

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL**



**EVALUACION DEL PAVIMENTO CON VIGA BENKELMAN  
METODO EMPIRICO  
CARRETERA CAÑETE - CHUPACA  
METODOLOGÍA DE DISCRIMINACIÓN DE DATOS**

**INFORME DE SUFICIENCIA**

**Para optar el Título Profesional de:**

**INGENIERO CIVIL**

**JOEL SANTIAGO MANRIQUE SÁNCHEZ**

**Lima- Perú**

**2011**

Dedico el presente trabajo a mis padres que me vieron nacer y que su enseñanza y sus buenas costumbres han creado en mi sabiduría haciendo que hoy tenga el conocimiento de lo que soy.

Con respeto y admiración a mis padres:

Santiago Manrique Castillo

y

Elina Sánchez Jara

## INDICE

<b>RESUMEN</b>	3
LISTA DE CUADROS	4
LISTA DE FIGURAS	4
LISTA DE SIMBOLOS Y DE SIGLAS	5
<b>INTRODUCCIÓN</b>	7
<b>CAPÍTULO I.- GENERALIDADES</b>	
1.1 ANTECEDENTES	8
1.2 UBICACIÓN DE LA CARRETERA	9
1.3 CARACTERÍSTICAS DE LA CARRETERA	9
1.4 TRAMO EN ESTUDIO	11
1.5 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	14
1.6 OBJETIVOS	14
<b>CAPÍTULO II.- ESTADO DEL ARTE</b>	
2.1 ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS	15
2.1.1 Viga Benkelman	15
2.1.2 Dynaflec	15
2.1.3 Road Rater	16
2.1.4 RDD	17
2.1.5 FWD (Falling-Weight deflectometer)	17
2.1.6 KUAB-FWD	18
2.2 DISCRIMINACIÓN DE DATOS	19
<b>CAPÍTULO III.- MARCO TEÓRICO</b>	
3.1 EVALUACIÓN ESTRUCTURAL	21
3.2 DEFLECTOMETRÍA MÉTODO EMPÍRICO CONREVIAl	21
3.2.1 Medición de Deflexiones Benkelman	22
3.2.2 Corrección por Temperatura	24
3.2.3 Corrección por Estacionalidad	25
3.2.4 Cálculo del Radio de Curvatura	25
3.2.5 Análisis Estadístico de las Deflexiones	26
3.2.6 Deflexión Característica	26

3.2.7 Deflexión Admisible	29
3.2.8 Gráficas Deflectométricas	29
3.2.9 Juicio de la Capacidad Estructural del Pavimento	30
3.3 TEORÍA ESTADÍSTICA DE DISCRIMINACIÓN	30
3.3.1 Análisis Exploratorio de Datos	30
3.3.2 Preparación de Datos	30
3.3.3 Estudio de la Normalidad	31
3.3.4 Métodos Gráficos	32
3.3.5 Metodología de Discriminación de Datos	34
<b>CAPÍTULO IV.-APLICACIÓN AL TRAMO KM 74+000 – 84+000</b>	
4.1 RECOPIACIÓN DE DATOS	37
4.2 PROCESAMIENTO DE DATOS	37
<b>CAPÍTULO V.-ANÁLISIS DE RESULTADOS</b>	
5.1 GRÁFICOS DE DEFLECTOGRAMA	62
5.2 SECTORIZACIÓN DEL TRAMO EN ESTUDIO	65
5.3 ANÁLISIS DE DEFLEXIONES	66
<b>CONCLUSIONES</b>	67
<b>RECOMENDACIONES</b>	69
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	70
<b>ANEXOS</b>	

## RESUMEN

Al estudiar las deflexiones encontradas con la Viga Benkelman a lo largo de la vía en estudio, se observa que los datos obtenidos no son homogéneos, error que se incurre al trabajar con todos los datos como un solo sector y no como sectores diferentes que es lo que se presenta mayormente en el comportamiento de las deflexiones.

Hoy en día; en el Perú, son escasos los estudios relacionados a encontrar sectores homogéneos de las deflexiones, es ahí que nace la necesidad de encontrar una metodología con este fin.

Por otro lado, en el cálculo de las deflexiones características, el CONREVIAl determina una expresión para su cálculo, el cual es válido si los datos siguen una distribución normal, faltando una expresión cuando las distribuciones son no normales.

Observando estos dos problemas el Informe de Suficiencia desarrolla una serie de pasos de tal manera que da solución a la homogenización de datos y cálculo de las deflexiones características para distribuciones no normales.

El punto de partida para una homogenización es tener definido los sectores a estudiar, para luego estudiar la normalidad de cada uno de ellos.

El estudio de la normalidad es importante, debido a que va a definir el método a usar para la homogenización y el cálculo de la deflexión característica.

Para sectores normales, es suficiente realizar la homogenización comparando los parámetros estadísticos como la media, mediana y la desviación estandar de cada uno de ellos. La deflexión característica será calculada de acuerdo al método CONREVIAl.

En sectores no normales, se homogenizará con el Test de Mann-Whitney, el cual se puede emplear también para datos normales. En cuanto a la deflexión característica se calculará con el programa Bootstrap.

## LISTA DE CUADROS

Cuadro N°1.01 – Principales poblados que cruza la carretera .....	11
Cuadro N°1.02 – Tramificación y estado de la carretera en estudio .....	12
Cuadro N°3.01 – Factores de corrección por estacionalidad.....	25
Cuadro N°4.01a – Frecuencia de datos Sector i 1 .....	39
Cuadro N°4.01b – Frecuencia de datos acumulados .....	39
Cuadro N°4.02a – Tabla de percentiles datos reales .....	41
Cuadro N°4.02b – Tabla de percentiles distribución normal.....	41
Cuadro N°4.03 – Tipo de distribución por carril y sector .....	52
Cuadro N°4.04 – Parámetros estadísticos de cada sector i del año 2010 .....	52
Cuadro N°4.05 – Matriz de sectores homogéneos carril izquierdo 2010 .....	53
Cuadro N°4.06 – Deflexiones del Sector i1 y Sector i2 año 2010.....	55
Cuadro N°4.07 – Rango de deflexiones año 2010 .....	55
Cuadro N°4.08 – Sectorización final, después de la homogenización.....	56
Cuadro N°4.09 – Deflexión característica 2010 por sector inicial y final.....	57
Cuadro N°4.10 – Deflexión característica 2009-2010 por sector final .....	60
Cuadro N°4.11 – Radios característicos por sector homogéneo .....	60
Cuadro N°4.12 – Deflexión admisible .....	61
Cuadro N°4.13 – Resumen de resultados carril izquierdo.....	61
Cuadro N°4.11 – Resumen de resultados carril derecho .....	61

## LISTA DE FIGURAS

Figura N°1.01 – Plano clave .....	10
Figura N°1.02 – Panel fotográfico de la sectorización.....	13
Figura N°2.01 – Empleo de la Viga Benkelman .....	15
Figura N°2.02 – Equipo Dynaflec.....	16
Figura N°2.03 – Equipo Road Rater.....	16
Figura N°2.04 – Equipo DRR.....	17
Figura N°2.05 – Equipo Falling-Weight deflectometer.....	17
Figura N°2.06 – Equipo KUAB - FWD .....	18
Figura N°3.01 – Tipos de deflexiones .....	21
Figura N°3.02 – Ubicación de la Viga Benkelman.....	23
Figura N°3.03 – Procedimiento de mediciones deflectométricas.....	23

Figura N°3.04 – Dc distribución normal.....	27
Figura N°3.05 – Rango P-Value.....	32
Figura N°3.06 – Histograma.....	32
Figura N°3.07 – Gráfica de probabilidades Q-Q.....	33
Figura N°3.08 – Distribución normal .....	33
Figura N°3.09 – Diagrama de flujos para discriminación de datos .....	36
Figura N°4.01 – Sectorización inicial de acuerdo a las progresivas .....	38
Figura N°4.02 – Histograma.....	40
Figura N°4.03 – Interpretación de percentiles .....	40
Figura N°4.04 – Gráfica de probabilidades Q-Q Sector i1 C.I. 2010.....	42
Figura N°4.05a – Histograma Sector i 2, carril izquierdo 2010.....	43
Figura N°4.05b – Gráfica de probabilidades Q-Q Sector i 2, C.I. 2010.....	43
Figura N°4.06a – Histograma Sector i 3, carril izquierdo 2010.....	44
Figura N°4.06b – Gráfica de probabilidades Q-Q Sector i 3, C.I. 2010.....	44
Figura N°4.07a – Histograma Sector i 4, carril izquierdo 2010 .....	45
Figura N°4.07b – Gráfica de probabilidades Q-Q Sector i 4, C.I. 2010.....	45
Figura N°4.08a – Histograma Sector i 5, carril izquierdo 2010.....	46
Figura N°4.08b – Gráfica de probabilidades Q-Q Sector i 5, C.I. 2010.....	46
Figura N°4.09a – Histograma Sector i 1, carril derecho 2010.....	47
Figura N°4.09b – Gráfica de probabilidades Q-Q Sector i 1, C.D. 2010.....	47
Figura N°4.10a – Histograma Sector i 2, carril derecho 2010.....	48
Figura N°4.10b – Gráfica de probabilidades Q-Q Sector i 2, C.D. 2010 .....	48
Figura N°4.11a – Histograma Sector i 3, carril derecho 2010.....	49
Figura N°4.11b – Gráfica de probabilidades Q-Q Sector i 3, C.D. 2010 .....	49
Figura N°4.12a – Histograma Sector i 4, carril derecho 2010.....	50
Figura N°4.12b – Gráfica de probabilidades Q-Q Sector i 4, C.D. ....	50
Figura N°4.13a – Histograma Sector i 5, carril derecho 2010.....	51
Figura N°4.13b – Gráfica de probabilidades Q-Q Sector i 5, C.D. 2010 .....	51
Figura N°4.14 – Gráfica de probabilidades Sector f 1 2009 c.i.....	58
Figura N°4.15 – Gráfica de probabilidades Sector f 1 2009 c.d.....	58
Figura N°4.16a – Bootstrap carril izquierdo 2009.....	59
Figura N°4.16b – Bootstrap carril derecho 2009. ....	59
Figura N°5.01 – Deflectograma datos 2010 carril izquierdo. ....	62
Figura N°5.02 – Deflectograma datos 2010 carril derecho.....	63
Figura N°5.03 – Deflectograma datos 2009 carril izquierdo. ....	64

Figura N°5.04 – Deflectograma datos 2009 carril derecho.....	64
Figura N°5.05a – Deflexión características en carril izquierdo 2010.....	65
Figura N°5.05b – Deflexión características en carril derecho 2010. ....	66

### LISTA DE SIMBOLOS Y DE SIGLAS

AED	Análisis exploratorio de datos.
CI	Carril izquierdo.
CD	Carril derecho.
Di	Deflexión en el punto i.
Dp	Deflexión permanente.
D	Deflexión promedio.
Dt	Deflexión total.
Dr	Deflexión recuperable.
Dp	Deflexión permanente.
D a	Deflexión admisible.
D c	Deflexión característica.
e	Espesor de la carpeta asfáltica (cm)
Rc	Radio de curvatura.
Rcc	Radio de curvatura característico de un sector determinado.
t	Temperatura.
n	Numero de datos.
IC	Intervalos de confianza.
MTC	Ministerio de Transportes y Comunicaciones.
NEE	Número de ejes equivalentes
Sector i	Sector inicial, antes de la homogenización.
Sector f	Sector final, después de la homogenización.



## INTRODUCCIÓN

El presente Informe de Suficiencia se realizó con la finalidad de obtener una metodología para encontrar sectores homogéneos, en función de las deflexiones encontradas con la Viga Benkelman al aplicar una carga estandarizada sobre la vía.

Para llegar a tal objetivo se tiene como base la metodología del CONREVIAl combinados con una serie de técnicas estadísticas como las que se explican en cada capítulo del Informe.

El informe consta de cinco capítulos de los que se resumen a continuación:

En el Capítulo I se desarrollan las generalidades de la carretera, los antecedentes y ubicación de la carretera en estudio, así como el planteamiento del problema y objetivos, para la realización de este capítulo se buscó información de diferentes fuentes como tesis anteriores que hayan realizado estudio en dicho tramo, así como información del MTC.

El estado del arte referente a la Viga Benkelman se menciona en el Capítulo II, así como las diferentes técnicas estadísticas que se emplean para la discriminación de datos, y los programas estadísticos más usados que facilitan los cálculos requeridos para tal fin.

En el Capítulo III se hace mención a la metodología para obtener y corregir los datos obtenidos con la Viga Benkelman, además de la teoría necesaria para llegar a la discriminación de dichos datos. Para esto se recolecto información de diferentes libros de estadística descriptiva y aplicada así como la asesoría especializada del doctor Luis Navarro Huamaní.

Finalmente en los Capítulo IV y V se aplicó todo lo relacionado al Capítulo III donde se llegó a obtener los sectores homogéneos, para luego analizar mediante gráficos y cuadros los resultados.

## **CAPÍTULO I.- GENERALIDADES**

### **1.1 ANTECEDENTES**

La “Metodología de Discriminación de Datos” se basa en un conjunto de Técnicas Estadísticas cuya finalidad es conseguir un entendimiento básico de los datos y de las relaciones existentes entre las variables analizadas, proporcionando métodos sistemáticos sencillos para organizar y preparar los datos, de tal manera que se pueda sectorizar la vía en estudio, para luego encontrar sectores homogéneos, es decir con características de deflexiones similares. Siendo estos datos las deflexiones máximas tomadas con la metodología de la Viga Benkelman.

Entre las diferentes técnicas estadísticas que se usan para la discriminación de datos se puede nombrar las siguientes:

Análisis estadístico unidimensional.

Estudio de la Normalidad.

Análisis estadístico bidimensional.

Estadística no paramétrica.

Estas técnicas estadísticas se basan principalmente en métodos gráficos y matemáticos.

Entre los métodos gráficos se nombran los histogramas, diagrama de cajas, diagrama de probabilidades y entre los matemáticos se nombran a los contrastes de hipótesis como el test de Kolmotov-Smirnov y el contraste de Shapiro y Wilks. Cabe mencionar que en la actualidad existen paquetes estadísticos que ayudan al estudio de las técnicas estadísticas como el MINITAB, S-PLUS, MATLAB.

En la recolección de información para este Informe de Suficiencia se ha podido observar que dichos estudios estadísticos para la Discriminación de Datos, están más orientados a datos económicos de países, crecimientos poblacionales y diferentes campos de la problemática social, dando muy poco campo de estudio a la rama de la ingeniería de vías de transportes y comunicaciones, sin embargo

se puede buscar relaciones entre los mismos de tal manera que podamos encontrar una metodología de Discriminación de Datos con el uso de estas técnicas estadísticas para las deflexiones máximas obtenidas con la Viga Benkelman.

## **1.2 UBICACIÓN DE LA CARRETERA**

La carretera Cañete – Chupaca, se encuentra ubicada en los departamentos de Lima y Junín, con una longitud de 271,726 Km. Esta carretera está dentro de la cuenca del río cañete, presentando una pendiente promedio de 2%, sin embargo, presenta sectores en donde la pendiente es más pronunciada llegando hasta 8%, especialmente en la zona alta.

Se considera como punto de inicio de la carretera, la ciudad de Cañete Km 1+805 con una altitud de 71 msnm y como punto de término el poblado de Chupaca Km 273+532 con una altitud: 3270 msnm.

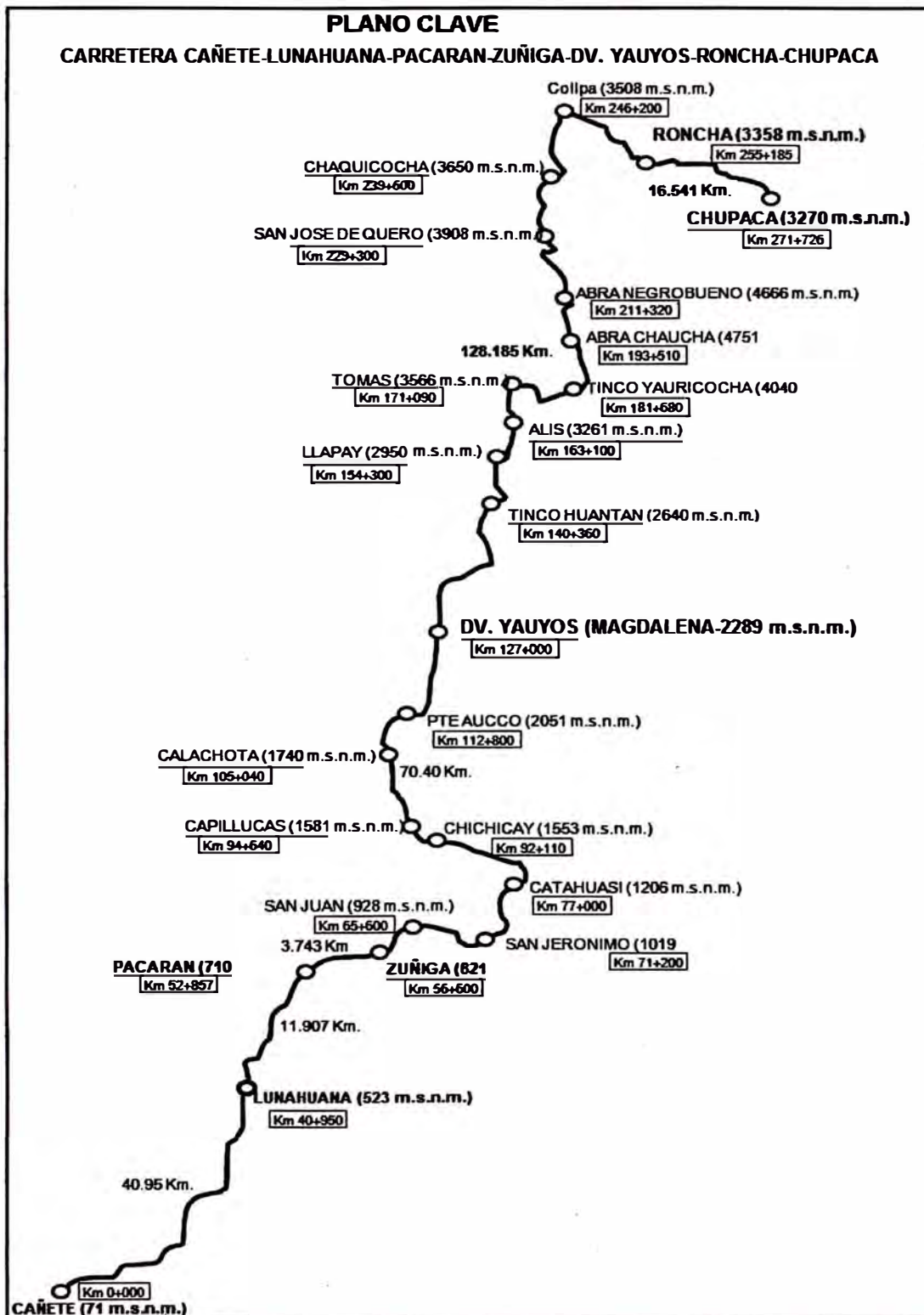
Para el estudio de este Informe de Suficiencia se ha tomado como tramo de estudio los km 74+000 al 84+000. Indicando sus características geográficas y las deflexiones obtenidas con la Viga Benkelman

## **1.3 CARACTERÍSTICAS DE LA CARRETERA**

La carretera Cañete – Chupaca es una carretera de 3er Orden y pertenece al corredor vial N°13, atraviesa diferentes regiones de la Geografía del Perú, siendo los poblados principales, los que se aprecian en la Figura N°1.01 Plano Clave y en el Cuadro N° 1.01.

Este plano fue proporcionado por la Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Ingeniería.

Figura N°1.01 Plano Clave



Fuente: Escuela Profesional FIC.

Cuadro N°1.01: Principales poblados que cruza la carretera

<b>Región</b>	<b>Poblados</b>
Yunga (500-2300 msnm)	Cañete, Lunahuana, Pacarán, Catahuasi.
Quechua (2300-3500 msnm)	Tingo Huantan, Ronchas, Chupaca
Suni o Jalca (3500-4000 msnm)	San José de Quero, Chaquicocha.
Puna (4000-4800 msnm)	Abra Chaucha, Abra Negro Bueno

*Fuente: Elaboración propia*

#### **1.4 TRAMO EN ESTUDIO**

El tramo en estudio de la carretera se encuentra comprendido entre los kilómetros 74 +000 y 84 + 000, en el cual se encuentra pavimentada con una superficie de rodadura adecuada, bordeado por un sistema de drenaje el cual no es suficiente para evacuar el agua de las lluvias y/o provocado por los pobladores que habitan en algunos sectores de la vía.

La vía presenta problemas de inestabilidad de taludes y erosión en algunas zonas de su recorrido, así como también el cruce de algunos elementos inmersos en la base como tuberías de alcantarillado.

En la vía en estudio, se ha identificado las zonas donde se concentra la población, debido que puede ser un factor determinante en las deflexiones obtenidas en campo.

Para un estudio más detallado, el tramo en estudio se está dividiendo en 5 sectores de igual longitud, donde se identifica sus características físicas, ambientales, y geográficas como se muestra en el cuadro 1.02.

Cuadro N°1.02: Tramificación y estado de la carretera en estudio





<b>Tramo km</b>	<b>Vía</b>	<b>Longitud</b>	<b>Estado de la carretera.</b>
Km 74+000 – 75+800	Tratamiento superficial Slurry Seal	1.800 km	Superficie en buen estado, y anchos variables, existencia de señalización en el tramo. Problemas de inestabilidad de taludes, canaleta al borde de la vía, suelo desértico.
Km 76+000 – 77+800	Tratamiento superficial Slurry Seal	1.800 km	Superficie en buen estado, existencia de señalización en el tramo. Presencia vegetal, cruces de elementos inmersos en la vía como tubería de alcantarillado, canaleta al borde de la vía.
Km 78+000 – 79+800	Tratamiento superficial Slurry Seal	1.800 km	Superficie en buen estado, falta de un sistema de drenaje, presencia de habilitaciones urbanas, concentración vehicular.
Km 80+000 – 81+800	Tratamiento superficial Slurry Seal	1.800 km	Superficie en buen estado, poca presencia de habilitaciones urbanas, alta presencia vegetal, falta de un sistema de drenaje, no hay presencia de taludes.
Km 82+000 – 84+000	Tratamiento superficial Slurry Seal	2.000 km	Superficie en buen estado y anchos variables, poca presencia de habilitaciones urbanas, zonas con poca presencia vegetal, falta de un sistema adecuado de drenaje, y taludes.

Fuente: Elaboración propia

Esta tramificación se hizo tomando como base la sectorización explicada en el capítulo IV, siendo representada por un panel fotográfico, figura 1.02.



Figura N°1.02 Panel fotográfico de las sectorizaciones

TRAMO	SECTOR	FOTOS	
Km 74+000 – 75+800	SECTOR 1		
Foto 1: Suelo arenoso con presencia de rocas, canaleta al borde de la vía			
Km 76+000 – 77+800	SECTOR 2		
Foto 2: Precencia vegetal, suelo arcilloso, canaleta a lo largo de la vía.			
Km 78+000 – 79+800	SECTOR 3		
Foto 3: Zona urbana, concentracion vehicular, precencia de puente.			
Km 80+000 – 81+800	SECTOR 4		
Foto 4: Alta precencia vegetal, suelo estable, sin taludes.			
Km 82+000 – 84+000	SECTOR 5		
Foto 5: desérticos, mínima presencia vegetal, deficiente evacuacion de agua.			

Fuente: Elaboración propia

## 1.5 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El trabajo se basa en datos empíricos recopilados en campo con la Viga Benkelman, es allí que estos datos son sensibles a errores sistemáticos y/o aleatorios.

Los datos de las deflexiones recopiladas a lo largo de la carretera no son homogéneos, consideración que conlleva a errores al calcular el promedio total de las deflexiones, como si fuera un solo sector. Para esto es necesaria una sectorización adecuada de la vía.

Además el cálculo de la deflexión característica depende de un parámetro estadístico que es la *t de student*, cuyo uso era válido siempre y cuando la distribución que tomen los datos sea normal. Pero, ¿Qué hacer en el caso en que los datos no sigan una distribución normal?, para esto es necesario plantear un método estadístico diferente al planteado por el CONREVIAl.

## 1.6 OBJETIVOS

### Objetivo General

Realizar la Discriminación de Datos en la evaluación estructural del pavimento con el uso de la Viga Benckelman, de tal manera que se pueda encontrar sectores homogéneos.

### Objetivo Específico

- Evaluación de la Normalidad con el empleo de métodos gráficos y parámetros estadísticos.
- Sectorización de datos de la vía en estudio y cálculo de la deflexión característica por sectores.



## CAPÍTULO II.- ESTADO DEL ARTE

### 2.1 ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS

Son aquellos que se realizan, sin la necesidad de realizar calicatas o perforaciones en la vía, mediante el uso de equipos especializados en medir deformaciones del terreno a través de las aplicaciones de cargas estáticas y/o dinámicas.

#### 2.1.1 Viga Benkelman

Es un instrumento manual que consta de 02 brazos, uno que va en contacto con el terreno y el otro que sirve de pivote donde se realizan las mediciones producidas por una carga estática normalizada.

Figura 2.01 Empleo de la viga Benkelman



*Fuente: Tesis de Maestría, Modelación Geotécnica de Pavimento Flexible con Fines de Análisis y Diseño en el Perú, Ing. Wilfredo Gutierrez, 2007*

#### 2.1.2 Dynaflec

Es un sistema acoplado, montado y puede ser remolcado por un vehículo estándar. Cuenta con un peso estático de 2000 a 2100 libras (8.9 KN a 9.3 KN) el cual se aplica al pavimento con un par de ruedas de acero rígidas. Un generador dinámico se utiliza para producir una fuerza de hasta 4.45 KN.

Figura 2.02 Equipo Dynaflec

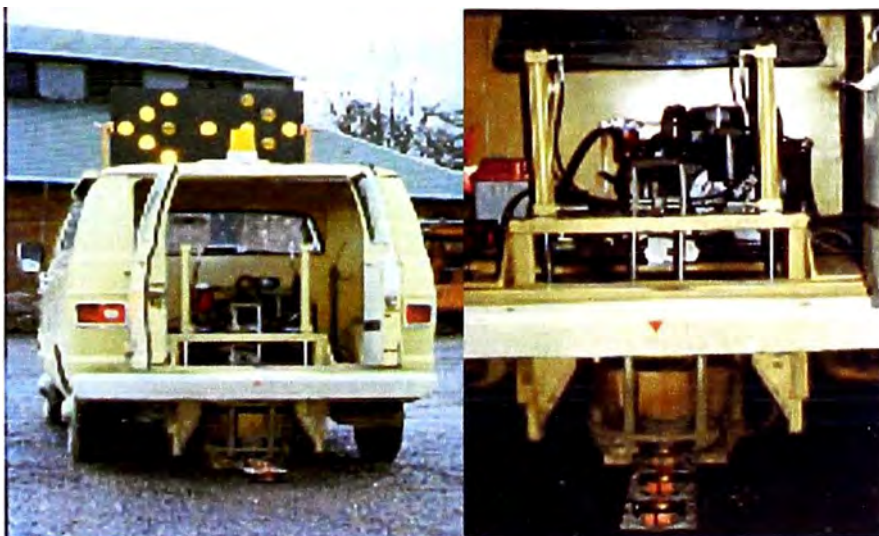


Fuente: [http://training.ce.washington.edu/WSDOT/Modules/09\\_pavement\\_evaluation/09-5\\_body.htm](http://training.ce.washington.edu/WSDOT/Modules/09_pavement_evaluation/09-5_body.htm), 2009

### 2.1.3 Road Rater

Existen varios modelos, los cuales varían fundamentalmente en la magnitud de las cargas estáticas y dinámicas; emplea cuatro sensores para medir la deflexión base. El dispositivo se traslada al lugar de la prueba, donde se coloca la placa de carga y los sensores de deflexión los cuales se colocan sobre el pavimento; una vez finalizada la prueba, la placa y los sensores se levantan del pavimento y el dispositivo está listo para ser trasladado al siguiente punto de prueba.

Figura 2.03 Equipo Road Rater

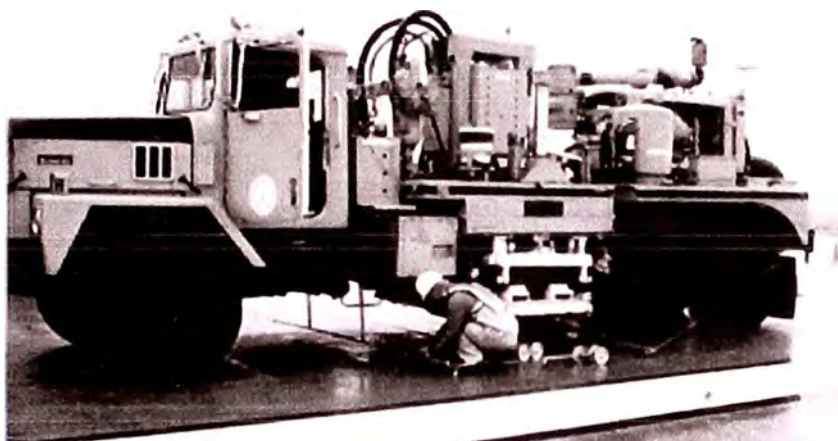


Fuente: [http://training.ce.washington.edu/WSDOT/Modules/09\\_pavement\\_evaluation/09-5\\_body.htm](http://training.ce.washington.edu/WSDOT/Modules/09_pavement_evaluation/09-5_body.htm), 2009

### 2.1.4 RDD

El deflectómetro dinámico de balanceo (RDD) es una herramienta para determinar las condiciones del pavimento. Su principal característica es que trabaja con perfiles continuos de deflexiones.

Figura 2.04 Equipo DRR



*Fuente: PROJECT SUMMARY REPORT 1422-3F, DEVELOPMENT OF A ROLLING DYNAMIC DEFLECTOMETER FOR CONTINUOUS DEFLECTION TESTING OF PAVEMENTS, Mayo 1998*

### 2.1.5 FWD (Falling- Weight deflectometer)

El falling- weight deflectometer, empleado frecuentemente en Estados Unidos, es el sistema Dynatest modelo 8000. La fuerza de impulso es creada soltando un peso sobre una placa que va apoyada en el pavimento. Este instrumento permite medir las deflexiones del pavimento producidas por una carga senosoidal.

Figura 2.05 Equipo Falling- Weight deflectometer



*Fuente: [http://training.ce.washington.edu/WSDOT/Modules/09\\_pavement\\_evaluation/09-5\\_body.htm](http://training.ce.washington.edu/WSDOT/Modules/09_pavement_evaluation/09-5_body.htm), 2009*



Continuación de la figura 2.05 Equipo Falling- Weight deflectometer



Fuente: [http://training.ce.washington.edu/WSDOT/Modules/09\\_pavement\\_evaluation/09-5\\_body.htm](http://training.ce.washington.edu/WSDOT/Modules/09_pavement_evaluation/09-5_body.htm), 2009

### 2.1.6 KUAB - FWD

La fuerza de impulso es producida por dos pesos soltados de diferentes alturas. El sistema de pesos se emplea para generar una subida gradual de un pulso de fuerza sobre el pavimento, para detectar rigidez adecuada de la subrasante, a partir de los desplazamientos verticales de la misma.

Figura 2.06 Equipo KUAB - FWD



Fuente: [http://training.ce.washington.edu/WSDOT/Modules/09\\_pavement\\_evaluation/09-5\\_body.htm](http://training.ce.washington.edu/WSDOT/Modules/09_pavement_evaluation/09-5_body.htm), 2009

## 2.2 DISCRIMINACIÓN DE DATOS

Respecto a la metodología de discriminación de datos, hay muy pocos estudios relacionados en esta rama de la ingeniería, dándose las mayores aplicaciones en economía, minas y en medicina por mencionar a algunas.

En forma general, el método para llegar a una discriminación de datos es el mismo en muchas aplicaciones. Para esto se requiere de técnicas estadísticas por medio de gráficas y cálculos estadísticos, estos cálculos se hacen fáciles gracias a la existencia de programas como los descritos a continuación.

### **MINITAB**

Es un programa de computadora diseñado para ejecutar funciones estadísticas básicas y avanzadas. Combina amigablemente del uso de Microsoft Excel con la capacidad de ejecución de análisis estadísticos. En 1972, instructores del programa de análisis estadísticos de la Universidad Estatal de Pennsylvania (Pennsylvania State University) desarrollaron MINITAB como una versión ligera de OMNITAB, un programa de análisis estadístico del Instituto Nacional de Estándares y Tecnología (NIST) de los Estados Unidos.

### **BOOTSTRAP**

Debe su nombre y su formulación original a Bradley Efron (1979). Constituye la línea más desarrollada, tanto desde el punto de vista teórico como aplicado, de una variedad de técnicas para la inferencia estadística denominadas genéricamente “métodos de remuestreo” entre las que se encuentran la permutación estocástica, y la validación cruzada. Son básicamente técnicas de simulación que reutilizan los datos observados para constituir un universo del cual extraer repetidas muestras.

### **S-PLUS**

Es una herramienta diseñada para el estudio y análisis estadístico compuesta por diversos módulos que seccionan sus distintas funciones.

Por un lado, genera informes a partir de datos variables; luego destaca los medios más convenientes para el análisis de dichos valores; y por último, vincula los análisis con la fuente de la información ingresada.

Así, este programa es capaz de generar gráficas estadísticas y representar experimentos basándose en los diferentes datos.

## **STATGRAHICS**

Es un paquete de programas, diseñados para gestionar y analizar información estadística, en la perspectiva de describir, comparar y relacionar los datos de una investigación determinada. La descripción que hacemos del programa es la relativa a la versión Centurión de STATGRAPHICS XV. Contiene más de 150 procedimientos estadísticos a seleccionar: análisis de datos, análisis de variables, control de procesos, sigma 6, diseño de experimentos, análisis de confiabilidad y datos de ciclo de vida, métodos multivariados, entre otros.

## CAPÍTULO III.- MARCO TEÓRICO

### 3.1 EVALUACIÓN ESTRUCTURAL

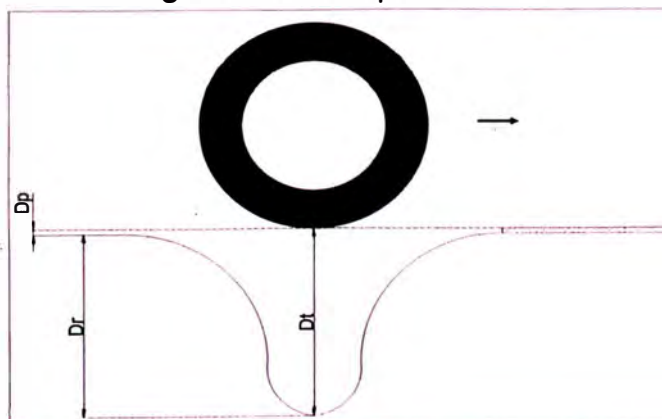
La evaluación estructural del pavimento se basa en determinar la capacidad portante del sistema pavimento - subrasante en una estructura vial existente, en cualquier momento de su vida de servicio, para establecer y cuantificar las necesidades de rehabilitación, cuando el pavimento se acerca al fin de su vida útil, o cuando el pavimento va a cambiar su función.

### 3.2 DEFLECTOMETRÍA MÉTODO EMPÍRICO CONREVIAL

La deflexión es de carácter elástico, pero intervienen esfuerzos plásticos como se muestra en la figura N°3.01. Los primeros desaparecen en cuanto se renuevan las cargas y los segundos son permanentes y su acumulación a través de las reiteraciones de las cargas producen las distorsiones de ahuellamiento en la superficie del pavimento. Se distingue tres tipos de deflexiones:

- a. **Deflexión Total ( $D_t$ ):** Es la deformación vertical puntual de una superficie bajo la acción de una carga.
- b. **Deflexión recuperable o elástica ( $D_r$ ):** Es la recuperación elástica de la superficie que se produce al retirar la carga. Es la que se utiliza para el cálculo de refuerzo del pavimento.
- c. **Deflexión permanente o residual ( $D_p$ ):** es la diferencia entre la posición original de la superficie antes de aplicar la carga y después de retirarla.

Figura N°3.01 Tipos de deflexiones



Fuente: Estudio del CONREVIAL

### 3.2.1 MEDICIÓN DE DEFLEXIONES BENKELMAN

A continuación se describe el procedimiento para determinar la deflexión recuperable del pavimento con la Viga Benkelman en un punto sobre la estructura de pavimento asfáltico bajo la carga estandarizada, tamaño, espaciamiento, y presión de las llantas.

#### EQUIPO

- Deflectómetro Viga Benkelman .
- Camión cargado con 18000 libras (8.2 ton).
- Medidor de presión de llantas.
- Termómetro digital para medir la temperatura del pavimento.
- Un clavo de 4" acerado para ejecutar los orificios en el pavimento.

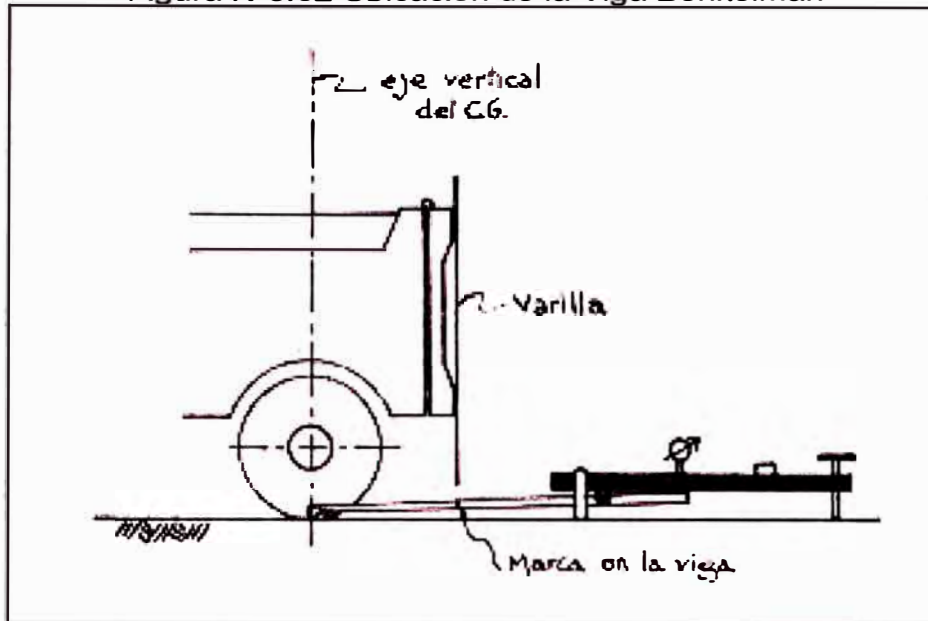
#### PROCEDIMIENTO:

- La rueda dual externa del camión deberá ser colocada sobre el punto seleccionado quedando este entre las dos ruedas.
- Colocar la punta de prueba del primer brazo de la Viga Benkelman entre las ruedas duales y situarlo en los puntos seleccionados para el ensayo.
- Anotar la lectura inicial del dial. Generalmente giramos la esfera del flexímetro para obtener la posición cero.
- Realizar las marcaciones de las medidas en la palanca de la Viga Benkelman a 0.25, 0.50, 0.70 mts.
- Establecida la lectura inicial en cero, se hace avanzar suave y lentamente el camión hasta una distancia de 0.25, 0.5, 0.7 y 5 m o más del punto de inicio.
- Anotar las lecturas internas a 0.25, 0.5, 0.7 y la lectura final del dial a 4 a más metros de distancia del punto inicial o hasta que la lectura del dial sea constante.
- Medir la temperatura de la superficie del pavimento.
- Determinar el espesor del pavimento.

Como se puede apreciar en la figura 3.02 la posición inicial del camión y la ubicación de la Viga Benkelman, antes de dar inicio se verifica que los diales marquen cero.



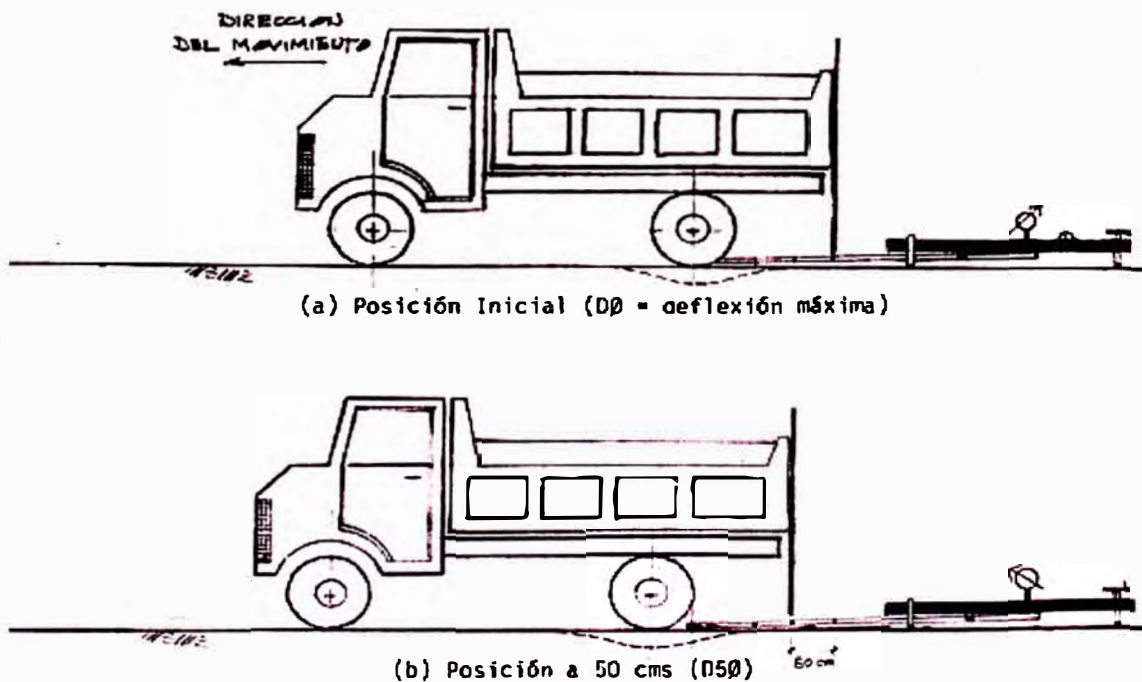
Figura N°3.02 Ubicación de la Viga Benkelman



Fuente: Exposición del ing. Gutierrez Lazares

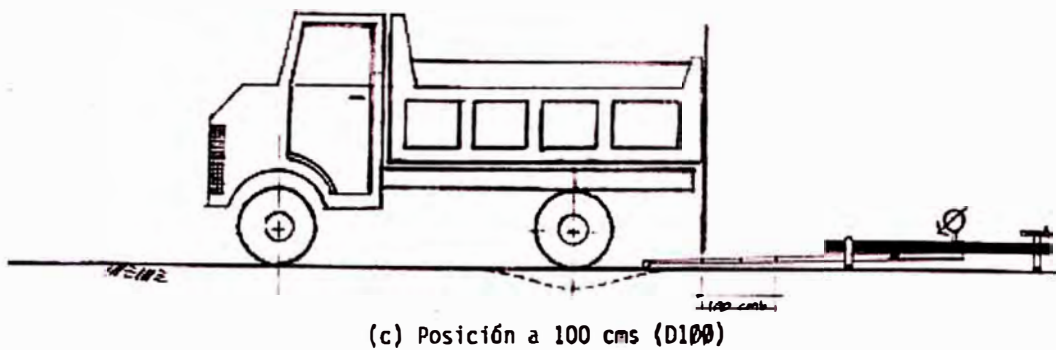
En la figura 3.03 indica la secuencia del ensayo, poniendo al camión en movimiento lento y tomando las lecturas de los diales a las distancias de 0.25, 0.5 y 0.7mts del punto inicial.

Figura N°3.03 Procedimiento de mediciones deflectométricas.



Fuente: Exposición del ing. Gutierrez Lazares

Continuación figura N°3.03 Procedimiento de mediciones deflectométricas.



Fuente: Exposición del ing. Gutiérrez Lazares

### 3.2.2 CORRECCIÓN POR TEMPERATURA

A fin de referir todas las deflexiones a una temperatura estándar de 20°C, se emplea la siguiente expresión:

$$D_{20} = \frac{D_t}{k(t - 20^\circ)e + 1} \quad \dots (3.1)$$

Donde:

D<sub>20</sub> : Deflexión corregida, a la temperatura estándar de 20° C (1/100 mm).

D<sub>t</sub> : Deflexión medida a la temperatura t (1/100 mm).

k : 1x10<sup>-3</sup>; constante para capas granulares (1/cm x°C)

t : Temperatura de la carpeta asfáltica del pavimento (°C).

e : Espesor de la carpeta asfáltica (cm).

### 3.2.3 CORRECCIÓN POR ESTACIONALIDAD

Es deseable que la medición de deflexiones se realice durante la estación de lluvias, durante la cual los suelos se encuentran en la situación más crítica. De no ser así, se debe efectuar la corrección de las medidas a fin de tomar en cuenta dicho aspecto. Para fines prácticos se propone el uso de los factores de corrección que muestra el cuadro 3.1

Cuadro 3.01 Factores de corrección por estacionalidad

TIPO DE SUELO DE SUBRASANTE	ESTACION LLUVIOSA	ESTACIÓN SECA
Arenosa-permeable	1.0	1.1 a 1.3
Arcillosa-sensible al agua	1.0	1.2 a 1.4

Fuente: Método CONREVIAl, Capítulo IV, página 182

### 3.2.4 CÁLCULO DEL RADIO DE CURVATURA

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, y en consecuencia, en el desarrollo del fisuramiento en forma de piel de cocodrilo.

El radio de curvatura queda definido por la fórmula 3.2

$$R_c = \frac{10 \times 25^2}{2 \cdot (D_0 - D_{25})} = \frac{6250}{2 \cdot (D_0 - D_{25})} \quad \dots(3.2)$$

Donde:

$R_c$  = Radio de Curvatura en metros.

$D_0$  = Deflexión recuperable en el eje vertical de la carga, en centésimas de milímetros.

$D_{25}$  = Deflexión recuperable en el eje vertical de la carga, en centésimas de milímetros, a 25 del eje de carga.

### 3.2.5 ANÁLISIS ESTADÍSTICOS DE LAS DEFLEXIONES

El análisis estadístico de las deflexiones de un sector en estudio, parte del cálculo de sus parámetros estadísticos.

Estos parámetros estadísticos como el promedio y la desviación estándar se definen con las siguientes fórmulas

Promedio:

$$\bar{D} = \frac{\sum_i^N D_i}{n} \quad \dots(3.3)$$

Desviación estándar:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_i^N (D_i - \bar{D})^2}{n}} \quad \text{(para } n < 30)$$
$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_i^N (D_i - \bar{D})^2}{n-1}} \quad \text{(para } n > 30) \quad \dots (3.4)$$

Siendo:

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

$D_i$  : Deflexión máxima para un punto específico corregido por temperatura y estacionalidad.

$n$  : Número de datos.

### 3.2.6 DEFLEXIÓN CARACTERÍSTICA

Estadísticamente se ha podido comprobar que la deflexión característica viene definido como el límite superior del Intervalo de Confianza de la media poblacional a un porcentaje de confiabilidad determinado, como muestra la figura 3.04. El CONREVIAl sugiere trabajar con el 95% de confiabilidad.

Para el cálculo de los intervalos de confianza "IC" es importante tener definido el tipo de distribución que toma los datos, generalmente estos datos siguen una distribución normal, en caso los datos no tomen esta distribución, los IC serán

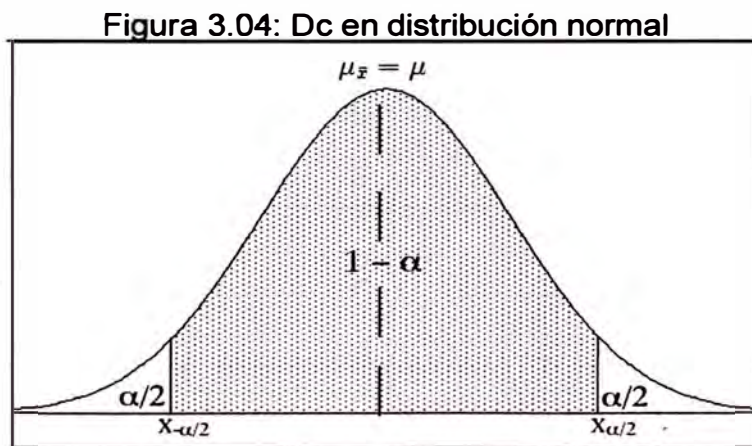
calculados con una metodología estadística no-paramétrica, con ayuda de programas estadísticos.

Es así que el cálculo de la deflexión característica depende del tipo de distribución como se detalla a continuación:

**a. Cálculo de Dc para distribución normal:**

Definición matemática:  $Dc = \bar{D} + t\sigma$  .... (3.5)

Definición gráfica:



Fuente: elaboración propia

Donde:

$\mu$  = Media poblacional.

$\alpha$  = porcentaje de error.

$$X_{\alpha/2} = Dc = \bar{D} + t\sigma_{\bar{D}}$$

$$\text{Siendo: } \sigma_{\bar{D}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad \dots (3.6)$$

El valor de *t de student* está en función del número de datos y del porcentaje de confiabilidad, como se muestra en el Anexo 1.

**b. Cálculo de DC para distribución no normal (no paramétrico):**

Para este caso, la Dc será calculada con el programa estadístico BOOTSTRAP.

La forma en la cual la estrategia BOOTSTRAP realiza el re-muestreo queda sintetizada en los siguientes pasos:

- a) El investigador selecciona un estadístico de interés, sea (media, mediana, correlación, por ejemplo, etc.).
- b) Obtiene una muestra correspondiente a la realización de  $n$  variables aleatorias idéntica e independientemente distribuidas.
- c) El investigador debe decidir como estimará la distribución, ya sea mediante *bootstrap* no paramétrico o paramétrico.
- d) Mediante la técnica Monte Carlo (apartados b y c), se obtiene un valor de la variable aleatoria  $X$ . Iterando este proceso  $n$  veces, se obtiene un conjunto de datos que constituyen la denominada *muestra bootstrap*. Para cada una de estas muestras se obtiene el estadístico de interés.
- e) Repitiendo el apartado anterior el número de veces que se determine, supongamos que sean  $b$  ocasiones, se obtendrá la cantidad correspondiente de estimaciones del estadístico.

Una vez generadas las distintas muestras *bootstrap*, es factible realizar diferentes estimaciones del error estadístico, además de obtener estimaciones sobre parametros de interés, aspectos que se desarrollarán en los apartados siguientes.

Intervalos de Confianza Bootstrap:

Existen diversas estrategias para elaborar un intervalo de confianza, entre las cuales cabe destacar el método percentil, percentil corregido para el sesgo y percentil corregido para el sesgo acelerado.

Entrar en profundidad sobre las diferentes estrategias de elaboración de intervalos de confianza no es abordable en el presente trabajo, aunque, siempre desde una perspectiva introductoria



El estadístico aplicado está familiarizado en la construcción de intervalos de confianza, proceso en el cual impone determinados supuestos sobre la variable aleatoria analizada, y, tras obtener una estimación del estadístico de interés, obtiene una estimación del error estándar de la distribución muestral del estadístico.

Mayor información se hace referencia al siguiente libro: Andrés M. Alonso; “Un ejemplo de bootstrap suavizado”, Universidad Autónoma de Madrid, 2002.

### 3.2.7 DEFLEXIÓN ADMISIBLE

Es el parámetro utilizado para evaluar la capacidad estructural de un pavimento. El método empírico como el CONREVIAl propone una deflexión admisible o deflexión tolerable, al compararla con las deflexiones obtenidas en campo determina si el pavimento brinda un soporte estructural adecuado. La fórmula de la deflexión admisible propuesta por CONREVIAl es el siguiente:

$$D_{amd} = \frac{1.15}{NEE_{(8,2)}} \quad \dots (3.7)$$

Donde:

$NEE_{(8,2)}$ : Número de ejes estándares equivalentes de 8,2 toneladas acumuladas en el periodo de diseño.

$D_{amd}$  : Deflexión característica admisible (inicial) en centésimas de mm.

### 3.2.8 GRÁFICAS DEFLECTOMÉTRICAS

Son aquellas que representan el comportamiento de las deflexiones a lo largo de la vía en estudio.

Estas gráficas brindan información importante como una visualización simple de sectores homogéneos.

Para la homogenización de sectores que abarca este Informe de Suficiencia. Se dividió el tramo en estudio en cinco sectores de igual longitud, los que fueron representados en el deflectograma.

### **3.2.9 JUICIO DE LA CAPACIDAD ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO**

Se analiza comparando las deformaciones características y las deformaciones admisibles. En el Anexo 3, se consideran los radios de curvatura aceptables cuando sus valores son mayores que 100m. y cuando los radios promedios varían entre 300 m. y 500 m.

## **3.3 TEORÍA ESTADÍSTICA DE DISCRIMINACIÓN**

### **3.3.1 ANÁLISIS EXPLORATORIO DE DATOS**

El Análisis Exploratorio de Datos (A.E.D.) es un conjunto de técnicas estadísticas cuya finalidad es conseguir un entendimiento básico de los datos y de las relaciones existentes entre las variables analizadas. Para conseguir este objetivo el A.E.D. proporciona métodos sistemáticos sencillos para organizar y preparar los datos, detectar fallas en el diseño y recogida de los mismos, tratamiento y evaluación de datos ausentes, identificación de casos atípicos y comprobación de los supuestos subyacentes en la mayor parte de las técnicas multivariantes (normalidad, linealidad, homocedasticidad).

### **3.3.2 PREPARACIÓN DE DATOS**

El primer paso en un A.E.D. es hacer accesible los datos a cualquier técnica estadística. Ello conlleva la selección de un paquete estadístico adecuado para procesarlos.

A continuación se detalla la aplicación de los siguientes programas estadísticos:

El MINITAB permite verificar el tipo de distribución que toman los datos como la distribución normal, calcula los parámetros estadísticos y verifica si los sectores son homogéneos.



El BOOTSTRAP, calculará las deflexiones características en sectores cuya distribución de datos sea no normal al 95% de confiabilidad.

### 3.3.3 ESTUDIO DE LA NORMALIDAD

Muchos métodos estadísticos se basan en la hipótesis de normalidad de la variable objeto de estudio. De hecho, si la falta de normalidad de la variable es suficientemente fuerte, muchos de los contrastes utilizados en los análisis estadísticos no son válidos.

Existen varios métodos para evaluar la normalidad de un conjunto de datos que pueden dividirse en dos grupos: los **métodos gráficos** y los **contrastos de hipótesis**.

Es tal la importancia del estudio de la normalidad, que para el cálculo de la deflexión característica como sugiere el método CONREVIAl, es regida siempre y cuando los datos sigan una distribución normal.

Respecto al **contraste de hipótesis** se prueba:

Ho: La muestra siga una distribución normal.

Contra la hipótesis alternativa:

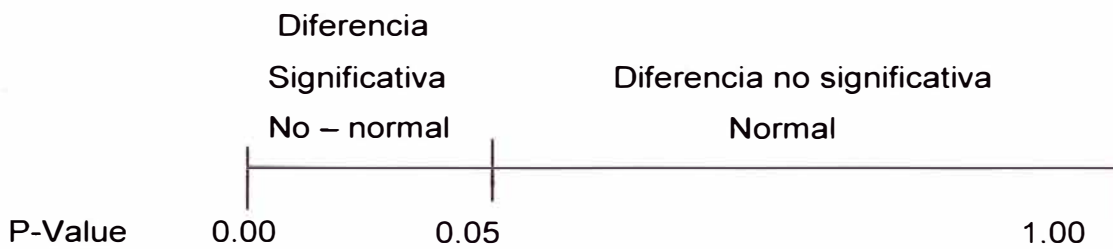
Ha: La muestra no sigue una distribución normal.

Anderson y Darling proponen un método para probar la hipótesis Ho. A valores más pequeños del estadístico de Anderson - Darling mejor es el ajuste a la distribución normal.

Una medida cuantitativa para la calidad del ajuste de los datos a la distribución normal la proporciona un valor probabilístico  $p$  (p-value). Si  $P$  es menor que 0.05 se rechaza la hipótesis nula. La figura 3.05 muestra los rangos del P-Value para la determinación de la normalidad.

Mayor información acerca del **P-value** se puede encontrar en cualquier libro de interferencia estadística.

Figura 3.05: Rango de P-Value



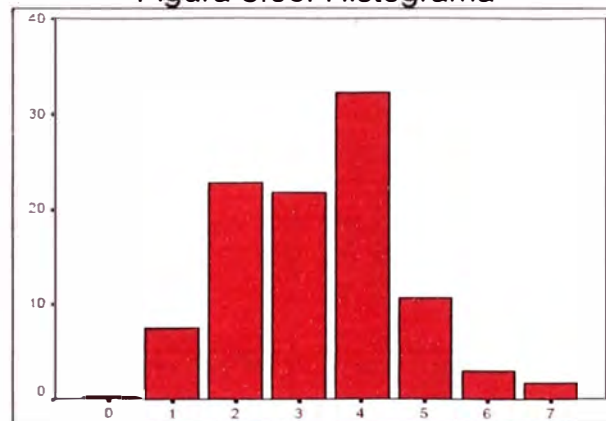
Fuente: Elaboración propia

### 3.3.4 MÉTODOS GRÁFICOS

#### Histograma:

Es el método gráfico más simple para diagnosticar la normalidad, es una comprobación visual del **histograma** que compare los valores de los datos observados con una distribución normal. Este método es problemático para muestras pequeñas, donde la construcción del histograma puede distorsionar la representación visual de tal forma que el análisis sea poco fiable. En la figura 3.06 se muestra la gráfica del histograma.

Figura 3.06: Histograma



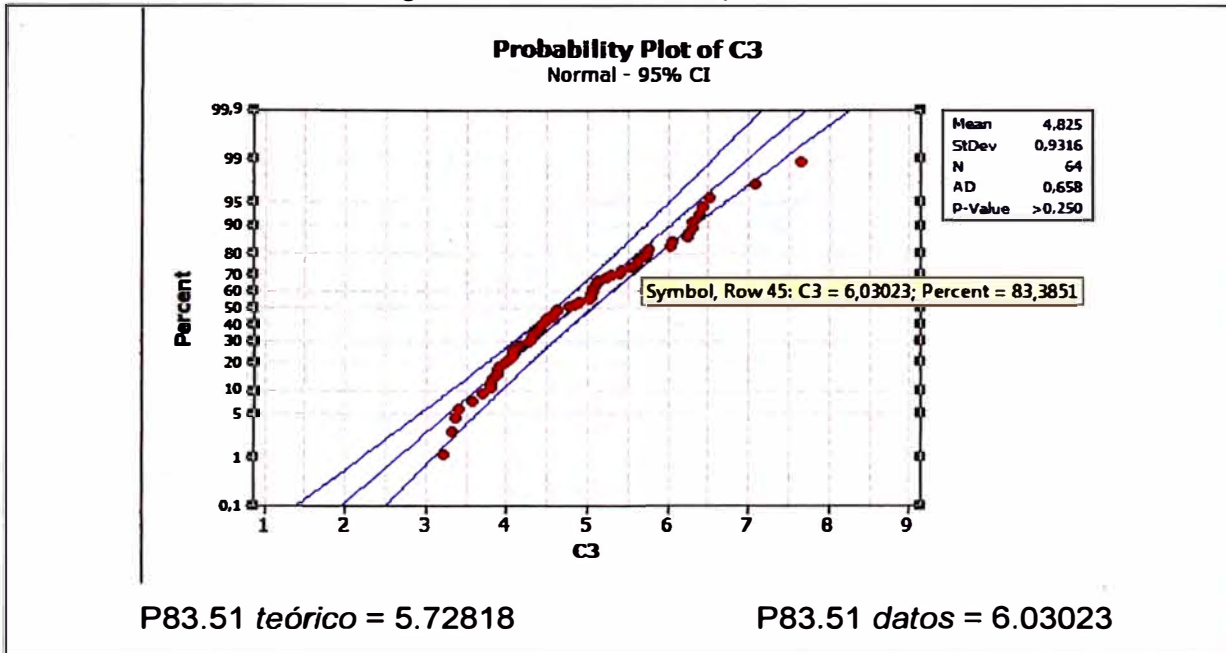
Fuente: Estadística descriptiva y probabilidades- Máximo Mitacc Mezza

#### Gráfica de Probabilidades Q-Q:

Se grafican los percentiles de los datos versus los percentiles de una distribución teórica (Normal), de tal manera que los puntos debieran ajustarse aproximadamente a una línea recta (asociado a los percentiles de la distribución

teórica). El alejamiento de esta recta señala discrepancia con la distribución teórica. La gráfica 3.07, muestra la gráfica de probabilidades.

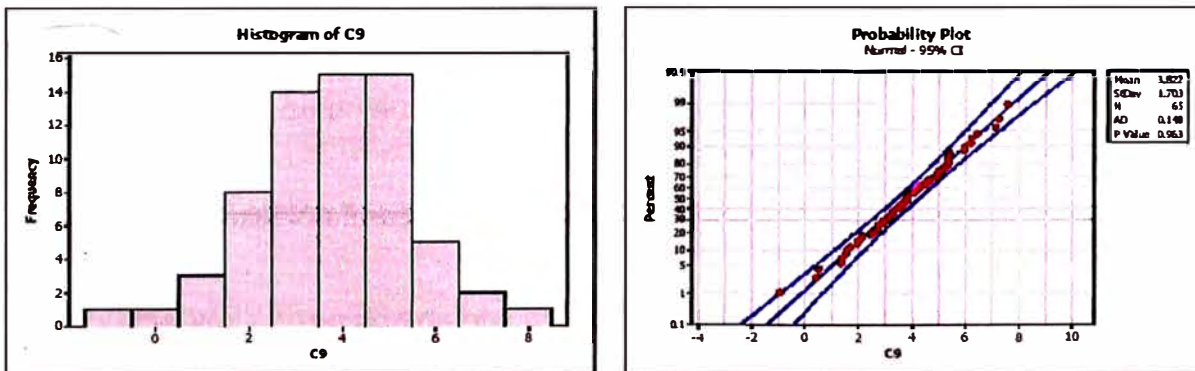
Figura 3.07: Gráfica de probabilidades Q-Q



Fuente: Elaboración propia con ayuda del programa MINITAB

En la figura 3.08, muestra las gráficas típicas para distribuciones normales.

Figura 3.08: Distribución Normal



Fuente: Elaboración propia con ayuda del programa MINITAB

**Intervalos de Confianza:**

En estadística, se llama **intervalo de confianza** a un par de números entre los cuales se estima que estará cierto valor desconocido con una determinada probabilidad de acierto. Formalmente, estos números determinan un intervalo, que se calcula a partir de datos de una muestra, y el valor desconocido es un

parámetro poblacional. La probabilidad de éxito en la estimación se representa con  $1 - \alpha$  y se denomina *nivel de confianza*. En estas circunstancias,  $\alpha$  es el llamado error aleatorio o *nivel de significación*, esto es, una medida de las posibilidades de fallar en la estimación mediante tal intervalo.

El nivel de confianza y la amplitud del intervalo varían conjuntamente, de forma que un intervalo más amplio tendrá más posibilidades de acierto (mayor nivel de confianza), mientras que para un intervalo más pequeño, que ofrece una estimación más precisa, aumentan sus posibilidades de error.

### 3.3.5 METODOLOGÍA DE DISCRIMINACIÓN DE DATOS

La metodología a seguir para una discriminación de datos se describe a continuación paso a paso.

#### Paso 1: Corrección por temperatura y radios de curvatura

Las deflexiones recopilados en campo serán corregidos por temperatura de acuerdo a la fórmula 3.1

- Además se calculará los radios de curvatura de acuerdo a la fórmula 3.02, para esto se debe ingresar la deflexión máxima  $D_0$  de la viga de brazo largo y la deflexión detectada con la viga de brazo corto  $D_{25}$ .

#### Paso 2: Sectorización inicial

Una vez corregidos dichos datos, se procede con hacer una sectorización inicial, esta sectorización depende del criterio del investigador, puede guiarse del deflectograma, por distancias iguales, etc.

#### Paso 3: Estudio de la normalidad

Se estudiará la normalidad de cada uno de estos sectores iniciales. Este estudio puede hacerse mediante el análisis del histograma y el gráfico de probabilidades o por el valor del P-Value.

#### Paso 4: Homogenización

La homogenización depende de la normalidad de los datos.

Para sectores no normales, se podrá usar el Test de Mann-Whitney, este test también es aceptable en sectores normales.

En sectores con distribución normal, es suficiente con comparar sus parámetros estadísticos entre los dos sectores en estudio (media, mediana, desviación estándar).

Es recomendable que luego de la homogenización, para una mejor visualización se grafique los sectores finales, identificando cada uno con un color representativo.

#### Paso 5: Deflexión característica.

Como en el caso de la homogenización la deflexión admisible también depende de la normalidad de los datos.

En sectores no normales, la deflexión característica podrá calcularse con el programa estadístico bootstrap, dicho programa también puede ser aplicado en distribuciones normales.

Sectores normales, la deflexión característica se calcula de acuerdo al CONREVIAl.

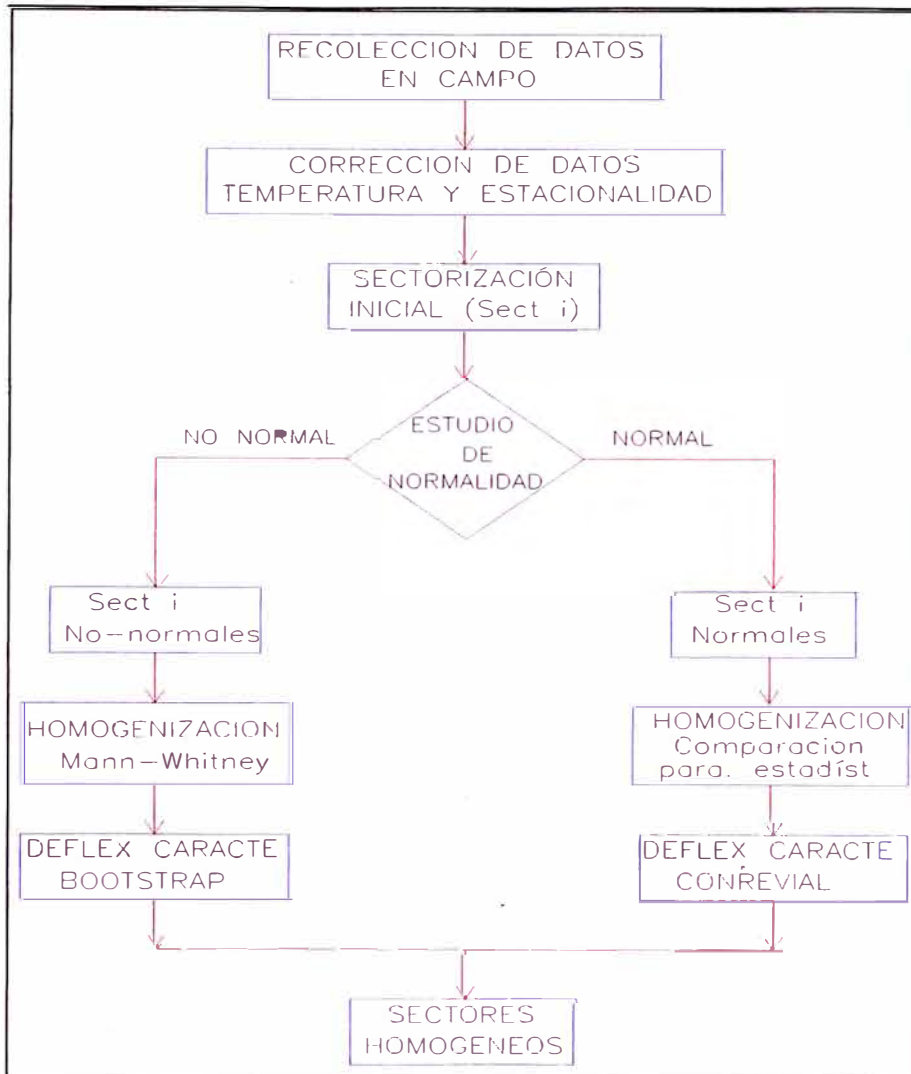
Es importante definir antes del cálculo de la deflexión característica el porcentaje de confiabilidad, el CONREVIAl trabaja con el 95%, es decir un 5% de error.

Finalmente se debe representar a manera de resumen una tabla con las deflexiones características calculados para cada uno de los sectores finales luego de la homogenización.

Para un mayor entendimiento de la secuencia para encontrar sectores homogéneos se muestra el diagrama de flujo de la figura 3.09.

En el que toma como punto de partida el ingreso de los datos recolectados y corregidos, para ir a la sectorización inicial, luego verificar la normalidad y de ahí homogenizar y calcular las deflexiones características, para terminar en una homogenización final.

Figura 3.09: Diagrama de flujo para la discriminación de datos



Fuente: Elaboración propia

## **CAPÍTULO IV.- APLICACIÓN AL TRAMO KM 74+000 – 84+000**

### **4.1 RECOPIACIÓN DE DATOS**

Los datos referentes al año 2010 fueron recopilados a lo largo de la carretera Cañete - Chupaca entre las progresivas km 74+000 – 84+000, donde se tomaron las medidas de las deflexiones recuperables con la Viga Benkelman en el carril izquierdo y derecho, dicha viga contaba con dos brazos, un de brazo corto y el otro largo, además se midió la temperatura en cada punto de estudio y el espesor de la carpeta asfáltica de la carretera.

### **4.2 PROCESAMIENTO DE DATOS**

El procesamiento de datos se realiza de acuerdo a los pasos descritos en el capítulo 3, para una mejor explicación, cada uno de estos pasos vendrán acompañados por cuadros y gráficas como se detallan a continuación.

Los datos serán procesados independientemente para el lado izquierdo y derecho, definiendo el lado izquierdo como el lado lateral izquierdo del camión que va de la progresiva 84+000 al 74 +000 en la vía que tiene un ancho promedio de 2.5 m.

#### **Paso 1: Corrección por temperatura y radio de curvatura**

Las deflexiones tomadas en campo deben ser corregidas por temperatura de acuerdo a la fórmula 3.1, además se calculará el radio de curvatura de cada uno de los puntos estudiados usando la fórmula 3.2

Habiendo calculado dichas correcciones por temperatura y radios de curvatura se presentan los cuadros del anexo 2, referente a los años 2009 y 2010 para los carriles izquierdo y derecho, donde se muestra los datos tomados en campo y sus respectivas operaciones.

#### **Paso 2: Sectorización inicial**

Una vez corregidos los datos, se procede con hacer una sectorización inicial, esta sectorización se puede hacer siguiendo el comportamiento de las

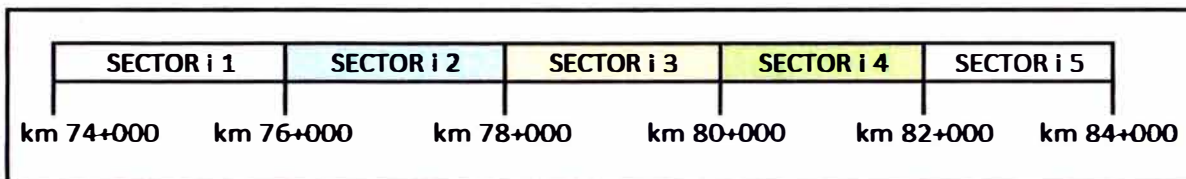


deflexiones de acuerdo al deflectograma, siguiendo las progresivas de los pueblos que cruza la vía, o en todo caso según el criterio y necesidad de estudio del investigador.

En este trabajo, se dividirá en 5 sectores de igual longitud, cada 2 kilómetros aproximadamente como se muestra en la figura 4.01.

Para esta sectorización inicial se tomará como base de datos los recopilados en el 2010.

Figura N°4.01: Sectorización inicial de acuerdo a las progresivas



Fuente: Elaboración propia

### Paso 3: Estudio de la normalidad

El estudio de la normalidad de cada sector inicial se hará por medio de dos métodos gráficos (Histograma y gráfico de probabilidades), además será corroborado por el estadístico P-Value.

Estos cálculos se realizarán con la ayuda del programa estadístico MINITAB 15.

Se explicará a manera de ejemplo demostrativo para el carril izquierdo del Sector i1, las teorías estadísticas en que se basa el programa Minitab para la realización de sus cálculos.

Para los siguientes sectores, se indicará directamente los resultados del programa con sus respectivas interpretaciones.

Luego de haber estudiado la normalidad de cada uno de los sectores iniciales se construirá una tabla resumen, para la fácil identificación de la normalidad de cada sector inicial.



- Estudio de la normalidad para el Sector i 1, carril izquierdo:

### Histograma:

Los datos u observaciones se organizan en dos formas distintas: una tabla de datos ordenados del menor al mayor, con su respectiva frecuencia (cuadro 4.01a) y otra de datos agrupados (cuadro 4.01b).

$$\frac{\text{RANGO}}{\text{INT. DE CLASE entre 5 y 20}} = \frac{43.58}{6} = 7.26$$

El valor de 7.26 da una aproximación del tamaño del intervalo de clase, para mejor uniformidad se dará el intervalo de clase de 10.

La marca de clase corresponde al valor central del intervalo de clase, como se podrá visualizar en el cuadro 4.b. Tomando como data las deflexiones del 2010 del carril izquierdo del Sector i 1 se elaboran los cuadros N°4.01a y 4.01b

Cuadro N° 4.01a: Frecuencia de datos Sector i 1

DEFLEXIÓN D0 x 10-2mm	FRECUENCIA
17	2
26	3
35	2
39	1
52	1
61	1

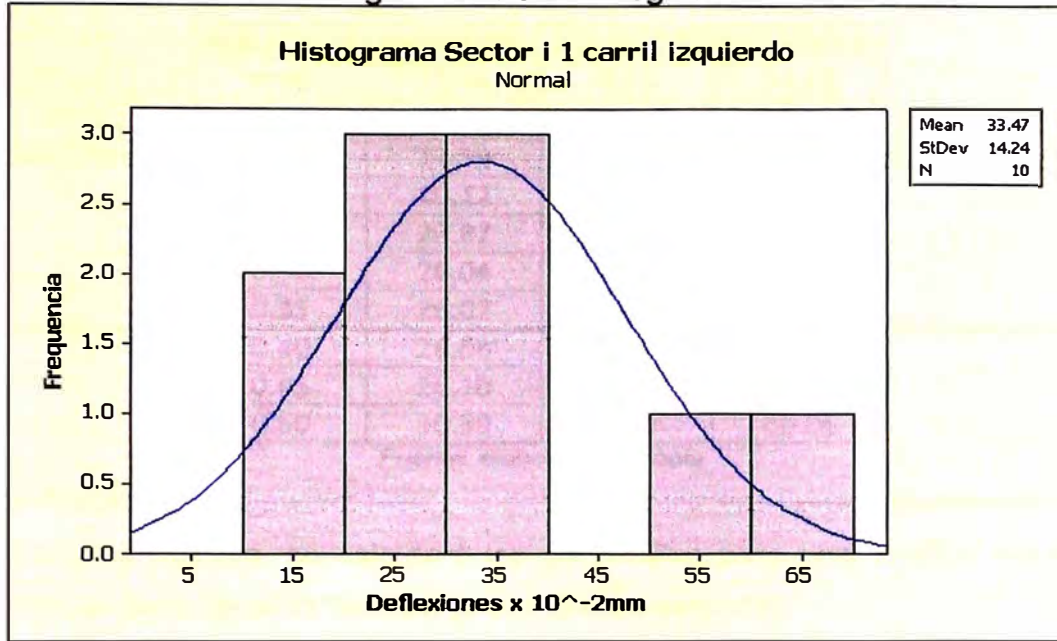
*Fuente: elaboración propia*

Cuadro N° 4.01b: Frecuencia de datos acumulados

Intervalos real de clase	Frecuencia f	Marca de clase
10.0 - 20.0	2	15
20.0 - 30.0	3	25
30.0 - 40.0	2	35
40.0 - 50.0	1	45
50.0 - 60.0	1	55
60.0 - 70.0	1	65

*Fuente: elaboración propia*

Figura N° 4.02: Histograma



Fuente: elaboración propia

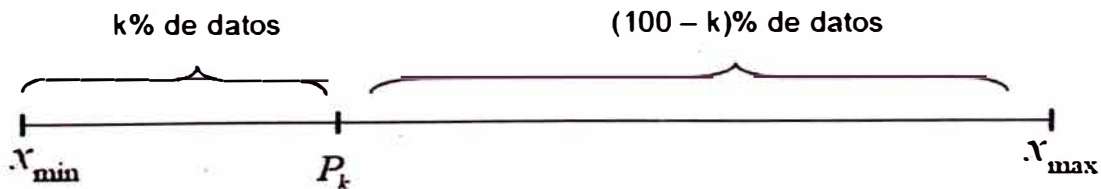
Del histograma, figura 4.02, no es fácil visualizar la normalidad de los datos, será necesario usar otra herramienta estadística como la gráfica de probabilidades (QQ).

**Gráfica de probabilidades (QQ):**

Será la segunda herramienta para determinar la normalidad de los datos.

Se calcularán los percentiles de los datos 2010 obtenidos del Sector i 1 carril izquierdo. Percentil es el valor que deja el k% de los datos no superior a él y el otro (100-k)% no inferior a él. Como se puede observar en la figura 4.03.

Figura N°4.03: Interpretación de percentiles



Fuente: Elaboración propia

El cuadro 4.02a muestra los porcentajes de estudio y los percentiles, de acuerdo a la data en estudio.

Cuadro 4.02a: Tabla de percentiles datos sector i1 carril izquierdo 2010

Porcentaje	percentiles	Porcentaje	percentiles
0.05	17.38	0.55	34.68
0.10	17.38	0.60	34.71
0.15	17.39	0.65	35.39
0.20	19.12	0.70	37.84
0.25	23.87	0.75	42.44
0.30	26.04	0.80	49.62
0.35	26.07	0.85	55.29
0.40	26.08	0.90	60.09
0.45	26.10	0.95	60.96
0.50	30.39	1.00	60.96

Fuente: elaboración propia

De la misma manera, se calculará los percentiles para una función normal, la cual está en función de la media y la desviación estándar.

$$\bar{D} = \frac{\sum Di}{n} = \frac{334.74}{10} = 33.47 \times 10^{-2} \text{ mm}$$

$$\sigma = \frac{\sqrt{\sum (Di - \bar{D})^2}}{\sqrt{n}} = 14.24 \times 10^{-2} \text{ mm}$$

Función de la normal:

$$f_{(D)} = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} \exp \left[ -\frac{1}{2} \left( \frac{D - \bar{D}}{\sigma} \right)^2 \right] \quad \dots(4.01)$$

Teniendo como dato  $\bar{D}$  y  $\sigma$  se procede a remplazar en la fórmula 4.01 para encontrar los  $f_x$  los cuales servirán para generar las tablas de percentiles como el cuadro 4.02b, para la distribución normal.

Cuadro 4.02b: Tabla de percentiles distribución normal

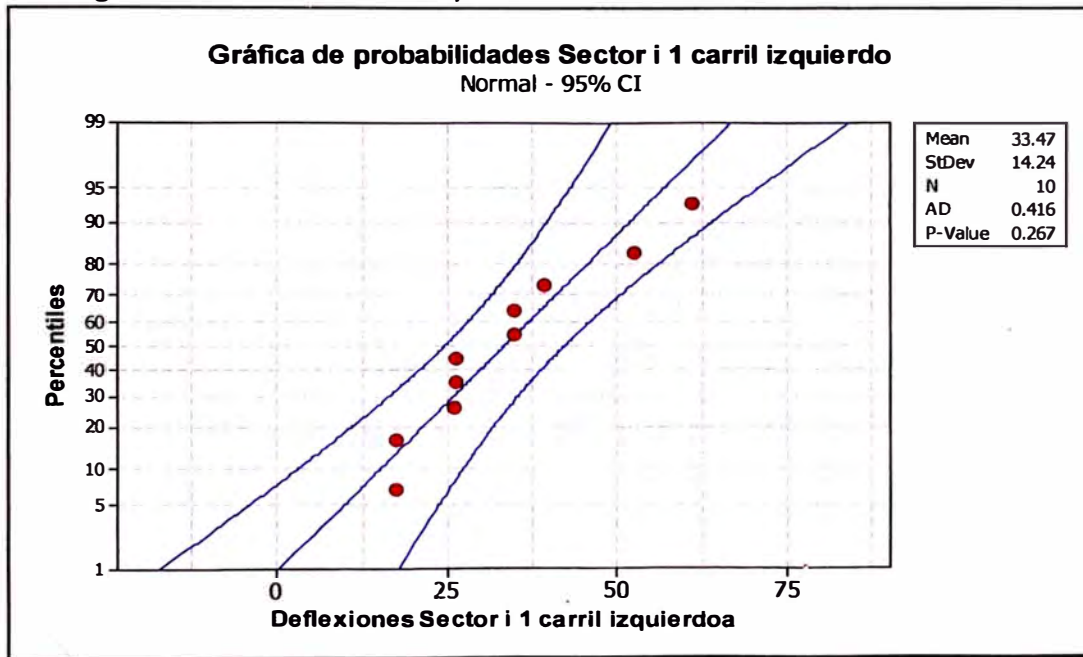
Porcent aje	percentil es	Porcent aje	percentil es	Porcent aje	percent iles	Porcent aje	percentil es
10	15.223	40	29.866	70	40.942	95	56.899
20	21.488	50	33.474	80	45.459	99	66.604
30	26.006	60	37.082	90	51.725		

Fuente: elaboración propia

Representación gráfica:

La elaboración de la gráfica de probabilidades (figura 4.04) se elabora comparando los percentiles de los datos reales con los de una distribución normal. Si se observa que los puntos de los percentiles reales se acercan a la línea que genera la distribución normal se dirá que los datos reales tienden a ser una distribución normal.

Figura N°4.04: Gráfica de probabilidades Q-Q Sector i 1 C.I. 2010



Fuente: Elaboración propia con ayuda del programa MINITAB15

Los puntos de los percentiles de los datos reales se encuentran cerca de la línea de distribución normal.

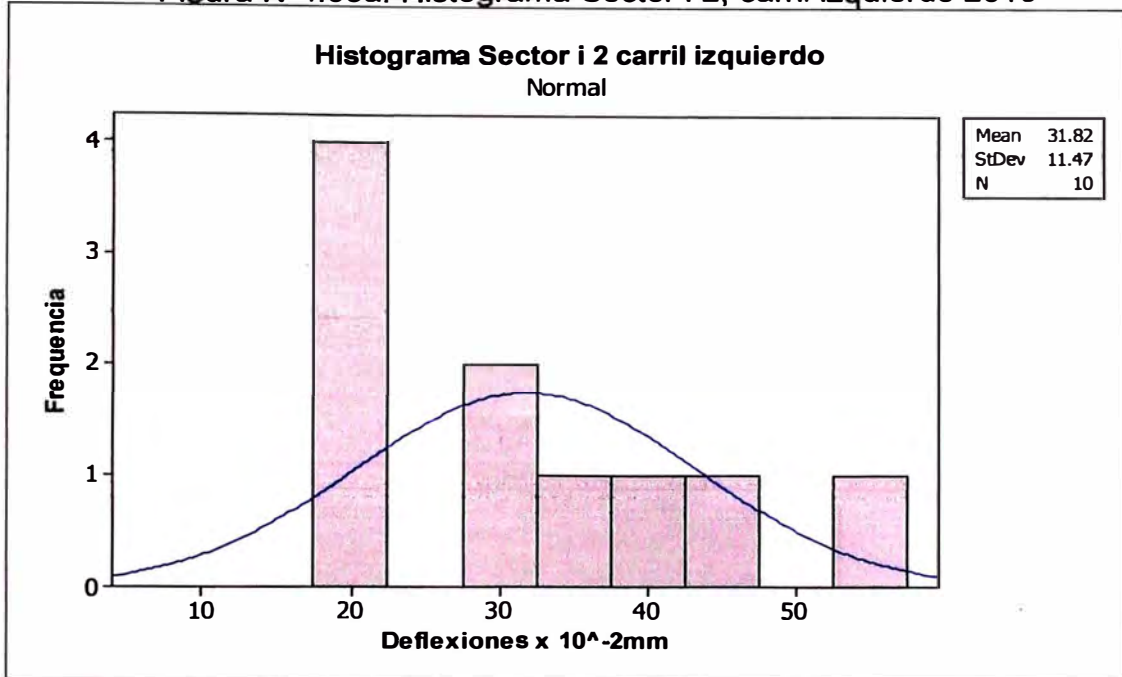
Por otro lado el MINITAB15 proporciona el **P-Value**, este es un dato netamente estadístico.

Para  $P\text{-Value} > 0.05$  la distribución tiende a ser normal.

Para estos datos el  $P\text{-Value} = 0.267 > 0.05$  lo que se concluye que los datos tienden a una **distribución normal**.

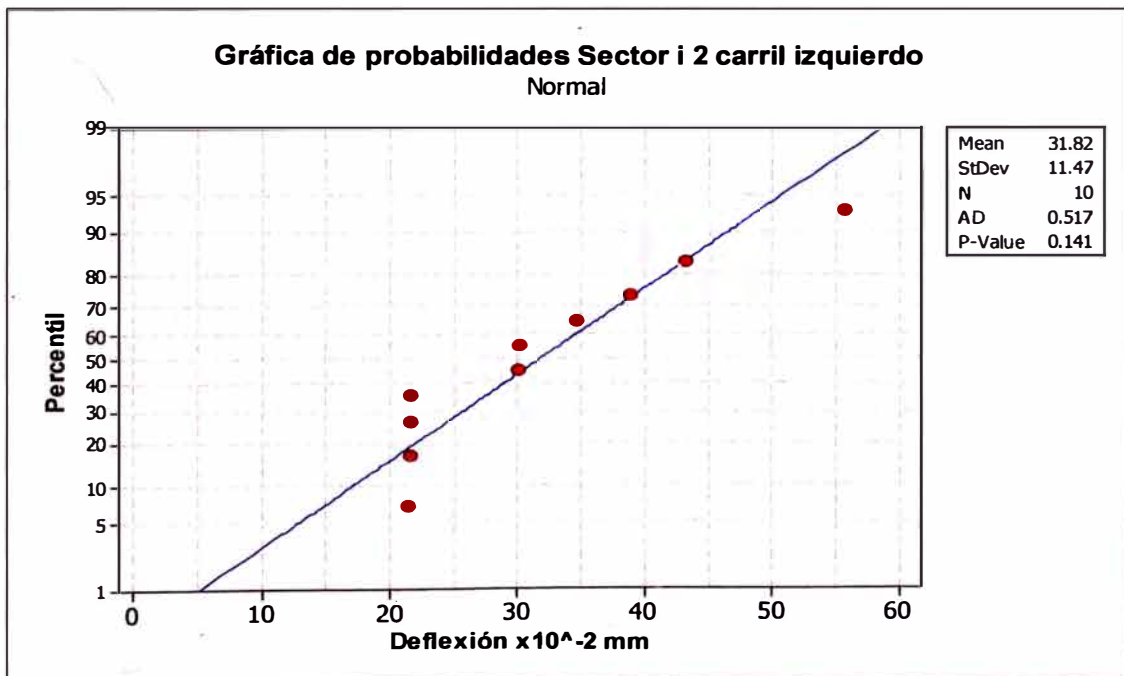
- Estudio de la normalidad para el Sector i 2, carril izquierdo 2010:

Figura N°4.05a: Histograma Sector i 2, carril izquierdo 2010



Fuente: Elaboración propia con ayuda del programa MINITAB15

Figura N°4.05b: Gráfica de probabilidades Q-Q Sector i 2, C.I. 2010



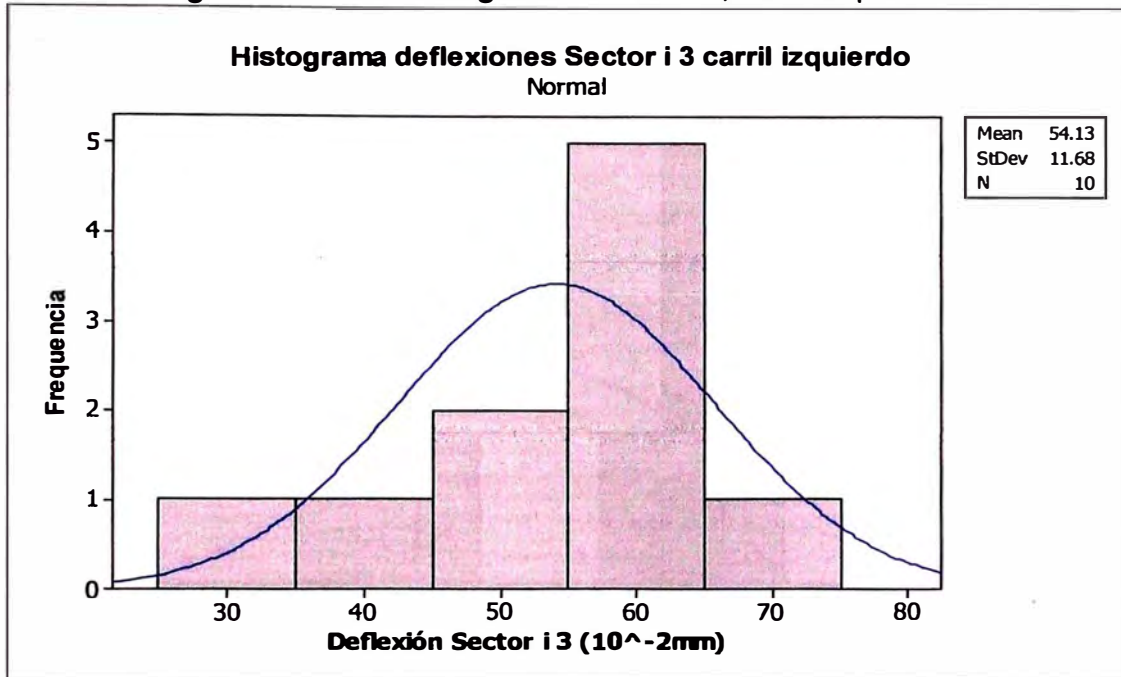
Fuente: Elaboración propia con ayuda del programa MINITAB15

Las gráficas 4.05a y 4.05b, tienden a una distribución normal, con P-Value= 0.141 > 0.05 → **distribución normal.**



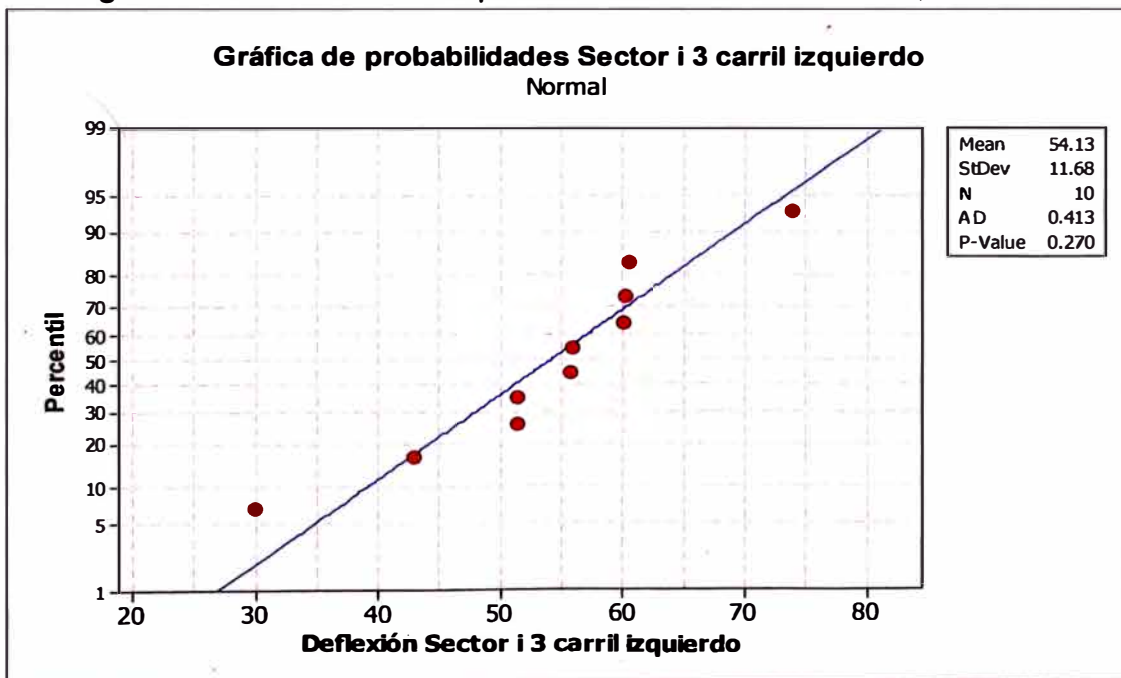
- Estudio de la normalidad para el Sector i 3, carril izquierdo:

Figura N°4.06a: Histograma Sector i 3, carril izquierdo 2010



Fuente: Elaboración propia con ayuda del programa MINITAB15

Figura N°4.06b: Gráfica de probabilidades Q-Q Sector i 3, C.I. 2010



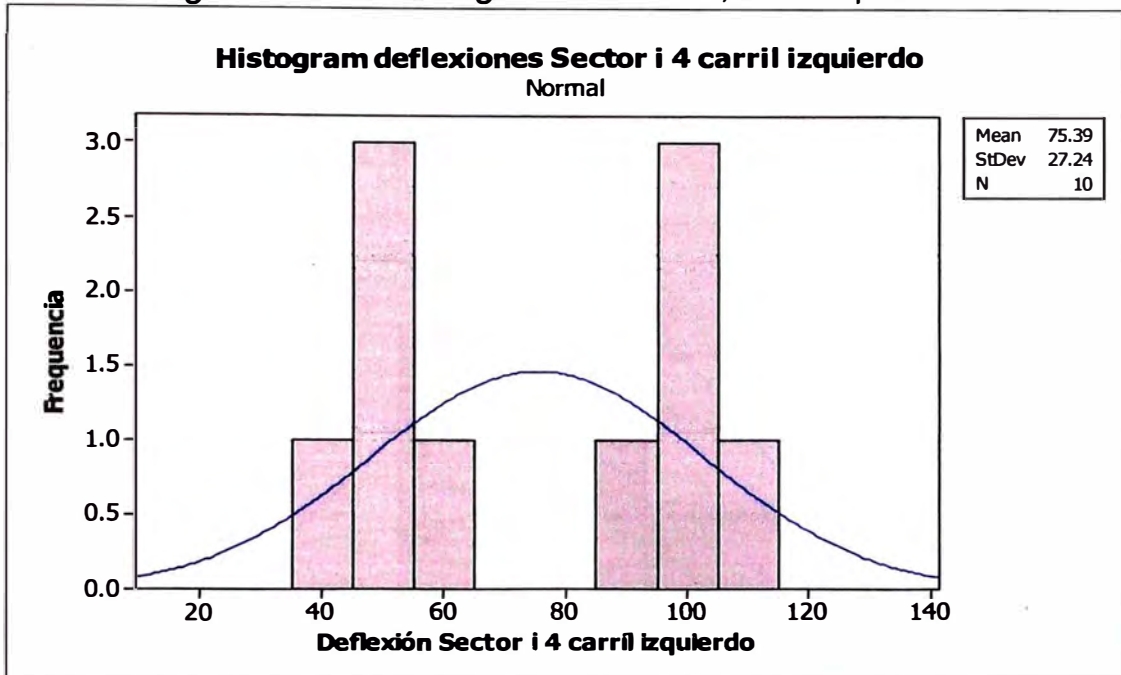
Fuente: Elaboración propia con ayuda del programa MINITAB15

Las gráficas 4.06a y 4.06b, tienden a una distribución normal, con P-Value= 0.270 > 0.05 → **distribución normal.**



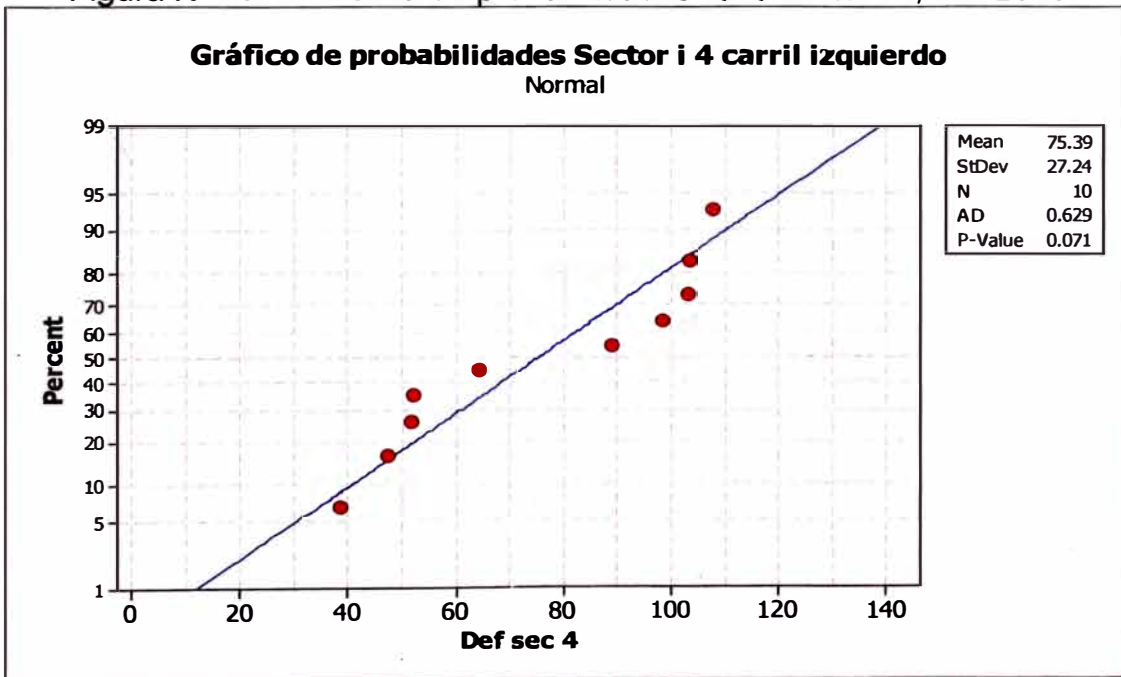
- Estudio de la normalidad para el Sector i 4, carril izquierdo 2010:

Figura N°4.07a: Histograma Sector i 4, carril izquierdo 2010



Fuente: Elaboración propia con ayuda del programa MINITAB15

Figura N°4.07b: Gráfica de probabilidades Q-Q Sector i 4, C.I. 2010

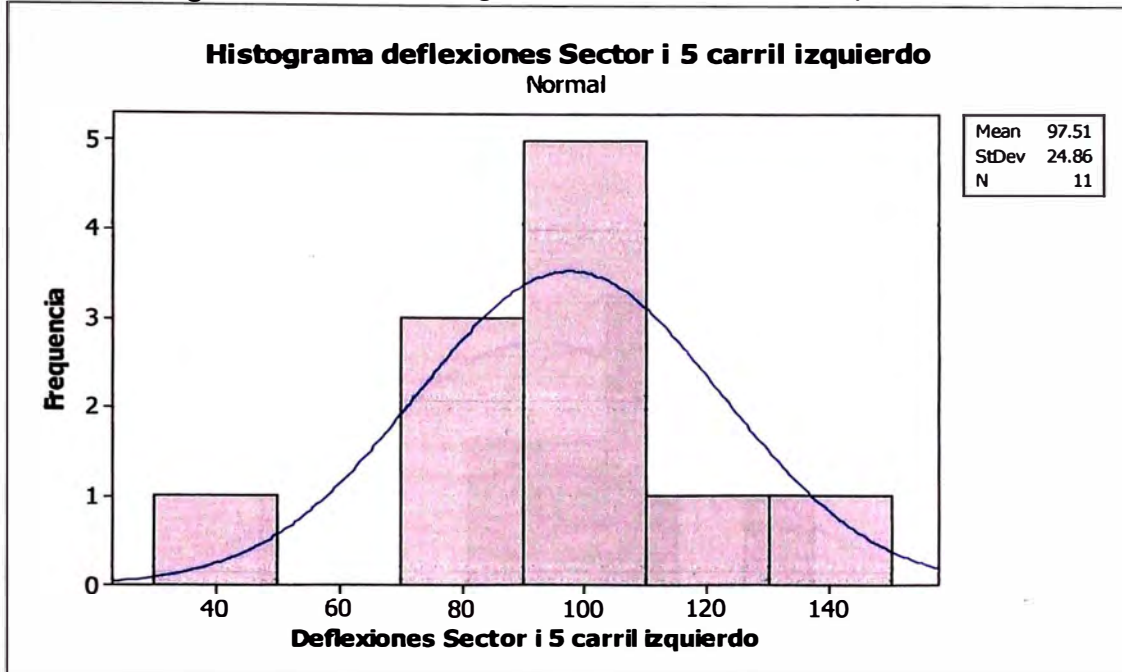


Fuente: Elaboración propia con ayuda del programa MINITAB15

Las gráficas 4.07a y 4.07b, tienden a una distribución normal, con  $P\text{-Value} = 0.071 > 0.05 \rightarrow$  **distribución normal.**

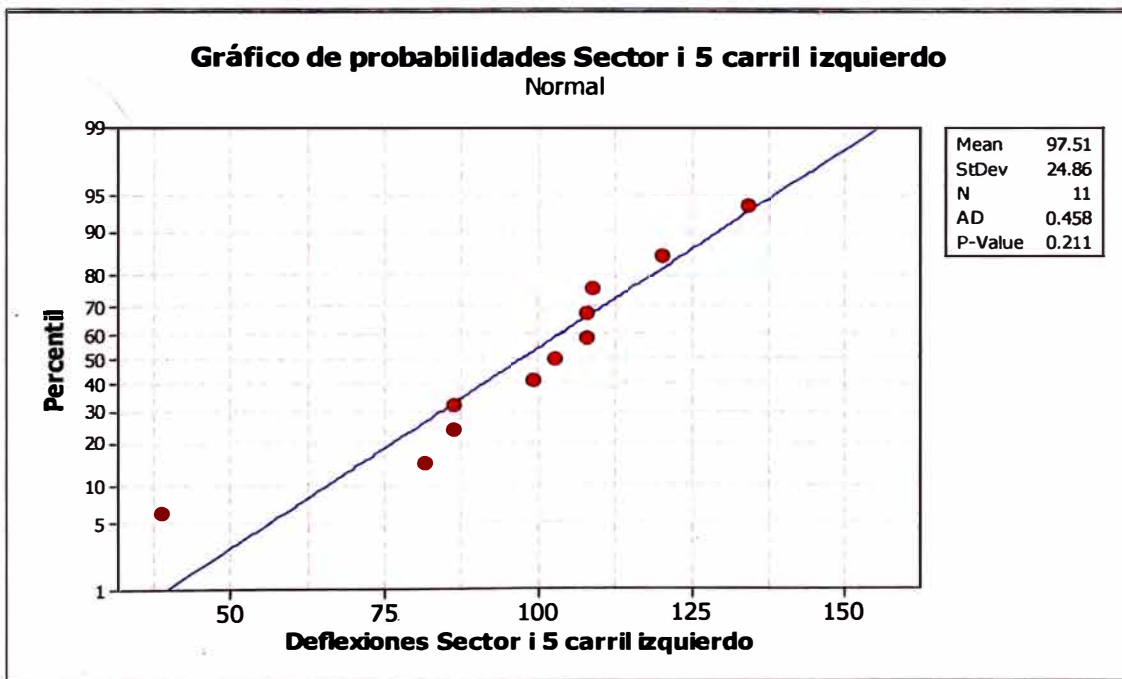
- Estudio de la normalidad para el Sector i 5, carril izquierdo 2010:

Figura N°4.08a: Histograma Sector i 5, carril izquierdo 2010



Fuente: Elaboración propia con ayuda del programa MINITAB15

Figura N°4.08b: Gráfica de probabilidades Q-Q Sector i 5, C.I. 2010

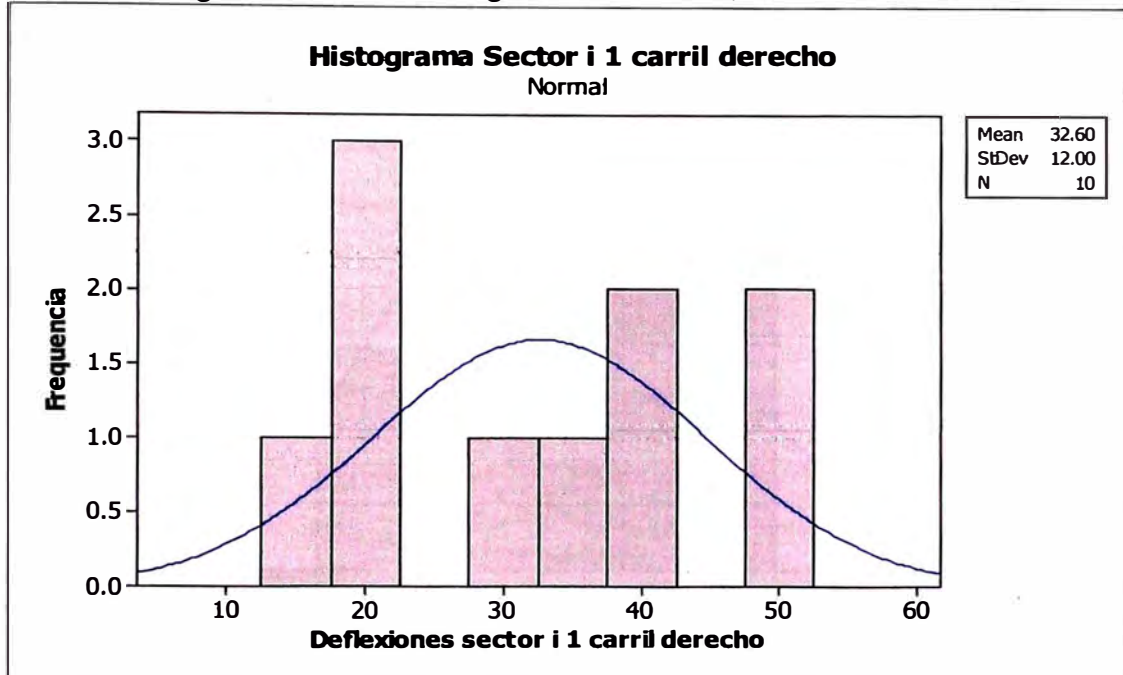


Fuente: Elaboración propia con ayuda del programa MINITAB15

Las gráficas 4.08a y 4.08b, tienden a una distribución normal, con  $P\text{-Value} = 0.211 > 0.05 \rightarrow$  **distribución normal.**

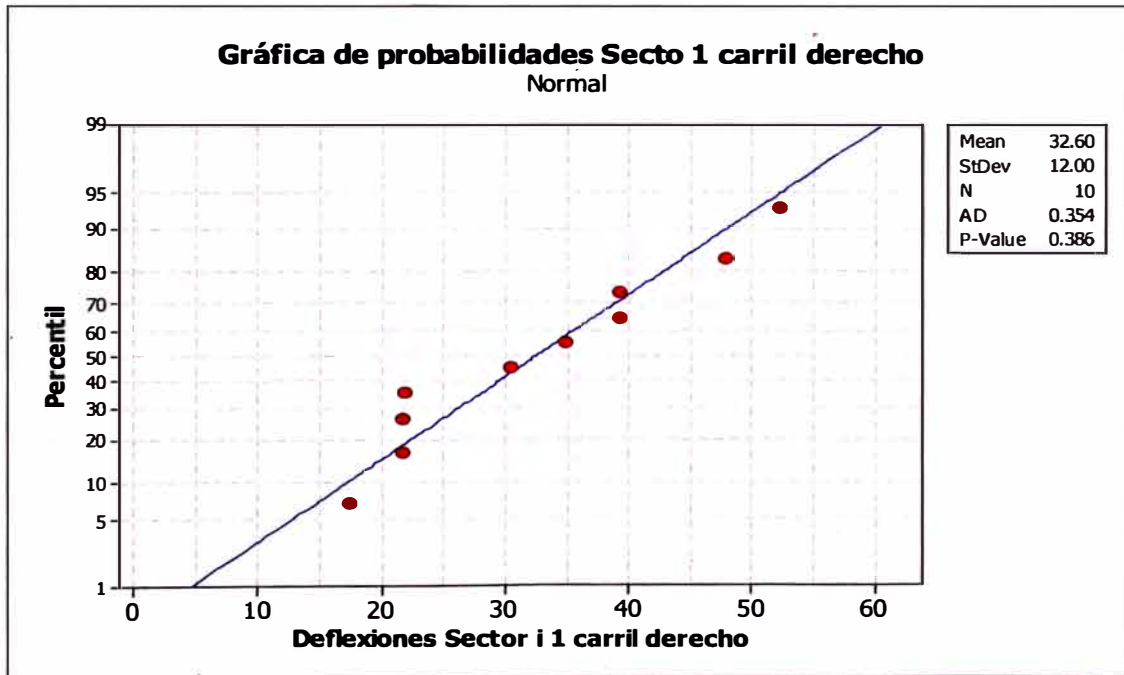
- Estudio de la normalidad para el Sector i 1, carril derecho 2010:

Figura N°4.09a: Histograma Sector i 1, carril derecho 2010



Fuente: Elaboración propia con ayuda del programa MINITAB15

Figura N°4.09b: Gráfica de probabilidades Q-Q Sector i 1, C.D. 2010

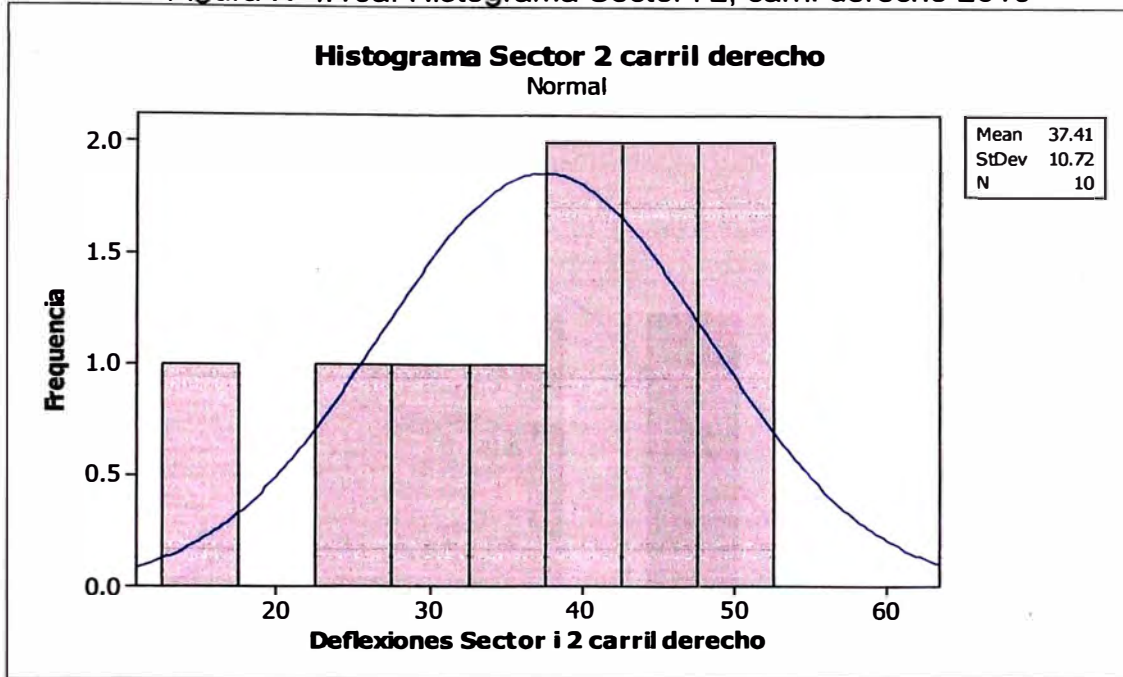


Fuente: Elaboración propia con ayuda del programa MINITAB15

Las gráficas 4.09a y 4.09b, tienden a una distribución normal, con  $P\text{-Value} = 0.386 > 0.05 \rightarrow$  **distribución normal.**

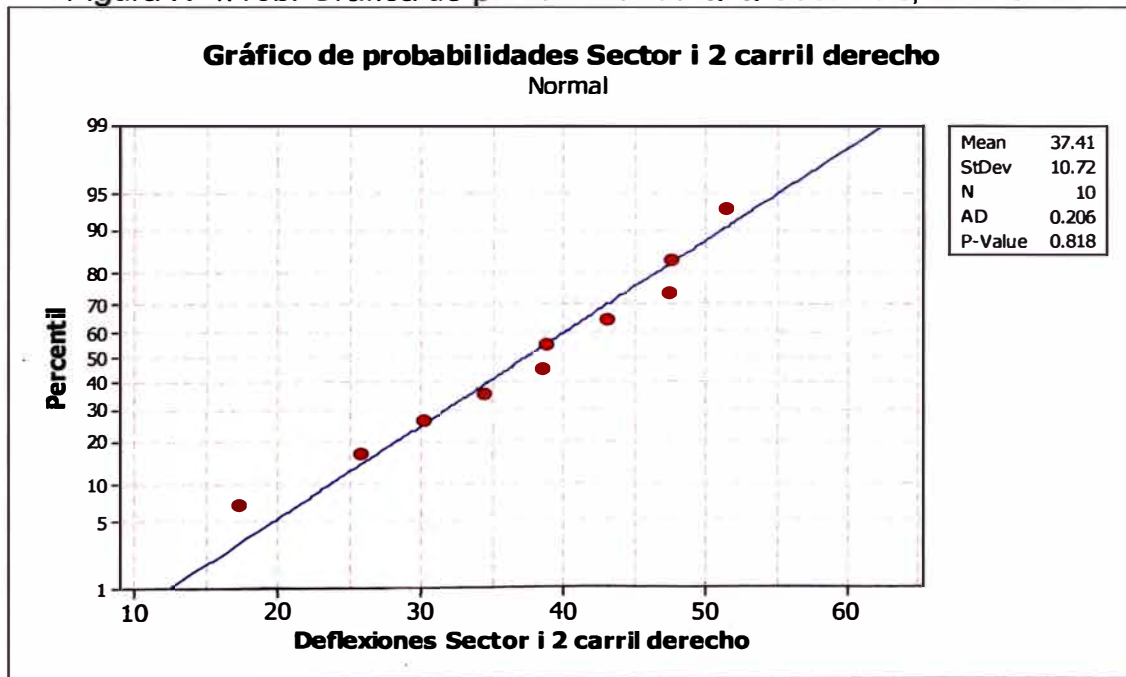
- Estudio de la normalidad para el Sector i 2, carril derecho 2010:

Figura N°4.10a: Histograma Sector i 2, carril derecho 2010



Fuente: Elaboración propia con ayuda del programa MINITAB15

Figura N°4.10b: Gráfica de probabilidades Q-Q Sector i 2, C.D. 2010



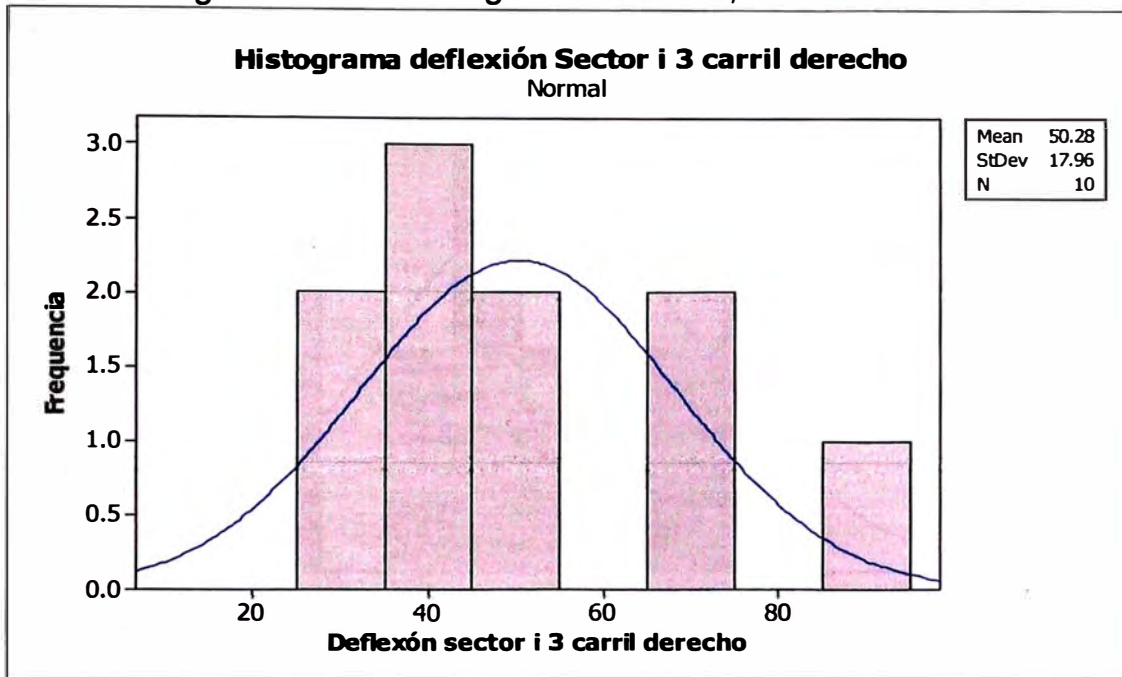
Fuente: Elaboración propia con ayuda del programa MINITAB15

Las gráficas 4.10a y 4.10b, tienden a una distribución normal, con  $P\text{-Value} = 0.818 > 0.05 \rightarrow$  **distribución normal.**



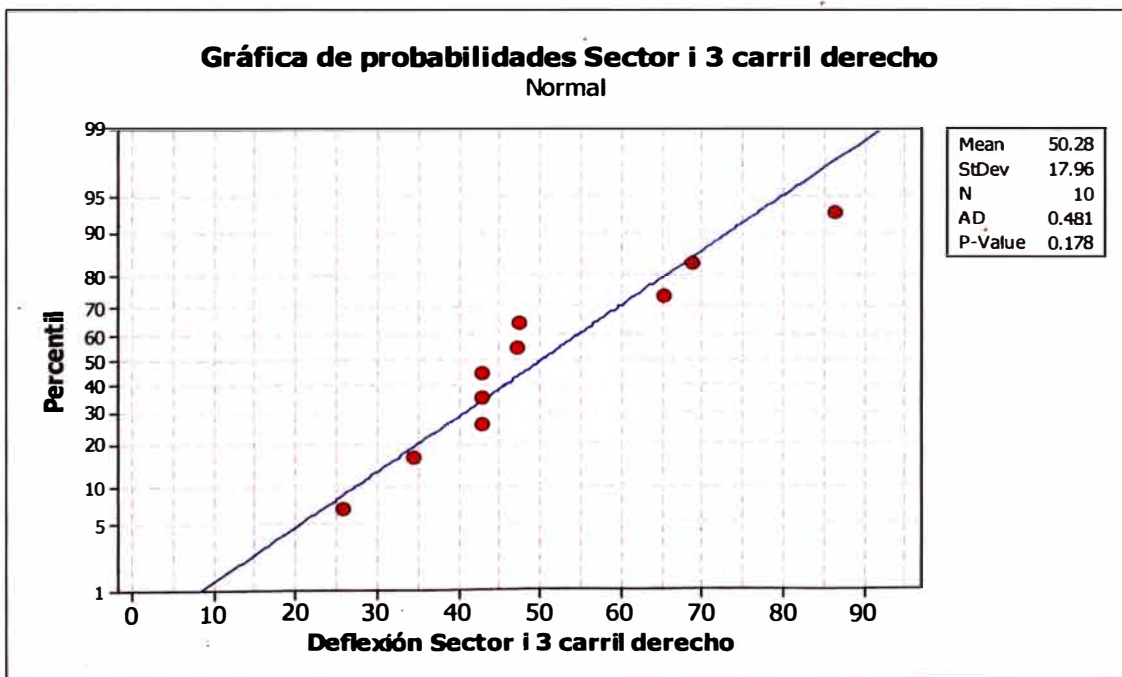
- Estudio de la normalidad para el Sector i 3, carril derecho 2010:

Figura N°4.11a: Histograma Sector i 3, carril derecho 2010



Fuente: Elaboración propia con ayuda del programa MINITAB15

Figura N°4.11b: Gráfica de probabilidades Q-Q Sector i 3, C.D. 2010

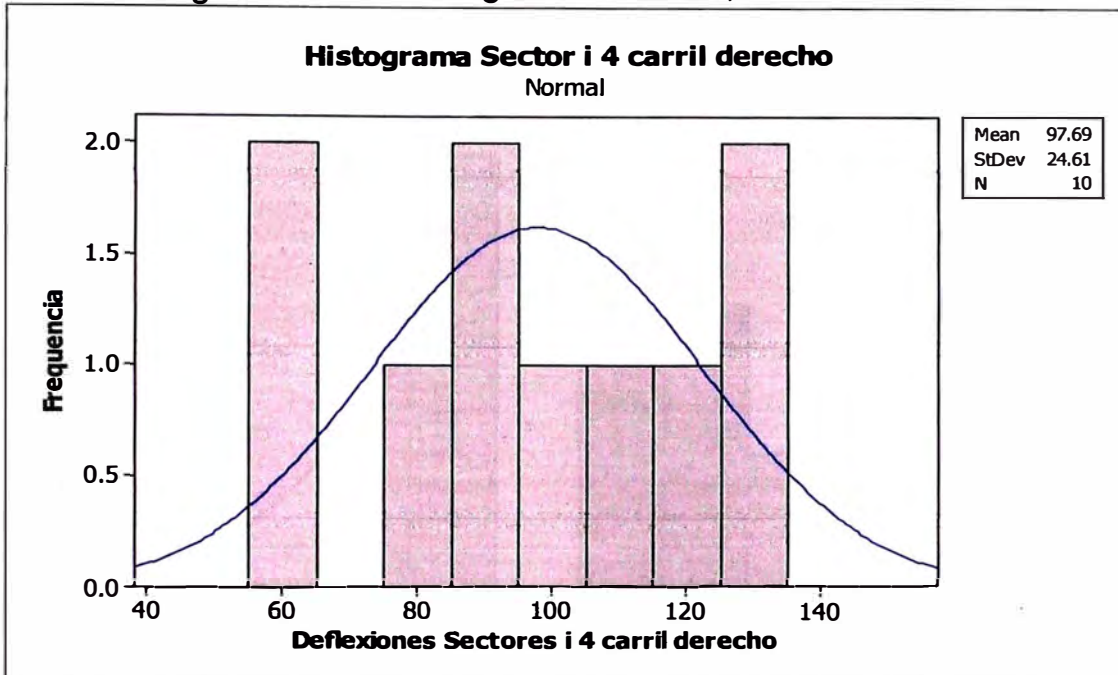


Fuente: Elaboración propia con ayuda del programa MINITAB15

Las gráficas 4.11a y 4.11b, tienden a una distribución normal, con  $P\text{-Value} = 0.178 > 0.05 \rightarrow$  **distribución normal.**

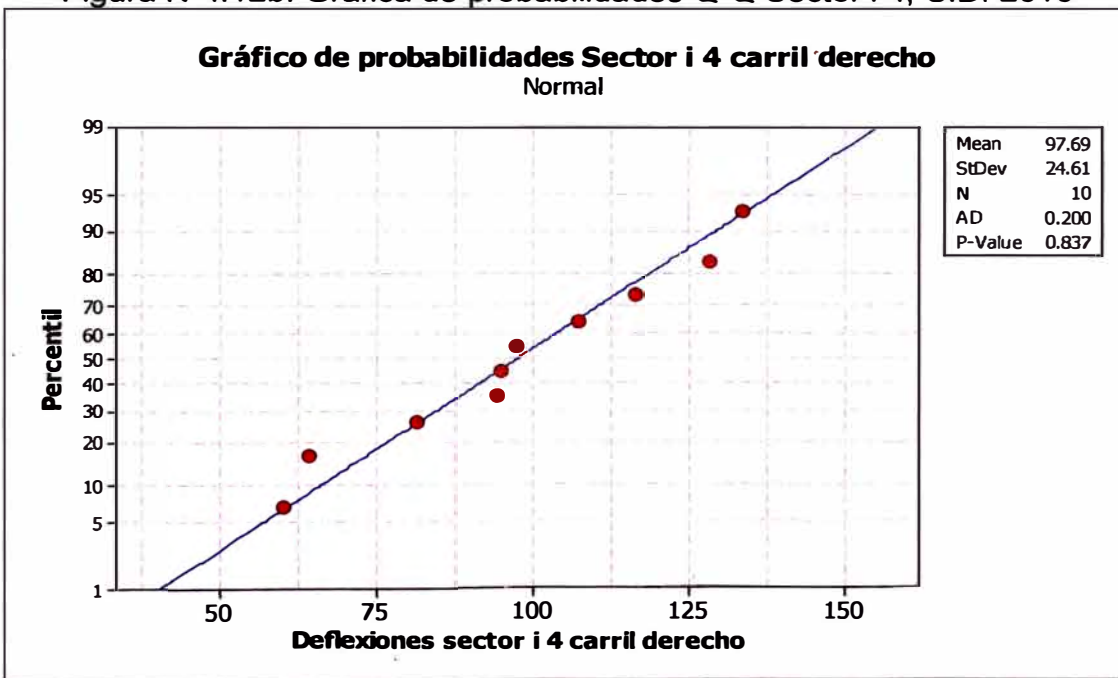
- Estudio de la normalidad para el Sector i 4, carril derecho 2010:

Figura N°4.12a: Histograma Sector i 4, carril derecho 2010



Fuente: Elaboración propia con ayuda del programa MINITAB15

Figura N°4.12b: Gráfica de probabilidades Q-Q Sector i 4, C.D. 2010



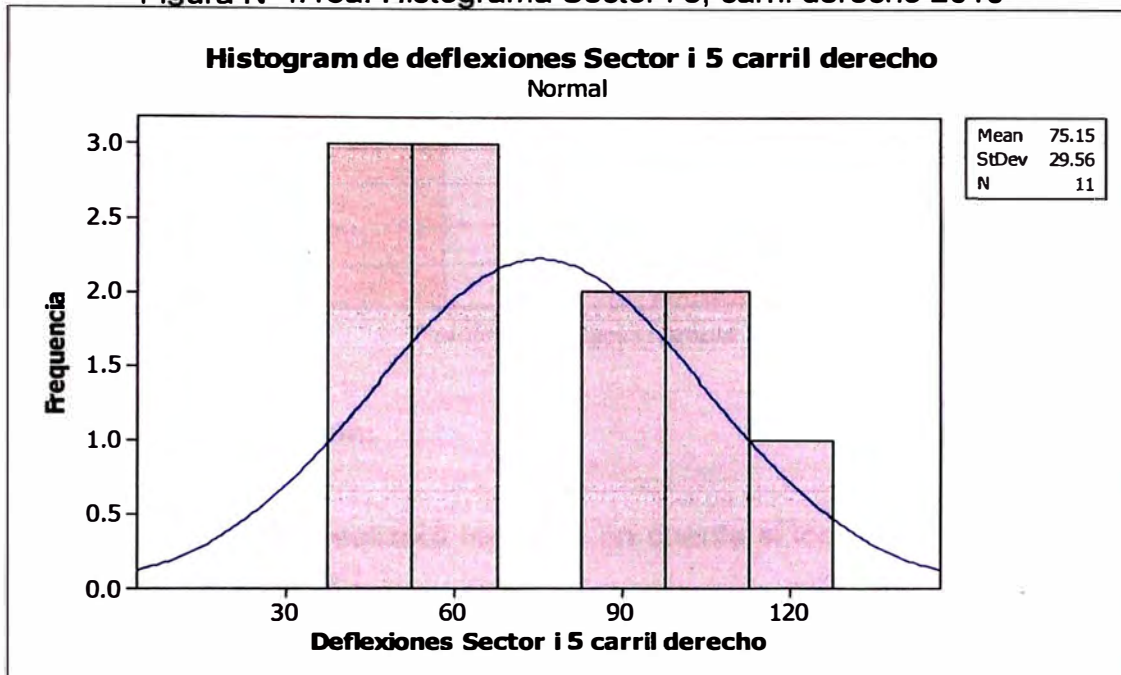
Fuente: Elaboración propia con ayuda del programa MINITAB15

Las gráficas 4.12a y 4.12b, tienden a una distribución normal, con  $P\text{-Value} = 0.837 > 0.05 \rightarrow$  **distribución normal.**



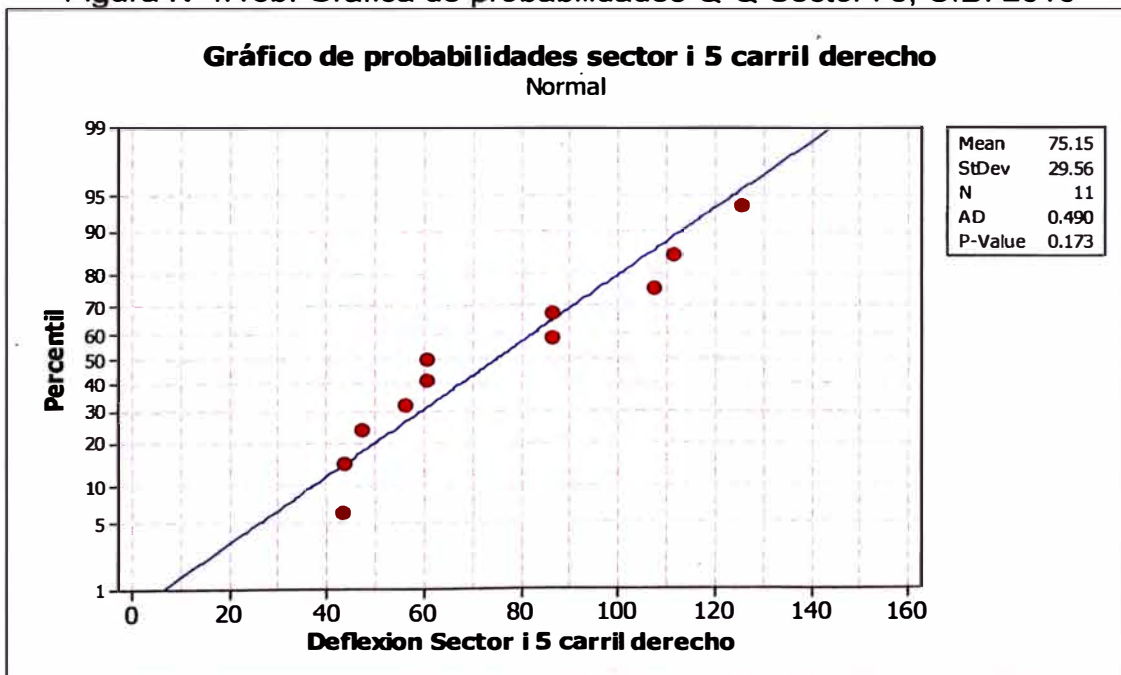
- Estudio de la normalidad para el Sector i 5, carril derecho:

Figura N°4.13a: Histograma Sector i 5, carril derecho 2010



Fuente: Elaboración propia con ayuda del programa MINITAB15

Figura N°4.13b: Gráfica de probabilidades Q-Q Sector i 5, C.D. 2010



Fuente: Elaboración propia con ayuda del programa MINITAB15

Las gráficas 4.13a y 4.13b, tienden a una distribución normal, con  $P\text{-Value} = 0.173 > 0.05 \rightarrow$  **distribución normal.**

El cuadro 4.03, representa de manera simplificada que sectores tienen distribución normal para los datos del 2010.

Cuadro 4.03: Tipo de distribución por carril y sector

Sector	Carril izquierdo		Carril derecho	
	Dist Normal	Dis No normal	Dist Normal	Dis No normal
Sector 1				
Sector 2				
Sector 3				
Sector 4				
Sector 5				

Fuente: Elaboración propia

#### Paso 4: Homogenización:

La homogenización se realizará teniendo en cuenta si los datos tienen o no una distribución normal.

Dos sectores con distribución normal son homogéneos si sus parámetros estadísticos como la media, mediana y desviación estándar de los dos sectores son semejantes.

Suficiente que uno de los sectores tenga distribución no normal para verificar si es homogéneo con otro por medio del test de Mann-Whitney. Más adelante se detallará de una manera resumida este tipo de test.

En el cuadro 4.04 muestran los parámetros estadísticos de cada uno de estos sectores, tanto para el carril izquierdo como el derecho.

Cuadro 4.04: Parámetros estadísticos de cada Sector i del año 2010

Carril Sector i	Carril izquierdo			Carril derecho		
	media $\bar{D}$	desv es $\sigma$	Mediana $\bar{D}$	media	desv es $\sigma$	Mediana
Sector i 1	33.47	14.24	30.39	32.60	12.00	32.59
Sector i 2	31.82	11.47	30.03	37.41	10.72	38.67
Sector i 3	54.13	11.68	55.73	50.28	17.96	44.96
Sector i 4	75.39	27.24	76.56	97.69	24.61	95.94
Sector i 5	97.51	24.86	102.74	75.15	29.56	60.34

Fuente: Elaboración propia

**Homogenización de sectores con distribución normal:**

**Carril izquierdo:**

- Parámetro estadístico del Sector i 1  $\equiv$  Sector i 2 → **Sectores homogéneos.**
- Parámetro estadístico del Sector i 1  $\neq$  Sector i 3 → Sectores no homogéneos.
- Parámetro estadístico del Sector i 1  $\neq$  Sector i 4 → Sectores no homogéneos.
- Parámetro estadístico del Sector i 1  $\neq$  Sector i 5 → Sectores no homogéneos.
- Parámetro estadístico del Sector i 3  $\neq$  Sector i 4 → Sectores no homogéneos.
- Parámetro estadístico del Sector i 3  $\neq$  Sector i 5 → Sectores no homogéneos.
- Parámetro estadístico del Sector i 4  $\neq$  Sector i 5 → Sectores no homogéneos.

**Carril derecho:**

- Parámetro estadístico del Sector i 1  $\equiv$  Sector i 2 → **Sectores homogéneos.**
- Parámetro estadístico del Sector i 1  $\neq$  Sector i 3 → Sectores no homogéneos.
- Parámetro estadístico del Sector i 1  $\neq$  Sector i 4 → Sectores no homogéneos.
- Parámetro estadístico del Sector i 1  $\neq$  Sector i 5 → Sectores no homogéneos.
- Parámetro estadístico del Sector i 3  $\neq$  Sector i 4 → Sectores no homogéneos.
- Parámetro estadístico del Sector i 3  $\neq$  Sector i 5 → Sectores no homogéneos.
- Parámetro estadístico del Sector i 4  $\neq$  Sector i 5 → Sectores no homogéneos.

En el cuadro 4.05 muestra una matriz de doble entrada, donde se observa a manera de resumen el estudio de los sectores homogéneos, los únicos sectores homogéneos son el 1 y 2.

Cuadro 4.05: Matriz de sectores homogéneos carril izquierdo año 2010

sector \ sector	Sector i1	Sector i2	Sector i3	Sector i4	Sector i5
Sector i 1					
Sector i 2					
Sector i 3					
Sector i 4					
Sector i 5					

Fuente: Elaboración propia

El cuadro pintado de azul representa los sectores homogéneos.

### Homogenización de sectores con distribución no normal:

Otra manera de verificar sectores homogéneos es mediante el test de Mann-Whitney, este test abarca tanto datos con distribución normal como no normales.

Test de Mann-Whitney:

$$U_1 = n_1 n_2 + \frac{n_1(n_1 + 1)}{2} - \sum R_1 \quad U_2 = n_1 n_2 + \frac{n_2(n_2 + 1)}{2} - \sum R_2 \quad (4.02)$$

Donde:

$U_1$  y  $U_2$  = valores estadísticos de U Mann-Whitney.

$n_1$  = tamaño de la muestra del sector i 1.

$n_2$  = tamaño de la muestra del sector i 2.

$R_1$  = sumatoria de los rangos del sector i 1.

$R_2$  = sumatoria de los rangos del sector i 2.

Pasos:

1. Determinar el tamaño de las muestras ( $n_1$  y  $n_2$ ). Si  $n_1$  y  $n_2$  son menores que 20, se consideran muestras pequeñas, pero si son mayores que 20, se consideran muestras grandes.
2. Arreglar los datos en rangos del menor al mayor valor. En caso de que existan ligas o empates de rangos iguales, se deberán detectar para un ajuste posterior.
3. Calcular los valores de  $U_1$  y  $U_2$ , de modo que se elija el más pequeño para comparar con los críticos de U Mann-Whitney de la tabla de probabilidades asociadas con valores pequeños como los de U en la prueba de Mann-Whitney.
4. En caso de muestras grandes, calcular el valor Z, pues en estas condiciones se distribuye normalmente.  
Decidir si se acepta o rechaza la hipótesis.

Ejemplo para demostrar si los Sectores i1, i2 del carril izquierdo año 2010 son homogéneos por el test de Mann-Whitney:

*Planteamiento de hipótesis:*

Hipótesis alterna (Ha). Los valores de una de las muestras *tienden a exceder* a los de la otra.

Hipótesis nula (Ho). Las distribuciones de partida de ambas distribuciones es la misma.

*Nivel de significación.*

Para todo valor de probabilidad igual o menor que 0.05, se acepta Ha y se rechaza Ho.

*Zona de rechazo.*

Para todo valor de probabilidad mayor que 0.05, se acepta Ho y se rechaza Ha.

El cuadro 4.06 muestra las deflexiones del sector inicial 1 y 2.

El cuadro 4.07 muestra el rango de deflexiones.

Cuadro 4.06: Deflexiones del Sector i 1 y Sector i 2 año 2010

Sectores i	Deflexiones $\times 10^{-2}$ mm									
Sector i 1	17.39	52.24	34.73	17.38	60.96	39.17	26.10	26.07	26.02	34.67
Sector i 2	34.58	21.61	21.52	43.12	30.09	38.74	21.40	21.52	29.98	55.67

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 4.07: Rango de deflexiones año 2010

Sectores i	Deflexiones $\times 10^{-2}$ mm										
Sector i 1	17.39	17.38	26.02	26.07	26.10	34.67	34.73	39.17	52.24	60.96	88
Rango	1	2	7	8	9	13	14	16	18	20	
Sector i 2	21.40	21.52	21.52	21.61	29.98	30.09	34.58	38.74	43.12	55.67	83
Rango	3	4	5	6	10	11	12	15	17	19	

Fuente: Elaboración propia



Siendo los datos:

n1: 10                       $\Sigma R_1 : 88$

n2: 10                       $\Sigma R_2 : 83$

Remplazando en la fórmula 4.02, se obtiene el valor de U

U1 = 67

U2 = 72

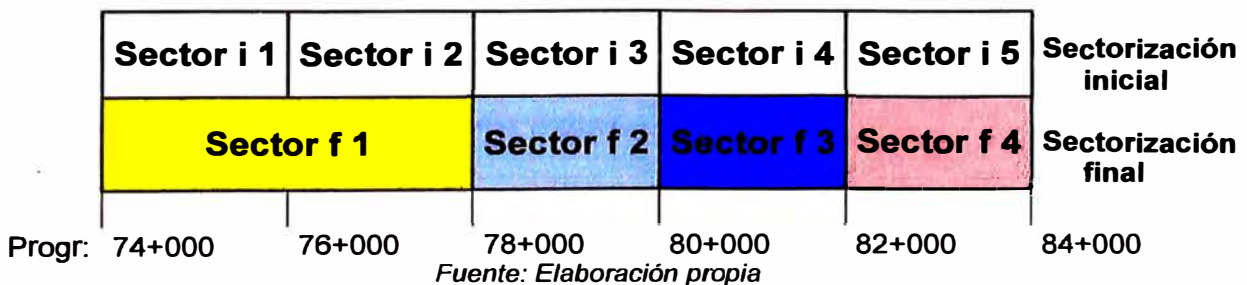
De los dos valores de U calculados, se elige el más pequeño y se comparan con los valores críticos de U Mann-Whitney.

U1 = 67 > 23 (de las tablas)

Se acepta la hipótesis de Ho. Los dos sectores **son homogéneos**.

El programa MINITAB también cuenta con este tipo de test para evaluar sectores homogéneos. En el cuadro 4.08 se muestran los sectores finales, luego del estudio de los datos del carril izquierdo del 2010, identificado con un color representativo.

Cuadro 4.08: Sectorización final, después de la homogenización



Los sectores iniciales (Sector i) representan la primera sectorización de la vía de acuerdo a tramos iguales de 2 km cada uno.

Los sectores finales (Sector f), representan la sectorización producto de la homogenización, donde el Sector i 1 es homogéneo con el Sector i 2. Finalmente del análisis de cada sector inicial se llegó a determinar 4 sectores.



**Paso 5: Deflexión característica, radio de curvatura y admisible**

• **Cálculo de deflexión característica para los Sectores f año 2010**

De acuerdo al estudio de la normalidad, paso 3, se determinó que todos los sectores i del año 2010 en ambos carriles siguen una distribución normal. Por lo tanto se empleará la fórmula del CONREVIAl, fórmula 3.6.

$$Dc = \bar{D} + t\sigma_{\bar{D}} \quad \text{Siendo: } \sigma = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

Al remplazar en esta fórmula, se obtienen el cuadro 4.09, que muestra las deflexiones características de cada sector i, así como las deflexiones características de cada sector homogéneo. Se observa el sector i 1 y 2, hacen un solo sector homogéneo, cuya deflexión característica es el mayor de los dos.

Las unidades de las deflexiones se expresa en  $10^{-2} mm$

Cuadro 4.09: Deflexiones características 2010 por sector inicial y final

Carril Sector	año 2010		sector final (homogéneo)	
	izquierdo	derecho	izquierdo	derecho
Sector i 1	42.20	39.96	42.20	43.07
Sector i 2	38.70	43.07		
Sector i 3	61.11	60.30	61.11	60.30
Sector i 4	92.12	112.60	92.12	112.60
Sector i 5	110.49	92.90	110.49	92.90

Fuente: Elaboración propia

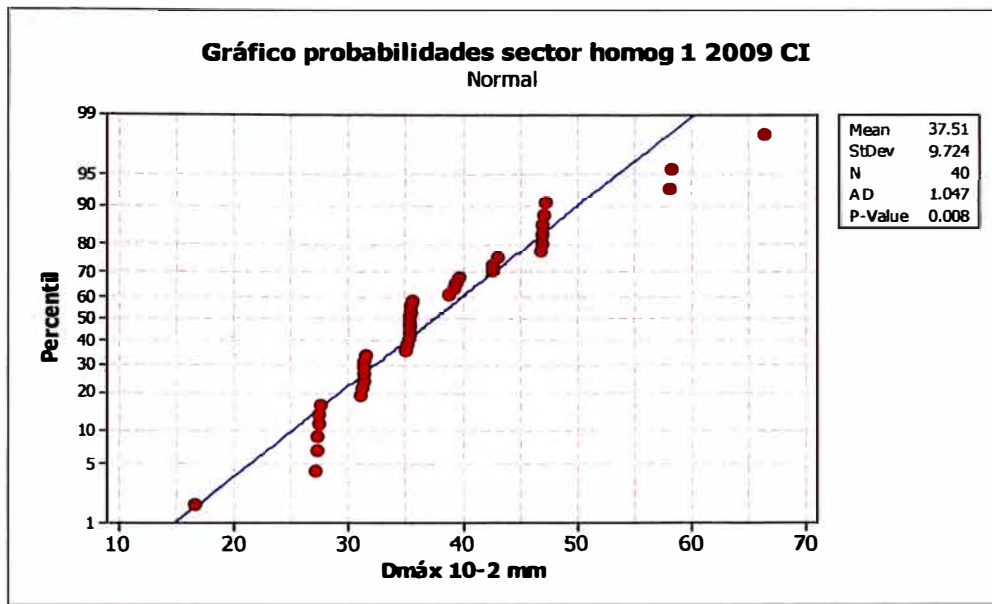
• **Cálculo de deflexión característica para los Sectores f año 2009**

Estudio de la normalidad:

Se verificará la normalidad de los datos representados en el anexo 2, para cada uno de los sectores f del año 2009 mediante la gráfica de probabilidades.

En la figura 4.14 y 4.15 se muestran el estudio de la normalidad por la gráfica de probabilidades a manera de ejemplo para el sector f1 carril izquierdo y derecho.

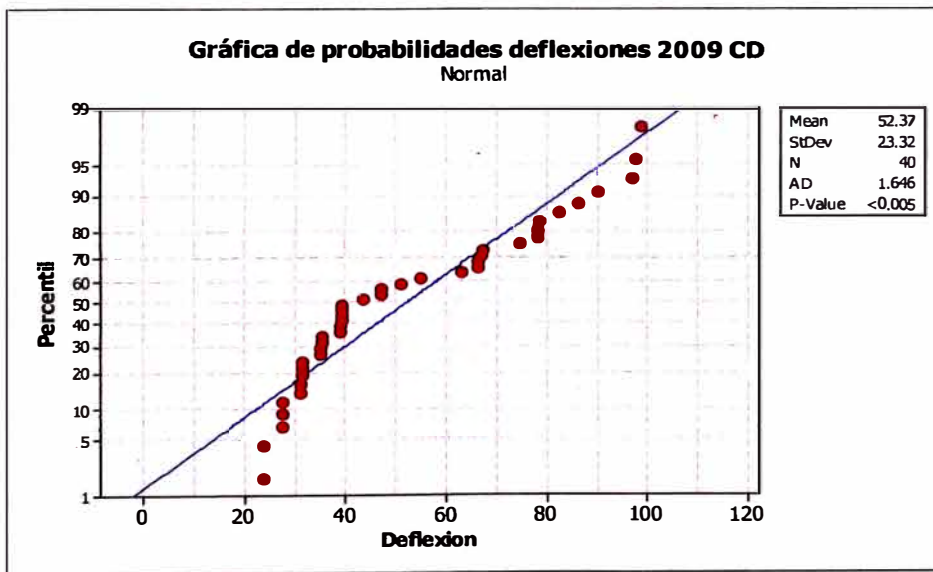
Figura4.14 Grafica probabilidades sector f 1 2009 ci



Fuente: elaboración propia

Estos datos no siguen una distribución normal.

Figura4.15 Grafica probabilidades sector f 1 2009 cd



Fuente: elaboración propia

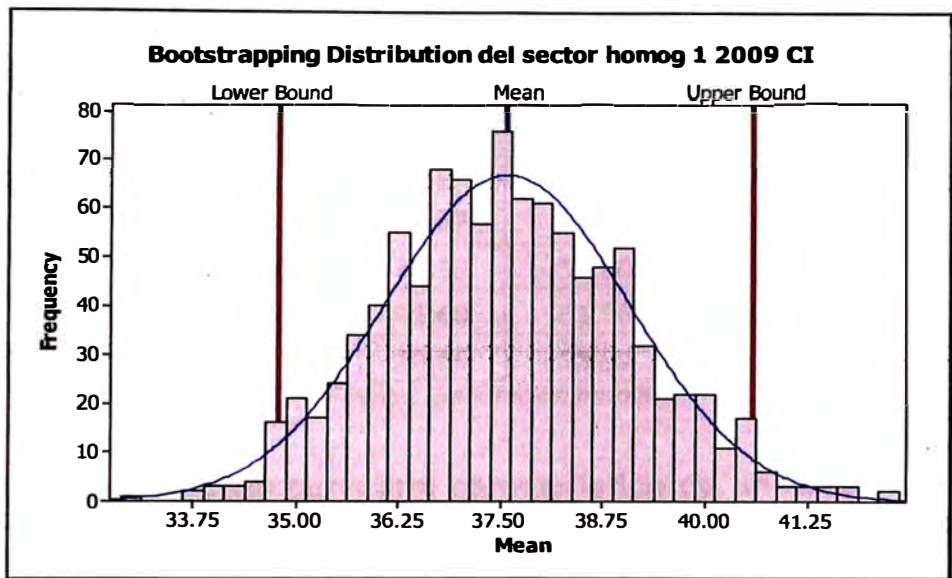
Estos datos no siguen una distribución normal.

Deflexión característica:

Al demostrar que el Sector f1 para los datos del 2009 son no normales, se calculará la Dc con el Bootstrap, con este programa es posible calcular la Dc tanto para distribuciones normales como no normales.

Las figuras 4.16a y 4.16b, representan los resultados que da el programa Bootstrap para el sector f1 del carril izquierdo y derecho, los demás serán indicados en la tabla 4.10.

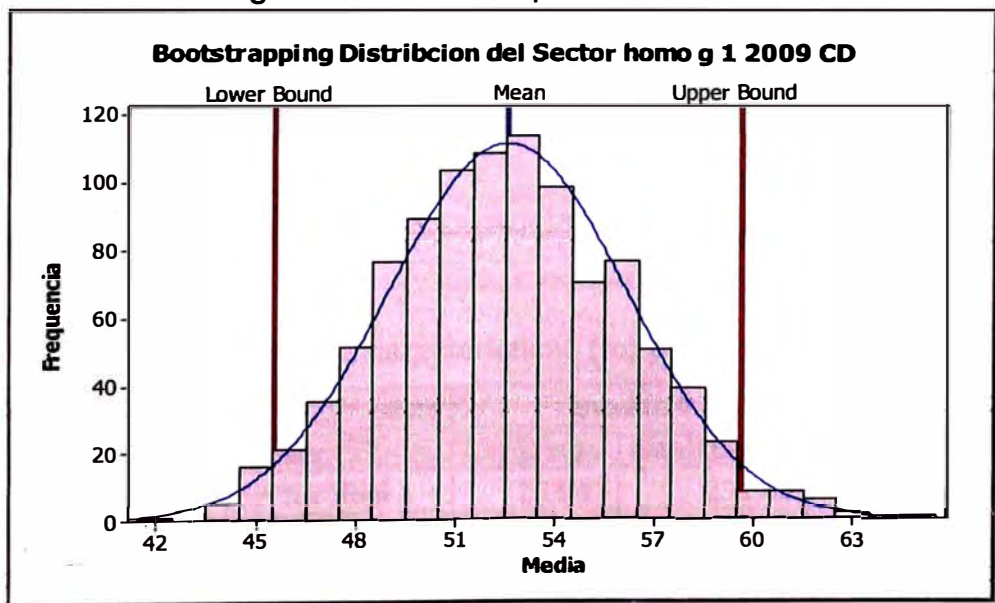
Figura4.16a Bootstrap carril izquierdo 2009



Fuente: elaboración propia

La Deflexión característica del carril izquierdo para el año 2009 calculados con el Bootstrap, es:  $40.57 \times 10^{-2}$  mm

Figura4.16b Bootstrap carril derecho 2009



Fuente: Elaboración propia

La Deflexión característica del carril derecho del 2009 =  $59.61 \times 10^{-2} \text{ mm}$   
 Finalmente en el cuadro 4.10 muestra el resumen de las deflexiones características por año de estudio y por sector final. Las unidades de las deflexiones esta dado por  $10^{-2} \text{ mm}$

Cuadro 4.10: Deflexiones características ( $10^{-2} \text{ mm}$ ), 2009 -2010 por sector final

Sector inicial	Sector final \ Año	año 2009		año 2010	
		Carril Izq	Carril Der	Carril Izq	Carril Der
Sector i 1	Sector f 1	40.57	59.61	42.22	43.07
Sector i 2					
Sector i 3	Sector f 2	46.33	53.00	61.11	60.30
Sector i 4	Sector f 3	91.60	61.96	92.12	112.60
Sector i 5	Sector f 4	58.85	58.97	110.49	92.90

Fuente: Elaboración propia

- **Cálculo del radio de curvatura característico de un sector homogéneo ( $\overline{Rcc}$ )**

El radio de curvatura será calculado como el promedio para cada sector homogéneo de todos los valores de los radios obtenidos en cada punto en estudio. Los valores del  $Rcc$  para los Sectores homogéneos del 2010, serán indicados en la cuadro 4.11.

Se definirá en este trabajo como la fórmula siguiente:

$$\overline{Rcc} = \frac{\sum Ri}{n} \quad \dots (4.03)$$

Cuadro 4.11: Radios característicos (m) por sector homogéneo

Sector \ Año	año 2010	
	Carril Izq	Carril Der
Sector final 1	262.47	231.63
Sector final 2	126.72	161.22
Sector final 3	209.09	103.46
Sector final 4	100.77	106.82

Fuente: Elaboración propia

• **Cálculo de la deflexión admisible ( $D_a$ )**

Los valores de esta deflexión admisible fueron recopilados de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Ingeniería del 2009, no se ha entrado mucho al detalle el procedimiento de cálculo de estos valores, debido a que es una información complementaria al objetivo principal del Informe de Suficiencia, "Homogenización de sectores". Como se indica en el cuadro 4.12

Cuadro 4.12: Deflexión admisible ( $10^{-2} mm$ )

Tramo P. Nuevo 66+580 - Chichicay 92+111	
año	Da
2009	147.49
2010	123.46
2011	111.06
2012	96.81

Fuente: Escuela de Ingeniería civil Uni

En el cuadro 4.13 y 4.14 resumen las deflexiones características, admisibles y radios de curvaturas para cada sector final.

Cuadro 4.13: Resumen de resultado carril izquierdo

Sector	Homogeneo	año 2009		año 2010		
		Dc	Da	Dc	Da	Rcc
Sector i 1	Sector f 1	40.57	147.49	42.22	123.46	262.47
Sector i 2						
Sector i 3	Sector f 2	46.33	147.49	61.11	123.46	126.72
Sector i 4	Sector f3	91.60	147.49	92.12	123.46	209.09
Sector i 5	Sector f 4	58.85	147.49	110.49	123.46	100.77

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 4.14: Resumen de resultado carril derecho

Sector	Homogeneo	año 2009		año 2010		
		Dc	Da	Dc	Da	Rcc
Sector i 1	Sector f 1	59.61	147.49	43.07	123.46	131.63
Sector i 2						
Sector i 3	Sector f 2	53.00	147.49	60.30	123.46	161.22
Sector i 4	Sector f3	61.96	147.49	112.60	123.46	103.46
Sector i 5	Sector f 4	58.97	147.49	92.90	123.46	106.82

Fuente: Elaboración propia

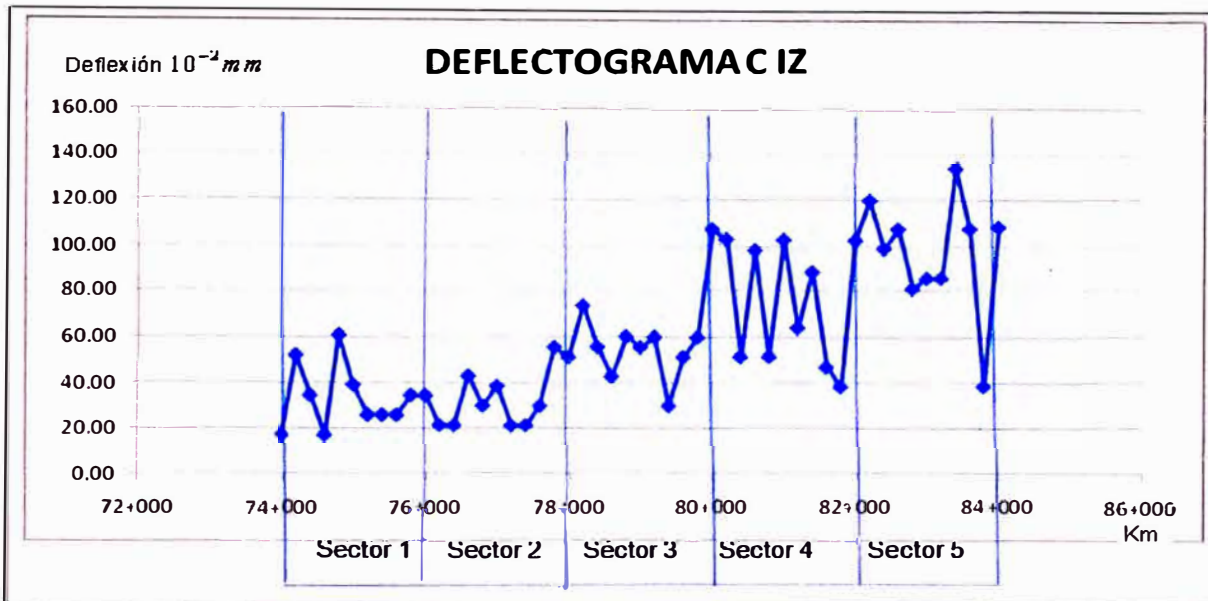


## CAPÍTULO V.- ANÁLISIS DE RESULTADOS

### 5.1 GRÁFICOS DE DEFLECTOGRAMA

De la Información recopilada en campo del 2010 se grafica el deflectograma para cada carril en estudio. Donde se dividirá de acuerdo a los sectores iniciales de estudio. Según muestra la figura 5.01 y 5.02

**Figura 5.01: Deflectograma datos 2010 carril izquierdo**



Fuente: Elaboración propia

De la figura 5.01, se logra observar lo siguiente:

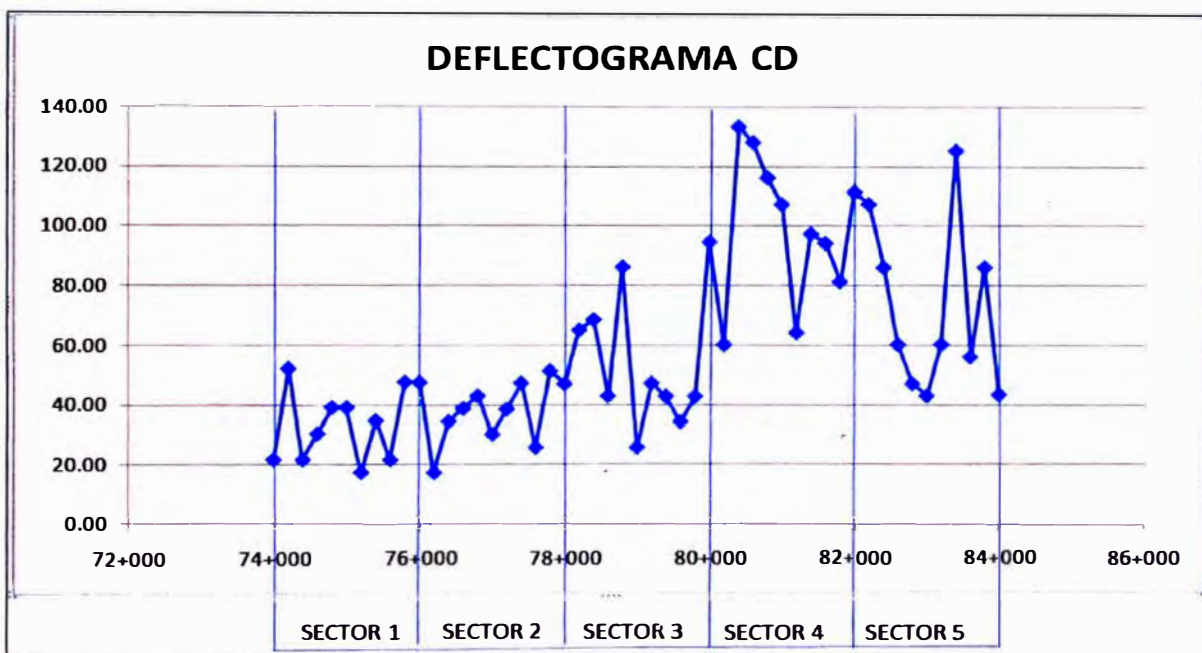
- Las deflexiones aumentan a medida que aumentan las progresivas.
- El Sector 1 tiene un comportamiento similar que el Sector 2, tal como se logro determinar en el capítulo 4 que estos sectores son homogéneos.
- Como información complementaria, relacionando con la figura 1.03 las zonas desérticas con buen sistema de canaletas se encuentran en las progresivas bajas, mientras que en las progresivas altas del deflectograma hay mayor presencia vegetativa en el paisaje con deficiente sistema de evacuación de aguas como canaletas.



- Los puntos que no siguen una secuencia lógica como, es decir alejados del conjunto de puntos que lo rodean pueden deberse a errores en la toma de medición, estos no afectarán en los resultados finales de la deflexión característica debido que este cálculo se realiza considerando un porcentaje de error del 0.05.

A continuación se grafica la figura 5.02, que muestra el deflectograma del carril derecho.

**Figura 5.02: Deflectograma datos 2010 carril derecho**



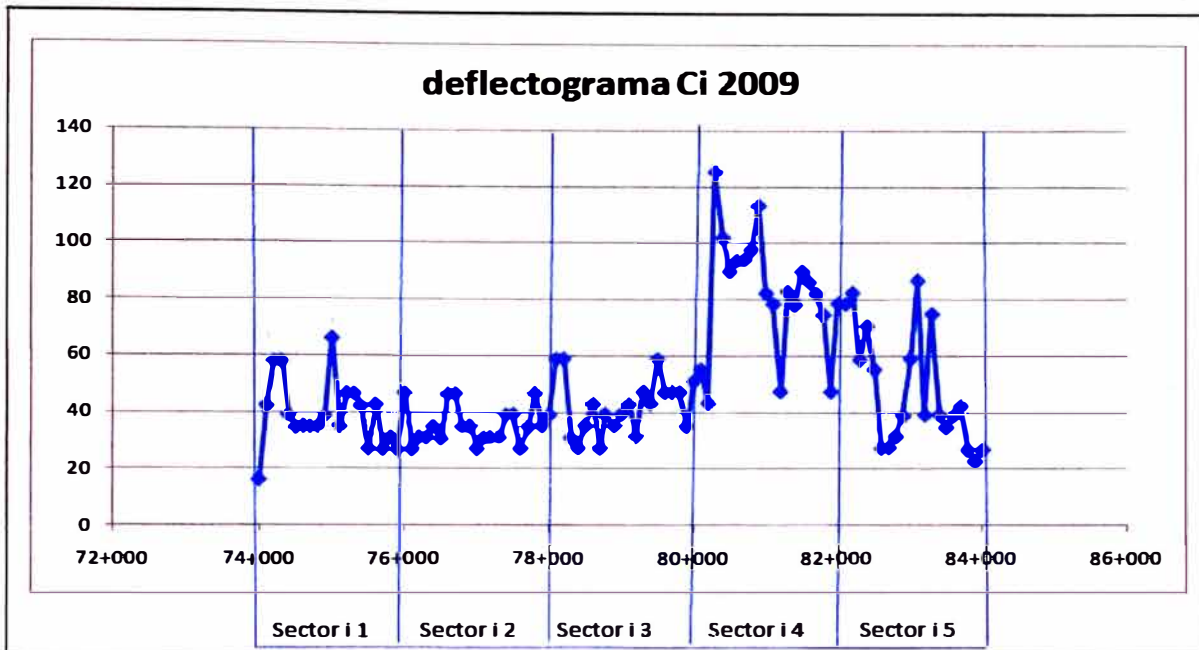
*Fuente: Elaboración propia*

De la figura 5.02, se logra observar que las deflexiones tiene el mismo comportamiento que el carril izquierdo.

Para la homogenización es importante empezar con estudiar el deflectograma, ya que este me da información valiosa del comportamiento de las deflexiones a lo largo de la vía.

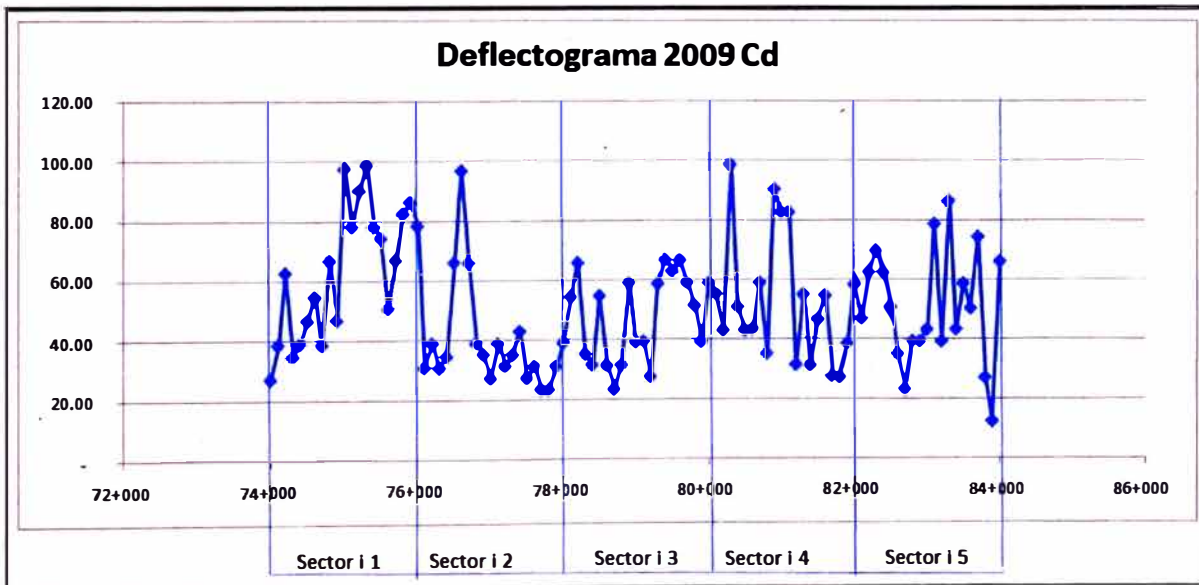
A continuación se grafica los deflectogramas del año 2009, (figura 5.03 y 5.04)

**Figura 5.03: Deflectograma datos 2009 carril izquierdo**



*Fuente: Elaboración propia*

**Figura 5.04: Deflectograma datos 2009 carril derecho**



*Fuente: Elaboración propia*

- Al comparar las figuras 5.03 y 5.04 se observa que las deflexiones en el sector i 1 del carril derecho es mayor que del carril izquierdo.
- En el carril derecho del 2009 para las progresivas del sector i 1 y 2 se muestra que las deflexiones son altas y parecidas al sector i 5, es posible que se hayan producido fallas y se obligo a una reparación en estos

sectores y carriles, por eso se observa que en este sector i 1, 2 del carril derecho se redujo la deflexión para el año 2010.

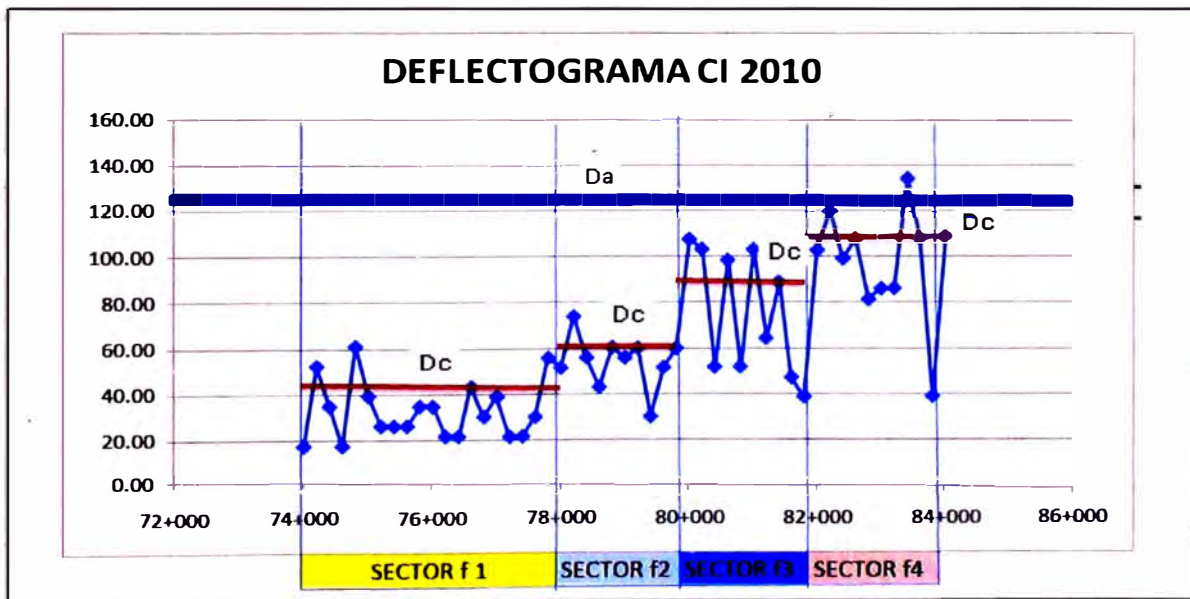
- Otro punto importante a saber, es que si se analizan estos datos del 2009 para hallar sus tramos homogéneos, no necesariamente coincidirá con los del 2010.

## 5.2 SECTORIZACIÓN DEL TRAMO EN ESTUDIO

La sectorización final que trata este capítulo, se refiere a los sectores homogéneos que se calculó en el capítulo IV.

En las siguientes figuras 5.05a, y 5.05b, se representan gráficamente las deflexiones características en el deflectograma.

**Figura 5.05a: Deflexión características en carril izquierdo 2010**



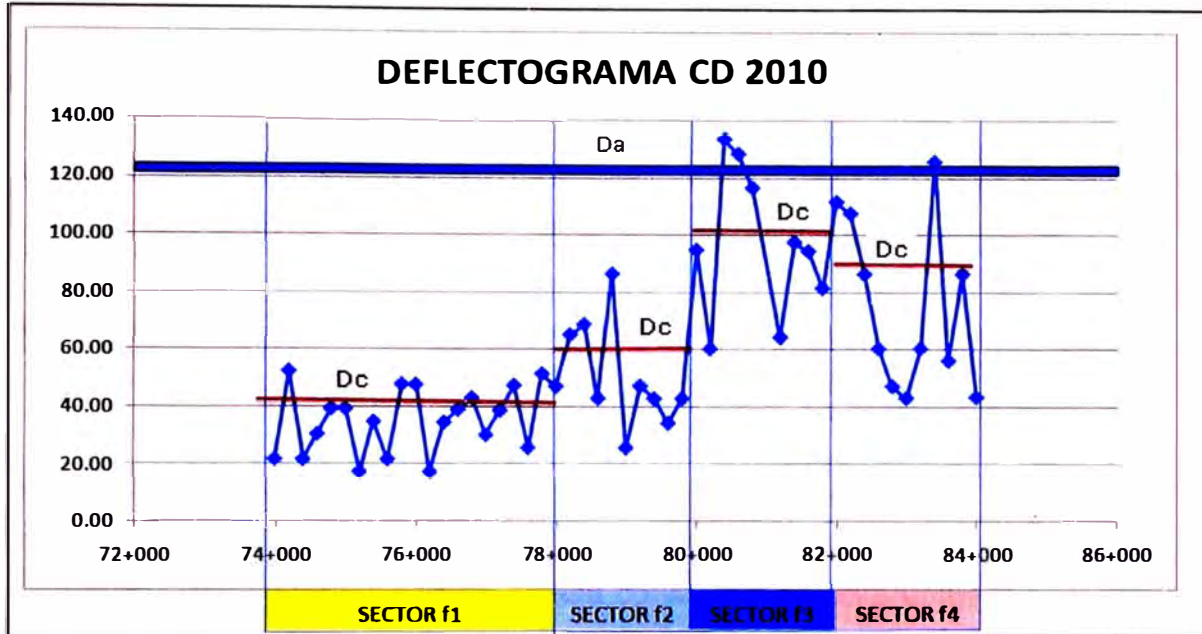
Fuente: Elaboración propia

En la figura 5.05a se observa que la deflexión característica aumenta con las progresivas.

En el Sector f 4, la deflexión admisible esta cercana a la característica, la deflexión característica del Sector f 1 está muy lejos de la deflexión admisible para el año 2010.

Al igual que en el carril izquierdo las deflexiones características en cada Sector f son menores que las deflexiones admisibles.

**Figura 5.05b: Deflexión características en carril derecho 2010**



Fuente: elaboración propia

El Sector f 3 de la figura 5.05b es el más crítico, sigue observándose que la mínima deflexión característica se presenta en el Sector f1. Además se observa que las deflexiones características son menores que las deflexiones admisibles.

### 5.3 ANÁLISIS DE DEFLEXIONES

Al analizar la tabla 4.13 correspondiente a los resultados del carril izquierdo, las deflexiones características de cada sector final (Sector f) del año 2009 son menores que los del 2010, además los radios de curvatura son mayores a 100.

Para la tabla 4.14 correspondiente a los resultados del carril derecho, las deflexiones características de cada sector final (Sector f) del año 2009 son menores que los del 2010, excepto en el Sector f 1, donde se observa que la deflexión característica disminuye.

Al observar una posible incoherencia en los resultados de las deflexiones características en el carril derecho, se deberá analizar solamente el carril izquierdo para la elaboración de la curva de deterioro.

## CONCLUSIONES

- La metodología de discriminación de datos descrita en este Informe de Suficiencia es válida para cualquier conjunto de datos que se requiera encontrar sectores homogéneos. No se limita solamente a datos de deflexiones recolectados con la Viga Benkelman.
- El número de sectores finales encontrados luego de la homogenización, depende de la cantidad de sectores iniciales que se quiera estudiar.
- La cantidad de sectores iniciales a estudiar depende del criterio del investigador, puede guiarse del deflectograma, por distancias iguales, etc.
- Los sectores homogéneos para un sector determinado de la vía en estudio, puede variar de un año a otro, así como de un carril a otro, por que las deflexiones no tienen una tendencia constante, por diferentes factores como el tráfico, el clima, estado de materiales, etc.
- La metodología para la homogenización de sectores depende de la distribución de sus datos:

En distribuciones normales la homogenización se realiza comparando los parámetros estadísticos (media, mediana, desviación estándar) de cada sector.

Para distribuciones no normales la homogenización se realiza por medio del Test de Mann-Whitney.

- Para el cálculo de la deflexión característica es importante verificar si los datos siguen una distribución normal:

En distribuciones normales el cálculo de la deflexión característica se hará de acuerdo al CONREVIAL.



Para distribuciones no normales el cálculo de la deflexión característica, se debe calcular con el programa Bootstrap.

- Al analizar las deflexiones del carril derecho, se observó una incoherencia en el Sector f1 debido que la deflexión característica del año 2009 disminuye en el 2010. Por tal motivo, para la elaboración de la curva de deterioro se tomarán los datos del carril izquierdo.



## RECOMENDACIONES

- Se recomienda determinar sectores homogéneos por cada año en estudio servirá para tener una idea como cambian estos con el tiempo. Su importancia radica que si se tiene un registro histórico se pueda dar una tentativa de cuales podrán ser los sectores homogéneos en el futuro.
- Se debe usar programas similares al Minitab y al Bootstrap para corroborar resultados y tener un mayor análisis de datos.
- Tener un buen control en la toma de datos para evitar errores que puedan repercutir en el proceso de homogenización.

## BIBLIOGRAFÍA

Alvarado Rivera, Carlos Milton; " Evaluación Estructural de la carretera Cañete – Yauyos – Chupaca con Viga Benkelman, Método Empírico km 64+000-km99+000 ", Tesis UNI FIC; Perú, 2009

Gutiérrez Lázares, José Wilfredo; " Modelación Geotécnica de Pavimentos Flexibles con Fines de Análisis y Diseño en el Perú", Tesis de Maestría UNI FIC; Perú 2007.

Henning, T.F.P. y Roux, D.C.; "Benchmarking Pavement Performance Between Transit's LTPP and CAPTIF Programmes", *Land Transport New Zealand 2007*.

Salvador Figueroa, M.; "Análisis Exploratorio de datos"; Universidad de Zaragoza; 2003.

Vicenta Sierra, Antonio Solanas, " Bootstrap: fundamentos e introducción a sus aplicaciones ", Universidad de Barcelona; España, 1992

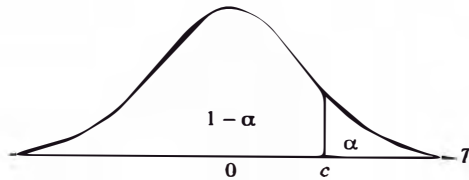
<http://www.campus.com/lección/aed>; "Análisis Exploratorio de datos"; Universidad de Zaragoza; 2003.

## **ANEXOS**

**ANEXO 1**

**TABLA DE LA DISTRIBUCION *t*-Student**

La tabla da áreas  $1 - \alpha$  y valores  $c = t_{1-\alpha, r}$ , donde,  $P[T \leq c] = 1 - \alpha$ , y donde  $T$  tiene distribución *t*-Student con  $r$  grados de libertad.



$r$	$1 - \alpha$							
	0.75	0.80	0.85	0.90	0.95	0.975	0.99	0.995
1	1.000	1.376	1.963	3.078	6.314	12.706	31.821	63.657
2	0.816	1.061	1.386	1.886	2.920	4.303	6.965	9.925
3	0.765	0.978	1.250	1.638	2.353	3.182	4.541	5.841
4	0.741	0.941	1.190	1.533	2.132	2.776	3.747	4.604
5	0.727	0.920	1.156	1.476	2.015	2.571	3.365	4.032
6	0.718	0.906	1.134	1.440	1.943	2.447	3.143	3.707
7	0.711	0.896	1.119	1.415	1.895	2.365	2.998	3.499
8	0.706	0.889	1.108	1.397	1.860	2.306	2.896	3.355
9	0.703	0.883	1.100	1.383	1.833	2.262	2.821	3.250
10	0.700	0.879	1.093	1.372	1.812	2.228	2.764	3.169
11	0.697	0.876	1.088	1.363	1.796	2.201	2.718	3.106
12	0.695	0.873	1.083	1.356	1.782	2.179	2.681	3.055
13	0.694	0.870	1.079	1.350	1.771	2.160	2.650	3.012
14	0.692	0.868	1.076	1.345	1.761	2.145	2.624	2.977
15	0.691	0.866	1.074	1.341	1.753	2.131	2.602	2.947
16	0.690	0.865	1.071	1.337	1.746	2.120	2.583	2.921
17	0.689	0.863	1.069	1.333	1.740	2.110	2.567	2.898
18	0.688	0.862	1.067	1.330	1.734	2.101	2.552	2.878
19	0.688	0.861	1.066	1.328	1.729	2.093	2.539	2.861
20	0.687	0.860	1.064	1.325	1.725	2.086	2.528	2.845
21	0.686	0.859	1.063	1.323	1.721	2.080	2.518	2.831
22	0.686	0.858	1.061	1.321	1.717	2.074	2.508	2.819
23	0.685	0.858	1.060	1.319	1.714	2.069	2.500	2.807
24	0.685	0.857	1.059	1.318	1.711	2.064	2.492	2.797
25	0.684	0.856	1.058	1.316	1.708	2.060	2.485	2.787
26	0.684	0.856	1.058	1.315	1.706	2.056	2.479	2.779
27	0.684	0.855	1.057	1.314	1.703	2.052	2.473	2.771
28	0.683	0.855	1.056	1.313	1.701	2.048	2.467	2.763
29	0.683	0.854	1.055	1.311	1.699	2.045	2.462	2.756
30	0.683	0.854	1.055	1.310	1.697	2.042	2.457	2.750
40	0.681	0.851	1.050	1.303	1.684	2.021	2.423	2.704
60	0.679	0.848	1.046	1.296	1.671	2.000	2.390	2.660
120	0.677	0.845	1.041	1.289	1.658	1.980	2.358	2.617
$\infty$	0.674	0.842	1.036	1.282	1.645	1.960	2.326	2.576



**ANEXO 2**

**Cuadro 1: Lectura de campo, deflexiones corregidas y radios de curvatura carril izquierdo año 2009**

Nº	Progresiva (km)	Carril	Lecturas de Campo (10-2mm)					Espesor (mm)	Ahueamiento (mm)	Temperatura (°C)	RESULTADOS DE FLECTOMETRICOS				Radio Curvatura
			L1	L25	L50	L70	Lmáx				Deflexiones Corregidas (mm)				
											0	25	50	70	
1	74+000	Izquierdo	0	2	4	5	6	13	3	368	0.16	0.11	0.05	0.03	568.8
2	74+100	Izquierdo	0	2	5	7	11	20	5	36.1	0.43	0.35	0.23	0.15	404.2
3	74+200	Izquierdo	0	4	8	10	15	22	7	34.2	0.58	0.43	0.27	0.19	201.9
4	74+300	Izquierdo	0	4	8	10	15	20	4	34.5	0.58	0.43	0.27	0.19	201.5
5	74+400	Izquierdo	0	2	5	6	10	11	5	37.8	0.39	0.31	0.20	0.16	399.3
6	74+500	Izquierdo	0	3	6	8	9	16	2	38.6	0.35	0.23	0.12	0.04	268.8
7	74+600	Izquierdo	0	2	5	7	9	8	2	37.7	0.35	0.28	0.16	0.08	397.1
8	74+700	Izquierdo	0	2	5	7	9	11	3	38.2	0.35	0.27	0.16	0.08	399.4
9	74+800	Izquierdo	0	2	7	8	9	9	3	39.8	0.35	0.27	0.08	0.04	398.6
10	74+900	Izquierdo	0	4	7	8	10	12	2	44.2	0.39	0.23	0.12	0.08	201.5
11	75+000	Izquierdo	0	3	10	12	17	9	7	45.5	0.66	0.55	0.27	0.20	267.1
12	75+100	Izquierdo	0	3	5	7	9	8	10	42.6	0.35	0.24	0.16	0.08	265.8
13	75+200	Izquierdo	0	1	5	7	12	9	3	40.8	0.47	0.43	0.27	0.20	797.9
14	75+300	Izquierdo	0	2	4	7	12	10	5	41.1	0.47	0.39	0.31	0.20	399.9
15	75+400	Izquierdo	0	4	6	8	11	15	7	42.8	0.42	0.27	0.19	0.12	202.5
16	75+500	Izquierdo	0	2	4	5	7	8	5	42	0.27	0.20	0.12	0.08	398.5
17	75+600	Izquierdo	0	3	5	6	11	10	11	40.9	0.43	0.31	0.23	0.20	266.5
18	75+700	Izquierdo	0	1	4	6	7	12	10	40.1	0.27	0.23	0.12	0.04	802.1
19	75+800	Izquierdo	0	2	5	6	8	8	3	41.8	0.31	0.24	0.12	0.08	398.4
20	75+900	Izquierdo	0	2	4	5	7	15	4	40.8	0.27	0.19	0.12	0.08	403.8
21	76+000	Izquierdo	0	2	7	9	12	8	5	40.1	0.47	0.39	0.20	0.12	397.9
22	76+100	Izquierdo	0	2	4	5	7	13	10	38	0.27	0.19	0.12	0.08	400.8
23	76+200	Izquierdo	0	1	3	5	8	10	6	38	0.31	0.27	0.20	0.12	797.3
24	76+300	Izquierdo	0	2	5	7	8	10	5	38.2	0.31	0.24	0.12	0.04	398.7
25	76+400	Izquierdo	0	3	5	7	9	13	3	35.8	0.35	0.23	0.16	0.08	266.4
26	76+500	Izquierdo	0	2	5	6	8	16	5	38.4	0.31	0.23	0.12	0.08	403.1
27	76+600	Izquierdo	0	4	6	9	12	15	7	36.8	0.47	0.31	0.23	0.12	200.7
28	76+700	Izquierdo	0	1	4	7	12	12	10	37.5	0.47	0.43	0.31	0.20	799.7
29	76+800	Izquierdo	0	2	5	6	9	12	5	37.9	0.35	0.27	0.16	0.12	400.0
30	76+900	Izquierdo	0	2	4	6	9	10	2	36.2	0.35	0.27	0.20	0.12	397.9
31	77+000	Izquierdo	0	1	4	5	7	13	5	35.2	0.27	0.23	0.12	0.08	798.7
32	77+085	Izquierdo	0	1	4	6	8	15	6	36.4	0.31	0.27	0.16	0.08	802.5
33	77+180	Izquierdo	0	1	3	5	8	13	5	34.5	0.31	0.27	0.20	0.12	798.0
34	77+300	Izquierdo	0	1	5	6	8	11	2	34.8	0.31	0.27	0.12	0.08	796.0
35	77+400	Izquierdo	0	2	5	7	10	10	5	36.3	0.39	0.31	0.20	0.12	398.0
36	77+500	Izquierdo	0	2	4	7	10	5	7	36.5	0.40	0.32	0.24	0.12	394.8
37	77+600	Izquierdo	0	2	4	6	7	13	4	32.8	0.27	0.20	0.12	0.04	398.1
38	77+710	Izquierdo	0	3	5	6	9	14	5	34.9	0.35	0.23	0.16	0.12	266.5
39	77+800	Izquierdo	0	2	6	9	12	15	7	33.9	0.47	0.39	0.23	0.12	399.8
40	77+900	Izquierdo	0	2	4	6	9	8	5	33.5	0.36	0.28	0.20	0.12	395.8
41	78+000	Izquierdo	0	2	6	8	10	14	5	30.9	0.39	0.31	0.16	0.08	397.6
42	78+100	Izquierdo	0	3	7	10	15	11	10	32.1	0.59	0.47	0.32	0.20	264.5
43	78+200	Izquierdo	0	3	6	11	15	10	2	32.2	0.59	0.47	0.35	0.16	264.3
44	78+300	Izquierdo	0	1	5	7	8	15	9	33.2	0.31	0.27	0.12	0.04	798.7
45	78+400	Izquierdo	0	2	4	5	7	8	2	31.5	0.28	0.20	0.12	0.08	395.2
46	78+500	Izquierdo	0	1	5	7	9	11	10	31.5	0.35	0.32	0.16	0.08	793.1
47	78+600	Izquierdo	0	2	6	9	11	13	10	31.9	0.43	0.35	0.20	0.08	397.7
48	78+700	Izquierdo	0	2	4	6	7	11	5	30.2	0.28	0.20	0.12	0.04	396.0
49	78+770	Izquierdo	0	3	6	8	10	8	3	29	0.40	0.28	0.16	0.08	262.9
50	78+900	Izquierdo	0	3	5	6	9	12	10	29.1	0.36	0.24	0.16	0.12	263.9
51	79+000	Izquierdo	0	3	5	7	10	8	3	27.2	0.40	0.28	0.20	0.12	262.6

Fuente: Escuela Profesional de Ingeniería Civil-Uni



**Continuación cuadro N°1: Lectura de campo, deflexiones corregidas y radios de curvatura carril izquierdo año 2009**

N°	Progresiva (km)	Carril	Lecturas de Campo (10-2mm)					Espesor (mm)	Ahuellamiento (mm)	Temperatura (°C)	RESULTADOS DE FLECTOMETRICOS				Radio Curvatura
			L1	L25	L50	L70	Lmáx				Deflexiones Corregidas (mm)				
											0	25	50	70	
52	79+100	Izquierdo	0	2	6	7	11	10	22	39.6	0.43	0.35	0.20	0.16	399.3
53	79+200	Izquierdo	0	2	5	7	8	4	4	30.7	0.32	0.24	0.12	0.04	393.3
54	79+300	Izquierdo	0	3	7	8	12	5	5	40	0.47	0.36	0.20	0.16	263.7
55	79+400	Izquierdo	0	2	7	9	11	7	3	40.1	0.43	0.35	0.16	0.08	397.1
56	79+500	Izquierdo	0	2	8	10	15	8	3	37.9	0.59	0.51	0.28	0.20	397.2
57	79+600	Izquierdo	0	2	7	10	12	6	9	40.7	0.47	0.39	0.20	0.08	396.5
58	79+700	Izquierdo	0	2	7	9	12	5	11	40	0.47	0.40	0.20	0.12	395.5
59	79+800	Izquierdo	0	2	5	8	12	6	7	38.6	0.47	0.39	0.28	0.16	396.0
60	79+900	Izquierdo	0	1	4	5	9	8	5	39.5	0.35	0.31	0.20	0.16	795.4
61	80+000	Izquierdo	0	3	7	10	13	10	3	33.1	0.51	0.39	0.24	0.12	264.5
62	80+100	Izquierdo	0	3	7	8	14	6	5	33.2	0.55	0.44	0.28	0.24	263.1
63	80+200	Izquierdo	0	2	5	7	11	5	3	36.2	0.44	0.36	0.24	0.16	394.8
64	80+300	Izquierdo	0	5	12	17	32	9	10	40.5	1.25	1.06	0.78	0.59	159.5
65	80+400	Izquierdo	0	2	9	12	26	9	13	38.5	1.02	0.94	0.67	0.55	398.1
66	80+500	Izquierdo	0	4	9	12	23	10	2	39	0.90	0.74	0.55	0.43	199.5
67	80+600	Izquierdo	0	2	6	9	24	10	2	39.8	0.94	0.86	0.70	0.59	399.4
68	80+700	Izquierdo	0	3	7	9	24	7	2	41.7	0.94	0.83	0.67	0.59	265.0
69	80+800	Izquierdo	0	2	8	11	25	9	5	40.5	0.98	0.90	0.67	0.55	398.8
70	80+900	Izquierdo	0	2	6	8	29	10	7	40.9	1.13	1.06	0.90	0.82	399.8
71	81+000	Izquierdo	0	1	5	7	21	9	10	37.9	0.82	0.79	0.63	0.55	795.8
72	81+100	Izquierdo	0	1	3	4	20	8	10	38.9	0.79	0.75	0.67	0.63	795.1
73	81+200	Izquierdo	0	1	4	6	12	5	7	29.2	0.48	0.44	0.32	0.24	786.8
74	81+300	Izquierdo	0	1	6	10	21	5	2	36.6	0.83	0.79	0.59	0.44	789.7
75	81+400	Izquierdo	0	2	6	8	20	9	3	38.5	0.78	0.71	0.55	0.47	398.1
76	81+500	Izquierdo	0	2	7	9	23	9	13	38	0.90	0.82	0.63	0.55	397.9
77	81+600	Izquierdo	0	1	5	7	22	8	9	35.8	0.87	0.83	0.67	0.59	793.1
78	81+700	Izquierdo	0	1	5	8	21	10	7	36.4	0.82	0.79	0.63	0.51	796.1
79	81+800	Izquierdo	0	3	6	8	19	8	0	35.9	0.75	0.63	0.51	0.43	264.4
80	81+900	Izquierdo	0	1	3	4	12	5	15	35.8	0.48	0.44	0.36	0.32	789.4
81	82+000	Izquierdo	0	2	5	8	20	8	3	35.5	0.79	0.71	0.59	0.47	396.5
82	82+100	Izquierdo	0	2	6	8	20	10	9	35.6	0.79	0.71	0.55	0.47	397.7
83	82+200	Izquierdo	0	4	9	12	21	10	8	34.5	0.83	0.67	0.47	0.35	198.6
84	82+300	Izquierdo	0	2	8	10	15	12	7	36.1	0.59	0.51	0.27	0.20	399.2
85	82+400	Izquierdo	0	2	6	9	18	10	5	33.1	0.71	0.63	0.47	0.35	396.7
86	82+500	Izquierdo	0	1	4	6	14	6	7	34.9	0.55	0.51	0.40	0.32	790.2
87	82+600	Izquierdo	0	1	3	4	7	10	10	32.5	0.28	0.24	0.16	0.12	793.0
88	82+700	Izquierdo	0	1	3	5	7	6	2	29.3	0.28	0.24	0.16	0.08	787.6
89	82+800	Izquierdo	0	1	3	5	8	6	7	29.5	0.32	0.28	0.20	0.12	787.7
90	82+900	Izquierdo	0	2	6	7	10	12	13	38.5	0.39	0.31	0.16	0.12	400.3
91	83+000	Izquierdo	0	1	4	6	15	9	7	32.3	0.59	0.55	0.43	0.36	791.9
92	83+100	Izquierdo	0	1	4	6	22	10	9	30.4	0.87	0.83	0.71	0.63	791.4
93	83+200	Izquierdo	0	2	6	7	10	12	5	30.8	0.39	0.32	0.16	0.12	396.7
94	83+300	Izquierdo	0	4	11	14	19	9	0	30.4	0.75	0.59	0.32	0.20	197.6
95	83+400	Izquierdo	0	2	4	6	10	10	3	30.2	0.39	0.32	0.24	0.16	395.6
96	83+500	Izquierdo	0	2	6	7	9	10	5	44.1	0.35	0.27	0.12	0.08	401.0
97	83+600	Izquierdo	0	2	5	7	10	10	10	40.4	0.39	0.31	0.20	0.12	399.6
98	83+700	Izquierdo	0	1	5	7	11	15	8	41.8	0.43	0.39	0.23	0.15	808.8
99	83+800	Izquierdo	0	1	4	6	7	12	11	43.2	0.27	0.23	0.12	0.04	805.0
100	83+900	Izquierdo	0	2	4	5	6	14	9	44	0.23	0.15	0.08	0.04	404.9
101	84+000	Izquierdo	0	2	5	6	7	12	5	42.2	0.27	0.19	0.08	0.04	402.0

Fuente: Escuela Profesional de Ingeniería Civil-Uni

**Cuadro N°2: Lectura de campo, deflexiones corregidas y radios de curvatura carril derecho año 2009**

Nº	Progresiva (km)	Carril	Lecturas de Campo (10-2mm)					Espesor (mm)	Ahuella miento (mm)	Temp (°C)	SULTADOS DEFLECTOMÉTRIC				Radio Curvatura
			flexiones Corregidas (mi)								0	25	50	70	
			Lj	L25	L50	L70	Lmáx								
1	74+000	Derecho	0	2	5	6	7	12	7	33.8	0.27	0.20	0.08	0.04	398.1
2	74+100	Derecho	0	2	4	6	10	15	0	35.9	0.39	0.31	0.23	0.16	400.9
3	74+200	Derecho	0	6	11	15	16	11	6	32.3	0.63	0.39	0.20	0.04	132.3
4	74+300	Derecho	0	4	6	8	9	14	0	40.6	0.35	0.19	0.12	0.04	201.4
5	74+400	Derecho	0	1	3	5	10	8	4	39.7	0.39	0.35	0.27	0.20	795.6
6	74+500	Derecho	0	1	5	8	12	10	4	40.7	0.47	0.43	0.27	0.16	799.4
7	74+600	Derecho	0	1	4	6	14	12	0	37.5	0.55	0.51	0.39	0.31	799.7
8	74+700	Derecho	0	1	3	6	10	12	5	40.1	0.39	0.35	0.27	0.16	802.1
9	74+800	Derecho	0	3	9	13	17	7	0	40.1	0.67	0.55	0.31	0.16	264.7
10	74+900	Derecho	0	5	8	10	12	9	6	38.7	0.47	0.27	0.16	0.08	159.3
11	75+000	Derecho	0	4	9	13	25	10	3	41.5	0.98	0.82	0.62	0.47	200.0
12	75+100	Derecho	0	2	6	8	20	9	4	41.9	0.78	0.70	0.55	0.47	399.3
13	75+200	Derecho	0	3	7	9	23	8	0	41.2	0.90	0.78	0.63	0.55	265.5
14	75+300	Derecho	0	3	7	10	25	5	3	43.1	0.99	0.87	0.71	0.59	264.1
15	75+400	Derecho	0	2	6	8	20	8	0	44.9	0.78	0.70	0.55	0.47	399.4
16	75+500	Derecho	0	2	6	9	19	9	0	40.8	0.74	0.67	0.51	0.39	398.9
17	75+600	Derecho	0	3	6	7	13	9	3	42	0.51	0.39	0.27	0.23	266.2
18	75+700	Derecho	0	2	6	8	17	6	0	40.1	0.67	0.59	0.43	0.35	396.3
19	75+800	Derecho	0	3	9	12	21	8	3	42.3	0.82	0.71	0.47	0.35	265.7
20	75+900	Derecho	0	2	6	10	22	8	4	43	0.86	0.78	0.63	0.47	398.8
21	76+000	Derecho	0	3	8	11	20	8	0	41.1	0.78	0.67	0.47	0.35	265.5
22	76+100	Derecho	0	1	3	4	8	16	0	37.3	0.31	0.27	0.19	0.16	804.9
23	76+200	Derecho	0	2	4	6	10	6	3	45.1	0.39	0.31	0.24	0.16	397.5
24	76+300	Derecho	0	2	4	6	8	14	7	41.8	0.31	0.23	0.15	0.08	403.6
25	76+400	Derecho	0	1	2	4	9	12	5	44.2	0.35	0.31	0.27	0.19	806.0
26	76+500	Derecho	0	2	6	8	17	10	4	43.6	0.66	0.58	0.43	0.35	400.8
27	76+600	Derecho	0	5	11	14	25	12	4	43.9	0.97	0.78	0.54	0.43	161.1
28	76+700	Derecho	0	1	6	9	17	12	0	41.9	0.66	0.62	0.43	0.31	803.8
29	76+800	Derecho	0	2	6	8	10	8	3	41.3	0.39	0.31	0.16	0.08	398.3
30	76+900	Derecho	0	3	5	6	9	6	2	40.5	0.35	0.24	0.16	0.12	264.3
31	77+000	Derecho	0	1	3	5	7	9	9	40.1	0.27	0.24	0.16	0.08	797.4
32	77+100	Derecho	0	3	7	8	10	10	3	39.6	0.39	0.27	0.12	0.08	266.2
33	77+200	Derecho	0	2	4	5	8	7	6	39.9	0.31	0.24	0.16	0.12	397.1
34	77+300	Derecho	0	3	6	7	9	8	8	38.3	0.35	0.24	0.12	0.08	264.9
35	77+400	Derecho	0	2	4	6	11	7	7	39	0.43	0.35	0.28	0.20	396.8
36	77+500	Derecho	0	1	3	5	7	8	4	41.1	0.27	0.24	0.16	0.08	796.4
37	77+600	Derecho	0	1	3	4	8	8	4	40.3	0.31	0.27	0.20	0.16	795.9
38	77+700	Derecho	0	1	2	3	6	8	4	39.3	0.24	0.20	0.16	0.12	795.3
39	77+800	Derecho	0	1	2	3	6	9	3	39.6	0.24	0.20	0.16	0.12	797.0
40	77+900	Derecho	0	1	4	5	8	8	0	40.6	0.31	0.27	0.16	0.12	796.1
41	78+000	Derecho	0	4	7	8	10	6	4	44.3	0.39	0.24	0.12	0.08	198.7
42	78+100	Derecho	0	4	9	11	14	10	3	43.9	0.55	0.39	0.19	0.12	200.5
43	78+200	Derecho	0	7	11	13	17	12	5	42.1	0.66	0.39	0.23	0.16	114.9
44	78+300	Derecho	0	2	4	6	9	6	2	35.6	0.36	0.28	0.20	0.12	395.3
45	78+400	Derecho	0	2	5	6	8	5	0	33.5	0.32	0.24	0.12	0.08	394.2
46	78+500	Derecho	0	5	9	12	14	8	0	39.5	0.55	0.35	0.20	0.08	159.1
47	78+600	Derecho	0	2	5	6	8	7	2	40.2	0.31	0.24	0.12	0.08	397.1
48	78+700	Derecho	0	2	4	5	6	7	0	40.9	0.24	0.16	0.08	0.04	397.3
49	78+800	Derecho	0	2	5	7	8	5	0	41.5	0.32	0.24	0.12	0.04	395.8
50	78+900	Derecho	0	6	10	12	15	6	0	42.8	0.59	0.35	0.20	0.12	132.3
51	79+000	Derecho	0	2	6	7	10	6	0	41.2	0.39	0.32	0.16	0.12	396.6

Fuente: Escuela Profesional de Ingeniería Civil-Uni



**Continuación del cuadro N°2: Lectura de campo, deflexiones corregidas y radios de curvatura carril derecho año 2009**

N°	Progresiva (km)	Carril	Lecturas de Campo (10-2mm)					Espesor (mm)	Ahuellamiento (mm)	Temp (°C)	RESULTADOS DEFLECTOMÉTRICO				Radio Curvatura
			L1	L25	L50	L70	Lmáx				Deflexiones Corregidas (mm)				
											0	25	50	70	
52	79+100	Derecho	0	3	7	8	10	7	5	27.8	0.40	0.28	0.12	0.08	262.5
53	79+200	Derecho	0	1	4	6	7	8	3	28	0.28	0.24	0.12	0.04	788.2
54	79+300	Derecho	0	6	10	13	15	8	3	40	0.59	0.35	0.20	0.08	132.6
55	79+400	Derecho	0	6	11	14	17	7	3	40.1	0.67	0.43	0.24	0.12	132.4
56	79+500	Derecho	0	5	11	14	16	9	3	31.1	0.63	0.43	0.20	0.08	158.2
57	79+600	Derecho	0	6	10	13	17	8	5	40.7	0.67	0.43	0.27	0.16	132.7
58	79+700	Derecho	0	5	10	11	15	6	4	40	0.59	0.39	0.20	0.16	158.5
59	79+800	Derecho	0	3	8	10	13	4	0	38.6	0.51	0.40	0.20	0.12	263.0
60	79+900	Derecho	0	2	5	8	10	7	3	29.9	0.40	0.32	0.20	0.08	394.3
61	80+000	Derecho	0	3	9	13	15	10	4	33.1	0.59	0.47	0.24	0.08	264.5
62	80+100	Derecho	0	2	6	8	14	8	5	29.5	0.55	0.48	0.32	0.24	394.6
63	80+200	Derecho	0	3	6	7	11	10	3	36.2	0.43	0.31	0.20	0.16	265.3
64	80+300	Derecho	0	7	16	21	25	9	5	30.9	0.99	0.71	0.36	0.16	113.0
65	80+400	Derecho	0	3	8	10	13	8	6	38.5	0.51	0.39	0.20	0.12	264.9
66	80+500	Derecho	0	4	6	9	11	8	7	39	0.43	0.28	0.20	0.08	198.8
67	80+600	Derecho	0	3	5	7	11	4	3	31.7	0.44	0.32	0.24	0.16	262.3
68	80+700	Derecho	0	2	4	5	15	8	3	33.3	0.59	0.51	0.43	0.39	395.8
69	80+800	Derecho	0	2	4	5	9	8	2	32.8	0.36	0.28	0.20	0.16	395.6
70	80+900	Derecho	0	3	6	8	23	10	9	32.8	0.91	0.79	0.67	0.59	264.4
71	81+000	Derecho	0	2	6	9	21	9	2	31.4	0.83	0.75	0.59	0.47	395.6
72	81+100	Derecho	0	3	6	9	21	9	2	32.3	0.83	0.71	0.59	0.47	264.0
73	81+200	Derecho	0	3	5	6	8	7	5	30.1	0.32	0.20	0.12	0.08	262.9
74	81+300	Derecho	0	2	6	8	14	7	5	34.3	0.55	0.47	0.32	0.24	395.5
75	81+400	Derecho	0	2	3	5	8	5	3	45.8	0.32	0.24	0.20	0.12	396.7
76	81+500	Derecho	0	3	6	9	12	10	4	40.4	0.47	0.35	0.23	0.12	266.4
77	81+600	Derecho	0	3	7	9	14	12	3	35	0.55	0.43	0.27	0.20	265.8
78	81+700	Derecho	0	3	4	5	7	2	7	36.4	0.28	0.16	0.12	0.08	261.9
79	81+800	Derecho	0	3	4	5	7	9	3	35.9	0.28	0.16	0.12	0.08	264.8
80	81+900	Derecho	0	4	7	9	10	16	10	35.8	0.39	0.23	0.12	0.04	200.8
81	82+000	Derecho	0	6	10	12	15	12	0	38.2	0.59	0.35	0.20	0.12	133.4
82	82+100	Derecho	0	4	7	8	12	10	5	32.7	0.47	0.32	0.20	0.16	198.3
83	82+200	Derecho	0	7	11	13	16	9	9	40.2	0.63	0.35	0.20	0.12	113.9
84	82+300	Derecho	0	6	9	11	18	12	3	43.3	0.70	0.47	0.35	0.27	134.2
85	82+400	Derecho	0	7	12	14	16	13	5	33.1	0.63	0.35	0.16	0.08	113.8
86	82+500	Derecho	0	3	6	9	13	8	4	38.8	0.51	0.39	0.28	0.16	265.0
87	82+600	Derecho	0	3	4	6	9	9	4	38.2	0.35	0.24	0.20	0.12	265.3
88	82+700	Derecho	0	2	3	4	6	13	5	36.2	0.23	0.16	0.12	0.08	399.9
89	82+800	Derecho	0	3	7	9	10	7	6	29.5	0.40	0.28	0.12	0.04	262.8
90	82+900	Derecho	0	4	6	7	10	7	3	32.4	0.40	0.24	0.16	0.12	197.5
91	83+000	Derecho	0	5	7	9	11	7	5	32.3	0.44	0.24	0.16	0.08	158.0
92	83+100	Derecho	0	2	5	6	20	8	1	36.2	0.79	0.71	0.59	0.55	396.7
93	83+200	Derecho	0	4	6	8	10	8	10	30.8	0.40	0.24	0.16	0.08	197.5
94	83+300	Derecho	0	8	15	17	22	9	0	36.2	0.87	0.55	0.28	0.20	99.3
95	83+400	Derecho	0	5	7	8	11	5	3	30.2	0.44	0.24	0.16	0.12	157.4
96	83+500	Derecho	0	1	6	8	15	9	4	37.7	0.59	0.55	0.35	0.27	795.7
97	83+600	Derecho	0	2	5	7	13	11	9	42	0.51	0.43	0.31	0.23	401.1
98	83+700	Derecho	0	3	7	9	19	10	15	37.2	0.75	0.63	0.47	0.39	265.6
99	83+800	Derecho	0	2	3	4	7	11	5	40.3	0.27	0.20	0.16	0.12	400.3
100	83+900	Derecho	0	1	2	3	3.25	13	3	37.2	0.13	0.09	0.05	0.01	800.7
101	84+000	Derecho	0	5	12	14	17	11	9	40.8	0.66	0.47	0.20	0.12	160.2

Fuente: Escuela Profesional de Ingeniería Civil-Uni

**Cuadro N°3: Lectura de campo, deflexiones corregidas y radios de curvatura carril izquierdo año 2010**

N°	Progresiva (km)	Carril	Lecturas de Campo (10 <sup>2</sup> mm)		Deflexiones sin Corregir (10 <sup>2</sup> mm)		Espesor (mm)	Abundamiento (mm)	Temp (°C)	RESULTADOS DEFLECTOMÉTRICO		Radio Curvatura (m)
			L <sub>25</sub>	L <sub>100</sub>	D <sub>25</sub>	D <sub>100</sub>				Deflexiones Corregidas		
										D <sub>25</sub> x 10 <sup>2</sup> mm	D <sub>100</sub> x 10 <sup>2</sup> mm	
1	74+000	Izquierdo	1	4	4	16	10	0	31.9	4.35	17.39	239.56
2	74+200	Izquierdo	6	12	24	48	10	0	30.8	26.12	52.24	119.65
3	74+400	Izquierdo	6	8	24	32	10	0	33.6	26.05	34.73	359.94
4	74+600	Izquierdo	3	4	12	16	10	0	32.8	13.03	17.38	719.32
5	74+800	Izquierdo	8	14	32	56	10	0	30.5	34.83	60.96	119.61
6	75+000	Izquierdo	2	9	8	36	10	0	30.9	8.71	39.17	102.57
7	75+200	Izquierdo	4	6	16	24	10	0	31.5	17.40	26.10	359.20
8	75+400	Izquierdo	3	6	12	24	10	0	32.5	13.04	26.07	239.70
9	75+600	Izquierdo	5	6	20	24	10	0	34.5	21.69	26.02	720.53
10	75+800	Izquierdo	5	8	20	32	10	0	35.2	21.67	34.67	240.34
11	76+000	Izquierdo	6	8	24	32	10	0	37.8	25.94	34.58	361.43
12	76+200	Izquierdo	3	5	12	20	10	0	38.2	12.96	21.61	361.58
13	76+400	Izquierdo	1	5	4	20	10	0	42.3	4.30	21.52	181.52
14	76+600	Izquierdo	1	10	4	40	10	0	40.3	4.31	43.12	80.52
15	76+800	Izquierdo	3	7	12	28	10	0	43.5	12.90	30.09	181.73
16	77+000	Izquierdo	2	9	8	36	10	0	42.2	8.61	38.74	103.71
17	77+200	Izquierdo	1	5	4	20	10	0	47.8	4.28	21.40	182.49
18	77+400	Izquierdo	3	5	12	20	10	0	42.5	12.91	21.52	363.10
19	77+600	Izquierdo	1	7	4	28	10	0	47.5	4.28	29.98	121.63
20	77+800	Izquierdo	5	13	20	52	10	0	47.5	21.41	55.67	91.22
21	78+000	Izquierdo	7	12	28	48	10	0	49	29.93	51.31	146.16
22	78+200	Izquierdo	7	17	28	68	10	0	33.5	30.39	73.80	71.98
23	78+400	Izquierdo	5	13	20	52	10	0	44.8	21.47	55.82	90.98
24	78+600	Izquierdo	4	10	16	40	10	0	45.9	17.16	42.89	121.44
25	78+800	Izquierdo	10	14	40	56	10	0	40.2	43.13	60.38	181.14
26	79+000	Izquierdo	8	13	32	52	10	0	47.9	34.24	55.65	146.01
27	79+200	Izquierdo	5	14	20	56	10	0	44.3	21.48	60.14	80.83
28	79+400	Izquierdo	4	7	16	28	10	0	47.7	17.13	29.97	243.30
29	79+600	Izquierdo	5	12	20	48	10	0	47.9	21.40	51.37	104.29
30	79+800	Izquierdo	5	14	20	56	10	0	47.6	21.41	59.95	81.09
31	80+000	Izquierdo	16	25	64	100	10	0	43.5	68.78	107.47	80.77
32	80+200	Izquierdo	17	24	68	96	10	0	43.8	73.06	103.15	103.88
33	80+400	Izquierdo	10	12	40	48	10	0	43.1	43.01	51.61	363.32
34	80+600	Izquierdo	18	23	72	92	10	0	49.5	76.93	98.30	146.24
35	80+800	Izquierdo	11	12	44	48	10	0	42	47.36	51.66	725.85
36	81+000	Izquierdo	19	24	76	96	10	0	45.6	81.51	102.96	145.68
37	81+200	Izquierdo	7	15	28	60	10	0	47	29.99	64.26	91.18
38	81+400	Izquierdo	14	21	56	84	10	0	60	59.23	88.85	105.52
39	81+600	Izquierdo	6	11	24	44	10	0	47.9	25.68	47.09	146.01
40	81+800	Izquierdo	5	9	20	36	10	0	47.8	21.40	38.53	182.49
41	82+000	Izquierdo	12	24	48	96	10	0	47.8	51.37	102.74	60.83
42	82+200	Izquierdo	16	28	64	112	10	0	45.3	68.66	120.16	60.68
43	82+400	Izquierdo	13	23	52	92	10	0	41.5	56.00	99.07	72.55
44	82+600	Izquierdo	16	25	64	100	10	0	41.6	68.91	107.67	80.62
45	82+800	Izquierdo	14	19	56	76	10	0	47.5	59.95	81.36	145.95
46	83+000	Izquierdo	9	20	36	80	10	0	42.1	38.74	86.10	65.99
47	83+200	Izquierdo	13	20	52	80	10	0	40.8	56.03	86.21	103.57
48	83+400	Izquierdo	19	31	76	124	10	0	37.2	82.19	134.09	60.20
49	83+600	Izquierdo	15	25	60	100	10	0	40.2	64.69	107.82	72.46
50	83+800	Izquierdo	6	9	24	36	10	0	40.6	25.87	38.80	241.62
51	84+000	Izquierdo	20	25	80	100	10	0	33.4	86.84	108.55	143.95

Fuente: Elaboración propia



**Cuadro N°4: Lectura de campo, deflexiones corregidas y radios de curvatura carril derecho año 2010**

N°	Progresiva (km)	Carril	Lecturas de Campo		Deflexiones sin Corregir (10 <sup>-4</sup> mm)		Espesor (mm)	Abundamiento (mm)	Temp (°C)	RESULTADOS DEFLECTOMÉTRICO		Radio Curvatura (m)
			L <sub>25</sub>	L <sub>75</sub>	D <sub>25</sub>	D <sub>75</sub>				Deflexiones Corregidas		
										D <sub>25</sub> x 10 <sup>2</sup> mm	D <sub>75</sub> x 10 <sup>2</sup> mm	
1	74+000	Derecho	2	5	8	20	10	0	31.9	8.70	21.74	239.56
2	74+200	Derecho	5	12	20	48	10	0	30.8	21.76	52.24	102.56
3	74+400	Derecho	2	5	8	20	10	0	33.6	8.68	21.70	239.96
4	74+600	Derecho	6	7	24	28	10	0	32.8	26.07	30.41	719.32
5	74+800	Derecho	6	9	24	36	10	0	30.5	26.13	39.19	239.23
6	75+000	Derecho	6	9	24	36	10	0	30.9	26.12	39.17	239.32
7	75+200	Derecho	3	4	12	16	10	0	31.5	13.05	17.40	718.39
8	75+400	Derecho	2	8	8	32	10	0	32.5	8.69	34.77	119.85
9	75+600	Derecho	5	11	20	44	10	0	35.2	21.67	47.68	120.17
10	75+800	Derecho	5	11	20	44	10	0	35.2	21.67	47.68	120.17
11	76+000	Derecho	6	11	24	44	10	0	37.8	25.94	47.55	144.57
12	76+200	Derecho	2	4	8	16	10	0	38.2	8.64	17.29	361.58
13	76+400	Derecho	3	8	12	32	10	0	42.3	12.91	34.43	145.21
14	76+600	Derecho	3	9	12	36	10	0	40.3	12.94	38.81	120.77
15	76+800	Derecho	4	10	16	40	10	0	43.5	17.20	42.99	121.15
16	77+000	Derecho	2	7	8	28	10	0	42.2	8.61	30.13	145.20
17	77+200	Derecho	4	9	16	36	10	0	47.8	17.12	38.53	145.99
18	77+400	Derecho	8	11	32	44	10	0	42.5	34.43	47.33	242.07
19	77+600	Derecho	3	6	12	24	10	0	47.5	12.85	25.69	243.25
20	77+800	Derecho	5	12	20	48	10	0	47.5	21.41	51.39	104.25
21	78+000	Derecho	7	11	28	44	10	0	49	29.93	47.04	182.71
22	78+200	Derecho	6	15	24	60	10	0	33.5	26.05	65.12	79.98
23	78+400	Derecho	9	16	36	64	10	0	44.8	38.64	68.70	103.98
24	78+600	Derecho	6	10	24	40	10	0	45.9	25.73	42.89	182.16
25	78+800	Derecho	12	20	48	80	10	0	40.2	51.75	86.26	90.57
26	79+000	Derecho	2	6	8	24	10	0	47.9	8.56	25.68	182.51
27	79+200	Derecho	5	11	20	44	10	0	44.3	21.48	47.25	121.25
28	79+400	Derecho	7	10	28	40	10	0	47.7	29.97	42.81	243.30
29	79+600	Derecho	4	8	16	32	10	0	47.9	17.12	34.24	182.51
30	79+800	Derecho	7	10	28	40	10	0	47.6	29.97	42.82	243.28
31	80+000	Derecho	12	22	48	88	10	0	43.5	51.59	94.58	72.69
32	80+200	Derecho	8	14	32	56	10	0	43.8	34.38	60.17	121.19
33	80+400	Derecho	19	31	76	124	10	0	43.1	81.71	133.32	60.55
34	80+600	Derecho	20	30	80	120	10	0	49.5	85.48	128.22	73.12
35	80+800	Derecho	6	27	24	108	10	0	42	25.83	116.24	34.56
36	81+000	Derecho	21	25	84	100	10	0	45.6	90.09	107.25	182.10
37	81+200	Derecho	11	15	44	60	10	0	47	47.13	64.26	182.35
38	81+400	Derecho	14	23	56	92	10	0	60	59.23	97.31	82.07
39	81+600	Derecho	15	22	60	88	10	0	47.9	64.21	94.17	104.29
40	81+800	Derecho	13	19	52	76	10	0	47.8	55.65	81.34	121.66
41	82+000	Derecho	17	26	68	104	10	0	47.8	72.78	111.31	81.11
42	82+200	Derecho	14	25	56	100	10	0	45.3	60.08	107.29	66.20
43	82+400	Derecho	14	20	56	80	10	0	41.5	60.30	86.15	120.92
44	82+600	Derecho	7	14	28	56	10	0	41.6	30.15	60.30	103.65
45	82+800	Derecho	1	11	4	44	10	0	47.5	4.28	47.10	72.98
46	83+000	Derecho	4	10	16	40	10	0	42.1	17.22	43.05	120.99
47	83+200	Derecho	8	14	32	56	10	0	40.8	34.48	60.34	120.83
48	83+400	Derecho	19	29	76	116	10	0	37.2	82.19	125.44	72.24
49	83+600	Derecho	8	13	32	52	10	0	40.2	34.50	56.07	144.91
50	83+800	Derecho	16	20	64	80	10	0	40.6	68.98	86.22	181.21
51	84+000	Derecho	2	10	8	40	10	0	33.4	8.68	43.42	89.97

Fuente: Elaboración propia



### ANEXO 3

#### Análisis combinado de los resultados de evaluación

Deflectometría	Estado Actual	Estado Estructura	Recomendaciones
Dc > Da Rc > 100 m.	No hay fallas de origen estructural	Estructura infradiseñada, pero la capacidad porante de las capas decrece en profundidad. (No existe capa débil inmediatamente debajo de la capa asfáltica)	examinar fecha y tipo de las ultimas obras ejecutadas, para justificar estado del pavimento <b>1º CASO</b>
	No hay fallas de origen estructural generalizada		Hay acuerdo entre todas variables a) Las deflexiones son empleadas para el cálculo de refuerzo b) Para deflexiones muy fuertes analizar económicamente reconstrucción Verificar refuerzo con métodos diseño <b>2º CASO</b>
Dc > Da Rc < 100 m		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>3º CASO</b>
Dc < Da Rc < 100 m	Hay fallas de origen estructural por fatigas ( fisura tipo piel de cocodrilo)	Existe una capa débil inmediatamente debajo de las capas asfálticas	Analizar fecha de mediciones, y tipo estructura. Neutralizar el efecto de la capa débil (Reconstrucción o refuerzo). De ninguna manera se pueden considerar las deflxiones para el proyecto; emplear métodos de diseño <b>3º CASO</b>
Dc < Da	Hay fallas de origen estructural; deformaciones permanentes de fundación	Estructura degradada no adecuada para fundación	Evaluar aporte estructural de la calzada existente (Reconstrucción de refuerzo).La deflexión no es representativa <b>4º CASO</b>
	No hay fallas de origen estructural.	Estructura bien diseñada	superficial, las soluciones dependerán de los defectos observados y sus causas. Mejora superficial <b>5º CASO</b>

Fuente: Manual CONREVIAl, capítulo IV, página 197