

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**



**EVALUACIÓN ESTRUCTURAL CON**  
**VIGA BENKELMAN - MÉTODO EMPÍRICO**  
**MONITOREO DE CONSERVACIÓN CARRETERA CAÑETE –**  
**HUANCAYO Km. 112+000 al Km. 114+000**

**INFORME DE SUFICIENCIA**

Para optar el Título Profesional de:

**INGENIERO CIVIL**

**FRANK PETER DÍAZ RUIZ**

**LIMA – PERÚ**

**2010**

## **DEDICATORIA**

A mis padres, Jorge y Gemith, por su apoyo y comprensión, a mi hermana Karol, amigos y familiares por sus consejos y compañía.

<b>RESUMEN .....</b>	<b>3</b>
<b>LISTA DE CUADROS .....</b>	<b>4</b>
<b>LISTA DE FIGURAS .....</b>	<b>5</b>
<b>LISTA DE SÍMBOLOS Y SIGLAS .....</b>	<b>6</b>
<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>7</b>
<b>CAPÍTULO I: GENERALIDADES .....</b>	<b>8</b>
1.1 ANTECEDENTES.....	8
1.2 UBICACIÓN DE LA CARRETERA .....	9
1.3 CARACTERÍSTICAS DE LA CARRETERA .....	10
1.4 TRAMO EN ESTUDIO.....	15
<b>CAPÍTULO II: ESTADO DEL ARTE.....</b>	<b>17</b>
2.1 ESTADO DEL ARTE DE LA VIGA BENKELMAN.....	17
<b>CAPÍTULO III: MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>19</b>
3.1 EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO .....	19
3.2 LA VIGA BENKELMAN.....	24
3.3 DEFLECTOMETRÍA MÉTODO EMPÍRICO – CONREVIAL.....	26
<b>CAPÍTULO IV: APLICACIÓN AL TRAMO EN ESTUDIO .....</b>	<b>38</b>
4.1 ADQUISICIÓN DE DATOS.....	38
4.2 PROCESAMIENTO DE DATOS.....	38
<b>CAPÍTULO V: ANÁLISIS DE RESULTADOS.....</b>	<b>43</b>
5.1 GRÁFICOS DE DEFLECTOGRAMA .....	43
5.2 EVALUACIÓN DE CAPACIDAD ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO .....	43
<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>47</b>
<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>48</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>49</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>50</b>

## RESUMEN

El presente informe pretende obtener el estado actual, desde el punto de vista estructural, de la carretera Cañete - Huancayo en el tramo asignado (Km. 112+000 al Km. 114+000), mediante la evaluación estructural aplicando el método empírico CONREVIAl que usa la Viga Benkelman.

Además, se busca estimar la vida útil remanente del pavimento en estudio, para determinar si dicho pavimento necesita refuerzo o no, dentro del tiempo restante del contrato de conservación vial por niveles de servicio en el cual se enmarca el presente informe.

Para ello se realizó el trabajo de campo, recopilando la información necesaria para ser analizada de acuerdo al método empírico.

Cabe indicar que por razones de logística, no se pudo contar con el termómetro para medir la temperatura del pavimento, pero se superó este ímpase asumiendo en gabinete temperaturas entre 35°C y 40°C, en realidad la corrección que se hace a las deflexiones por este factor ha sido de muy poca incidencia, tal como demuestran los resultados calculados.

Luego del trabajo de gabinete se analizó los resultados, llegando a la conclusión de que el tramo de pavimento evaluado, presenta un adecuado comportamiento estructural y que va a seguir teniendo este comportamiento en todo el periodo de tiempo que queda hasta la culminación del contrato por niveles de servicios.

También se determinó el tiempo de vida útil remanente para el pavimento evaluado, fijándolo en 07 años.

## LISTA DE CUADROS

<b>CUADRO N° 1.1.</b>	Temperaturas y precipitaciones por pisos altitudinales.	12
<b>CUADRO N° 1.2.</b>	Superficie de rodadura por tramos.	15
<b>CUADRO N° 3.1.</b>	Cuadro comparativo de los métodos de evaluación estructural.	24
<b>CUADRO N° 3.2.</b>	Distancia del punto de ensayo al borde del pavimento.	28
<b>CUADRO N° 3.3.</b>	Factores de corrección por periodo estacional.	30
<b>CUADRO N° 3.4.</b>	Valor de "t" y probabilidad de ocurrencia de D>Dc.	32
<b>CUADRO N° 3.5.</b>	Tasas de crecimiento del tránsito vehicular.	34
<b>CUADRO N° 3.6.</b>	Ejes equivalentes y factores de carga de los diferentes tipos de vehículos.	34
<b>CUADRO N° 3.7.</b>	Formulas para el cálculo de factores de carga.	35
<b>CUADRO N° 3.8.</b>	Análisis combinado de los resultados de evaluación.	37
<b>CUADRO N° 4.1.</b>	Deflexiones máximas corregidas.	39
<b>CUADRO N° 4.2.</b>	IMD proyectado al 2010.	41
<b>CUADRO N° 4.3.</b>	Resumen de factores de carga.	41
<b>CUADRO N° 4.4.</b>	Obtención de EAL y Dadmisible.	42
<b>CUADRO N° 4.5.</b>	Obtención de radios de curvatura.	42
<b>CUADRO N° 5.1.</b>	Resultados de parámetros comparación (1 año).	43
<b>CUADRO N° 5.2.</b>	Resultados de parámetros comparación (2 años).	44
<b>CUADRO N° 5.3.</b>	Resultados de parámetros comparación (3 años).	44
<b>CUADRO N° 5.4.</b>	Resultados de parámetros comparación (5 años).	45
<b>CUADRO N° 5.5.</b>	Resultados de parámetros comparación (6 años).	45
<b>CUADRO N° 5.6.</b>	Resultados de parámetros comparación (7 años).	46

## LISTA DE FIGURAS

<b>FIGURA N° 1.1.</b>	Regiones que atraviesa la carretera Cañete – Huancayo.	09
<b>FIGURA N° 1.2.</b>	Ubicación de la carretera Cañete – Huancayo.	10
<b>FIGURA N° 1.3.</b>	Centros poblados que une la carretera Cañete – Huancayo.	11
<b>FIGURA N° 1.4.</b>	Pisos altitudinales que atraviesa la carretera Cañete – Huancayo.	12
<b>FIGURA N° 1.5.</b>	Imagen de la carretera en el tramo en estudio.	16
<b>FIGURA N° 2.1.</b>	Imagen del ensayo de deflexión con viga Benkelman.	17
<b>FIGURA N° 3.1.</b>	Viga Benkelman.	20
<b>FIGURA N° 3.2.</b>	Equipo Dynaflect transportado.	20
<b>FIGURA N° 3.3.</b>	Equipo FWD.	21
<b>FIGURA N° 3.4.</b>	Equipo KUAB – FWD.	21
<b>FIGURA N° 3.5.</b>	Equipo Road Rater.	22
<b>FIGURA N° 3.6.</b>	Equipo RDD.	22
<b>FIGURA N° 3.7.</b>	Esquema y principio de operación de la viga Benkelman.	25
<b>FIGURA N° 3.8.</b>	Lugar de colocación del extremo de la viga Benkelman.	25
<b>FIGURA N° 3.9.</b>	Componentes de la deflexión total.	26
<b>FIGURA N° 3.10.</b>	Esquema y principio de operación de la viga Benkelman doble.	27
<b>FIGURA N° 3.11.</b>	Estado inicial del ensayo, diales en cero (máximas deflexiones).	29
<b>FIGURA N° 3.12.</b>	Estado final del ensayo (recuperación elástica máxima del pavimento).	29
<b>FIGURA N° 3.13.</b>	Deformada del pavimento y parámetros de comparación.	31
<b>FIGURA N° 3.14.</b>	Significado cualitativo de los diferentes tipos de deformadas.	36

## LISTA DE SÍMBOLOS Y SIGLAS

$D_{\text{Admisible}}$	Deflexión admisible.
$D_c$	Deflexión característica.
$R_c$	Radio de curvatura.
$D_{25}$	Deflexión recuperable a 25 cm del eje de carga vertical.
$D_o$	Deflexión recuperable en el eje de carga vertical.
$\bar{D}$	Deflexión promedio.
$\sigma$	Desviación estándar.
<b>CONREVIAl</b>	Consorcio de Rehabilitación Vial.
<b>WASHO</b>	Western Association of State Highway Organizations.
<b>AYESA</b>	Asociación Aguas y estructuras.
$D_v$	Desviación.
<b>TSB</b>	Tratamiento Superficial Bicapa.
<b>MTC</b>	Ministerio de Transportes y Comunicaciones.
<b>TMC</b>	Tubería Metálica Corrugada.
<b>AASHTO</b>	American Association of State Highway and Transportation Officials.
<b>CGC</b>	Consorcio Gestión de Carreteras.
<b>ASTM</b>	American Society for Testing and Materials.
<b>FWD</b>	Falling Weight Deflectometer.
<b>SUCS</b>	Sistema Unificado de Clasificación de Suelos.
<b>IMD</b>	Índice Medio Diario.
<b>EAL</b>	Ejes equivalentes acumulados

## INTRODUCCIÓN

El desarrollo del presente Informe de Suficiencia tiene por objetivo evaluar la condición de la capacidad estructural del pavimento de la carretera Cañete-Huancayo en el tramo Km. 112+000 – Km. 114+000, mediante la medición de deflexiones usando el deflectógrafo conocido como Viga Benkelman.

A continuación se describe el contenido del presente informe, que está dividido en 5 capítulos:

En el Capítulo I, se describe los antecedentes de la carretera Cañete- Huancayo, así como sus principales características (ubicación, centros poblados que une, regiones que atraviesa, clima, precipitaciones, etc.), además del estado actual en que se encuentra la misma, haciendo especial énfasis en el tramo de estudio.

El Capítulo II, contiene los orígenes de la evaluación estructural con Viga Benkelman, su uso en el Perú y la existencia de otros métodos e instrumentos más modernos, y por ende más costosos, que son usados sobre todo en países desarrollados.

En el Capítulo III, se define la evaluación estructural y su finalidad, la existencia de varios métodos e instrumentos, así como el funcionamiento de la viga Benkelman. Se desarrolla una extensa descripción de la evaluación estructural por el método empírico (CONREVIAl) mediante el uso de la Viga Benkelman, el cual presenta los procedimientos y equipos necesarios para el ensayo en campo, entre otros.

El Capítulo IV, presenta la adquisición y procesamiento de los datos de campo (Km. 112+000 al Km. 114+000), obteniéndose como resultado los parámetros de comparación ( $D_{admisible}$ ,  $D_c$  y  $R_c$ ).

En el Capítulo V, se analiza los resultados obtenidos en el capítulo IV, separándolos por diferentes periodos de diseño (1, 2 y 3 años), y para la determinación de la vida útil remanente en 5, 6 y 7 años.

Finalmente, se presentan las conclusiones y recomendaciones del informe.

## **CAPÍTULO I: GENERALIDADES**

### **1.1 Antecedentes**

La carretera Cañete - Dv. Yauyos - Huancayo fue proyectada y ejecutada por partes: La primera parte durante el gobierno del Sr. Augusto B. Leguía (1920 a 1930), en el cual se avanza la construcción por el lado de la sierra; y la segunda parte por el lado de la costa, durante el gobierno del Dr. Manuel Prado Ugarteche (1940 a 1944), llegando a Yauyos en abril de 1944; quedando postergado todo trabajo de la carretera entre Yauyos-Huancayo. Hasta que en febrero de 1957 se prosiguieron los trabajos de la carretera en los tramos faltantes, terminándose los trabajos de la carretera y puesta en servicio en mayo de 1957.

En el año 1998 la Comisión de Promoción de Concesiones Privadas adjudicó la buena Pro al Consorcio AYESA – ALPHA CONSULT para realizar el servicio de consultoría a nivel de estudio definitivo de la carretera Lunahuana - Huancayo.

Con oficio N°1411-2004-EF/68.01 del 06-10-2004 El Ministerio de Economía y Finanzas autorizó la elaboración del estudio de Factibilidad del proyecto Rehabilitación y Mejoramiento de la carretera Ruta 22, tramo Lunahuana-Dv. Yauyos-Chupaca, con código B.P.9895.

Mediante Resolución Directoral N°919-2006-MTC/20 de fecha 12-04-2006 se aprobó administrativamente el estudio de pre inversión a nivel de factibilidad del proyecto Rehabilitación y Mejoramiento de la carretera Ruta 22, tramo Lunahuana – Dv. Yauyos-Chupaca.

El Estado peruano mediante Resolución Ministerial N° 223-2007-MTC-02, modificada por Resolución Ministerial N° 408-2007-MTC/02, creó el Programa “Proyecto Perú”, que viene a ser un programa de infraestructura vial diseñado para mejorar las vías de integración de corredores económicos, conformando ejes de desarrollo sostenido con el fin de elevar el nivel de competitividad de las zonas rurales, en la Red Vial Nacional, Departamental y vecinal.

Mediante Contrato: N° 288-2007-MTC/20 del 27 de Diciembre del 2007, firmado entre el MTC , a través de PROVIAS, y el Consorcio Gestión de Carreteras, este último asume la responsabilidad de efectuar el servicio de Conservación Vial por un periodo de 5 años, siendo la fecha de inicio del “Servicio de Conservación Vial por niveles de Servicio de la Carretera Cañete-Lunahuana-Pacaran-Chupaca y Rehabilitación del tramo Zúñiga-Dv. Yauyos-Ronchas”, el 01 de Febrero del 2008.

Mediante Convenio de Cooperación Interinstitucional N° 018-2008-MTC efectuado entre PROVIAS NACIONAL Y LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA, se busca implementar un sistema de acompañamiento y monitoreo del contrato de conservación vial por niveles de servicio de la carretera Cañete – Lunahuana – Pacarán – Chupaca y Rehabilitación del tramo Zúñiga - Dv Yauyos – Ronchas (N° 288-2007-MTC/20).

A la fecha el Consorcio Gestión de Carretera ha realizado el cambio de estándar de todos los tramos contratados, continuando solamente con el mantenimiento periódico y rutinario hasta que culmine su contrato.

## 1.2 Ubicación de la carretera

La carretera se encuentra ubicado en las provincias de Cañete, Yauyos (Región Lima) y Chupaca (Región Junín). En las figuras N° 1.1 y 1.2 se muestran las dos regiones por la cual se extiende la carretera y el trazo de la misma, respectivamente.

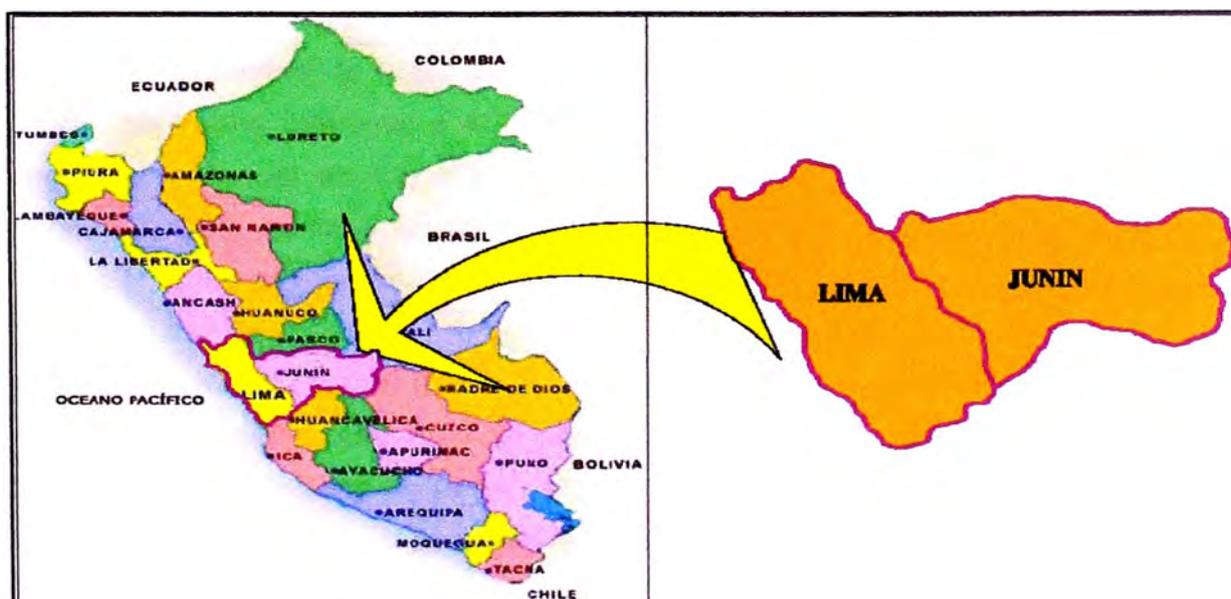


Figura N° 1.1. Regiones que atraviesa la carretera Cañete – Huancayo.



Figura N° 1.2. Ubicación de la carretera Cañete – Huancayo.

### 1.3 Características de la carretera

La carretera Cañete – Dv. Yauyos - Chupaca (Cañete - Huancayo) es una carretera de tercer orden y pertenece a la ruta nacional 022. Se considera como punto de inicio de la carretera, la ciudad de Cañete con una altitud de 71 msnm y como punto de término el poblado de Chupaca con una altitud de 3270 msnm.

Tiene una longitud aproximada de 280 km, con un ancho de calzada promedio de 4.0 m y pendientes de entre 2 % (para las zonas menores a 4000 msnm) y 6% (para las zonas mayores a 4000 msnm), que en su mayor parte se extiende a largo del valle del río Cañete, atravesando varios pisos altitudinales y centros poblados de la costa y sierra central del Perú, que se pueden apreciar en las figuras N° 1.4 y 1.3, respectivamente.

A partir del Km. 162+200 la carretera abandona el curso del río Cañete y recorre la margen izquierda del río Alis continuando por un cañón muy cerrado hasta llegar al centro poblado de Alis Km. 164+905. Siguiendo la carretera se encuentra con dos medios túneles y se arriba a Tomas en el Km. 172+895.

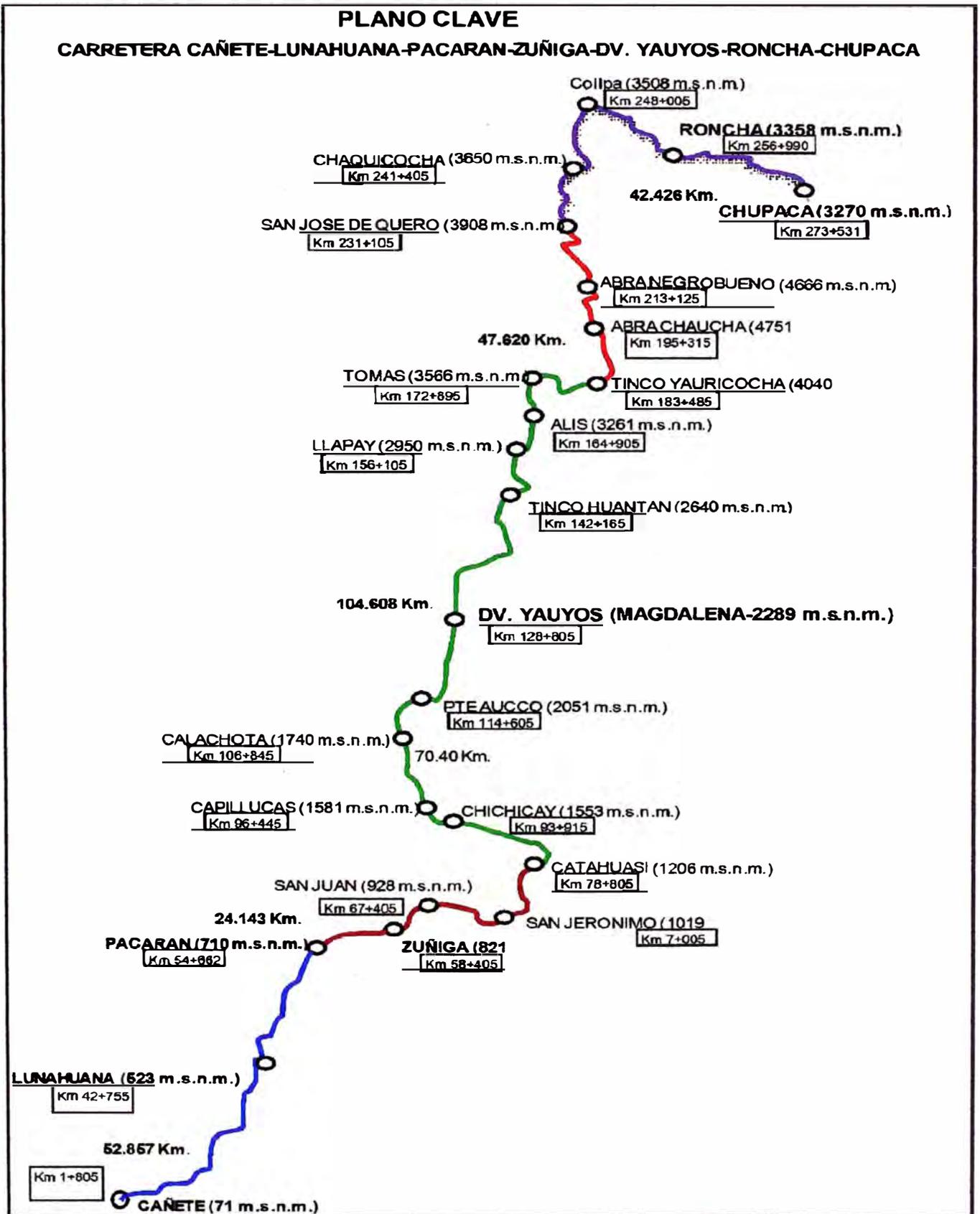


Figura N° 1.3. Centros poblados que une la carretera Cañete – Huancayo.

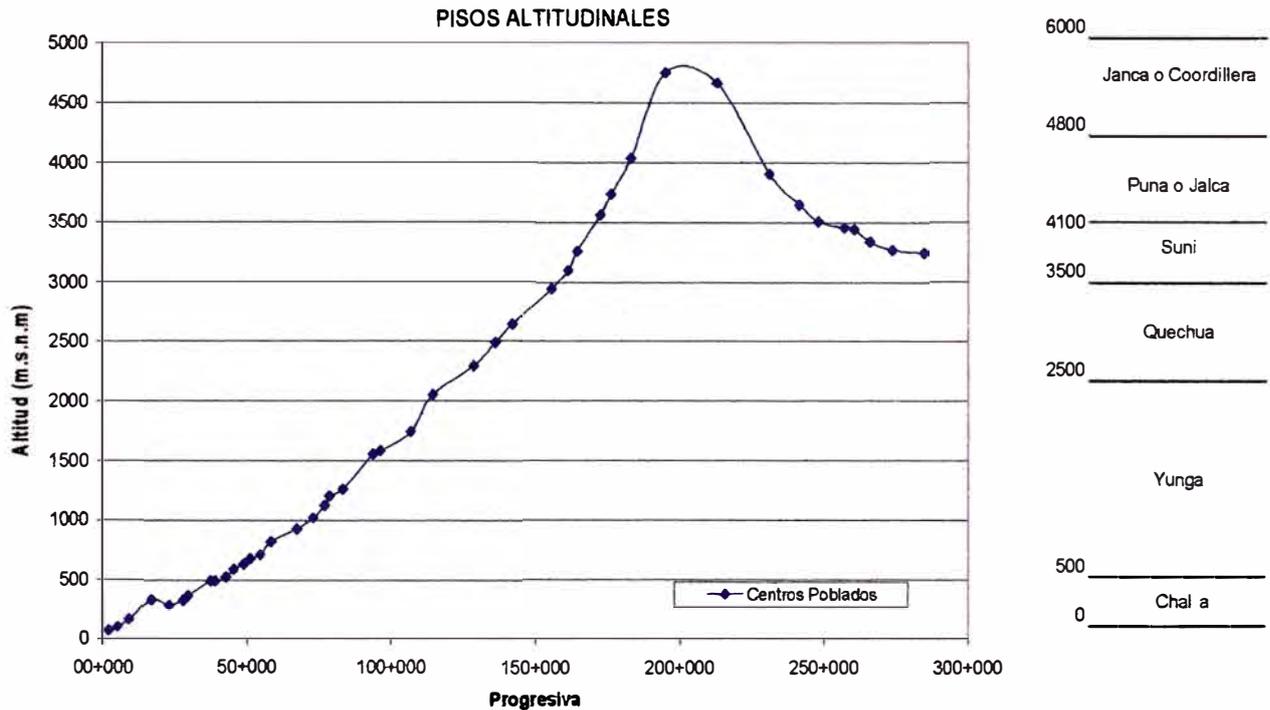


Figura N° 1.4. Pisos altitudinales que atraviesa la carretera Cañete – Huancayo.

El clima que se presenta en la carretera Cañete - Huancayo es variable, pues el área comprometida en el estudio se ubica en diferentes regiones, ver figura N° 1.4. En el siguiente cuadro se señalan las temperaturas típicas y precipitaciones de estas regiones.

Cuadro N° 1.1. Temperaturas y precipitaciones por pisos altitudinales.

Región	Temperatura mínima	Temperatura media	Temperatura Máxima	Precipitación	Característica
Yunga (500-2300 msnm)		20° a 27°C		Pprom=100-150 mm	Sol dominante casi todo el año.
Quechua (2300-3500 msnm)	-4 a 7°C	11° a 16°C	22° a 29°C	Pprom=800-1200 mm	Clima templado
Suni o Jalca (3500-4000 msnm)	-1 a -16°C	7° a 10°C	>20°C	Pprom.= 800 mm por año.	Clima frío
Puna (4000-4800msnm)	-25° a -9°C	0° a 7°C	22°C	Pprom entre 200 mm y 1000 mm al año.	Clima muy frío

Fuente: Elaboración propia

El Consorcio Gestión de Carretera ya ha realizado hasta la fecha, el cambio de estándar de todos los tramos contratados, por esta razón la carretera, en general, se encuentra en un regular nivel de transitabilidad.

Para mayor detalle sobre las características que actualmente posee la carretera, se procedió a clasificarla en 5 tramos, que son los siguientes:

#### TRAMO 1 CAÑETE-PACARÁN (Del Km. 1+805 al Km. 54+662)

Este tramo esta sectorizado en dos zonas:

De CAÑETE a LUNAHUANA, donde presenta las siguientes características:

- Superficie de rodadura a nivel de carpeta asfáltica en buenas condiciones.
- 02 carriles, 01 de ida y otro de vuelta.
- Obras de drenaje en buenas condiciones.

De LUNAHUANA a PACARÁN, donde se presenta las siguientes condiciones:

- Tratamiento bicapa en buenas condiciones.
- 02 carriles, 01 de ida y otro de vuelta.
- Obras de drenaje en buenas condiciones.

#### TRAMO 2 PACARÁN-CATAHUASI (Del Km. 54+662 al Km. 78+805)

Este tramo presenta las siguientes características:

- Superficie de rodadura con slurry seal en buenas condiciones.
- 01 carril de ancho variable con promedio 4.5m.
- Curvas semi cerradas.
- Taludes pronunciados.
- Zonas de posibles deslizamientos.
- Obras de drenaje en condiciones regulares.
- Presenta fisuras longitudinales sectorizadas.
- Impacto ambiental localizado, por la presencia de 02 represas.

#### TRAMO 3 CATAHUASI-TINCO YAURICOCHA (Del Km. 78+805 al Km. 183+485)

Este tramo presenta las siguientes características:

- Superficie de rodadura con monocapa asfáltica en regulares condiciones.
- 01 carril de ancho muy variable con promedio 4.5 m.
- Curvas cerradas.
- Taludes pronunciados.

- Zonas de posibles deslizamientos.
- Semi-túneles que impiden el paso de unidades de gran carga.
- Obras de drenaje en regulares condiciones.
- Presenta fallas longitudinales y piel de cocodrilo localizado.

**TRAMO 4 TINCO YAURICOCHA-SAN JOSÉ DE QUERO (Del Km. 183+485 al Km. 231+105)**

Este tramo presenta las siguientes características:

- Superficie de rodadura con monocapa asfáltica en malas condiciones.
- 01 carril de 4.0 m de ancho en promedio y muy variable.
- Curvas muy cerradas.
- Taludes pronunciados.
- Precipicios abruptos, en curvas cerradas con anchos mínimos y radios de giro muy pequeños.
- Clima agreste, con presencia de lluvias sobre todo en el sector de las abras.
- Obras de drenaje en condiciones deficientes.
- El estado de la monocapa asfáltica a lo largo de este tramo presenta mantenimiento mínimo.
- Impacto ambiental alto por la presencia de centros mineros a los alrededores.

**TRAMO 5 SAN JOSÉ DE QUERO-CHUPACA (Del Km. 231+105 al Km. 273+531)**

Este tramo presenta las siguientes características:

- Superficie de rodadura con monocapa asfáltica en malas condiciones, al punto que en algunos sectores la base granular se encuentra expuesta.
- Ancho de calzada entre 5 y 6.5 metros.
- Curvas Semi-cerradas.
- Zona en llanura, no se presenta taludes pronunciados.
- Obras de drenaje en condiciones deficientes.
- Puentes y pontones rudimentarios en su mayoría.

El siguiente cuadro muestra en resumen el tipo de superficie de rodadura y su estado por tramos.

Cuadro N° 1.2. Superficie de rodadura por tramos.

TRAMO	TIPO DE SUPERFICIE DE RODADURA	LONGITUD (km)
Cañete – Pacarán	Carpeta asfáltica –TSB (buen estado)	52.857
Pacarán – Catahuasi	Slurry Seal (buen estado)	24.143
Catahuasi – Tinco Yauricocha	Monocapa asfáltica (Regular estado)	104.680
Tinco Yauricocha – San José de Quero	Monocapa asfáltica (deteriorado)	47.620
San José de Quero – Chupaca	Monocapa asfáltica (deteriorado)	42.426

Fuente: Elaboración propia.

#### 1.4 Tramo en estudio

Según la clasificación realizada en la sección anterior, el tramo en estudio pertenece al Tramo 3.

La carretera en este tramo, se desarrolla en la margen derecha del río Cañete con topografía accidentada y de sección transversal a media ladera en casi toda su extensión longitudinal (2 km).

Presenta un solo carril de ancho variable con 4.0 m en promedio y también curvas cerradas, en algunos sectores el ancho de la calzada es menor a los 4 metros de ancho mínimo que estipula el manual de diseño de carreteras pavimentadas de bajo volumen de tránsito. Ver figura 1.5.

Cuenta con señalización horizontal y vertical en regular estado, además en las zonas de curvas cerradas se construyeron gibas por seguridad. La superficie de rodadura posee (en algunos sectores como las curvas cerradas, por ejemplo), pequeños desprendimientos o peladuras.

Los taludes son empinados en gran parte del tramo, compuestos generalmente de material rocoso tipo arenisca y conglomerados coluviales, lo cual ocasiona pequeños derrumbes de rocas. Para tratar de mitigar la acción de los derrumbes sobre la calzada, es que se construyó los llamados muros secos.

El sistema de drenaje en este tramo se presenta en forma aceptable, con cunetas sin revestimiento las cuales evacuan el agua a través de alcantarillas tipo TMC, las mismas que se encuentran ubicadas en los cruces de la carretera con pequeñas quebradas.

La estructura del pavimento está conformada por una capa granular estabilizada con emulsión asfáltica ( $e=5$  cm) y una superficie de rodadura o recubrimiento de monocapa asfáltica de  $e=11$ mm (RC-250 y gravilla de 3/8”), la misma que fue ejecutada en diciembre del 2008 y que a la fecha se encuentra en regulares condiciones.

Según el estudio de suelos realizado por el contratista (CGC), en los estratos se encuentran gravas y arenas de matriz limo-arcillosa. Estos materiales clasifican en el sistema SUCS como GC-GM y SC-SM, y en el AASHTO como A-1-b(0). Las bolonerías se encuentran en todo el estrato.

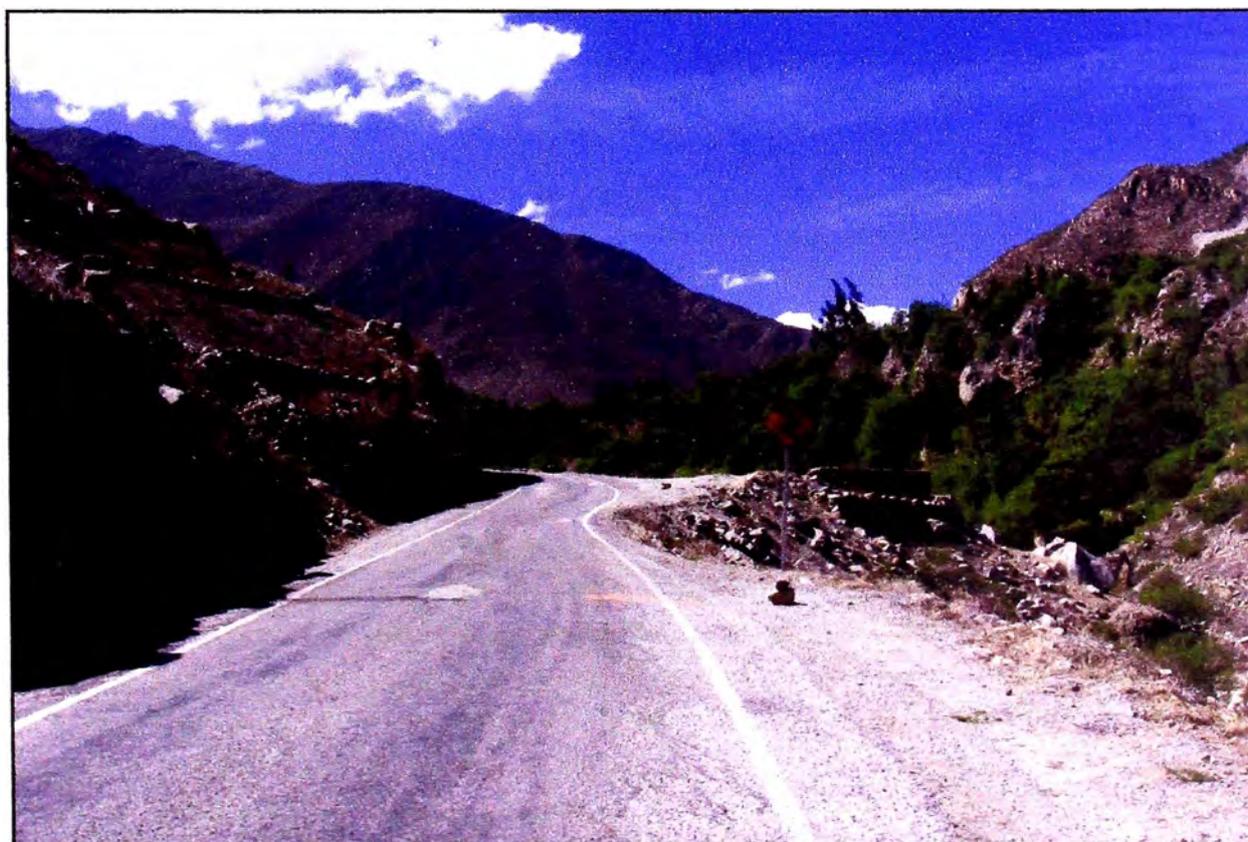


Figura N° 1.5. Imagen de la carretera en el tramo en estudio.

## CAPÍTULO II: ESTADO DEL ARTE

### 2.1 Estado del arte de la Viga Benkelman

La evaluación estructural de pavimentos tiene su origen, por lo menos, en la década de 1930, en California, USA, donde el departamento de carreteras de ese estado había desarrollado un sistema de medidores eléctricos con el fin de conocer los desplazamientos inducidos por las cargas vehiculares.

Las deflexiones producidas en la superficie de un pavimento flexible, por acción de cargas vehiculares, pueden ser determinadas haciendo uso de deflectómetros tales como la denominada "Viga Benkelman", llamado así en honor a su creador el Ing. A.C. Benkelman, quien desarrolló este equipo durante el ensayo de la "Western Association of State Highway Organizations" (WASHO Road Test) en 1952.



Figura N° 2.1. Imagen del ensayo de deflexión con viga Benkelman.

Desde entonces su uso se ha difundido ampliamente en proyectos, a nivel mundial, de evaluación estructural de pavimentos flexibles, tanto por su practicidad como por la naturaleza directa y objetiva de los resultados que proporciona.

Pese a que en los países desarrollados se han inventado equipos de mayor confiabilidad y rendimiento para realizar la evaluación estructural de pavimentos, tales como el FWD, dynaflect, deflectómetro Lacroix y Curviametro, entre otros; en el Perú, aún se sigue trabajando con la viga Benkelman debido, básicamente, al bajo costo de éste respecto a los equipos anteriormente mencionados.

En los primeros años de la década de 1980, la viga Benkelman fue utilizada en el Perú, para la rehabilitación de la carretera Panamericana Norte, a cargo del Consorcio de Rehabilitación Vial conformada por empresas argentinas y canadienses. Se evaluó un tramo de dicha carretera y con los resultados obtenidos se elaboró el estudio llamado CONREVIAL, por tal motivo el MTC sugiere el empleo de este estudio, ya que corresponde a una inversión considerable en aquellos años.

En el año 2000, se utilizó el equipo FWD para la evaluación estructural de la carretera Piura – Paita y Piura – Sullana – Puente Macará, pero para satisfacer las exigencias del MTC, estas medidas dinámicas se tuvieron que transformar en estáticas con el fin de relacionarlas con deflexiones patrón provenientes de la viga Benkelman.

## CAPÍTULO III: MARCO TEÓRICO

### 3.1 Evaluación estructural del pavimento

La evaluación estructural de pavimentos consiste, básicamente, en la determinación de 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. Las necesidades de evaluar estructuralmente los pavimentos de una red aumentan a medida que se completa el diseño y la construcción de una red vial nacional o regional y consecuentemente aumenta la necesidad de su preservación y rehabilitación.

La evaluación estructural se clasifica en dos grandes grupos, los ensayos no destructivos y los destructivos, cada grupo posee sus equipos y procedimientos para realizar la evaluación:

Ensayos No Destructivos (END).

- Viga Benkelman.
- Falling Weight Deflectometer (FWD).
- Dynaflect.
- Road Rater.
- RDD.
- Kuab-FWD.

Ensayos Destructivos (END).

- Calicatas.
- Extracción de testigos.
- Placa de carga.
- Penetrómetro dinámico de carga.

#### Ensayos no destructivos

Son aquellos ensayos que se realizan sin la necesidad de realizar excavaciones en la vía, se usan equipos especializados en medir las deformaciones del terreno mediante la aplicación de cargas estáticas y/o dinámicas.

- **Viga Benkelman:** La viga Benkelman es un instrumento manual que consta de dos (2) brazos, uno que va en contacto con el terreno y el otro que sirve de pivote donde se realizan las mediciones producidas por la carga estática normalizada (8200 kg). Más adelante se verá con detalle este ensayo.



Figura N° 3.1. Viga Benkelman.

- **Dynalect:** Equipo desarrollado y usado en Estados Unidos, opera bajo el principio de fuerzas vibratorias, la cual es aplicada en el pavimento por medio de dos pequeñas ruedas metálicas. La magnitud de estas deformaciones, son captados por medio de 5 geófonos, colocados en el eje de las dos ruedas y espaciados a intervalos de 30 cm desde el punto de aplicación. Es un sistema acoplado, montado y puede ser remolcado por un vehículo estándar.



Figura N° 3.2. Equipo Dynaflect transportado.

- **FWD:** El principio de operación es similar al Dynaflect, con la diferencia que la sollicitación se produce mediante el impacto de un peso en caída libre sobre unos mecanismos con amortiguadores, los que se apoyan en una placa de goma sobre el pavimento. También en este caso, las vibraciones son captadas por medio de sensores sísmicos ubicadas a distinta distancias del punto de aplicación. Existen en el mercado varios modelos de FWD, de los cuales los más conocidos son el Dynatest y el KUAB (USA), y el Phoenix (Dinamarca).



Figura N° 3.3. Equipo FWD.

- **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 la rigidez de la subrasante.



Figura N° 3.4. Equipo KUAB – FWD.

- **Road Rater:** Los modelos varían sobre todo en la magnitud de las cargas, y las cargas estáticas o dinámicas; emplea cuatro sensores para medir la deflexión base. El dispositivo se mueve a la localización de la prueba, donde se coloca la placa de carga y los sensores de deflexión se colocan sobre el pavimento.

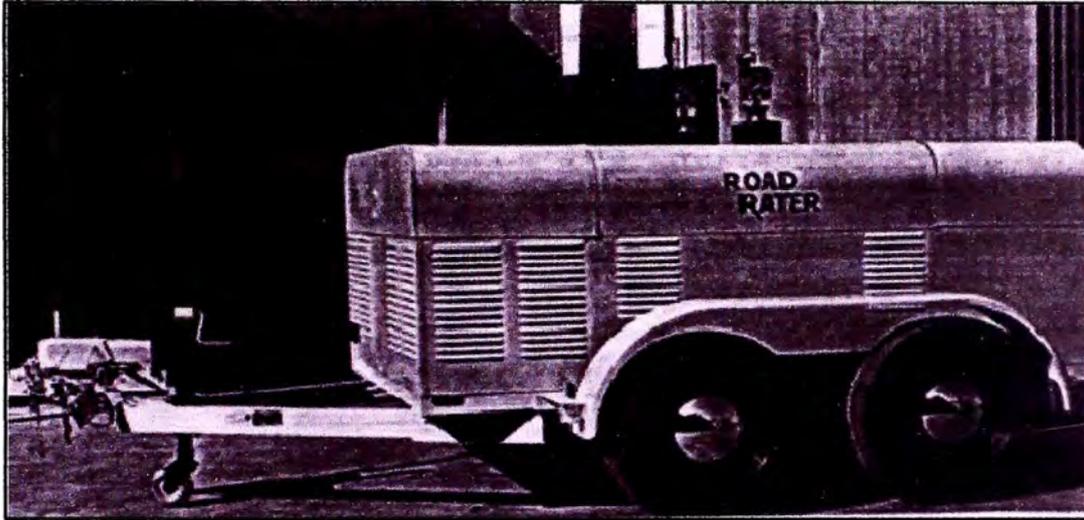


Figura N° 3.5. Equipo Road Rater.

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



Figura N° 3.6. Equipo RDD.

## Ensayos destructivos

La ejecución de estos ensayos, requiere alterar el pavimento existente en algún punto. A continuación se describen los ensayos destructivos más conocidos:

- **Excavación de calicatas** para determinar propiedades de los materiales de capas. Entre los parámetros a considerar se encuentran los espesores de capas, CBR de las capas granulares, clasificación, densidades y humedades.
- **Extracción de testigos.** Mediante una extractora de testigos, se obtiene una probeta cilíndrica de las capas superficiales del pavimento. En general solo es aplicable a la extracción de materiales de capas de asfalto y concreto.
- **Placa de carga.** Este ensayo sirve para la evaluación de la capacidad portante del material de subrasante, bases, y en algunos cálculos, del pavimento completo utilizando placa de diámetros relativamente grandes. De este ensayo se determina un modulo de reacción. Para efectuar este método en pavimentos existentes, se requiere efectuar calicatas de gran superficie, lo cual resulta poco práctico y costoso, quedando rápidamente en desuso.
- **Penetrómetro Dinámico de Cono (DCP).** Es un dispositivo que permite realizar una auscultación in-situ de las capas de suelo de la subrasante y bases granulares. El principio de basa en la acción de una masa dinámica que cae desde una altura preestablecida, lo que produce la penetración de una sonda en forma de cono. Como resultado del ensayo se encuentra la penetración de la sonada para un determinado número de golpes (PR), el cual está relacionada con el CBR.

Cuadro N° 3.1. Cuadro comparativo de los métodos de evaluación estructural.

Procedimiento	Ventajas	Desventajas
Viga Benkelman	Aparato más simple para medir deflexiones y de menor costo, no altera el pavimento. Es el parámetro base de otros métodos de evaluación estructural.	Bajo rendimiento.
Deflectómetro	Alto rendimiento, no altera el pavimento	Equipo sofisticado de alto costo.
Dynalect	Alto rendimiento, no altera el pavimento y mide deflexiones en varios puntos de la deformada	Equipo sofisticado de alto costo. Cargas menores y menor precisión
Falling Weight Deflectometer	Alto rendimiento, no altera el pavimento y mide deflexiones en varios puntos de la deformada. Parámetro base de evaluación de algunos métodos	Equipo sofisticado de alto costo. Mejor precisión en mediciones
Calicatas	Evalúa en forma real las propiedades del material del pavimento	Alteración del pavimento, muy bajo rendimiento
Extracción de testigos	Evalúa en forma real las propiedades de los materiales de la capa de rodadura	Solo aplicable a los materiales de superficie
Placa de Carga	Evalúa en forma real la capacidad de soporte de las capas del pavimento	Alteración significativa del pavimento a un alto costo. Muy bajo rendimiento.
Penetrómetro (DCP)	Evalúa en forma real las propiedades de los materiales granulares del pavimento. Poca alteración al pavimento	Solo aplicable a capas granulares

Fuente: Revista Ingeniería de construcción, Diciembre 1995, Chile.

### 3.2 La viga Benkelman

La viga Benkelman mide las deflexiones producidas en la superficie de un pavimento flexible, por acción de cargas vehiculares; es un dispositivo muy simple, que funciona aplicando la conocida regla de la palanca, donde la viga rota alrededor de una articulación (pívot) por el efecto de recuperación elástica del pavimento en uno de los extremo de ésta, y por el otro extremo, por medio de un extensómetro se mide dicha recuperación.

La viga consta esencialmente de dos partes: (1) Un cuerpo de sostén que se sitúa directamente sobre el terreno mediante tres apoyos (dos delanteros fijos "A" y uno trasero regulable "B") y (2) Un brazo móvil acoplado al cuerpo fijo mediante una articulación de giro o pivote "C", uno de cuyos extremos apoya sobre el terreno (punto "D") y el otro se encuentra en contacto sensible con el vástago de un extensómetro de movimiento vertical (punto "E"). Adicionalmente el equipo posee un vibrador incorporado que al ser accionado, durante la realización de los ensayos, evita que el indicador del dial se trabe y/o que cualquier interferencia exterior afecte las lecturas.

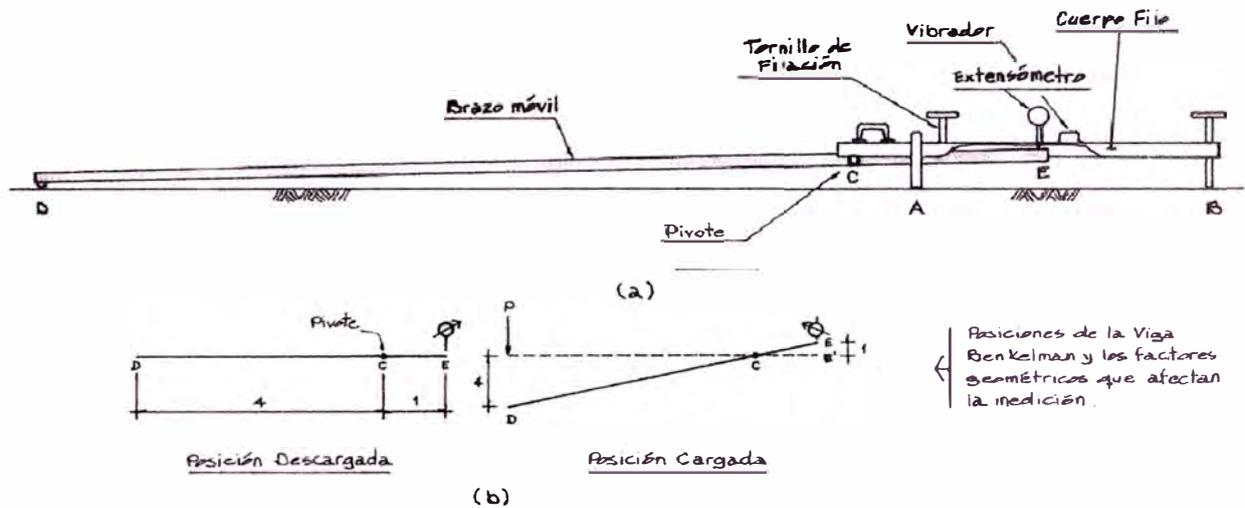


Figura N° 3.7. Esquema y principio de operación de la viga Benkelman.

El extremo D de la viga se coloca entre las llantas duales del camión, según la siguiente figura.

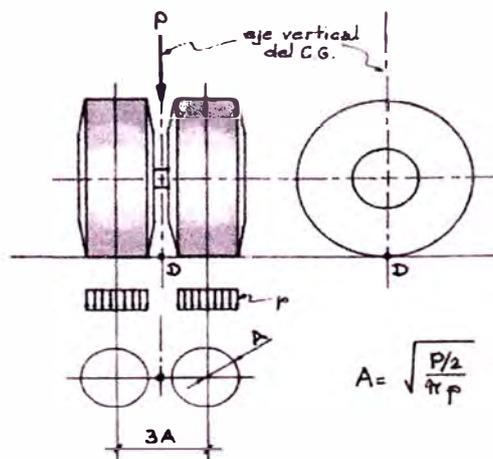


Figura N° 3.8. Lugar de colocación del extremo de la viga Benkelman.

Usando la deflectometría por medio de la viga Benkelman, se han desarrollado varios métodos para la evaluación estructural de pavimentos, tales como el de Boussinesq o el método matemático conocido como el "modelo de Hogg", basados en la teoría de la elasticidad, y los métodos empíricos que se comparan con valores admisibles.

### 3.3 Deflectometría método empírico – CONREVIAL

Este método empírico, ha sido adecuado al Perú por el Consorcio de Rehabilitación Vial (CONREVIAL), a principios de los años 80's.

El método trata de determinar, básicamente dos valores:

- Deflexión elástica recuperable y
- El radio de curvatura de la deformada.

Para luego de procesarlas adecuadamente, compararlas con valores admisibles que dependen del tráfico actual, en el caso de las deflexiones elásticas recuperables, y con rangos preestablecidos que clasifican el estado del pavimento, para el caso de los radios de curvatura.

Es de importancia conocer que la deflexión total de un pavimento comprende dos caracteres, el elástico y el plástico. Los primeros desaparecen cuanto se remueven la carga, mientras que los segundos son permanentes. Ver figura 3.9.

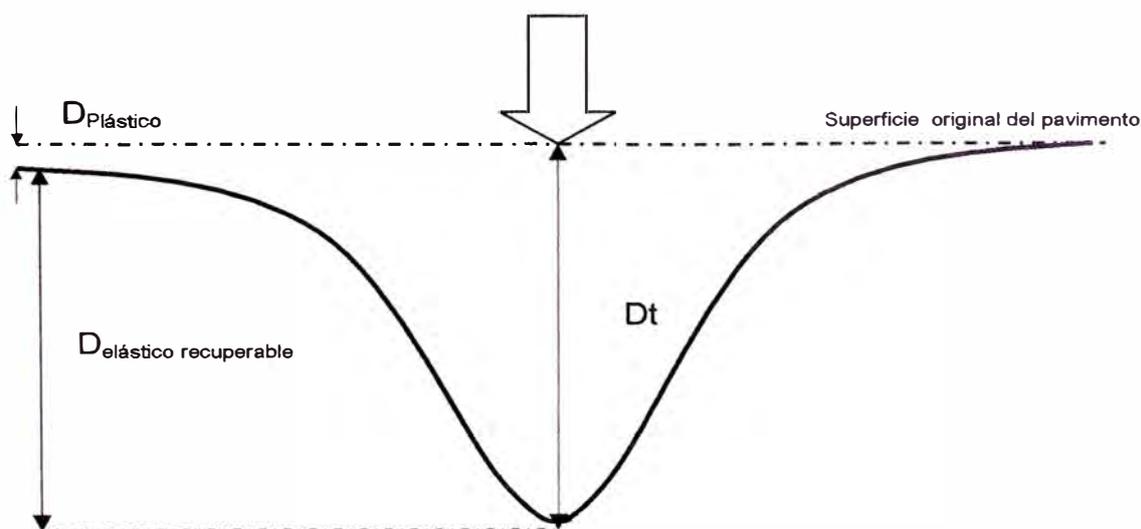


Figura N° 3.9. Componentes de la deflexión total.

Para facilitar las labores de campo, respecto a la toma de datos, se ha fabricado una viga Benkelman con 2 brazos sobre un mismo bastidor. Se trata de dos vigas (brazos) desplazadas 25 cm una de otra, de manera tal que cuando el extremo de la viga principal se encuentre entre las llantas de la rueda dual, el extremo de la viga secundaria quede ubicada a 25 cm de la otra.

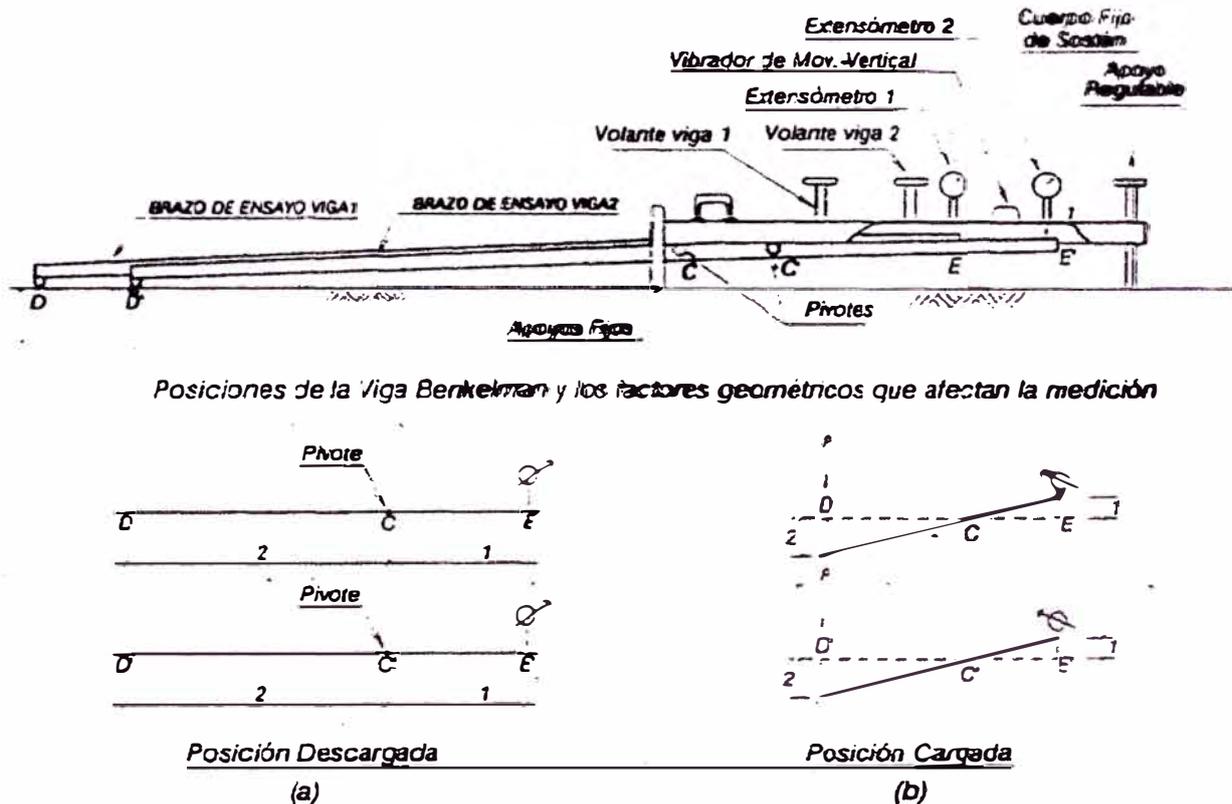


Figura N° 3.10. Esquema y principio de operación de la viga Benkelman doble.

### 3.3.1 Equipo requerido

El siguiente listado es la relación de equipos requerido para realizar la recopilación de datos en campo:

- Deflectómetro viga Benkelman doble (con relación de brazos 4:1).
- Extensómetros con dial indicador de divisiones cada 0.01 mm.
- Camión cargado, con eje trasero de 18000 libras (8.2 ton) igualmente distribuidas en un par de llantas dobles infladas a una presión de 80 psi.
- Vehículo auxiliar para transportar al personal y equipo misceláneo (camioneta).
- Balanza portátil para pesaje del camión, con capacidad de 10 toneladas.
- Accesorios de medición y varios (Cinta métrica de 3 m, plumones de punta gruesa, plomada, destornillador, alicates, hojas de campo, lápices, señales

de seguridad, termómetro, cincel, martillo, varilla de metal o madera de 2m, alambre de amarre, etc.)

- Equipo para perforación de pavimento asfáltico, para medición de temperatura (cincel o punzón de acero y combo de 10 libras).
- Elementos de seguridad (Chalecos de seguridad fosforescentes para todo el personal y 2 o 3 banderolas de tela roja).

### 3.3.2 Procedimiento de campo

- Localizar e identificar los sectores (progresivas) en los cuales se va realizar el ensayo.
- Una vez localizado e identificado el lugar donde se realizará el ensayo (generalmente sobre la huella exterior que deja los vehículos sobre el pavimento), estacionar el vehículo en el sector, teniendo en cuenta que el eje posterior éste sobre la progresiva que queremos evaluar y sobre la zona de ahuellamiento.

Cuadro N° 3.2. Distancia del punto de ensayo al borde del pavimento.

Ancho de carril	Distancia del punto de ensayo al borde del pavimento
2.7 o menos	0.45 m
3.00 m	0.60 m
3.30 m	0.75 m
3.60 m o más	0.9 m

Fuente: Clases del curso de titulación 2010.

- Luego, proceder a colocar el extremo de la viga principal entre las llantas duales del eje posterior del vehículo, quedando automáticamente el extremo de la viga secundaria a 25 cm del eje vertical de carga.
- Se aflojan los pernos de fijación de los brazos pivotantes, se estabiliza el cuerpo fijo de la viga sobre sus tres apoyos.
- Paralelamente, se determina el espesor de la capa asfáltica que cubre a la base y medir la temperatura.
- Establecer los diales en cero (0) y dar la orden para que el camión se retire lentamente, la distancia aproximada del recorrido del camión será de 5m. o hasta que la carga producida por el camión no afecte a los diales.

- Esperar el máximo desplazamiento de los diales y se anota los resultados, los mismo que tienen que ser corregidos por la relación de brazos y por la particiones del extensómetro, de ser el caso.

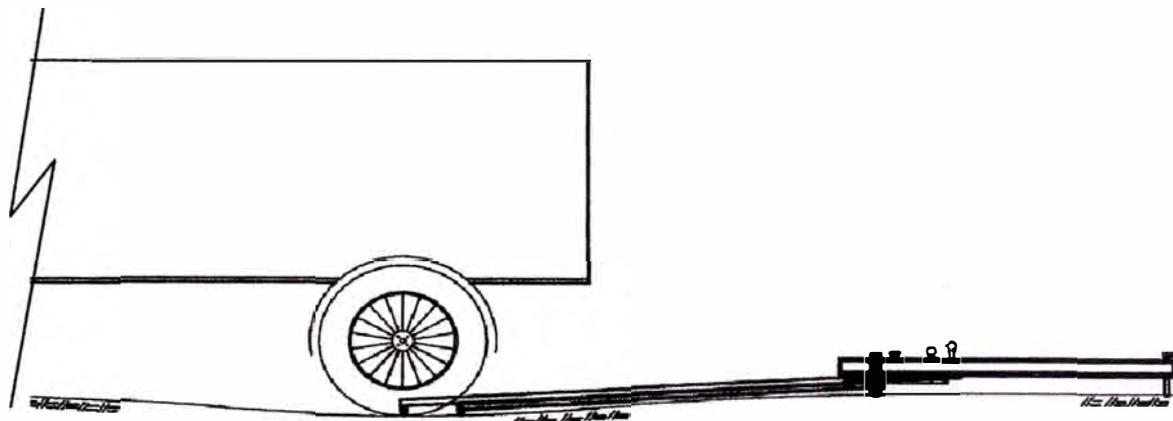


Figura N° 3.11. Estado inicial del ensayo, diales en cero (máximas deflexiones).



Figura N° 3.12. Estado final del ensayo (recuperación elástica máxima del pavimento).

### 3.3.3 Correcciones de deflexiones por temperatura

Las deflexiones recuperables de los pavimentos asfálticos son afectados por la temperatura, puesto que en un determinado pavimento, la magnitud de la deflexión aumenta con un incremento en la temperatura de las capas asfálticas, esto es atribuido a una disminución de la rigidez de las mezclas bituminosas, por lo que el efecto dependerá del espesor de dichas capas y de la rigidez de las capas subyacentes.

La idea de la corrección es llevar las mediciones adquiridas (a diferentes temperaturas de las coberturas asfálticas), a una deflexión medida a la temperatura estándar de 20°C.

La siguiente fórmula se usa para corregir las deflexiones por temperatura.

$$D_{20} = D_t / k (t - 20^\circ) e + 1$$

Donde:

$D_{20}$  : Deflexión corregida, a la temperatura estándar de 20° C (1/100 mm).

$D_t$  : Deflexión medida a la temperatura t (1/100 mm).

k :  $1 \times 10^{-3}$ ; constante para capas granulares (1/ cm°C)

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

e : Espesor de la carpeta asfáltica (cm).

### 3.3.4 Corrección de deflexiones por periodo estacional

Las deflexiones de un pavimento varían también, dependiendo de las estaciones climatológicas por la que atraviesa, más aun si estas son bien marcadas (periodo seco y de lluvias).

El manual de CONREVIAl recomienda los siguientes valores de corrección dependiendo el periodo en que se lleven a cabo los ensayos.

Cuadro N° 3.3. Factores de corrección por periodo estacional.

Tipo de suelo subrasante	Estación lluviosa	Estación seca
Arenosa- permeable	1.0	1.1 - 1.3
Arcillosa-sensible al agua	1.0	1.2 - 1.4

Fuente: MTC, CONREVIAl, Estudio de Rehabilitación de carreteras en el país, 1983.

Del cuadro anterior, la corrección por periodo estacional se aplicará o no, dependiendo del periodo en que se tomaron los datos, es decir, si los datos se tomaron en el periodo crítico ya no habría que realizar ninguna corrección y viceversa.

### 3.3.5 Determinación del radio de curvatura

El radio de curvatura nace de la necesidad de encontrar otro indicador, además de la deflexión recuperable, para poder compararla. A tal punto de llegar a ser de tanta importancia como las deflexiones, en la evaluación estructural del pavimento.

El radio de curvatura permite determinar la magnitud de la deformación lineal por tracción que sufren las capas asfálticas al flexionarse bajo las cargas de tránsito.

Se define como "radio de curvatura", al radio de la circunferencia que mejor se adapte a la deformada del pavimento en la zona de mayor curvatura (bajo el eje de carga), que según la hipótesis de los franceses se asemeja a una parábola de segundo grado hasta un poco más de 25 cm del eje de carga y a partir de un punto de inflexión, la deformada tiende a ser asintótica con la horizontal. Ver figura N°3.13.

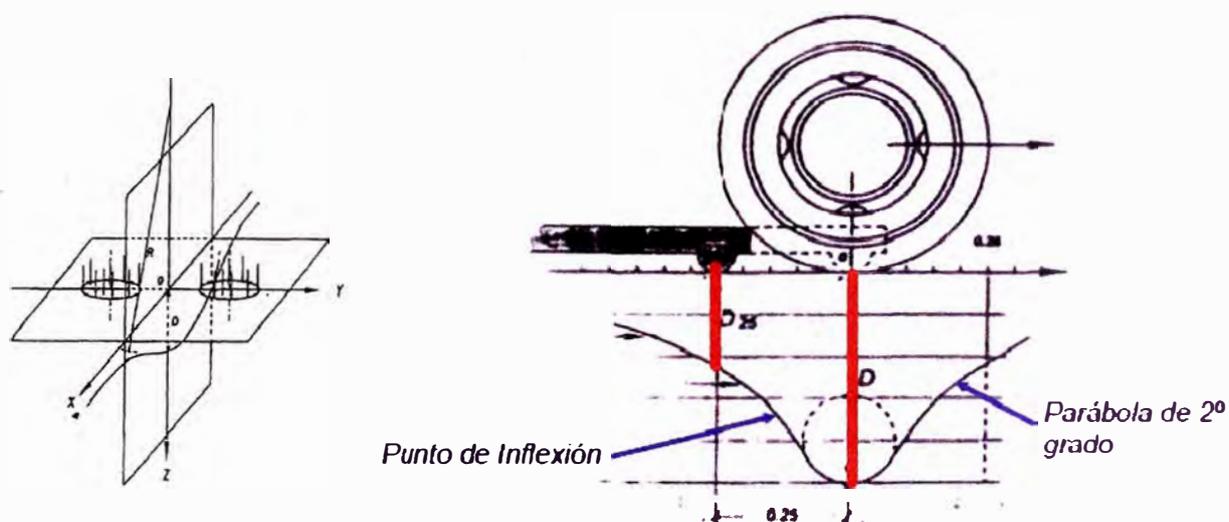


Figura N° 3.13. Deformada del pavimento y parámetros de comparación.

Se considera una deflexión auxiliar a 25 cm del eje de carga para poder determinar el radio de curvatura con la siguiente fórmula:

$$R_c = \frac{6250}{2(D_0 - D_{25})}$$

Donde:

$R_c$  : Radio de curvatura en metros

$D_{25}$  : Deflexión recuperable a 25 cm del eje de carga vertical (1/100 mm).

$D_0$  : Deflexión recuperable en el eje de carga vertical (1/100 mm).

Para la obtención de este parámetro, es que la viga Benkelman doble tiene ventajas respecto a la simple, como por ejemplo la mayor precisión y seguridad en las lecturas.

### 3.3.6 Análisis estadístico de deflexiones

Debido a la gran cantidad de datos que son tomados para cualquier tramo de evaluación, se hace necesaria determinar valores característicos de dicho tramo.

Para determinar los valores característicos se usa el análisis estadístico a partir de deflectogramas en los cuales se puede notar la variabilidad del pavimento en el tramo de estudio a tal punto de poder llegar a sectorizar el tramo de acuerdo a las deflexiones o radios de curvatura, según sea el caso.

Según el manual de CONREVIAl, la distribución de deflexiones recuperables se asemeja a una distribución normal (ley de Gauss), por lo que para determinar la deflexión característica de un tramo homogéneo se usa la siguiente expresión:

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

Donde:

$D_c$  : Deflexión característica.

$\bar{D}$  : Deflexión promedio

$t$  : Porcentaje del área total con probabilidad de presentar deflexiones superiores a la deflexión característica ( $D_c$ ).

$\sigma$  : Desviación estándar

Tal como muestra el cuadro N° 3.4., el valor de "t" corresponde a un porcentaje del área total con probabilidad de presentar deflexiones superiores a la deflexión característica  $D_c$ .

Cuadro N° 3.4. Valor de "t" y probabilidad de ocurrencia de  $D > D_c$ .

Valor de diseño (%)	Deflexión característica	Extensión del pavimento con $D > D_c$ (%)
50	$\bar{D}$	50
75	$\bar{D} + 0.674 \sigma$	25
85	$\bar{D} + \sigma$	15
90	$\bar{D} + 1.3 \sigma$	10
95	$\bar{D} + 1.645 \sigma$	5
98	$\bar{D} + 2 \sigma$	2
99	$\bar{D} + 2.33 \sigma$	1
99.9	$\bar{D} + 3.0 \sigma$	0.1

Fuente: MTC, CONREVIAl, Estudio de Rehabilitación de carreteras en el país, 1983.

El método CONREVIAD adopta un valor de  $D_c$  igual a  $(\bar{D}+1.645\sigma)$  que corresponde al 95% de probabilidad de diseño, superada sólo por el 5% de las determinaciones efectuadas.

### 3.3.7 Deflexiones admisibles

La relación entre la deflexión y el tránsito constituye la base de este y varios otros métodos empíricos, la cual indica que la vida útil de un pavimento es inversamente proporcional a la deflexión del mismo, según la siguiente ecuación:

$$N = \frac{1.15}{D^4} \quad \text{ó} \quad D = \sqrt[4]{\frac{1.15}{N}}$$

Donde:

$N$  : Número de ejes estándares equivalentes de 8,2 toneladas acumuladas en el período de diseño.

$D$  : Deflexión característica admisible (inicial) en mm.

Esta deflexión corresponde a aquella que alcanzará el pavimento al final del tiempo de diseño. Por lo tanto, esta deflexión se calcula considerando la sollicitación de cargas para ese tiempo de diseño, representado en el valor "N" de ejes equivalentes acumulados hasta el último día de servicio

El número de ejes estándares equivalentes de 8,2 toneladas acumuladas en el periodo de diseño (N), se calcula mediante la siguiente expresión:

$$N = 365 ( \text{IMD}_{\text{om}} \cdot \text{Fd}_{\text{om}} + \text{IMD}_{2\text{e}} \cdot \text{Fd}_{2\text{e}} + \text{IMD}_{3\text{e}} \cdot \text{Fd}_{3\text{e}} + \text{IMD}_i \cdot \text{Fd}_t ) \left[ \frac{(1+r)^n - 1}{r} \right]$$

Donde:

$\text{IMD}_i$  : Índice medio diario de vehículos tipo "i"

$\text{Fd}$  : Factor destructivo o de carga, equivalencia de vehículos tipo "i".

$r$  : Tasa de crecimiento anual.

$n$  : Periodo de diseño en años.

El IMD, proviene de los estudios de conteo vehicular realizados en un determinado periodo de tiempo, pero para efectos de cálculo, se necesita conocer o estimar el tráfico futuro.

Para la proyección del tráfico liviano, se utilizará como criterio la tasa de crecimiento anual per cápita (8.3%). Como la carretera se encuentra ubicada en los departamentos de Lima y Junín las mismas que cuentan con las tasas de crecimiento de 1,7% y 1,1% respectivamente, al promediar se obtiene 1,4%, que servirá para la proyección del tráfico del transporte público. Asimismo para la proyección del tráfico pesado se utilizará el promedio del PBI del crecimiento del país en los últimos 10 años (6,28%). El resumen se muestra en el cuadro N° 3.5.

Cuadro N° 3.5. Tasas de crecimiento del tránsito vehicular.

Transporte ligero	Transporte público	Transporte de carga
8,30%	1,40%	6,28%

Fuente: Elaboración propia.

Los factores de destrucción o carga son calculados de la Normas Peruanas de pesos y medidas permitidos. Ver Cuadro N° 3.6.

Cuadro N° 3.6. Ejes equivalentes y factores de carga de los diferentes tipos de vehículos.

Nro	Tipo de vehículo	Descripción	Eje delantero	Ejes posteriores				EE <sub>8.2 TN</sub>
				1ero	2do	3ero	4to	
1	Ómnibus 2E	Carga (Tn)	7	11				18
		F.E.C.	1.265	3.238				4.504
2	Ómnibus 3E	Carga (Tn)	7	18				25
		F.E.C.	1.265	2.019				3.285
3	Camión 2E-L	Carga (Tn)	7	7				14
		F.E.C.	1.265	1.265				2.531
4	Camión 2E-P	Carga (Tn)	7	11				18
		F.E.C.	1.265	3.238				4.504
5	Camión 3E	Carga (Tn)	7	18				25
		F.E.C.	1.265	2.019				3.285
6	Camión 4E	Carga (Tn)	7	23				30
		F.E.C.	1.265	1.018				2.283
7	Semitrayler 2S2	Carga (Tn)	7	11	18			36
		F.E.C.	1.265	3.238	2.019			6.523
8	Semitrayler 2S3	Carga (Tn)	7	11	25			43
		F.E.C.	1.265	3.238	1.42			5.924
9	Semitrayler 3S1	Carga (Tn)	7	18	11			36
		F.E.C.	1.265	2.019	3.238			6.523
10	Semitrayler >= 3S3	Carga (Tn)	7	18	25			50
		F.E.C.	1.265	2.019	1.42			4.705
11	Traylers C2R2	Carga (Tn)	7	11	11	11		40
		F.E.C.	1.265	3.238	3.238	3.238		10.98

Fuente: MTC, Manual de Diseño de Carreteras Pavimentados de Bajo Volumen de Tránsito, 2007.

Los factores de carga se calculan a partir de las siguientes expresiones:

Cuadro N° 3.7 Fórmulas para el cálculo de factores de carga.

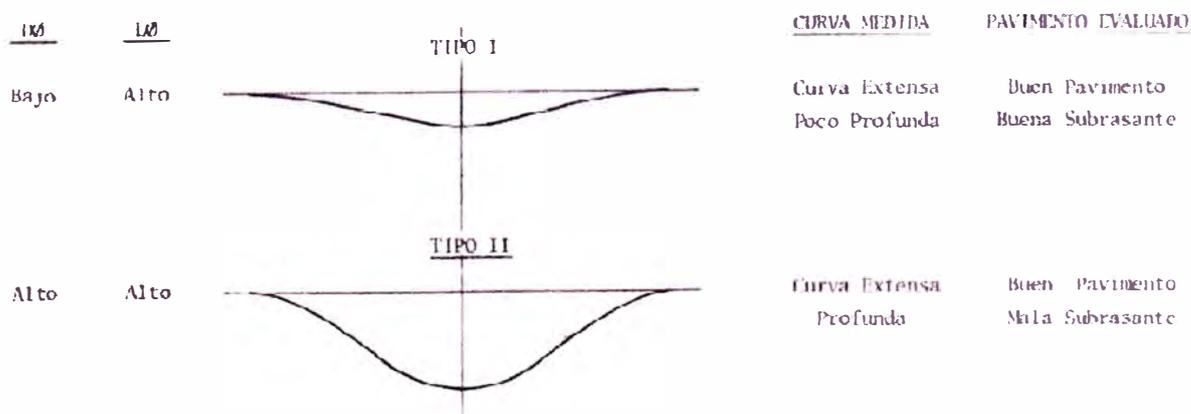
TIPO DE EJE	EJE EQUIVALENTE ( $EE_{8.2 \text{ ton}}$ )
Eje simple de ruedas simples	$EE_{S1}=[P/6.6]^4$
Eje simple de ruedas dobles	$EE_{S2}=[P/8.2]^4$
Eje tándem de ruedas dobles	$EE_{TA}=[P/15.1]^4$
Eje tridem de ruedas dobles	$EE_{TR}=[P/22.9]^4$
P= Peso real por eje en toneladas	

Fuente: MTC, Manual de Diseño de Carreteras Pavimentados de Bajo Volumen de Tránsito, 2007.

### 3.3.8 Juicio de capacidad estructural del pavimento

Se considerará que el pavimento sujeto de evaluación tiene la capacidad estructural adecuada para resistir los esfuerzos del tráfico de diseño, para las condiciones de resistencia del suelo, si se cumple que la deflexión característica es menor que la deflexión admisible ( $D_c < D_a$ ).

El comportamiento actual del pavimento se podrá calificar como satisfactorio, si se cumple que los valores de radio de curvatura calculados son mayores de 100 m ( $R_c > 100 \text{ m}$ ).



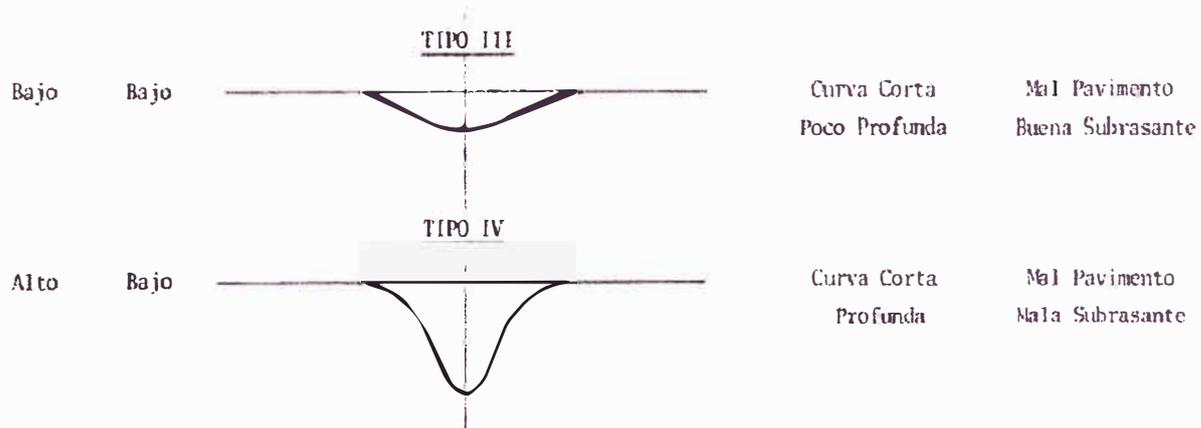


Figura N° 3.14. Significado cualitativo de los diferentes tipos de deformadas.

Cuadro N° 3.8. Análisis combinado de los resultados de evaluación.

DEFLECTOMETRIA	ESTADO VISUAL	ESTADO ESTRUCTURA	RECOMENDACIÓN
<p>La deflexión característica es superior a la admisible. Los radios de curvatura son elevados o aceptables (en relación a la estructura). <b><math>D_c &gt; D_{adm} + R_c</math></b></p>	No hay fallas de origen estructural	<p>Estructura infradiseñada, pero la capacidad portante de las capas decrece en profundidad. (No existe capa débil inmediatamente debajo capa asfáltica).</p>	<p>Examinar fecha y tipo de las últimas obras ejecutadas, para justificar estado del pavimento. <b>1° CASO</b></p>
	Hay fallas de origen estructural generalizadas.		<p>Hay acuerdo entre todas las variables. a) Las deflexiones son empleadas para el cálculo de refuerzo. b) Para deflexiones muy fuertes analizar económicamente reconstrucción. Verificar refuerzo con métodos diseño. <b>2° CASO</b></p>
<p>La deflexión característica es superior a la admisible. Los radios de curvatura son pequeños (aún para deflexiones reducidas). <b><math>D_c &gt; D_a - R_c</math></b></p>		<p>Existe una capa débil inmediatamente debajo de las capas asfálticas (Relación entre módulos de elasticidad <math>&lt; 1</math>).</p>	<p>Se trata de neutralizar el efecto de la capa que falla, ya sea por reconstrucción parcial, o refuerzo. No es conveniente emplear la deflexión ya que puede no ser representativa. <b>3° CASO</b></p>
<p>La deflexión característica es inferior a la admisible. Los radios de curvatura son reducidos. <b><math>D_c &lt; D_a - R_c</math></b></p>	<p>Hay fallas de origen estructural por fatiga (Fisuras tipo piel de cocodrilo).</p>	<p>Existe una capa débil inmediatamente debajo de las capas asfálticas.</p>	<p>Analizar fecha de mediciones y tipo estructura. Neutralizar el efecto de la capa débil (reconstrucción o refuerzo). De ninguna manera se pueden considerar las deflexiones para el proyecto; emplear métodos de diseño. <b>3° CASO</b></p>
<p>La deflexión característica es inferior a la admisible. <b><math>D_c &lt; D_a</math></b></p>	<p>Hay fallas de origen estructural: deformaciones permanentes de la fundación.</p>	<p>Estructura degradada no adecuada para la fundación.</p>	<p>Evaluar aporte estructural de la calzada existente (reconstrucción o refuerzo). La deflexión no es representativa. <b>4° CASO</b></p>
	<p>No hay fallas de origen estructural.</p>	<p>Estructura bien diseñada.</p>	<p>Corregir fallas de origen superficial, las soluciones dependerán de los defectos observados y sus causas. Mejora superficial. <b>5° CASO</b></p>

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

## CAPÍTULO IV: APLICACIÓN AL TRAMO EN ESTUDIO

### 4.1 Adquisición de datos

La adquisición de los datos en campo se realizó en el tramo Km.112+000 al Km.114+000 de la carretera Cañete – Huancayo, con una Viga Benkelman de brazo doble de origen colombiano (marca Pinzuar), con relación de brazos de 4 a 1 y precisión de los diales de 0.01 mm.

### 4.2 Procesamiento de datos

Los datos adquiridos se procesan de manera adecuada, con el fin de llegar a determinar las deflexiones características y radios de curvatura de tramos relativamente homogéneos, estos tramos son clasificados en los gráficos de deflectogramas que se analizará en el siguiente capítulo.

A continuación, se presenta el procesamiento detallado con el fin de mejorar su entendimiento:

#### Paso 1

A las deflexiones máximas tomados de ambos brazos (largo y corto), se procede a corregirlas por el factor de la relación de brazos y por la precisión de los diales.

Tomando como ejemplo los datos de la progresiva Km. 112+000, se obtiene:

$$D_0 = (12) \times (4) \times (0.01\text{mm}) = 48 \times 10^{-2} \text{ mm}$$

$$D_{25} = (6) \times (4) \times (0.01\text{mm}) = 24 \times 10^{-2} \text{ mm}$$

#### Paso 2

Luego, puesto que la temperatura del pavimento a la cual se hace el ensayo debe ser de 20°C, se realiza la corrección por temperatura aplicando la ecuación descrita en el acápite 3.3.3 del marco teórico.

Continuando con el ejemplo de la progresiva Km. 112+000, se obtiene:

$$D_0 = (48) / (10^{-3} \times (39^\circ - 20^\circ) \times (1.1 \text{ cm}) + 1) = 47 \times 10^{-2} \text{ mm}$$

$$D_{25} = (24) / (10^{-3} \times (39^\circ - 20^\circ) \times (1.1 \text{ cm}) + 1) = 24.5 \times 10^{-2} \text{ mm}$$

### Paso 3

Dado que el ensayo en campo se realizó en un periodo seco, es decir en el periodo sin lluvias, se hace necesaria la corrección por periodo estacional descrito en el cuadro N° 3.3, en el acápite 3.3.4, tomando como factor 1.1.

Para el ejemplo de la progresiva Km. 112+000, se obtiene:

$$D_0 = (47 \times 10^{-2} \text{ mm}) \times 1.1 = 52 \times 10^{-2} \text{ mm}$$

$$D_{25} = (24.5 \times 10^{-2} \text{ mm}) \times 1.1 = 26 \times 10^{-2} \text{ mm}$$

### Paso 4

Luego de realizar los cálculos y correcciones respectivos se obtiene las deflexiones corregidas, que para el tramo en estudio son los valores que se muestra en el siguiente cuadro:

Cuadro N° 4.1. Deflexiones máximas corregidas.

Progresiva (km)	Deflexiones Corregidas	
	$D_{25} \times 10^{-2} \text{ mm}$	$D_0 \times 10^{-2} \text{ mm}$
112+000	26	52
112+200	56	91
112+400	22	52
112+600	9	22
112+800	52	96
113+000	86	125
113+200	30	56
113+400	48	83
113+600	56	82
113+800	26	43
114+000	13	22

Fuente: Elaboración propia.

### Paso 5

A partir de las deflexiones recuperables corregidas, se procede a representarlas en los deflectogramas, para determinar la variabilidad del tramo en estudio con mayor facilidad.

Los deflectogramas pueden sectorizarse de acuerdo a los siguientes criterios:

- Por homogeneidad del deflectograma

- Por el volumen de tráfico soportado (IMD)
- Por el tipo de suelo de fundación (subrasante).
- Por el tipo de superficie de rodadura.

En el tramo de estudio, por no tener definidas más de una tendencia de las deflexiones, no se realizó la sectorización, analizando todo el tramo como un solo sector.

### **Paso 6**

Luego con las deflexiones máximas corregidas ( $D_0$ ), se procede a realizar el análisis estadístico para determinar la deflexión característica del sector.

Aplicando la fórmula descrita en el acápite 3.3.6, se tiene:

$$D_{0 \text{ Promedio}} = 65.77 \times 10^{-2} \text{ mm}$$

$$\sigma = 32.30 \times 10^{-2} \text{ mm}$$

$t = 1.645$  (valor extraído del cuadro N° 3.3, que corresponde al 95% de probabilidad)

$$D_c = 65.77 + 1.645 \times 32.30 = 118.91 \times 10^{-2} \text{ mm}$$

### **Paso 7**

Para el cálculo de la deflexión admisible, que está en función del tráfico, primero se procede a calcular en número acumulado de ejes equivalente a 8.2 ton para el periodo de diseño (N), para esto a su vez se necesita los valores del tráfico vehicular (IMD) y los factores destructivos de los diferentes tipos de vehículos (FD).

En el 2009, el contratista realizó el conteo vehicular en el tramo Zúñiga-Dv. Yauyos-San José de Quero, al cual pertenece el tramo en estudio; luego aplicando las tasas de crecimiento del Cuadro N°3.5, se obtiene el IMD para el año 2010, que se resume en el siguiente cuadro:

Cuadro N° 4.2. IMD proyectado al 2010.

Tipo de vehículo	IMD (2009)	Tasa de crecimiento	IMD (2010)
Auto	2	8.3%	2
Camioneta	27	8.3%	29
C.R.	12	8.3%	13
Micro	3	1.4%	3
Ómnibus 2	12	1.4%	12
Ómnibus +2	0	1.4%	0
Camión 2 Ejes	20	6.3%	21
Camión 3 Ejes	14	6.3%	15
Camión 4 Ejes	0	6.3%	0
Semitraylers	0	6.3%	0
Traylers	0	6.3%	0
<b>TOTAL</b>	<b>90</b>		<b>96</b>

Fuente: Elaboración propia.

Los factores de destrucción o de carga son calculados de la Normas Peruanas de pesos y medidas permitidos. Del cuadro N° 3.6 se determina el siguiente cuadro resumen:

Cuadro N° 4.3. Resumen de factores de carga.

N°	Tipo de vehículo	Factor de Carga
1	Micro	4.504
2	Ómnibus 2E	4.504
3	Ómnibus 3E	3.285
4	Camión 2 Ejes	4.504
5	Camión 3 Ejes	3.285
6	Camión 4 Ejes	2.283
7	Semitraylers	6.523
8	Traylers	10.98

Fuente: Elaboración propia.

Con la toda la información requerida para el cálculo de las deflexiones admisibles, se procede a usar las fórmulas descritas en el acápite 3.3.7.

En el siguiente cuadro, se muestran los resultados obtenidos de las deflexiones admisibles para diferentes periodos de diseño hasta llegar al 2012.

Cuadro N° 4.4. Obtención de EAL y Dadmisible.

Tipo de vehículo	Factor de Carga	IMD <sub>2010</sub>	Tasa de crecimiento (r%)	Proyección					
				n (años)	EAL <sub>2010</sub>	n (años)	EAL <sub>2011</sub>	n (años)	EAL <sub>2012</sub>
Micro	4.504	3	1.4	1	4,932	2	9,933	3	15,004
Ómnibus 2E	4.504	12	1.4	1	19,728	2	39,731	3	60,015
Ómnibus 3E	3.285	0	1.4	1	0	2	0	3	0
Camión 2 Ejes	4.504	21	6.3	1	34,523	2	71,221	3	110,231
Camión 3 Ejes	3.285	15	6.3	1	17,985	2	37,104	3	57,427
Camión 4 Ejes	2.283	0	6.3	1	0	2	0	3	0
Semitraylers	6.523	0	6.3	1	0	2	0	3	0
Traylers	10.98	0	6.3	1	0	2	0	3	0
<b>EAL</b>				7.72E+04		1.58E+05		2.43E+05	
<b>N<sub>18</sub> (en millones)</b>				0.077		0.158		0.243	
<b>Da (x 10<sup>-2</sup> mm)</b>				196.5		164.3		147.5	

Fuente: Elaboración propia.

### Paso 8

Finalmente, con los datos de deflexiones corregidas ( $D_0$  y  $D_{25}$ ), se procede a calcular el radio de curvatura, de acuerdo a la ecuación descrita en el acápite 3.2.5 del marco teórico.

Continuado con la progresiva Km. 112+000, se obtiene:

$$R = 6250/2 \times (52-26) = 120.2 \times 10^{-2} \text{ mm}$$

Y para el tramo en estudio se tiene:

Cuadro N° 4.5. Obtención de radios de curvatura.

Progresiva (km)	Deflexiones Corregidas		Radio de Curvatura (m)
	$D_{25} \times 10^{-2} \text{ mm}$	$D_0 \times 10^{-2} \text{ mm}$	
112+000	26	52	121
112+200	56	91	90
112+400	22	52	103
112+600	9	22	240
112+800	52	96	72
113+000	86	125	81
113+200	30	56	120
113+400	48	83	90
113+600	56	82	120
113+800	26	43	180
114+000	13	22	359

Fuente: Elaboración propia.

## CAPÍTULO V: ANÁLISIS DE RESULTADOS

### 5.1 Gráficos de deflectograma

Los deflectogramas a ser usados, son gráficos en los cuales se tiene en el eje de la abscisas a las progresivas del tramo en estudio, y en el eje de las ordenadas, a los valores de la deflexiones máximas (tomadas en campo y corregidas debidamente) ó a los valores de lo radios de curvatura, según sea el caso.

Los deflectogramas se encuentran en el anexo N° 2 del presente informe.

Del análisis de los deflectogramas, se deduce que el sector más débil (en comportamiento estructural) del tramo en estudio, se encuentra en las progresivas 112+800 y 113+000, puesto que se tiene las mayores deflexiones y lo menores radios de curvatura respecto a las otras progresivas del tramo.

### 5.2 Evaluación de capacidad estructural del pavimento

La evaluación de la capacidad estructural del pavimento se desarrollará tomando todo el tramo en estudio como un solo sector, puesto que no existe más de una tendencia marcada de homogeneidad en los deflectogramas.

Tomando en cuenta el periodo que resta para la culminación del monitoreo, se realizará la evaluación para diferentes periodos de diseño (1,2 y 3 años) y con el fin de determinar la vida útil remanente del pavimento, si es que no es menor a 3 años, se evaluará para periodos de diseño mayores a 3 años.

#### Periodo de diseño de 1 año

Cuadro N° 5.1. Resultados de parámetros comparación (1 año).

Parámetros	Unidad	Magnitud
Deflexión característica	$\times 10^{-2}$ mm	118.9
Deflexión admisible	$\times 10^{-2}$ mm	196.5
Radio de curvatura	m	143.3

Fuente: Elaboración propia.

De los resultados, se nota que la deflexión recuperable característica del tramo en estudio, es bastante menor a la deflexión admisible (50% de la deflexión admisible), y con respecto al radio de curvatura, éste tiene una magnitud relativamente alta (no es pequeña). Ambos parámetros indican que el pavimento tiene un adecuado comportamiento estructural para el periodo de diseño de un año.

### Periodo de diseño de 2 años

Cuadro N° 5.2. Resultados de parámetros comparación (2 años).

Parámetros	Unidad	Magnitud
Deflexión característica	$\times 10^{-2}$ mm	118.9
Deflexión admisible	$\times 10^{-2}$ mm	164.3
Radio de curvatura	m	143.3

Fuente: Elaboración propia.

De los resultados se nota que la deflexión recuperable característica del tramo en estudio, sigue siendo bastante menor a la deflexión admisible, y con respecto al radio de curvatura, éste tiene una magnitud relativamente alta (no es pequeña). Ambos parámetros indican, nuevamente, que el pavimento tiene un adecuado comportamiento estructural para el periodo de diseño de dos años.

### Periodo de diseño de 3 años

Cuadro N° 5.3. Resultados de parámetros comparación (3 años).

Parámetros	Unidad	Magnitud
Deflexión característica	$\times 10^{-2}$ mm	118.9
Deflexión admisible	$\times 10^{-2}$ mm	147.5
Radio de curvatura	m	143.3

Fuente: Elaboración propia.

De los resultados, se aprecia que la deflexión recuperable característica del tramo en estudio, continua siendo bastante menor a la deflexión admisible, y con respecto al radio de curvatura, éste tiene una magnitud relativamente alta (no es pequeña). Ambos parámetros indican, nuevamente, que el pavimento tiene un adecuado comportamiento estructural para el periodo de diseño de tres años.

Del análisis anterior, se deduce que el pavimento, desde el punto de vista estructural, permanecerá con un buen comportamiento hasta finalizar el contrato de conservación vial.

Para determinar el tiempo de vida remanente del pavimento en el tramo de estudio, se encontrará las deflexiones admisibles para periodos de diseño mayores a 3 años. Ver anexo N°3.

### Periodo de diseño de 5 años

Cuadro N° 5.4. Resultados de parámetros comparación (5 años).

<b>Parámetros</b>	<b>Unidad</b>	<b>Magnitud</b>
Deflexión característica	$\times 10^{-2}$ mm	118.9
Deflexión admisible	$\times 10^{-2}$ mm	128.3

Fuente: Elaboración propia.

De los resultados, se nota que la deflexión recuperable característica del tramo en estudio, continua siendo menor a la deflexión admisible para un periodo de 5 años.

### Periodo de diseño de 6 años

Cuadro N° 5.5. Resultados de parámetros comparación (6 años).

<b>Parámetros</b>	<b>Unidad</b>	<b>Magnitud</b>
Deflexión característica	$\times 10^{-2}$ mm	118.9
Deflexión admisible	$\times 10^{-2}$ mm	121.8

Fuente: Elaboración propia.

De los resultados, se nota que la deflexión recuperable característica del tramo en estudio, aun sigue siendo menor a la deflexión admisible.

**Periodo de diseño de 7 años**

Cuadro N° 5.6. Resultados de parámetros comparación (7 años).

<b>Parámetros</b>	<b>Unidad</b>	<b>Magnitud</b>
Deflexión característica	$\times 10^{-2}$ mm	118.9
Deflexión admisible	$\times 10^{-2}$ mm	116.5

Fuente: Elaboración propia.

De los resultados, se nota que la deflexión recuperable característica del tramo en estudio, es mayor a la deflexión admisible, lo cual indica que existe un mal comportamiento estructural, necesitando el debido refuerzo. Ver Anexo N° 03.

De esta forma, se determinó que la vida útil remanente del pavimento, es de 07 años.

## CONCLUSIONES

- Los datos de campo de las deflexiones máximas en ambos brazos de la Viga Benkelman doble, así como del espesor de la capa de rodadura, entre otros; fueron obtenidos siguiendo correctamente la metodología.
- De los deflectogramas, tanto de deflexiones máximas como de los radios de curvatura, se concluye que en el tramo de estudio (2 km.) no se encontraron marcadas tendencias u homogeneidades en los datos como para poder diferenciarlas en dos sectores o más, por lo que se analizó todo el tramo como un solo sector.
- La superficie de rodadura a nivel de monocapa asfáltica, no aporta estructuralmente al pavimento, básicamente debido a su bajo espesor (1 cm en promedio) haciendo que las capas subyacentes del pavimento, además de la subrasante, soporten casi en su totalidad las cargas vehiculares.
- Para el periodo restante del contrato de conservación vial (hasta el 2012), no se requiere reforzar estructuralmente el pavimento del tramo evaluado, puesto que los valores de deflexión, reflejados en la deflexión característica, han sido bastante menores a las deflexiones admisibles, que a su vez han sido valores relativamente altos debido al bajo volumen de tráfico y pesos de los vehículos que transitan por el tramo evaluado.
- Los radios de curvatura relativamente altos, es un indicador del buen comportamiento que tienen las capas subyacentes a la superficie de rodadura (base granular con emulsión asfáltica y material de afirmado) y la subrasante.
- Se concluye que la deflexión admisible disminuye conforme aumenta el número de ejes equivalentes que soporta el pavimento.
- Del análisis comparativo entre las deflexiones características y admisibles, en diferentes periodos de diseño, se concluye que el periodo o tiempo de vida útil remanente del pavimento en el tramo de estudio realizado, es de 07 años.

## RECOMENDACIONES

- Efectuar cuidadosamente el ensayo con la Viga Benkelman, para tener datos que reflejen en realidad la condición estructural del pavimento, esto se logra con operadores experimentados en este tipo de trabajos.
- Tomar la mayor cantidad de datos de deflexiones dentro del tramo a evaluar, en la medida que sea posible, puesto que a mayor cantidad de datos se obtienen deflectogramas más confiables, pudiendo determinar con mayor facilidad los diferentes sectores de comportamiento estructural que existen en dicho tramo.
- Realizar el reforzamiento estructural del pavimento, como máximo, dentro de 07 años aproximadamente, ya que es el tiempo de vida útil remante del pavimento en el tramo de estudio.
- Debido a que ya se nota el deterioro localizado de la superficie de rodadura (peladuras y desagregación de la monocapa asfáltica), se recomienda realizar el mantenimiento periódico en el tramo evaluado, consistente en la conformación de una nueva superficie de rodadura a nivel de Slurry Seal, para evitar la acción de infiltración del agua proveniente de las lluvias, asegurando el buen comportamiento estructural que posee el pavimento para el resto de su vida útil.
- Efectuar el mantenimiento rutinario, especialmente en la limpieza del sistema de drenaje de la vía, así como en el retiro de las rocas medianas y grandes que se desprenden de los taludes empinados presentes en el tramo de estudio.
- Realizar periódicamente la evaluación estructural en el tramo, se recomienda realizarla anualmente, ya que factores externos no previstos (tal como el mal funcionamiento del sistema de drenaje de la vía y/o el aumento inesperado del tráfico vehicular desviado que genera la Carretera Central, entre otros), pueden afectar la condición estructural del pavimento, reduciendo su vida útil.

## BIBLIOGRAFÍA

- Consorcio Gestión de Carreteras, Estudios técnicos para el cambio estándar de afirmado a solución básica carretera Cañete – Lunahuana –Pacarán Zúñiga - Dv Yauyos-Ronchas-Chupaca, Perú, Setiembre del 2008.
- Consorcio Gestión de Carreteras, Plan de Conservación Vial de la Carretera Cañete – Lunahuana – Pacarán – Zúñiga - Dv. Yauyos-Ronchas-Chupaca, Perú, Junio 2008.
- Gutiérrez Lazares, José Wilfredo, Modelación Geotécnica de Pavimentos Flexibles con Fines de Análisis y Diseño en el Perú, Tesis de Maestría, Perú, 2007.
- Hoffman, Mario y Del Águila, Pablo, Estudios de evaluación estructural de pavimentos basados en la interpretación de curvas de deflexiones (ensayos no destructivos), Perú, 1985.
- Melchor Areche, José Ygnacio, Evaluación Integral del Pavimento, Experiencia Profesional, Perú, 1999.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones, Consorcio de Rehabilitación Vial - CONREVIAL, Estudio de Rehabilitación de Carreteras en el País, Perú., 1983.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones, Manual de Diseño de Carreteras Pavimentados de Bajo Volumen de Tránsito, Perú, 2007.
- Montejo Fonseca Alfonso, Ingeniería de Pavimentos para Carreteras, Capítulo 10, Bogotá, Colombia, 2002.
- Revista Ingeniería de construcción, Chile, Diciembre 1995.

## ANEXOS

### ANEXO 1. Cálculos de deflectometría

#### CARACTERIZACIÓN DEFLECTOMÉTRICA

CARRETERA: CAÑETE - HUANCAYO

MEDICIÓN DE DEFLEXIONES CON VIGA BENKELMAN DE BRAZO DOBLE

SECTOR : km 112+000 al km 114+000

FECHA : junio-2010

CARRIL : Derecho

RELACIÓN VP : 4 a 1

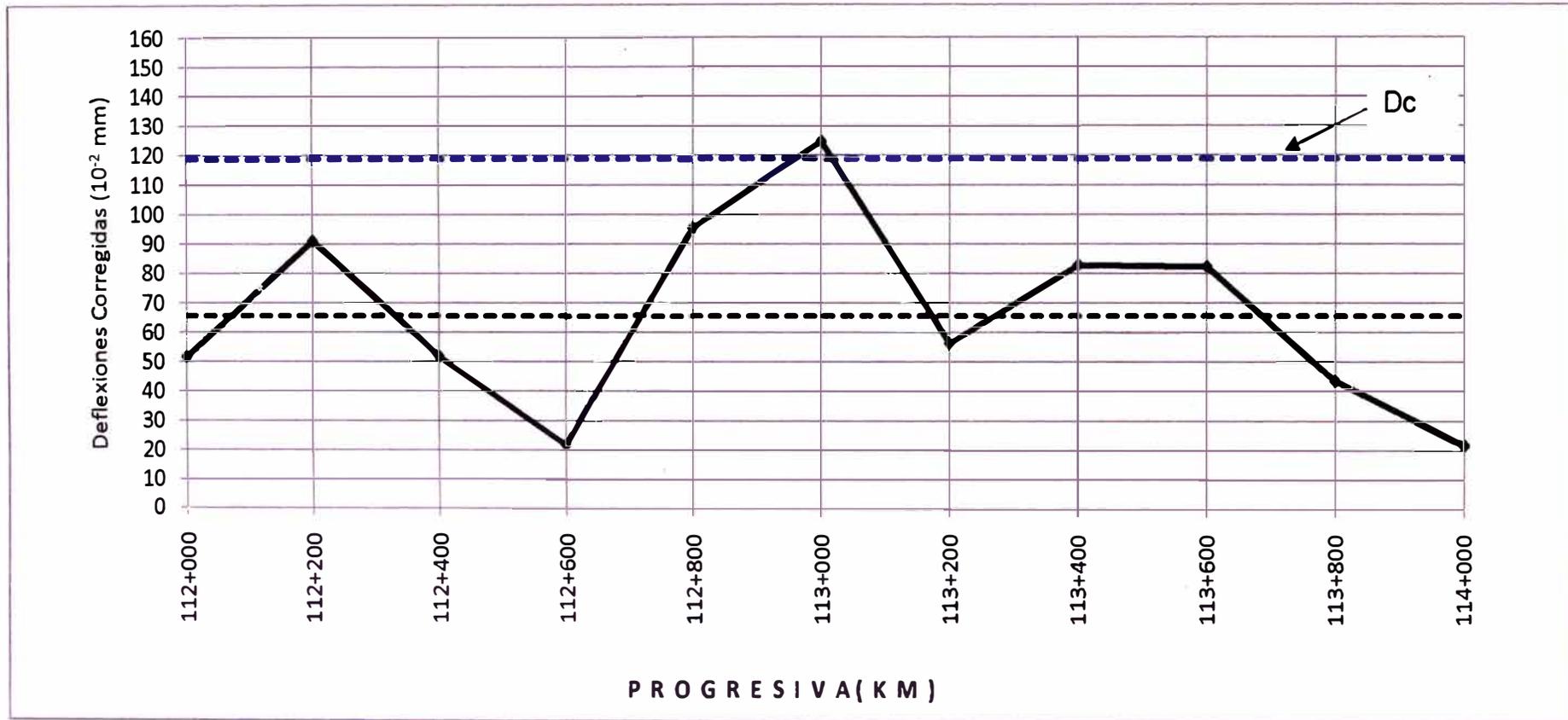
CAPA : Monocapa Asfáltica

DIAL : 0.01 mm

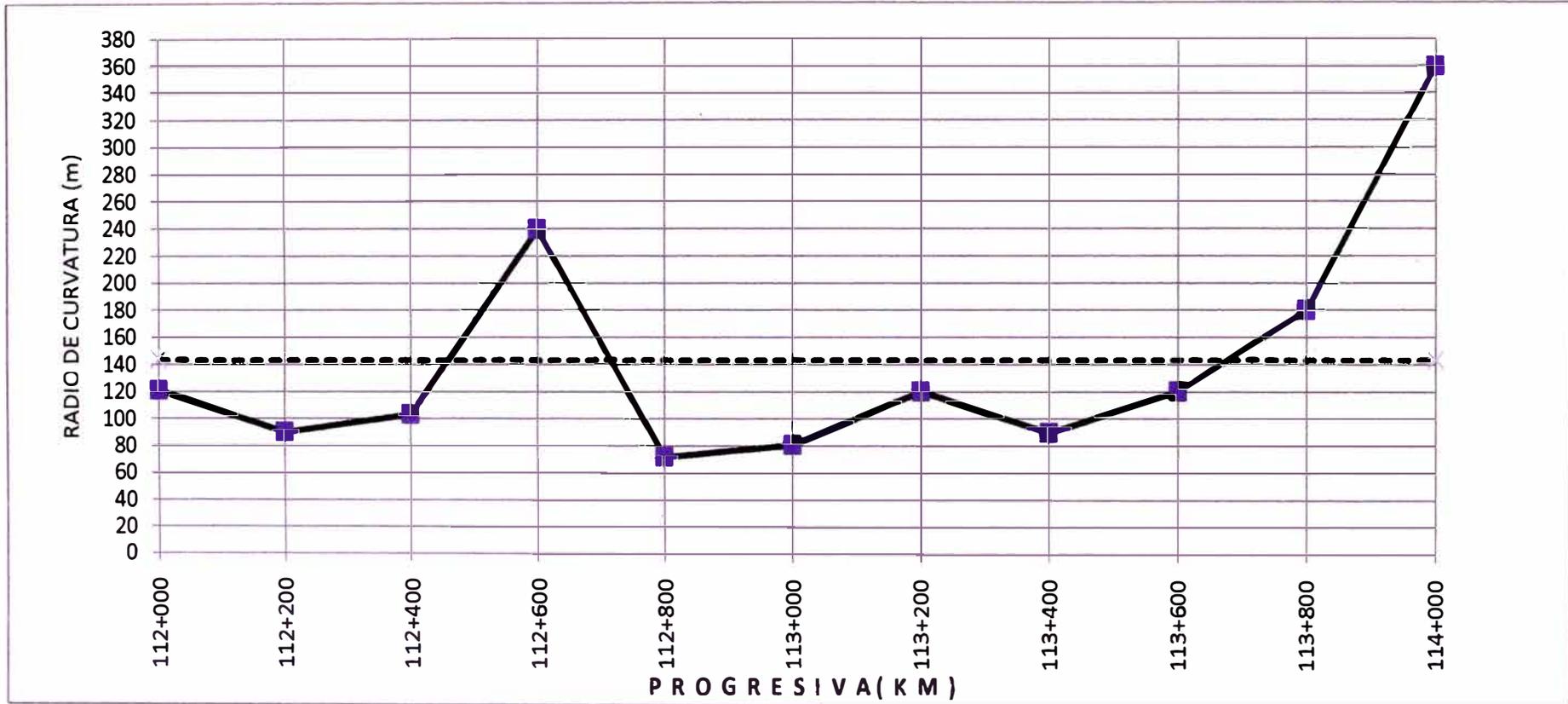
Nro	Progresiva (km)	Lecturas de Campo Brazo Largo				L.C.B. Corto a 25cm L <sub>MAX</sub>	Deflexiones sin Corregir (10 <sup>-2</sup> mm)		Espesor (mm)	Ahuellamiento (mm)	Factor de Estacionalidad	Fisura	Temp (°C)	RESULTADOS DEFLECTOMÉTRICOS		Radio de curvatura (m)
		L <sub>25</sub>	L <sub>50</sub>	L <sub>75</sub>	L <sub>MAX</sub>		D <sub>25</sub>	D <sub>max</sub>						Deflexiones Corregidas		
														D <sub>20</sub> x 10 <sup>-2</sup> mm	D <sub>0</sub> x 10 <sup>-2</sup> mm	
1	112+000	2.00	5.00	7.00	12.00	6.00	24	48	11.00	6.0	1.1	-	39	26	52	121
2	112+200	1.00	4.00	5.00	21.00	13.00	52	84	8.00	4.0	1.1	-	38	56	91	90
3	112+400	1.00	3.00	4.00	12.00	5.00	20	48	11.00	3.0	1.1	-	37	22	52	103
4	112+600	2.00	3.00	4.00	5.00	2.00	8	20	7.00	5.0	1.1	-	37	9	22	240
5	112+800	2.00	5.00	6.00	22.00	12.00	48	88	8.00	6.0	1.1	-	36	52	96	72
6	113+000	2.00	7.00	11.00	29.00	20.00	80	116	14.00	2.0	1.1	-	36	86	125	81
7	113+200	2.00	8.00	11.00	13.00	7.00	28	52	9.00	3.0	1.1	-	36	30	56	120
8	113+400	2.00	5.00	9.00	19.00	11.00	44	76	6.00	6.0	1.1	-	35	48	83	90
9	113+600	1.00	3.00	5.00	19.00	13.00	52	76	8.00	5.0	1.1	-	40	56	82	120
10	113+800	2.00	6.00	9.00	10.00	6.00	24	40	8.00	4.0	1.1	-	37	26	43	180
11	114+000	1.00	3.00	4.00	5.00	3.00	12	20	6.00	8.0	1.1	-	40	13	22	359

## ANEXO 2. Análisis estadístico y deflectogramas

RESUMEN ESTADÍSTICO DEFLEXIONES				
Progresivas (Km)		Promedio	Desviación	Deflexión Característica
112+000	114+000	65.77	32.30	118.91



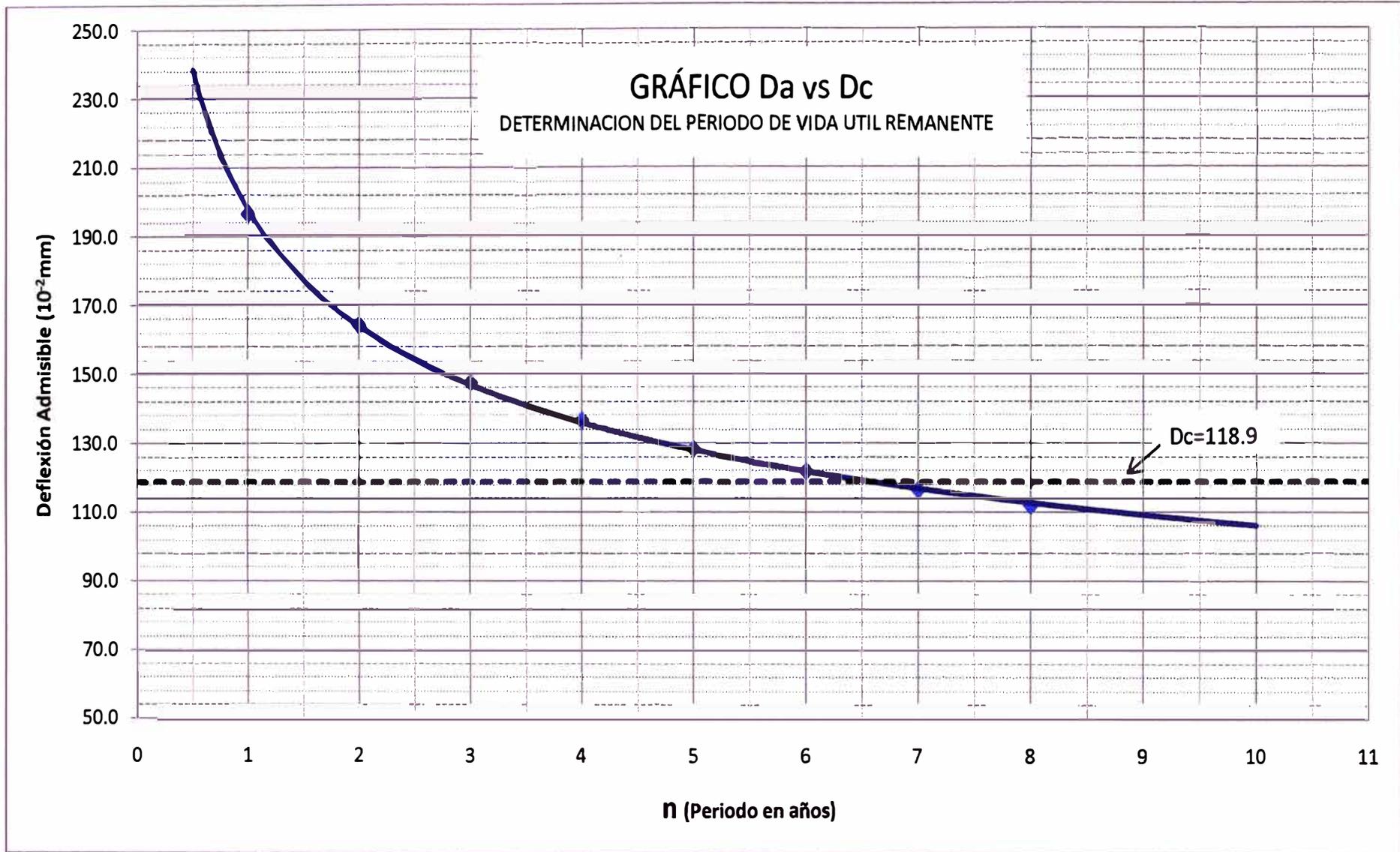
RADIO DE CURVATURA			
Progresivas (Km)		Promedio	Desviación
112+000	114+000	143.25	86.12



### ANEXO 3. Cálculo de las deflexiones admisibles y el periodo de vida útil remanente.

Tipo de vehículo	Factor de Carga	IMD <sub>2010</sub>	Tasa de crecimiento (r%)	Proyección											
				n (años)	EAL <sub>2010</sub>	n (años)	EAL <sub>2011</sub>	n (años)	EAL <sub>2012</sub>	n (años)	EAL <sub>2014</sub>	n (años)	EAL <sub>2015</sub>	n (años)	EAL <sub>2016</sub>
Micro	4.504	3	1.4	1	4,932	2	9,933	3	15,004	5	25,360	6	30,647	7	36,007
Ómnibus 2E	4.504	12	1.4	1	19,728	2	39,731	3	60,015	5	101,438	6	122,586	7	144,030
Ómnibus 3E	3.285	0	1.4	1	0	2	0	3	0	5	0	6	0	7	0
Camión 2 Ejes	4.504	21	6.3	1	34,523	2	71,221	3	110,231	5	195,779	6	242,637	7	292,446
Camión 3 Ejes	3.285	15	6.3	1	17,985	2	37,104	3	57,427	5	101,994	6	126,405	7	152,354
Camión 4 Ejes	2.283	0	6.3	1	0	2	0	3	0	5	0	6	0	7	0
Semitraylers	6.523	0	6.3	1	0	2	0	3	0	5	0	6	0	7	0
Traylers	10.98	0	6.3	1	0	2	0	3	0	5	0	6	0	7	0
<b>EAL</b>				7.72E+04		1.58E+05		2.43E+05		4.25E+05		5.22E+05		6.25E+05	
<b>N<sub>18</sub></b>				0.077		0.158		0.243		0.425		0.522		0.625	
<b>Da (x 10<sup>-2</sup> mm)</b>				<b>196.5</b>		<b>164.3</b>		<b>147.5</b>		<b>128.3</b>		<b>121.8</b>		<b>116.5</b>	

Nota: N<sub>18</sub>, número total de ejes equivalentes a 18 klb o 8.2 ton (en millones)



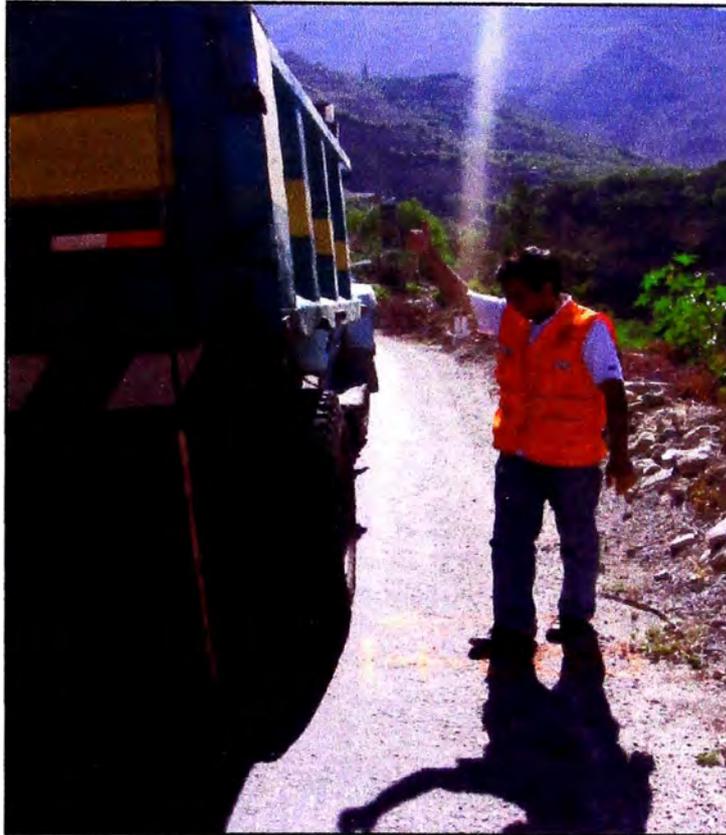
#### ANEXO 4. Panel fotográfico de los ensayos de campo.



Medición y localización de las progresivas a ensayar.



Identificación de progresivas a ensayar.



Estacionamiento del vehículo (eje posterior sobre la progresiva a evaluar y sobre la zona de ahuellamiento).



Colocación del extremo de la viga (Benkelman) principal entre las llantas duales del eje posterior del vehículo



Fijación de pemos de los brazos pivotantes, se estabiliza el cuerpo fijo de la viga sobre sus tres apoyos y se coloca los diales en cero (0).



Luego de la partida del camión y con una distancia considerable entre este y la viga (mayor a 5m), se toma la medición de los diales.



Toma de datos de los diales (máxima recuperación del pavimento).



Determinación del espesor de la superficie de rodadura (monocapa asfáltica).

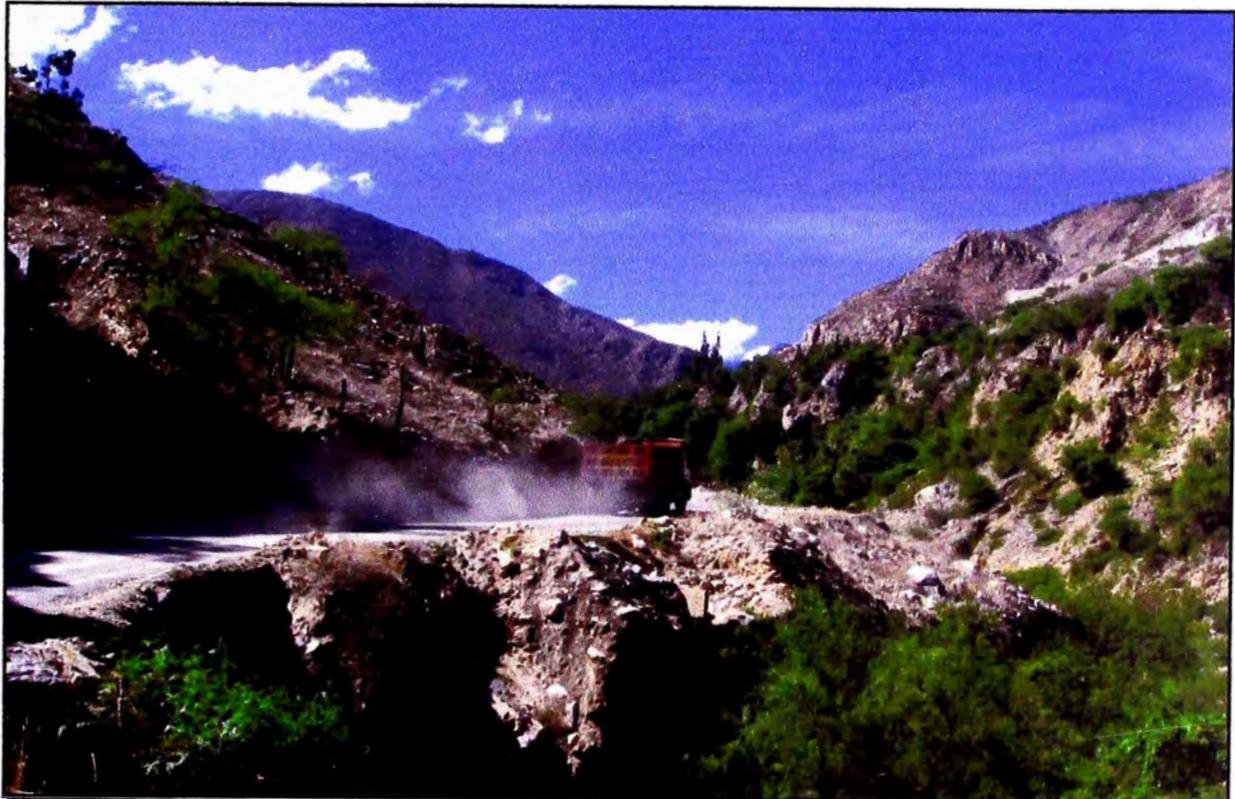
### ANEXO 5. Panel fotográfico del tramo en estudio.



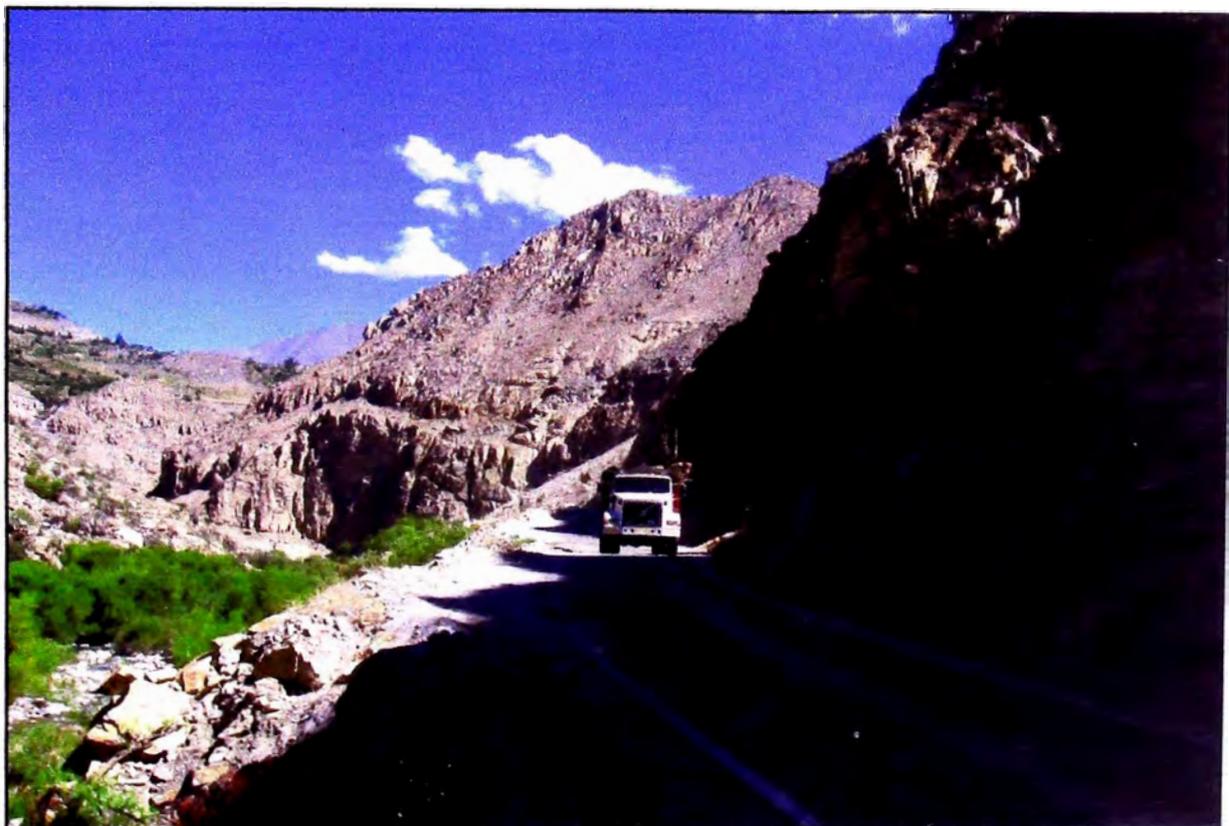
Se observa taludes con pendiente elevadas, con presencia de roca superficial que puede desprenderse hacia la calzada.



Se observa la desintegración y peladuras localizadas de la superficie de rodadura (monocapa asfáltica)



Se observa la presencia de polvo generada por el paso de los vehículos.



Presencia de vehículos pesados sobre la vía.



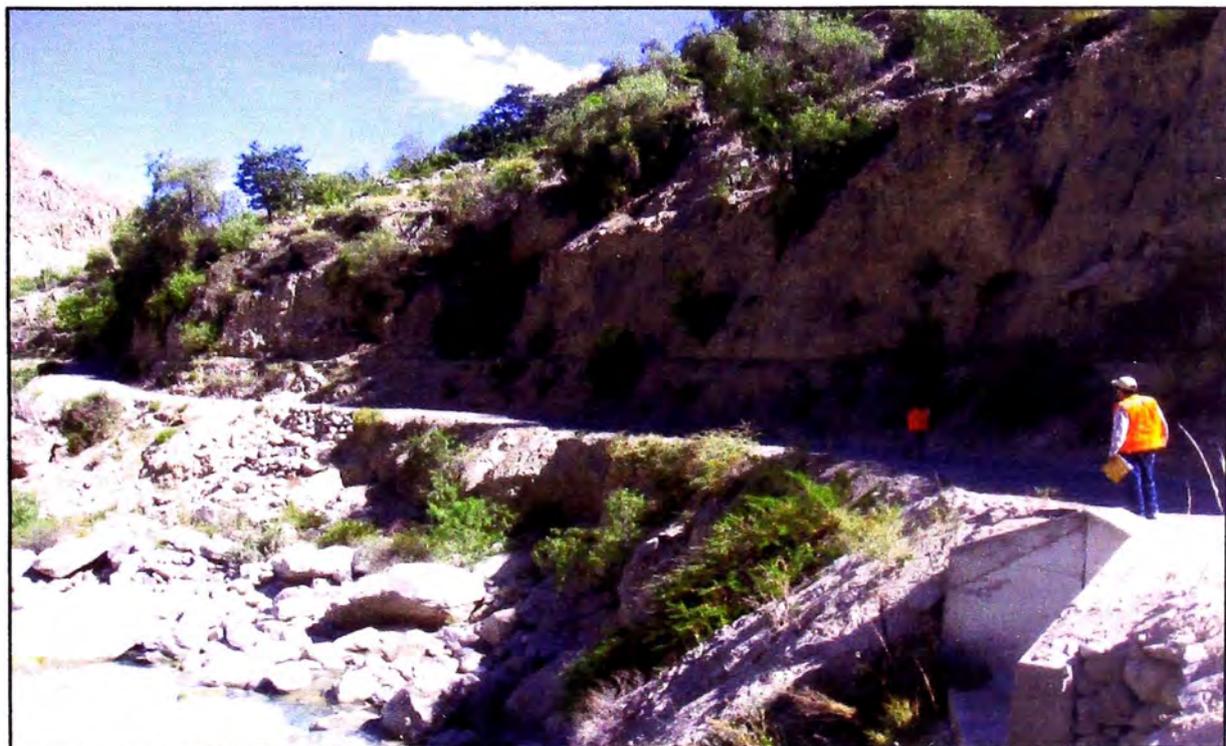
Se observa la repentina reducción del ancho de la calzada.



Presencia de enrocados (muros secos).



Se observa elementos para la reducción de velocidad de los vehículos (giba), así como el buen estado de la señalización vertical.



Se aprecia los muros secos construidos con el fin de reducir el desprendimiento de las rocas superficiales de talud hacia la calzada.



Presencia de alcantarillas TMC, para la evacuación del agua proveniente de las cunetas.



Se aprecia el desvío de hacia centro poblados aledaños.



Se aprecia el talud de roca que supera los 90° de pendiente.



Se aprecia abundante vegetación en los taludes, lo que evidencia la presencia de humedad.