(50-34))=195$	

**UNIDAD DE PRUEBA U-46**

<b>PROGRESIVA: Km 24 + 500</b>			
Ancho de calzada :	6.00 m	Relación de brazos :	4
Espesor de capa de rodadura :	5 cm	Temperatura pavimento (°C) :	32.30

<b>Lecturas (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
L <sub>inicial</sub>	L <sub>25</sub>	L <sub>50</sub>	L <sub>75</sub>	L <sub>100</sub>	L <sub>final</sub>
0	2	5	8	10	11

<b>Deflexiones (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
D <sub>inicial</sub>	D <sub>25</sub>	D <sub>50</sub>	D <sub>75</sub>	D <sub>100</sub>	D <sub>final</sub>
(11-0)x4=44	(11-2)x4=36	(11-5)x4=24	(11-8)x4=12	(11-10)x4=4	(11-11)x4=0

<b>Deflexiones corregidas (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
$FCT=1/((1+8*10^{(-4)}x(32.3^{\circ}-20^{\circ})x5cm)+1)=0.95310713$			$FCE=1.1$		
D <sub>inicial</sub>	D <sub>25</sub>	D <sub>50</sub>	D <sub>75</sub>	D <sub>100</sub>	D <sub>final</sub>
44x0.95x1.1=46	36x0.95x1.1=38	24x0.95x1.1=25	12x0.95x1.1=13	4x0.95x1.1=4	0x0.95x1.1=0

<b>Radio de Curvatura</b>	
$Rc=(10x25^2)/(2x(46-38))=391$	

**UNIDAD DE PRUEBA U-47**

<b>PROGRESIVA: Km 24 + 600</b>			
Ancho de calzada :	6.00 m	Relación de brazos :	4
Espesor de capa de rodadura :	5 cm	Temperatura pavimento (°C) :	32.30

<b>Lecturas (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
L <sub>inicial</sub>	L <sub>25</sub>	L <sub>50</sub>	L <sub>75</sub>	L <sub>100</sub>	L <sub>final</sub>
0	3	5	9	11	12

<b>Deflexiones (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
D <sub>inicial</sub>	D <sub>25</sub>	D <sub>50</sub>	D <sub>75</sub>	D <sub>100</sub>	D <sub>final</sub>
(12-0)x4=48	(12-3)x4=36	(12-5)x4=28	(12-9)x4=12	(12-11)x4=4	(12-12)x4=0

<b>Deflexiones corregidas (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
$FCT=1/((1+8*10^{(-4)}x(32.3^{\circ}-20^{\circ})x5cm)+1)=0.95310713$			$FCE=1.1$		
D <sub>inicial</sub>	D <sub>25</sub>	D <sub>50</sub>	D <sub>75</sub>	D <sub>100</sub>	D <sub>final</sub>
48x0.95x1.1=50	36x0.95x1.1=38	28x0.95x1.1=29	12x0.95x1.1=13	4x0.95x1.1=4	0x0.95x1.1=0

<b>Radio de Curvatura</b>	
$Rc=(10x25^2)/(2x(50-38))=260$	

**UNIDAD DE PRUEBA U-48**

<b>PROGRESIVA: Km 24 + 700</b>			
Ancho de calzada :	6.00 m	Relación de brazos :	4
Espesor de capa de rodadura :	5 cm	Temperatura pavimento (°C) :	32.30

<b>Lecturas (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
L inicial	L25	L50	L75	L100	L final
0	1	4	6	9	12

<b>Deflexiones (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
D inicial	D25	D50	D75	D100	D final
(12-0)x4=48	(12-1)x4=44	(12-4)x4=32	(12-6)x4=24	(12-9)x4=12	(12-12)x4=0

<b>Deflexiones corregidas (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
$FC_T = 1 / ((1 + 8 * 10^{(-4)}) * (32.3^\circ - 20^\circ) * 5 \text{ cm}) + 1 = 0.95310713$			$FCE = 1.1$		
D inicial	D25	D50	D75	D100	D final
48x0.95x1.1=50	44x0.95x1.1=46	32x0.95x1.1=34	24x0.95x1.1=25	12x0.95x1.1=13	0x0.95x1.1=0

<b>Radio de Curvatura</b>	
$R_c = (10 * 25^2) / (2 * (50 - 46)) = 781$	

**UNIDAD DE PRUEBA U-49**

<b>PROGRESIVA: Km 24 + 800</b>			
Ancho de calzada :	6.00 m	Relación de brazos :	4
Espesor de capa de rodadura :	5 cm	Temperatura pavimento (°C) :	33.60

<b>Lecturas (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
L inicial	L25	L50	L75	L100	L final
0	2	5	7	10	11

<b>Deflexiones (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
D inicial	D25	D50	D75	D100	D final
(11-0)x4=44	(11-2)x4=36	(11-5)x4=24	(11-7)x4=16	(11-10)x4=4	(11-11)x4=0

<b>Deflexiones corregidas (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
$FC_T = 1 / ((1 + 8 * 10^{(-4)}) * (33.6^\circ - 20^\circ) * 5 \text{ m}) + 1 = 0.94840668$			$FCE = 1.1$		
D inicial	D25	D50	D75	D100	D final
44x0.95x1.1=46	36x0.95x1.1=38	24x0.95x1.1=25	16x0.95x1.1=17	4x0.95x1.1=4	0x0.95x1.1=0

<b>Radio de Curvatura</b>	
$R_c = (10 * 25^2) / (2 * (46 - 38)) = 391$	



### UNIDAD DE PRUEBA U-50

<b>PROGRESIVA: Km 24 + 900</b>			
Ancho de calzada :	6.00 m	Relación de brazos :	4
Espesor de capa de rodadura :	5 cm	Temperatura pavimento (°C) :	33.60

<b>Lecturas (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
Linicial	L25	L50	L75	L100	Lfinal
0	4	6	9	11	12

<b>Deflexiones (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
Dinicial	D25	D50	D75	D100	Dfinal
(12-0)x4=48	(12-4)x4=32	(12-6)x4=24	(12-9)x4=12	(12-11)x4=4	(12-12)x4=0

<b>Deflexiones corregidas (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
$FC_T=1/((1+8*10^{-4})x(33.6^{\circ}-20^{\circ})x5m)+1=0.94840668$			$FC_E=1.1$		
Dinicial	D25	D50	D75	D100	Dfinal
48x0.95x1.1=50	32x0.95x1.1=33	24x0.95x1.1=25	12x0.95x1.1=13	4x0.95x1.1=4	0x0.95x1.1=0

<b>Radio de Curvatura</b>	
$R_c=(10x25^2)/(2x(50-33))=184$	

### UNIDAD DE PRUEBA U-51

<b>PROGRESIVA: Km 25 + 000</b>			
Ancho de calzada :	6.00 m	Relación de brazos :	4
Espesor de capa de rodadura :	5 cm	Temperatura pavimento (°C) :	33.60

<b>Lecturas (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
Linicial	L25	L50	L75	L100	Lfinal
0	3	5	7	9	10

<b>Deflexiones (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
Dinicial	D25	D50	D75	D100	Dfinal
(10-0)x4=40	(10-3)x4=28	(10-5)x4=20	(10-7)x4=12	(10-9)x4=4	(10-10)x4=0

<b>Deflexiones corregidas (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
$FC_T=1/((1+8*10^{-4})x(33.6^{\circ}-20^{\circ})x5m)+1=0.94840668$			$FC_E=1.1$		
Dinicial	D25	D50	D75	D100	Dfinal
40x0.95x1.1=42	28x0.95x1.1=29	20x0.95x1.1=21	12x0.95x1.1=13	4x0.95x1.1=4	0x0.95x1.1=0

<b>Radio de Curvatura</b>	
$R_c=(10x25^2)/(2x(42-29))=240$	

**UNIDAD DE PRUEBA U-52**

<b>PROGRESIVA: Km 24 + 950</b>			
Ancho de calzada :	6.00 m	Relación de brazos :	4
Espesor de capa de rodadura :	5 cm	Temperatura pavimento (°C) :	33.60

<b>Lecturas (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
L inicial	L25	L50	L75	L100	L final
0	3	4	5	8	10

<b>Deflexiones (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
D inicial	D25	D50	D75	D100	D final
(10-0)x4=40	(10-3)x4=28	(10-4)x4=24	(10-5)x4=20	(10-8)x4=8	(10-10)x4=0

<b>Deflexiones corregidas (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
$FC_T = 1 / ((1 + 8 \cdot 10^{-4}) \cdot (33.6^\circ - 20^\circ) \cdot 5m) + 1 = 0.94840668$			$FC_E = 1.1$		
D inicial	D25	D50	D75	D100	D final
40x0.95x1.1=42	28x0.95x1.1=29	24x0.95x1.1=25	20x0.95x1.1=21	8x0.95x1.1=8	0x0.95x1.1=0

<b>Radio de Curvatura</b>	
$R_c = (10 \cdot 25^2) / (2 \cdot (42 - 29)) = 240$	

**UNIDAD DE PRUEBA U-53**

<b>PROGRESIVA: Km 24 + 850</b>			
Ancho de calzada :	6.00 m	Relación de brazos :	4
Espesor de capa de rodadura :	5 cm	Temperatura pavimento (°C) :	33.60

<b>Lecturas (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
L inicial	L25	L50	L75	L100	L final
0	3	5	6	7	10

<b>Deflexiones (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
D inicial	D25	D50	D75	D100	D final
(10-0)x4=40	(10-3)x4=28	(10-5)x4=20	(10-6)x4=16	(10-7)x4=12	(10-10)x4=0

<b>Deflexiones corregidas (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
$FC_T = 1 / ((1 + 8 \cdot 10^{-4}) \cdot (33.6^\circ - 20^\circ) \cdot 5m) + 1 = 0.94840668$			$FC_E = 1.1$		
D inicial	D25	D50	D75	D100	D final
40x0.95x1.1=42	28x0.95x1.1=29	20x0.95x1.1=21	16x0.95x1.1=17	12x0.95x1.1=13	0x0.95x1.1=0

<b>Radio de Curvatura</b>	
$R_c = (10 \cdot 25^2) / (2 \cdot (42 - 29)) = 240$	

**UNIDAD DE PRUEBA U-54**

<b>PROGRESIVA: Km 24 + 750</b>			
Ancho de calzada :	6.00 m	Relación de brazos :	4
Espesor de capa de rodadura :	5 cm	Temperatura pavimento (°C) :	33.60

<b>Lecturas (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
L inicial	L25	L50	L75	L100	L final
0	3	4	5	6	8

<b>Deflexiones (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
D inicial	D25	D50	D75	D100	D final
(8-0)x4=32	(8-3)x4=20	(8-4)x4=16	(8-5)x4=12	(8-6)x4=8	(8-8)x4=0

<b>Deflexiones corregidas (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
$FCT=1/((1+8*10^{(-4)})x(33.6^{\circ}-20^{\circ})x5m)+1=0.94840668$			$FCE=1.1$		
D inicial	D25	D50	D75	D100	D final
32x0.95x1.1=33	20x0.95x1.1=21	16x0.95x1.1=17	12x0.95x1.1=13	8x0.95x1.1=8	0x0.95x1.1=0

<b>Radio de Curvatura</b>	
$Rc=(10x25^2)/(2x(33-21))=260$	

**UNIDAD DE PRUEBA U-55**

<b>PROGRESIVA: Km 24 + 650</b>			
Ancho de calzada :	6.00 m	Relación de brazos :	4
Espesor de capa de rodadura :	5 cm	Temperatura pavimento (°C) :	33.60

<b>Lecturas (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
L inicial	L25	L50	L75	L100	L final
0	2	4	5	7	9

<b>Deflexiones (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
D inicial	D25	D50	D75	D100	D final
(9-0)x4=36	(9-2)x4=28	(9-4)x4=20	(9-5)x4=16	(9-7)x4=8	(9-9)x4=0

<b>Deflexiones corregidas (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
$FCT=1/((1+8*10^{(-4)})x(33.6^{\circ}-20^{\circ})x5m)+1=0.94840668$			$FCE=1.1$		
D inicial	D25	D50	D75	D100	D final
36x0.95x1.1=38	28x0.95x1.1=29	20x0.95x1.1=21	16x0.95x1.1=17	8x0.95x1.1=8	0x0.95x1.1=0

<b>Radio de Curvatura</b>	
$Rc=(10x25^2)/(2x(38-29))=347$	

**UNIDAD DE PRUEBA U-56**

<b>PROGRESIVA: Km 24 + 550</b>			
Ancho de calzada :	6.00 m	Relación de brazos :	4
Espesor de capa de rodadura :	5 cm	Temperatura pavimento (°C) :	33.60

<b>Lecturas (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
L inicial	L25	L50	L75	L100	L final
0	4	5	8	10	11

<b>Deflexiones (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
D inicial	D25	D50	D75	D100	D final
(11-0)x4=44	(11-4)x4=28	(11-5)x4=24	(11-8)x4=12	(11-10)x4=4	(11-11)x4=0

<b>Deflexiones corregidas (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
$FC_T = 1 / ((1 + 8 \cdot 10^{-4}) \cdot (33.6^\circ - 20^\circ) \cdot 5m) + 1 = 0.94840668$			$FC_E = 1.1$		
D inicial	D25	D50	D75	D100	D final
44x0.95x1.1=46	28x0.95x1.1=29	24x0.95x1.1=25	12x0.95x1.1=13	4x0.95x1.1=4	0x0.95x1.1=0

<b>Radio de Curvatura</b>	
$R_c = (10 \cdot 25^2) / (2 \cdot (46 - 29)) = 184$	

**UNIDAD DE PRUEBA U-57**

<b>PROGRESIVA: Km 24 + 450</b>			
Ancho de calzada :	6.00 m	Relación de brazos :	4
Espesor de capa de rodadura :	5 cm	Temperatura pavimento (°C) :	33.60

<b>Lecturas (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
L inicial	L25	L50	L75	L100	L final
0	3	5	7	8	11

<b>Deflexiones (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
D inicial	D25	D50	D75	D100	D final
(11-0)x4=44	(11-3)x4=32	(11-5)x4=24	(11-7)x4=16	(11-8)x4=12	(11-11)x4=0

<b>Deflexiones corregidas (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
$FC_T = 1 / ((1 + 8 \cdot 10^{-4}) \cdot (33.6^\circ - 20^\circ) \cdot 5m) + 1 = 0.94840668$			$FC_E = 1.1$		
D inicial	D25	D50	D75	D100	D final
44x0.95x1.1=46	32x0.95x1.1=33	24x0.95x1.1=25	16x0.95x1.1=17	12x0.95x1.1=13	0x0.95x1.1=0

<b>Radio de Curvatura</b>	
$R_c = (10 \cdot 25^2) / (2 \cdot (46 - 33)) = 240$	

**UNIDAD DE PRUEBA U-58**

<b>PROGRESIVA: Km 24 + 350</b>			
Ancho de calzada :	6.00 m	Relación de brazos :	4
Espesor de capa de rodadura :	5 cm	Temperatura pavimento (°C) :	33.60

<b>Lecturas (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
Linicial	L25	L50	L75	L100	Lfinal
0	2	5	8	9	11

<b>Deflexiones (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
Dinicial	D25	D50	D75	D100	Dfinal
(11-0)x4=44	(11-2)x4=36	(11-5)x4=24	(11-8)x4=12	(11-9)x4=8	(11-11)x4=0

<b>Deflexiones corregidas (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
$FC_T = 1 / ((1 + 8 \cdot 10^{-4}) \cdot (33.6^\circ - 20^\circ) \cdot 5m) + 1 = 0.94840668$			$FCE = 1.1$		
Dinicial	D25	D50	D75	D100	Dfinal
44x0.95x1.1=46	36x0.95x1.1=38	24x0.95x1.1=25	12x0.95x1.1=13	8x0.95x1.1=8	0x0.95x1.1=0

<b>Radio de Curvatura</b>	
$R_c = (10 \cdot 25^2) / (2 \cdot (46 - 38)) = 391$	

**UNIDAD DE PRUEBA U-59**

<b>PROGRESIVA: Km 24 + 250</b>			
Ancho de calzada :	6.00 m	Relación de brazos :	4
Espesor de capa de rodadura :	5 cm	Temperatura pavimento (°C) :	33.60

<b>Lecturas (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
Linicial	L25	L50	L75	L100	Lfinal
0	2	4	5	6	9

<b>Deflexiones (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
Dinicial	D25	D50	D75	D100	Dfinal
(9-0)x4=36	(9-2)x4=28	(9-4)x4=20	(9-5)x4=16	(9-6)x4=12	(9-9)x4=0

<b>Deflexiones corregidas (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
$FC_T = 1 / ((1 + 8 \cdot 10^{-4}) \cdot (33.6^\circ - 20^\circ) \cdot 5m) + 1 = 0.94840668$			$FCE = 1.1$		
Dinicial	D25	D50	D75	D100	Dfinal
36x0.95x1.1=38	28x0.95x1.1=29	20x0.95x1.1=21	16x0.95x1.1=17	12x0.95x1.1=13	0x0.95x1.1=0

<b>Radio de Curvatura</b>	
$R_c = (10 \cdot 25^2) / (2 \cdot (38 - 29)) = 347$	

**UNIDAD DE PRUEBA U-60**

<b>PROGRESIVA: Km 24 + 150</b>					
Ancho de calzada	:	6.00 m	Relación de brazos	:	4
Espesor de capa de rodadura	:	5 cm	Temperatura pavimento (°C)	:	33.90

<b>Lecturas (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
L inicial	L25	L50	L75	L100	L final
0	3	5	8	12	15

<b>Deflexiones (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
D inicial	D25	D50	D75	D100	D final
(15-0)x4=60	(15-3)x4=48	(15-5)x4=40	(15-8)x4=28	(15-12)x4=12	(15-15)x4=0

<b>Deflexiones corregidas (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
$FC_T = 1 / ((1 + 8 \cdot 10^{(-4)}) \cdot (33.9^\circ - 20^\circ) \cdot 5m) + 1 = 0.94732853$			$FC_E = 1.1$		
D inicial	D25	D50	D75	D100	D final
60x0.95x1.1=63	48x0.95x1.1=50	40x0.95x1.1=42	28x0.95x1.1=29	12x0.95x1.1=13	0x0.95x1.1=0

<b>Radio de Curvatura</b>	
$R_c = (10 \cdot 25^2) / (2 \cdot (63 - 50)) = 240$	

**UNIDAD DE PRUEBA U-61**

<b>PROGRESIVA: Km 24 + 050</b>					
Ancho de calzada	:	6.00 m	Relación de brazos	:	4
Espesor de capa de rodadura	:	5 cm	Temperatura pavimento (°C)	:	33.90

<b>Lecturas (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
L inicial	L25	L50	L75	L100	L final
0	6	9	13	17	18

<b>Deflexiones (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
D inicial	D25	D50	D75	D100	D final
(18-0)x4=72	(18-6)x4=48	(18-9)x4=36	(18-13)x4=20	(18-17)x4=4	(18-18)x4=0

<b>Deflexiones corregidas (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
$FC_T = 1 / ((1 + 8 \cdot 10^{(-4)}) \cdot (33.9^\circ - 20^\circ) \cdot 5m) + 1 = 0.94732853$			$FC_E = 1.1$		
D inicial	D25	D50	D75	D100	D final
72x0.95x1.1=75	48x0.95x1.1=50	36x0.95x1.1=38	20x0.95x1.1=21	4x0.95x1.1=4	0x0.95x1.1=0

<b>Radio de Curvatura</b>	
$R_c = (10 \cdot 25^2) / (2 \cdot (75 - 50)) = 125$	

**UNIDAD DE PRUEBA U-62**

<b>PROGRESIVA: Km 23 + 950</b>					
Ancho de calzada	:	6.00 m	Relación de brazos	:	4
Espesor de capa de rodadura	:	5 cm	Temperatura pavimento (°C)	:	33.90

<b>Lecturas (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
L <sub>inicial</sub>	L <sub>25</sub>	L <sub>50</sub>	L <sub>75</sub>	L <sub>100</sub>	L <sub>final</sub>
0	8	9	10	12	13

<b>Deflexiones (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
D <sub>inicial</sub>	D <sub>25</sub>	D <sub>50</sub>	D <sub>75</sub>	D <sub>100</sub>	D <sub>final</sub>
(13-0)x4=52	(13-8)x4=20	(13-9)x4=16	(13-10)x4=12	(13-12)x4=4	(13-13)x4=0

<b>Deflexiones corregidas (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
$F_{CT} = 1 / ((1 + 8 \cdot 10^{(-4)}) \cdot (33.9^\circ - 20^\circ) \cdot 5m) + 1 = 0.94732853$			$F_{CE} = 1.1$		
D <sub>inicial</sub>	D <sub>25</sub>	D <sub>50</sub>	D <sub>75</sub>	D <sub>100</sub>	D <sub>final</sub>
52x0.95x1.1=54	20x0.95x1.1=21	16x0.95x1.1=17	12x0.95x1.1=13	4x0.95x1.1=4	0x0.95x1.1=0

<b>Radio de Curvatura</b>	
$R_c = (10 \times 25^2) / (2 \times (54 - 21)) = 95$	

**UNIDAD DE PRUEBA U-63**

<b>PROGRESIVA: Km 23 + 850</b>					
Ancho de calzada	:	6.00 m	Relación de brazos	:	4
Espesor de capa de rodadura	:	5 cm	Temperatura pavimento (°C)	:	33.90

<b>Lecturas (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
L <sub>inicial</sub>	L <sub>25</sub>	L <sub>50</sub>	L <sub>75</sub>	L <sub>100</sub>	L <sub>final</sub>
0	9	11	16	19	20

<b>Deflexiones (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
D <sub>inicial</sub>	D <sub>25</sub>	D <sub>50</sub>	D <sub>75</sub>	D <sub>100</sub>	D <sub>final</sub>
(20-0)x4=80	(20-9)x4=44	(20-11)x4=36	(20-16)x4=16	(20-19)x4=4	(20-20)x4=0

<b>Deflexiones corregidas (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
$F_{CT} = 1 / ((1 + 8 \cdot 10^{(-4)}) \cdot (33.9^\circ - 20^\circ) \cdot 5m) + 1 = 0.94732853$			$F_{CE} = 1.1$		
D <sub>inicial</sub>	D <sub>25</sub>	D <sub>50</sub>	D <sub>75</sub>	D <sub>100</sub>	D <sub>final</sub>
80x0.95x1.1=83	44x0.95x1.1=46	36x0.95x1.1=38	16x0.95x1.1=17	4x0.95x1.1=4	0x0.95x1.1=0

<b>Radio de Curvatura</b>	
$R_c = (10 \times 25^2) / (2 \times (83 - 46)) = 84$	

**UNIDAD DE PRUEBA U-64**

<b>PROGRESIVA: Km 23 + 750</b>			
Ancho de calzada :	6.00 m	Relación de brazos :	4
Espesor de capa de rodadura :	5 cm	Temperatura pavimento (°C) :	33.90

<b>Lecturas (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
L inicial	L25	L50	L75	L100	L final
0	9	12	15	17	19

<b>Deflexiones (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
D inicial	D25	D50	D75	D100	D final
(19-0)x4=76	(19-9)x4=40	(19-12)x4=28	(19-15)x4=16	(19-17)x4=8	(19-19)x4=0

<b>Deflexiones corregidas (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
$FCT=1/((1+8*10^{(-4)})x(33.9^{\circ}-20^{\circ})x5m)+1=0.94732853$			$FCE=1.1$		
D inicial	D25	D50	D75	D100	D final
76x0.95x1.1=79	40x0.95x1.1=42	28x0.95x1.1=29	16x0.95x1.1=17	8x0.95x1.1=8	0x0.95x1.1=0

<b>Radio de Curvatura</b>	
$Rc=(10x25^2)/(2x(79-42))=84$	

**UNIDAD DE PRUEBA U-65**

<b>PROGRESIVA: Km 23 + 650</b>			
Ancho de calzada :	6.00 m	Relación de brazos :	4
Espesor de capa de rodadura :	5 cm	Temperatura pavimento (°C) :	33.90

<b>Lecturas (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
L inicial	L25	L50	L75	L100	L final
0	8	10	12	15	18

<b>Deflexiones (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
D inicial	D25	D50	D75	D100	D final
(18-0)x4=72	(18-8)x4=40	(18-10)x4=32	(18-12)x4=24	(18-15)x4=12	(18-18)x4=0

<b>Deflexiones corregidas (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
$FCT=1/((1+8*10^{(-4)})x(33.9^{\circ}-20^{\circ})x5m)+1=0.94732853$			$FCE=1.1$		
D inicial	D25	D50	D75	D100	D final
72x0.95x1.1=73	40x0.95x1.1=41	32x0.95x1.1=32	24x0.95x1.1=24	12x0.95x1.1=12	0x0.95x1.1=0

<b>Radio de Curvatura</b>	
$Rc=(10x25^2)/(2x(75-42))=95$	



**UNIDAD DE PRUEBA U-66**

<b>PROGRESIVA: Km 23 + 550</b>					
Ancho de calzada	:	6.00 m	Relación de brazos	:	4
Espesor de capa de rodadura	:	5 cm	Temperatura pavimento (°C)	:	33.90

<b>Lecturas (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
L <sub>inicial</sub>	L <sub>25</sub>	L <sub>50</sub>	L <sub>75</sub>	L <sub>100</sub>	L <sub>final</sub>
0	2	4	5	8	11

<b>Deflexiones (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
D <sub>inicial</sub>	D <sub>25</sub>	D <sub>50</sub>	D <sub>75</sub>	D <sub>100</sub>	D <sub>final</sub>
(11-0)x4=44	(11-2)x4=36	(11-4)x4=28	(11-5)x4=24	(11-8)x4=12	(11-11)x4=0

<b>Deflexiones corregidas (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
$F_{CT} = 1 / ((1 + 8 \cdot 10^{(-4)}) \cdot (33.9^\circ - 20^\circ) \cdot 5m) + 1 = 0.94732853$			$F_{CE} = 1.1$		
D <sub>inicial</sub>	D <sub>25</sub>	D <sub>50</sub>	D <sub>75</sub>	D <sub>100</sub>	D <sub>final</sub>
44x0.95x1.1=46	36x0.95x1.1=38	28x0.95x1.1=29	24x0.95x1.1=25	12x0.95x1.1=13	0x0.95x1.1=0

<b>Radio de Curvatura</b>	
$R_c = (10 \cdot 25^2) / (2 \cdot (46 - 38)) = 391$	

**UNIDAD DE PRUEBA U-67**

<b>PROGRESIVA: Km 23 + 450</b>					
Ancho de calzada	:	6.00 m	Relación de brazos	:	4
Espesor de capa de rodadura	:	5 cm	Temperatura pavimento (°C)	:	33.90

<b>Lecturas (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
L <sub>inicial</sub>	L <sub>25</sub>	L <sub>50</sub>	L <sub>75</sub>	L <sub>100</sub>	L <sub>final</sub>
0	2	4	6	8	11

<b>Deflexiones (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
D <sub>inicial</sub>	D <sub>25</sub>	D <sub>50</sub>	D <sub>75</sub>	D <sub>100</sub>	D <sub>final</sub>
(11-0)x4=44	(11-2)x4=36	(11-4)x4=28	(11-6)x4=20	(11-8)x4=12	(11-11)x4=0

<b>Deflexiones corregidas (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
$F_{CT} = 1 / ((1 + 8 \cdot 10^{(-4)}) \cdot (33.9^\circ - 20^\circ) \cdot 5m) + 1 = 0.94732853$			$F_{CE} = 1.1$		
D <sub>inicial</sub>	D <sub>25</sub>	D <sub>50</sub>	D <sub>75</sub>	D <sub>100</sub>	D <sub>final</sub>
44x0.95x1.1=46	36x0.95x1.1=38	28x0.95x1.1=29	20x0.95x1.1=21	12x0.95x1.1=13	0x0.95x1.1=0

<b>Radio de Curvatura</b>	
$R_c = (10 \cdot 25^2) / (2 \cdot (46 - 38)) = 391$	

**UNIDAD DE PRUEBA U-68**

<b>PROGRESIVA: Km 23 + 350</b>					
Ancho de calzada	:	6.00 m	Relación de brazos	:	4
Espesor de capa de rodadura	:	5 cm	Temperatura pavimento (°C)	:	33.90

<b>Lecturas (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
L <sub>inicial</sub>	L <sub>25</sub>	L <sub>50</sub>	L <sub>75</sub>	L <sub>100</sub>	L <sub>final</sub>
0	3	5	8	10	11

<b>Deflexiones (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
D <sub>inicial</sub>	D <sub>25</sub>	D <sub>50</sub>	D <sub>75</sub>	D <sub>100</sub>	D <sub>final</sub>
(11-0)x4=44	(11-3)x4=32	(11-5)x4=24	(11-8)x4=12	(11-10)x4=4	(11-11)x4=0

<b>Deflexiones corregidas (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
$FCT=1/((1+8*10^{(-4)})x(33.9^{\circ}-20^{\circ})x5m)+1=0.94732853$			$FCE=1.1$		
D <sub>inicial</sub>	D <sub>25</sub>	D <sub>50</sub>	D <sub>75</sub>	D <sub>100</sub>	D <sub>final</sub>
44x0.95x1.1=46	32x0.95x1.1=33	24x0.95x1.1=25	12x0.95x1.1=13	4x0.95x1.1=4	0x0.95x1.1=0

<b>Radio de Curvatura</b>	
$Rc=(10x25^2)/(2x(46-33))=240$	

**UNIDAD DE PRUEBA U-69**

<b>PROGRESIVA: Km 23 + 250</b>					
Ancho de calzada	:	6.00 m	Relación de brazos	:	4
Espesor de capa de rodadura	:	5 cm	Temperatura pavimento (°C)	:	33.90

<b>Lecturas (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
L <sub>inicial</sub>	L <sub>25</sub>	L <sub>50</sub>	L <sub>75</sub>	L <sub>100</sub>	L <sub>final</sub>
0	2	4	5	6	10

<b>Deflexiones (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
D <sub>inicial</sub>	D <sub>25</sub>	D <sub>50</sub>	D <sub>75</sub>	D <sub>100</sub>	D <sub>final</sub>
(10-0)x4=40	(10-2)x4=32	(10-4)x4=24	(10-5)x4=20	(10-6)x4=16	(10-10)x4=0

<b>Deflexiones corregidas (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
$FCT=1/((1+8*10^{(-4)})x(33.9^{\circ}-20^{\circ})x5m)+1=0.94732853$			$FCE=1.1$		
D <sub>inicial</sub>	D <sub>25</sub>	D <sub>50</sub>	D <sub>75</sub>	D <sub>100</sub>	D <sub>final</sub>
40x0.95x1.1=42	32x0.95x1.1=33	24x0.95x1.1=25	20x0.95x1.1=21	16x0.95x1.1=17	0x0.95x1.1=0

<b>Radio de Curvatura</b>	
$Rc=(10x25^2)/(2x(42-33))=347$	

### UNIDAD DE PRUEBA U-70

<b>PROGRESIVA: Km 23 + 150</b>			
Ancho de calzada :	6.00 m	Relación de brazos :	4
Espesor de capa de rodadura :	5 cm	Temperatura pavimento (°C) :	32.70

<b>Lecturas (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
Linicial	L25	L50	L75	L100	Lfinal
0	3	5	7	8	11

<b>Deflexiones (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
Dinicial	D25	D50	D75	D100	Dfinal
(11-0)x4=44	(11-3)x4=32	(11-5)x4=24	(11-7)x4=16	(11-8)x4=12	(11-11)x4=0

<b>Deflexiones corregidas (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
$FC_T=1/((1+8*10^{(-4)}x(32.7^\circ-20^\circ)x5cm)+1)=0.95165588$			$FC_E=1.1$		
Dinicial	D25	D50	D75	D100	Dfinal
44x0.95x1.1=46	32x0.95x1.1=33	24x0.95x1.1=25	16x0.95x1.1=17	12x0.95x1.1=13	0x0.95x1.1=0

<b>Radio de Curvatura</b>	
$R_c=(10x25^2)/(2x(46-33))=240$	

### UNIDAD DE PRUEBA U-71

<b>PROGRESIVA: Km 23 + 050</b>			
Ancho de calzada :	6.00 m	Relación de brazos :	4
Espesor de capa de rodadura :	5 cm	Temperatura pavimento (°C) :	32.70

<b>Lecturas (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
Linicial	L25	L50	L75	L100	Lfinal
0	2	4	5	7	11

<b>Deflexiones (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
Dinicial	D25	D50	D75	D100	Dfinal
(11-0)x4=44	(11-2)x4=36	(11-4)x4=28	(11-5)x4=24	(11-7)x4=16	(11-11)x4=0

<b>Deflexiones corregidas (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
$FC_T=1/((1+8*10^{(-4)}x(32.7^\circ-20^\circ)x5cm)+1)=0.95165588$			$FC_E=1.1$		
Dinicial	D25	D50	D75	D100	Dfinal
44x0.95x1.1=46	36x0.95x1.1=38	28x0.95x1.1=29	24x0.95x1.1=25	16x0.95x1.1=17	0x0.95x1.1=0

<b>Radio de Curvatura</b>	
$R_c=(10x25^2)/(2x(46-38))=391$	

## UNIDAD DE PRUEBA U-72

<b>PROGRESIVA: Km 22 + 950</b>					
Ancho de calzada	:	6.00 m	Relación de brazos	:	4
Espesor de capa de rodadura	:	5 cm	Temperatura pavimento (°C)	:	32.70

<b>Lecturas (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
L inicial	L25	L50	L75	L100	L final
0	3	5	7	8	11

<b>Deflexiones (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
D inicial	D25	D50	D75	D100	D final
(11-0)x4=44	(11-3)x4=32	(11-5)x4=24	(11-7)x4=16	(11-8)x4=12	(11-11)x4=0

<b>Deflexiones corregidas (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
$FC_T=1/((1+8*10^{(-4)}x(32.7^\circ-20^\circ)x5cm)+1)=0.95165588$			$FC_E=1.1$		
D inicial	D25	D50	D75	D100	D final
44x0.95x1.1=46	32x0.95x1.1=33	24x0.95x1.1=25	16x0.95x1.1=17	12x0.95x1.1=13	0x0.95x1.1=0

<b>Radio de Curvatura</b>	
$Rc=(10x25^2)/(2x(46-33))=240$	

## UNIDAD DE PRUEBA U-73

<b>PROGRESIVA: Km 22 + 850</b>					
Ancho de calzada	:	6.00 m	Relación de brazos	:	4
Espesor de capa de rodadura	:	5 cm	Temperatura pavimento (°C)	:	32.70

<b>Lecturas (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
L inicial	L25	L50	L75	L100	L final
0	2	4	5	7	10

<b>Deflexiones (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
D inicial	D25	D50	D75	D100	D final
(10-0)x4=40	(10-2)x4=32	(10-4)x4=24	(10-5)x4=20	(10-7)x4=12	(10-10)x4=0

<b>Deflexiones corregidas (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
$FC_T=1/((1+8*10^{(-4)}x(32.7^\circ-20^\circ)x5cm)+1)=0.95165588$			$FC_E=1.1$		
D inicial	D25	D50	D75	D100	D final
40x0.95x1.1=42	32x0.95x1.1=33	24x0.95x1.1=25	20x0.95x1.1=21	12x0.95x1.1=13	0x0.95x1.1=0

<b>Radio de Curvatura</b>	
$Rc=(10x25^2)/(2x(42-33))=347$	

**UNIDAD DE PRUEBA U-74**

<b>PROGRESIVA: Km 22 + 750</b>					
Ancho de calzada	:	6.00 m	Relación de brazos	:	4
Espesor de capa de rodadura	:	5 cm	Temperatura pavimento (°C)	:	32.70

<b>Lecturas (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
Linicial	L25	L50	L75	L100	Lfinal
0	4	5	7	10	11

<b>Deflexiones (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
Dinicial	D25	D50	D75	D100	Dfinal
(11-0)x4=44	(11-4)x4=28	(11-5)x4=24	(11-7)x4=16	(11-10)x4=4	(11-11)x4=0

<b>Deflexiones corregidas (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
$FC_T = 1 / ((1 + 8 \cdot 10^{-4}) \cdot (32.7 - 20) \cdot 5 \text{ cm} + 1) = 0.95165588$			$FC_E = 1.1$		
Dinicial	D25	D50	D75	D100	Dfinal
44x0.95x1.1=46	28x0.95x1.1=29	24x0.95x1.1=25	16x0.95x1.1=17	4x0.95x1.1=4	0x0.95x1.1=0

<b>Radio de Curvatura</b>	
$R_c = (10 \cdot 25^2) / (2 \cdot (46 - 29)) = 184$	

**UNIDAD DE PRUEBA U-75**

<b>PROGRESIVA: Km 22 + 650</b>					
Ancho de calzada	:	6.00 m	Relación de brazos	:	4
Espesor de capa de rodadura	:	5 cm	Temperatura pavimento (°C)	:	32.70

<b>Lecturas (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
Linicial	L25	L50	L75	L100	Lfinal
0	2	3	5	7	10

<b>Deflexiones (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
Dinicial	D25	D50	D75	D100	Dfinal
(10-0)x4=40	(10-2)x4=32	(10-3)x4=28	(10-5)x4=20	(10-7)x4=12	(10-10)x4=0

<b>Deflexiones corregidas (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
$FC_T = 1 / ((1 + 8 \cdot 10^{-4}) \cdot (32.7 - 20) \cdot 5 \text{ cm} + 1) = 0.95165588$			$FC_E = 1.1$		
Dinicial	D25	D50	D75	D100	Dfinal
40x0.95x1.1=42	32x0.95x1.1=33	28x0.95x1.1=29	20x0.95x1.1=21	12x0.95x1.1=13	0x0.95x1.1=0

<b>Radio de Curvatura</b>	
$R_c = (10 \cdot 25^2) / (2 \cdot (42 - 33)) = 347$	

**UNIDAD DE PRUEBA U-76**

<b>PROGRESIVA: Km 22 + 550</b>			
Ancho de calzada :	6.00 m	Relación de brazos :	4
Espesor de capa de rodadura :	5 cm	Temperatura pavimento (°C) :	32.70

<b>Lecturas (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
L inicial	L25	L50	L75	L100	L final
0	2	4	5	8	11

<b>Deflexiones (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
D inicial	D25	D50	D75	D100	D final
(11-0)x4=44	(11-2)x4=36	(11-4)x4=28	(11-5)x4=24	(11-8)x4=12	(11-11)x4=0

<b>Deflexiones corregidas (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
$FC_T = 1 / ((1 + 8 \cdot 10^{(-4)}) \cdot (32.7^\circ - 20^\circ) \cdot 5 \text{ cm}) + 1 = 0.95165588$			$FC_E = 1.1$		
D inicial	D25	D50	D75	D100	D final
44x0.95x1.1=46	36x0.95x1.1=38	28x0.95x1.1=29	24x0.95x1.1=25	12x0.95x1.1=13	0x0.95x1.1=0

<b>Radio de Curvatura</b>	
$R_c = (10 \cdot 25^2) / (2 \cdot (46 - 38)) = 391$	

**UNIDAD DE PRUEBA U-77**

<b>PROGRESIVA: Km 22 + 450</b>			
Ancho de calzada :	6.00 m	Relación de brazos :	4
Espesor de capa de rodadura :	5 cm	Temperatura pavimento (°C) :	32.70

<b>Lecturas (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
L inicial	L25	L50	L75	L100	L final
0	1	3	4	6	11

<b>Deflexiones (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
D inicial	D25	D50	D75	D100	D final
(11-0)x4=44	(11-1)x4=40	(11-3)x4=32	(11-4)x4=28	(11-6)x4=20	(11-11)x4=0

<b>Deflexiones corregidas (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
$FC_T = 1 / ((1 + 8 \cdot 10^{(-4)}) \cdot (32.7^\circ - 20^\circ) \cdot 5 \text{ cm}) + 1 = 0.95165588$			$FC_E = 1.1$		
D inicial	D25	D50	D75	D100	D final
44x0.95x1.1=46	40x0.95x1.1=42	32x0.95x1.1=33	28x0.95x1.1=29	20x0.95x1.1=21	0x0.95x1.1=0

<b>Radio de Curvatura</b>	
$R_c = (10 \cdot 25^2) / (2 \cdot (46 - 42)) = 781$	

**UNIDAD DE PRUEBA U-78**

<b>PROGRESIVA: Km 22 + 350</b>			
Ancho de calzada :	6.00 m	Relación de brazos :	4
Espesor de capa de rodadura :	5 cm	Temperatura pavimento (°C) :	32.70

<b>Lecturas (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
L inicial	L25	L50	L75	L100	L final
0	2	4	6	9	12

<b>Deflexiones (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
D inicial	D25	D50	D75	D100	D final
(12-0)x4=48	(12-2)x4=40	(12-4)x4=32	(12-6)x4=24	(12-9)x4=12	(12-12)x4=0

<b>Deflexiones corregidas (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
$FCT=1/((1+8*10^{(-4)})(32.7^{\circ}-20^{\circ})x5cm)+1)=0.95165588$			$FCE=1.1$		
D inicial	D25	D50	D75	D100	D final
48x0.95x1.1=50	40x0.95x1.1=42	32x0.95x1.1=33	24x0.95x1.1=25	12x0.95x1.1=13	0x0.95x1.1=0

<b>Radio de Curvatura</b>	
$Rc=(10x25^2)/(2x(50-42))=391$	

**UNIDAD DE PRUEBA U-79**

<b>PROGRESIVA: Km 22 + 250</b>			
Ancho de calzada :	6.00 m	Relación de brazos :	4
Espesor de capa de rodadura :	5 cm	Temperatura pavimento (°C) :	32.70

<b>Lecturas (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
L inicial	L25	L50	L75	L100	L final
0	2	3	6	8	10

<b>Deflexiones (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
D inicial	D25	D50	D75	D100	D final
(10-0)x4=40	(10-2)x4=32	(10-3)x4=28	(10-6)x4=16	(10-8)x4=8	(10-10)x4=0

<b>Deflexiones corregidas (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
$FCT=1/((1+8*10^{(-4)})(32.7^{\circ}-20^{\circ})x5cm)+1)=0.95165588$			$FCE=1.1$		
D inicial	D25	D50	D75	D100	D final
40x0.95x1.1=42	32x0.95x1.1=33	28x0.95x1.1=29	16x0.95x1.1=17	8x0.95x1.1=8	0x0.95x1.1=0

<b>Radio de Curvatura</b>	
$Rc=(10x25^2)/(2x(42-33))=347$	

### UNIDAD DE PRUEBA U-80

<b>PROGRESIVA: Km 22 + 150</b>			
Ancho de calzada :	6.00 m	Relación de brazos :	4
Espesor de capa de rodadura :	5 cm	Temperatura pavimento (°C) :	31.90

<b>Lecturas (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
L inicial	L25	L50	L75	L100	L final
0	1	3	5	6	9

<b>Deflexiones (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
D inicial	D25	D50	D75	D100	D final
(9-0)x4=36	(9-1)x4=32	(9-3)x4=24	(9-5)x4=16	(9-6)x4=12	(9-9)x4=0

<b>Deflexiones corregidas (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
$FC_T=1/((1+8*10^{(-4)})x(31.9^{\circ}-20^{\circ})x5cm)+1=0.95456281$			$FC_E=1.1$		
D inicial	D25	D50	D75	D100	D final
36x0.95x1.1=38	32x0.95x1.1=34	24x0.95x1.1=25	16x0.95x1.1=17	12x0.95x1.1=13	0x0.95x1.1=0

<b>Radio de Curvatura</b>	
$R_c=(10x25^2)/(2x(38-34))=781$	

### UNIDAD DE PRUEBA U-81

<b>PROGRESIVA: Km 22 + 050</b>			
Ancho de calzada :	6.00 m	Relación de brazos :	4
Espesor de capa de rodadura :	5 cm	Temperatura pavimento (°C) :	31.90

<b>Lecturas (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
L inicial	L25	L50	L75	L100	L final
0	1	3	4	6	11

<b>Deflexiones (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
D inicial	D25	D50	D75	D100	D final
(11-0)x4=44	(11-1)x4=40	(11-3)x4=32	(11-4)x4=28	(11-6)x4=20	(11-11)x4=0

<b>Deflexiones corregidas (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
$FC_T=1/((1+8*10^{(-4)})x(31.9^{\circ}-20^{\circ})x5cm)+1=0.95456281$			$FC_E=1.1$		
D inicial	D25	D50	D75	D100	D final
44x0.95x1.1=46	40x0.95x1.1=42	32x0.95x1.1=34	28x0.95x1.1=29	20x0.95x1.1=21	0x0.95x1.1=0

<b>Radio de Curvatura</b>	
$R_c=(10x25^2)/(2x(46-42))=781$	



## UNIDAD DE PRUEBA U-82

<b>PROGRESIVA: Km 21 + 950</b>			
Ancho de calzada :	6.00 m	Relación de brazos :	4
Espesor de capa de rodadura :	5 cm	Temperatura pavimento (°C) :	31.90

<b>Lecturas (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
L inicial	L25	L50	L75	L100	L final
0	1	2	4	7	10

<b>Deflexiones (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
D inicial	D25	D50	D75	D100	D final
(10-0)x4=40	(10-1)x4=36	(10-2)x4=32	(10-4)x4=24	(10-7)x4=12	(10-10)x4=0

<b>Deflexiones corregidas (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
$FC_T=1/((1+8*10^{(-4)}x(31.9^\circ-20^\circ)x5cm)+1)=0.95456281$			$FC_E=1.1$		
D inicial	D25	D50	D75	D100	D final
40x0.95x1.1=42	36x0.95x1.1=38	32x0.95x1.1=34	24x0.95x1.1=25	12x0.95x1.1=13	0x0.95x1.1=0

<b>Radio de Curvatura</b>	
$R_c=(10x25^2)/(2x(42-38))=781$	

## UNIDAD DE PRUEBA U-83

<b>PROGRESIVA: Km 21 + 850</b>			
Ancho de calzada :	6.00 m	Relación de brazos :	4
Espesor de capa de rodadura :	5 cm	Temperatura pavimento (°C) :	31.90

<b>Lecturas (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
L inicial	L25	L50	L75	L100	L final
0	2	4	6	7	10

<b>Deflexiones (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
D inicial	D25	D50	D75	D100	D final
(10-0)x4=40	(10-2)x4=32	(10-4)x4=24	(10-6)x4=16	(10-7)x4=12	(10-10)x4=0

<b>Deflexiones corregidas (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
$FC_T=1/((1+8*10^{(-4)}x(31.9^\circ-20^\circ)x5cm)+1)=0.95456281$			$FC_E=1.1$		
D inicial	D25	D50	D75	D100	D final
40x0.95x1.1=42	32x0.95x1.1=34	24x0.95x1.1=25	16x0.95x1.1=17	12x0.95x1.1=13	0x0.95x1.1=0

<b>Radio de Curvatura</b>	
$R_c=(10x25^2)/(2x(42-34))=391$	

### UNIDAD DE PRUEBA U-84

<b>PROGRESIVA: Km 21 + 750</b>					
Ancho de calzada	:	6.00 m	Relación de brazos	:	4
Espesor de capa de rodadura	:	5 cm	Temperatura pavimento (°C)	:	31.90

<b>Lecturas (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
L inicial	L25	L50	L75	L100	L final
0	1	3	5	7	10

<b>Deflexiones (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
D inicial	D25	D50	D75	D100	D final
(10-0)x4=40	(10-1)x4=36	(10-3)x4=28	(10-5)x4=20	(10-7)x4=12	(10-10)x4=0

<b>Deflexiones corregidas (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
$FC_T=1/((1+8*10^{(-4)}x(31.9^\circ-20^\circ)x5cm)+1)=0.95456281$			$FC_E=1.1$		
D inicial	D25	D50	D75	D100	D final
40x0.95x1.1=42	36x0.95x1.1=38	28x0.95x1.1=29	20x0.95x1.1=21	12x0.95x1.1=13	0x0.95x1.1=0

<b>Radio de Curvatura</b>	
$R_c=(10x25^2)/(2x(42-38))=781$	

### UNIDAD DE PRUEBA U-85

<b>PROGRESIVA: Km 21 + 650</b>					
Ancho de calzada	:	6.00 m	Relación de brazos	:	4
Espesor de capa de rodadura	:	5 cm	Temperatura pavimento (°C)	:	26.20

<b>Lecturas (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
L inicial	L25	L50	L75	L100	L final
0	2	4	6	7	11

<b>Deflexiones (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
D inicial	D25	D50	D75	D100	D final
(11-0)x4=44	(11-2)x4=36	(11-4)x4=28	(11-6)x4=20	(11-7)x4=16	(11-11)x4=0

<b>Deflexiones corregidas (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
$FC_T=1/((1+8*10^{(-4)}x(26.20^\circ-20^\circ)x5cm)+1)=0.97580016$			$FC_E=1.1$		
D inicial	D25	D50	D75	D100	D final
44x0.98x1.1=47	36x0.98x1.1=39	28x0.98x1.1=30	20x0.98x1.1=21	16x0.98x1.1=17	0x0.98x1.1=0

<b>Radio de Curvatura</b>	
$R_c=(10x25^2)/(2x(47-39))=391$	

**UNIDAD DE PRUEBA U-86**

<b>PROGRESIVA: Km 21 + 550</b>			
Ancho de calzada :	6.00 m	Relación de brazos :	4
Espesor de capa de rodadura :	5 cm	Temperatura pavimento (°C) :	26.20

<b>Lecturas (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
Linicial	L25	L50	L75	L100	Lfinal
0	2	4	5	8	11

<b>Deflexiones (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
Dinicial	D25	D50	D75	D100	Dfinal
(11-0)x4=44	(11-2)x4=36	(11-4)x4=28	(11-5)x4=24	(11-8)x4=12	(11-11)x4=0

<b>Deflexiones corregidas (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
$FCT=1/((1+8*10^{(-4)}x(26.20^{\circ}-20^{\circ})x5cm)+1)=0.97580016$			$FCE=1.1$		
Dinicial	D25	D50	D75	D100	Dfinal
44x0.98x1.1=47	36x0.98x1.1=39	28x0.98x1.1=30	24x0.98x1.1=26	12x0.98x1.1=13	0x0.98x1.1=0

<b>Radio de Curvatura</b>	
$Rc=(10x25^2)/(2x(47-39))=391$	

**UNIDAD DE PRUEBA U-87**

<b>PROGRESIVA: Km 21 + 450</b>			
Ancho de calzada :	6.00 m	Relación de brazos :	4
Espesor de capa de rodadura :	5 cm	Temperatura pavimento (°C) :	26.20

<b>Lecturas (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
Linicial	L25	L50	L75	L100	Lfinal
0	2	4	5	7	9

<b>Deflexiones (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
Dinicial	D25	D50	D75	D100	Dfinal
(9-0)x4=36	(9-2)x4=28	(9-4)x4=20	(9-5)x4=16	(9-7)x4=8	(9-9)x4=0

<b>Deflexiones corregidas (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
$FCT=1/((1+8*10^{(-4)}x(26.20^{\circ}-20^{\circ})x5cm)+1)=0.97580016$			$FCE=1.1$		
Dinicial	D25	D50	D75	D100	Dfinal
36x0.98x1.1=39	28x0.98x1.1=30	20x0.98x1.1=21	16x0.98x1.1=17	8x0.98x1.1=9	0x0.98x1.1=0

<b>Radio de Curvatura</b>	
$Rc=(10x25^2)/(2x(39-30))=347$	

**UNIDAD DE PRUEBA U-88**

<b>PROGRESIVA: Km 21 + 350</b>					
Ancho de calzada	:	6.00 m	Relación de brazos	:	4
Espesor de capa de rodadura	:	5 cm	Temperatura pavimento (°C)	:	26.20

<b>Lecturas (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
Linicial	L25	L50	L75	L100	Lfinal
0	2	3	5	6	8

<b>Deflexiones (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
Dinicial	D25	D50	D75	D100	Dfinal
(8-0)x4=32	(8-2)x4=24	(8-3)x4=20	(8-5)x4=12	(8-6)x4=8	(8-8)x4=0

<b>Deflexiones corregidas (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
$FCT=1/((1+8*10^{(-4)}x(26.20^{\circ}-20^{\circ})x5cm)+1)=0.97580016$			$FCE=1.1$		
Dinicial	D25	D50	D75	D100	Dfinal
32x0.98x1.1=34	24x0.98x1.1=26	20x0.98x1.1=21	12x0.98x1.1=13	8x0.98x1.1=8	0x0.98x1.1=0

<b>Radio de Curvatura</b>	
$Rc=(10x25^2)/(2x(34-26))=391$	

**UNIDAD DE PRUEBA U-89**

<b>PROGRESIVA: Km 21 + 250</b>					
Ancho de calzada	:	6.00 m	Relación de brazos	:	4
Espesor de capa de rodadura	:	5 cm	Temperatura pavimento (°C)	:	26.20

<b>Lecturas (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
Linicial	L25	L50	L75	L100	Lfinal
0	2	3	4	6	8

<b>Deflexiones (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
Dinicial	D25	D50	D75	D100	Dfinal
(8-0)x4=32	(8-2)x4=24	(8-3)x4=20	(8-4)x4=16	(8-6)x4=8	(8-8)x4=0

<b>Deflexiones corregidas (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
$FCT=1/((1+8*10^{(-4)}x(26.20^{\circ}-20^{\circ})x5cm)+1)=0.97580016$			$FCE=1.1$		
Dinicial	D25	D50	D75	D100	Dfinal
32x0.98x1.1=34	24x0.98x1.1=26	20x0.98x1.1=21	16x0.98x1.1=17	8x0.98x1.1=9	0x0.98x1.1=0

<b>Radio de Curvatura</b>	
$Rc=(10x25^2)/(2x(34-26))=391$	

**UNIDAD DE PRUEBA U-90**

<b>PROGRESIVA: Km 21 + 150</b>			
Ancho de calzada :	6.00 m	Relación de brazos :	4
Espesor de capa de rodadura :	5 cm	Temperatura pavimento (°C) :	26.20

<b>Lecturas (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
L inicial	L25	L50	L75	L100	L final
0	2	4	5	6	8

<b>Deflexiones (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
D inicial	D25	D50	D75	D100	D final
(8-0)x4=32	(8-2)x4=24	(8-4)x4=16	(8-5)x4=12	(8-6)x4=8	(8-8)x4=0

<b>Deflexiones corregidas (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
$FCT=1/((1+8*10^{(-4)}x(26.20^{\circ}-20^{\circ})x5cm)+1)=0.97580016$			$FCE=1.1$		
D inicial	D25	D50	D75	D100	D final
32x0.98x1.1=34	24x0.98x1.1=26	16x0.98x1.1=17	12x0.98x1.1=13	8x0.98x1.1=9	0x0.98x1.1=0

<b>Radio de Curvatura</b>	
$Rc=(10x25^2)/(2x(34-26))=391$	

**UNIDAD DE PRUEBA U-91**

<b>PROGRESIVA: Km 21 + 050</b>			
Ancho de calzada :	6.00 m	Relación de brazos :	4
Espesor de capa de rodadura :	5 cm	Temperatura pavimento (°C) :	26.20

<b>Lecturas (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
L inicial	L25	L50	L75	L100	L final
0	2	4	6	7	9

<b>Deflexiones (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
D inicial	D25	D50	D75	D100	D final
(9-0)x4=36	(9-2)x4=28	(9-4)x4=20	(9-6)x4=12	(9-7)x4=8	(9-9)x4=0

<b>Deflexiones corregidas (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
$FCT=1/((1+8*10^{(-4)}x(26.20^{\circ}-20^{\circ})x5cm)+1)=0.97580016$			$FCE=1.1$		
D inicial	D25	D50	D75	D100	D final
36x0.98x1.1=39	28x0.98x1.1=30	20x0.98x1.1=21	12x0.98x1.1=13	8x0.98x1.1=9	0x0.98x1.1=0

<b>Radio de Curvatura</b>	
$Rc=(10x25^2)/(2x(39-30))=347$	

**UNIDAD DE PRUEBA U-92**

<b>PROGRESIVA: Km 20 + 950</b>			
Ancho de calzada :	6.00 m	Relación de brazos :	4
Espesor de capa de rodadura :	5 cm	Temperatura pavimento (°C) :	22.80

<b>Lecturas (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
L inicial	L25	L50	L75	L100	L final
0	1	3	5	7	10

<b>Deflexiones (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
D inicial	D25	D50	D75	D100	D final
(10-0)x4=40	(10-1)x4=36	(10-3)x4=28	(10-5)x4=20	(10-7)x4=12	(10-10)x4=0

<b>Deflexiones corregidas (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
$FC_T = 1 / ((1 + 8 * 10^{(-4)}) * (22.8^\circ - 20^\circ) * 5 \text{ cm}) + 1 = 0.98892405$			$FC_E = 1.1$		
D inicial	D25	D50	D75	D100	D final
40x0.99x1.1=44	36x0.99x1.1=39	28x0.99x1.1=30	20x0.99x1.1=22	12x0.99x1.1=13	0x0.99x1.1=0

<b>Radio de Curvatura</b>	
$R_c = (10 * 25^2) / (2 * (44 - 39)) = 625$	

**UNIDAD DE PRUEBA U-93**

<b>PROGRESIVA: Km 20 + 850</b>			
Ancho de calzada :	6.00 m	Relación de brazos :	4
Espesor de capa de rodadura :	5 cm	Temperatura pavimento (°C) :	22.80

<b>Lecturas (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
L inicial	L25	L50	L75	L100	L final
0	2	6	11	13	15

<b>Deflexiones (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
D inicial	D25	D50	D75	D100	D final
(15-0)x4=60	(15-2)x4=52	(15-6)x4=36	(15-11)x4=16	(15-13)x4=8	(15-15)x4=0

<b>Deflexiones corregidas (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
$FC_T = 1 / ((1 + 8 * 10^{(-4)}) * (22.8^\circ - 20^\circ) * 5 \text{ cm}) + 1 = 0.98892405$			$FC_E = 1.1$		
D inicial	D25	D50	D75	D100	D final
60x0.99x1.1=65	52x0.99x1.1=57	36x0.99x1.1=39	16x0.99x1.1=17	8x0.99x1.1=9	0x0.99x1.1=0

<b>Radio de Curvatura</b>	
$R_c = (10 * 25^2) / (2 * (65 - 57)) = 391$	

**UNIDAD DE PRUEBA U-94**

<b>PROGRESIVA: Km 20 + 750</b>					
Ancho de calzada	:	6.00 m	Relación de brazos	:	4
Espesor de capa de rodadura	:	5 cm	Temperatura pavimento (°C)	:	22.80

<b>Lecturas (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
L inicial	L25	L50	L75	L100	L final
0	3	5	10	12	14

<b>Deflexiones (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
D inicial	D25	D50	D75	D100	D final
(14-0)x4=56	(14-3)x4=44	(14-5)x4=36	(14-10)x4=16	(14-12)x4=8	(14-14)x4=0

<b>Deflexiones corregidas (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
$FC_T = 1 / ((1 + 8 \cdot 10^{-4}) \cdot (22.8^\circ - 20^\circ) \cdot 5 \text{ cm}) + 1 = 0.98892405$			$FC_E = 1.1$		
D inicial	D25	D50	D75	D100	D final
56x0.99x1.1=61	44x0.99x1.1=48	36x0.99x1.1=39	16x0.99x1.1=17	8x0.99x1.1=9	0x0.99x1.1=0

<b>Radio de Curvatura</b>	
$R_c = (10 \cdot 25^2) / (2 \cdot (61 - 48)) = 240$	

**UNIDAD DE PRUEBA U-95**

<b>PROGRESIVA: Km 20 + 650</b>					
Ancho de calzada	:	6.00 m	Relación de brazos	:	4
Espesor de capa de rodadura	:	5 cm	Temperatura pavimento (°C)	:	22.80

<b>Lecturas (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
L inicial	L25	L50	L75	L100	L final
0	2	6	10	13	15

<b>Deflexiones (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
D inicial	D25	D50	D75	D100	D final
(15-0)x4=60	(15-2)x4=52	(15-6)x4=36	(15-10)x4=20	(15-13)x4=8	(15-15)x4=0

<b>Deflexiones corregidas (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
$FC_T = 1 / ((1 + 8 \cdot 10^{-4}) \cdot (22.8^\circ - 20^\circ) \cdot 5 \text{ cm}) + 1 = 0.98892405$			$FC_E = 1.1$		
D inicial	D25	D50	D75	D100	D final
60x0.99x1.1=65	52x0.99x1.1=57	36x0.99x1.1=39	20x0.99x1.1=22	8x0.99x1.1=9	0x0.99x1.1=0

<b>Radio de Curvatura</b>	
$R_c = (10 \cdot 25^2) / (2 \cdot (65 - 57)) = 391$	

**UNIDAD DE PRUEBA U-96**

<b>PROGRESIVA: Km 20 + 550</b>					
Ancho de calzada	:	6.00 m	Relación de brazos	:	4
Espesor de capa de rodadura	:	5 cm	Temperatura pavimento (°C)	:	22.80

<b>Lecturas (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
L inicial	L25	L50	L75	L100	L final
0	3	6	11	13	14

<b>Deflexiones (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
D inicial	D25	D50	D75	D100	D final
(14-0)x4=56	(14-3)x4=44	(14-6)x4=32	(14-11)x4=12	(14-13)x4=4	(14-14)x4=0

<b>Deflexiones corregidas (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
$FCT=1/((1+8*10^{(-4)}x(22.8^{\circ}-20^{\circ})x5cm)+1)=0.98892405$			$FCE=1.1$		
D inicial	D25	D50	D75	D100	D final
56x0.99x1.1=61	44x0.99x1.1=48	32x0.99x1.1=35	12x0.99x1.1=13	4x0.99x1.1=4	0x0.99x1.1=0

<b>Radio de Curvatura</b>	
$Rc=(10x25^2)/(2x(61-48))=240$	

**UNIDAD DE PRUEBA U-97**

<b>PROGRESIVA: Km 20 + 450</b>					
Ancho de calzada	:	6.00 m	Relación de brazos	:	4
Espesor de capa de rodadura	:	5 cm	Temperatura pavimento (°C)	:	20.10

<b>Lecturas (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
L inicial	L25	L50	L75	L100	L final
0	2	3	5	7	10

<b>Deflexiones (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
D inicial	D25	D50	D75	D100	D final
(10-0)x4=40	(10-2)x4=32	(10-3)x4=28	(10-5)x4=20	(10-7)x4=12	(10-10)x4=0

<b>Deflexiones corregidas (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
$FCT=1/((1+8*10^{(-4)}x(20.1^{\circ}-20^{\circ})x5cm)+1)=0.99960016$			$FCE=1.1$		
D inicial	D25	D50	D75	D100	D final
40x1x1.1=44	32x1x1.1=35	28x1x1.1=31	20x1x1.1=22	12x1x1.1=13	0x1x1.1=0

<b>Radio de Curvatura</b>	
$Rc=(10x25^2)/(2x(44-35))=347$	



**UNIDAD DE PRUEBA U-98**

<b>PROGRESIVA: Km 20 + 350</b>					
Ancho de calzada	:	6.00 m	Relación de brazos	:	4
Espesor de capa de rodadura	:	5 cm	Temperatura pavimento (°C)	:	20.10

<b>Lecturas (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
Linicial	L25	L50	L75	L100	Lfinal
0	3	4	6	7	10

<b>Deflexiones (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
Dinicial	D25	D50	D75	D100	Dfinal
(10-0)x4=40	(10-3)x4=28	(10-4)x4=24	(10-6)x4=16	(10-7)x4=12	(10-10)x4=0

<b>Deflexiones corregidas (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
$FC_T = 1 / ((1 + 8 * 10^{(-4)}) * (20.1^\circ - 20^\circ) * 5 \text{ cm}) + 1 = 0.99960016$			$FC_E = 1.1$		
Dinicial	D25	D50	D75	D100	Dfinal
40x1x1.1=44	28x1x1.1=31	24x1x1.1=26	16x1x1.1=18	12x1x1.1=13	0x1x1.1=0

<b>Radio de Curvatura</b>	
$R_c = (10 * 25^2) / (2 * (44 - 31)) = 240$	

**UNIDAD DE PRUEBA U-99**

<b>PROGRESIVA: Km 20 + 250</b>					
Ancho de calzada	:	6.00 m	Relación de brazos	:	4
Espesor de capa de rodadura	:	5 cm	Temperatura pavimento (°C)	:	20.10

<b>Lecturas (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
Linicial	L25	L50	L75	L100	Lfinal
0	1	3	5	7	9

<b>Deflexiones (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
Dinicial	D25	D50	D75	D100	Dfinal
(9-0)x4=36	(9-1)x4=32	(9-3)x4=24	(9-5)x4=16	(9-7)x4=8	(9-9)x4=0

<b>Deflexiones corregidas (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
$FC_T = 1 / ((1 + 8 * 10^{(-4)}) * (20.1^\circ - 20^\circ) * 5 \text{ cm}) + 1 = 0.99960016$			$FC_E = 1.1$		
Dinicial	D25	D50	D75	D100	Dfinal
36x1x1.1=40	32x1x1.1=35	24x1x1.1=26	16x1x1.1=18	8x1x1.1=9	0x1x1.1=0

<b>Radio de Curvatura</b>	
$R_c = (10 * 25^2) / (2 * (40 - 35)) = 625$	

### UNIDAD DE PRUEBA U-100

<b>PROGRESIVA: Km 20 + 150</b>			
Ancho de calzada :	6.00 m	Relación de brazos :	4
Espesor de capa de rodadura :	5 cm	Temperatura pavimento (°C) :	20.10

<b>Lecturas (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
Linicial	L25	L50	L75	L100	Lfinal
0	2	3	4	5	8

<b>Deflexiones (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
Dinicial	D25	D50	D75	D100	Dfinal
(8-0)x4=32	(8-2)x4=24	(8-3)x4=20	(8-4)x4=16	(8-5)x4=12	(8-8)x4=0

<b>Deflexiones corregidas (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
$FC_T=1/((1+8*10^{(-4)})x(20.1^\circ-20^\circ)x5cm)+1=0.99960016$			$FC_E=1.1$		
Dinicial	D25	D50	D75	D100	Dfinal
32x1x1.1=35	24x1x1.1=26	20x1x1.1=22	16x1x1.1=18	12x1x1.1=13	0x1x1.1=0

<b>Radio de Curvatura</b>	
$Rc=(10x25^2)/(2x(35-26))=347$	

### UNIDAD DE PRUEBA U-101

<b>PROGRESIVA: Km 20 + 050</b>			
Ancho de calzada :	6.00 m	Relación de brazos :	4
Espesor de capa de rodadura :	5 cm	Temperatura pavimento (°C) :	20.10

<b>Lecturas (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
Linicial	L25	L50	L75	L100	Lfinal
0	2	3	4	6	8

<b>Deflexiones (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
Dinicial	D25	D50	D75	D100	Dfinal
(8-0)x4=32	(8-2)x4=24	(8-3)x4=20	(8-4)x4=16	(8-6)x4=8	(8-8)x4=0

<b>Deflexiones corregidas (x10<sup>-2</sup> mm.)</b>					
$FC_T=1/((1+8*10^{(-4)})x(20.1^\circ-20^\circ)x5cm)+1=0.99960016$			$FC_E=1.1$		
Dinicial	D25	D50	D75	D100	Dfinal
32x1x1.1=35	24x1x1.1=26	20x1x1.1=22	16x1x1.1=18	8x1x1.1=9	0x1x1.1=0

<b>Radio de Curvatura</b>	
$Rc=(10x25^2)/(2x(35-26))=347$	

**ANEXO 6**  
**PLANO DE UBICACIÓN**



**ANEXO 7**  
**PLANO DE SECCIONES TÍPICAS**





**ANEXO 8**  
**PLANO DE UBICACIÓN DE PRUEBAS**







## **ANEXO 9**

PLANO DE RESULTADOS: DEFLEXIONES  $D_0$