

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



**EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DE LA CARRETERA CAÑETE – YAUYOS –  
CHUPACA CON VIGA BENKELMAN MÉTODO EMPÍRICO  
TRAMO KM 99+000 – KM 104+000**

**INFORME DE SUFICIENCIA  
Para optar el Título Profesional de:**

**INGENIERO CIVIL**

**ROBERTO ALONSO SEGIL JIMENEZ**

**Lima – Perú**

**2009**

## ÍNDICE

<b>RESUMEN</b>	<b>3</b>
LISTA DE CUADROS	4
LISTA DE FIGURAS	5
LISTA DE SÍMBOLOS Y DE SIGLAS	6
<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>8</b>
<b>CAPÍTULO I.- GENERALIDADES</b>	<b>8</b>
1.1. Antecedentes de la carretera	8
1.1.1 Ubicación	9
1.1.2 Características	9
1.1.3 Geología	11
1.1.4 Clima	11
1.1.5 Topografía	12
1.2. Tramo km. 99+000 – km. 104+000	13
1.3. Planteamiento del Problema:	14
1.4. Objetivos	15
<b>CAPÍTULO II.- ESTADO DEL ARTE DE LA VIGA BENKELMAN</b>	<b>16</b>
<b>CAPÍTULO III.- MARCO TEORICO</b>	<b>19</b>
3.1 Evaluación Estructural	19
3.1.1 Propósitos de la Evaluación Estructural	20
3.2. Deflectometría Método Empírico CONREVI	20
3.2.1 Tipos de Deflexiones	20
3.2.2 Medición de las Deflexiones	21
3.2.3 La Viga Benkelman	22
3.2.4 Corrección de Deflexiones	25
3.2.5 Obtención del Radio de Curvatura,	26
3.2.6 Juicio de la Capacidad Estructural del Pavimento	27
3.2.7 Análisis Estadístico de las Deflexiones	30
3.2.8 Análisis de Tránsito - Eje Equivalente	32
3.2.9 Gráficas Deflectométricas	34

<b>CAPÍTULO IV.- APLICACIÓN AL TRAMO KM 99+000 – KM 104+000</b>	<b>37</b>
4.1. Recopilación de datos de campo	37
4.1.1 Metodología de Empleo	37
4.1.2 Trabajo de campo	37
4.1.3 Procedimiento de Medición	38
4.2 Procesamiento de datos	40
<b>CAPÍTULO V: ANALISIS DE RESULTADOS</b>	<b>45</b>
5.1 Gráficos de Deflectógrama	45
5.2 Interacción con otros tramos	45
5.3 Evaluación de la Capacidad Estructural	46
<b>CONCLUSIONES</b>	<b>49</b>
<b>RECOMENDACIONES</b>	<b>50</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>51</b>
<b>ANEXOS</b>	<b>53</b>

## RESUMEN

El presente Informe de Suficiencia estudia el aspecto estructural del tramo de la carretera comprendido entre el km 99 + 0.00 y el km 104+000 de la carretera Cañete-Yauyos-Huancayo. Las condiciones actuales, presentes a lo largo de la carretera, no permiten un adecuado servicio de transporte de carga y de pasajeros. Con el ineficiente sistema de drenaje actual la superficie de rodadura se verá afectada y por consiguiente también la capacidad de soporte de la estructura del pavimento, tan importante como lo ya mencionado pero con mayor notoriedad es su diseño geométrico, si bien es cierto que el tramo en estudio se encuentra con carpeta asfáltica, la presencia de curvas horizontales cerradas y varios subtramos en los cuales el ancho de la vía se reduce hasta casi un carril dificultan el tránsito vehicular, todas estas causas se pueden mencionar como principales que sumadas al clima producen desgaste en la vía y el debilitamiento en la superficie y su estructura. Mejorando las características anteriormente mencionadas, se conseguirá que esta vía se convierta en una buena alternativa no solo de transporte turístico si no de carga de la ya colapsada Carretera Central por su cercanía a la capital de Lima y su conexión con Huancayo.

El presente Informe se centra en la evaluación estructural del pavimento de la carretera Cañete -Yauyos - Huancayo siguiendo las pautas del método empírico descrito en el manual del estudio CONREVIAl y haciendo uso del deflectógrafo Viga Benkelman, como un monitoreo de los trabajos efectuados por el contratista concernientes a la estructura del pavimento, teniendo en cuenta el poco tiempo de colocación de la carpeta asfáltica.

Se espera que al realizar la evaluación estructural del tramo en estudio, se obtenga como resultado un buen comportamiento, ya que en este tramo se han realizado los trabajos de mantenimiento (aplicación de recapeo sobre monocapa en el Km. 100+000 al 101+450), en mayo del 2009.

## LISTADO DE CUADROS

Cuadro N° 1.1: Principales poblados a lo largo de la carretera	10
Cuadro N° 1.2: Tramos y longitudes de la carretera en estudio	11
Cuadro N° 1.3: Tipo de Solución utilizadas en el tramo en estudio	11
Cuadro N° 1.4: Características del clima a lo largo de la carretera	12
Cuadro N° 1.5: Topografía y anchos de vía	13
Cuadro N° 3.1: Empleo de la Viga Benkelman en pavimentos	24
Cuadro N° 3.2: Corrección de medidas por Estacionalidad	26
Cuadro N° 3.3: Análisis Combinado de los resultados de Evaluación	28
Cuadro N° 3.4: Valores de Coeficiente de Variación	31
Cuadro N° 3.5: Valores de Ejes Equivalentes	33
Cuadro N° 3.6: Valores de IMD tomados el 2008	34
Cuadro N° 4.1: Valores de los FE para los vehículos de evaluación según Reglamento Nacional	44
Cuadro N° 4.2: Valores de la Deflexión admisible para diferentes periodos de evaluación	44
Cuadro N° 5.1: Deflexiones admisibles por tramo según IMD	46
Cuadro N° 5.2 Sectorización de la carretera por tramos	46
Cuadro N° A1.1: Cálculo de IMD para el año 2010	54
Cuadro N° A1.2: Cálculo de Pesos y EE	54
Cuadro N° A1.3: Cálculo de Pesos factores de carga	54
Cuadro N° A1.4: Cálculo de EAL para el tramo Zúñiga P. Nuevo	55
Cuadro N° A1.5: Cálculo de EAL para el tramo P. Nuevo Chichicay	55
Cuadro N° A1.6: Cálculo de EAL para el tramo Capillucas Dv. Yauyos	55
Cuadro N° A1.7: Pesos de Vehículos a considerar – Reglamento nacional de Vehículos	56
Cuadro N° A2.1: Valores obtenidos del ensayo de Viga Benkelman	57
Cuadro N° A3.1: Cálculos de deflexiones del tramo evaluado	59
Cuadro N° A3.2: Valores estadísticos tramo evaluado	59

## LISTADO DE FIGURAS

Figura N° 1.1 Plano de Ubicación de Localidades	09
Figura N° 1.2 Plano de Kilometrajes Carretera Cañete-Yauyos-Huancayo	10
Figura N° 1.3 Sección típica tramo Km 99+000 al 104+000	14
Figura N° 2.1 A.C. Benkelman	17
Figura N° 2.2 Uso de la Viga Benkelman en la AASHO Test road, 1962	18
Figura N° 3.1 Tipos de Deflexiones	21
Figura N° 3.2 Esquema de la Viga Benkelman	22
Figura N° 3.3 Radio de curvatura	27
Figura N° 3.4 Relación cuantitativa entre la deformada y la calidad del pavimento	29
Figura N° 4.1 Esquematación del proceso de medición del ensayo de la Viga Benkelman	39
Figura N° 4.2 Ubicación de la Viga Benkelman durante el ensayo	40
Figura N° A2.1 Deflexiones máximas y sectorización de la carretera	58
Figura N° A4.1 Deflexiones máximas tramo Km. 97+800 al 101+000 solución Monocapa	60
Figura N° A4.2 Grafica deflexiones admisibles vs. años Tramo monocapa 97+800 al 101+000	60
Figura N° A.4.3 Curvas de deflexión tramo 97+800 al 101+000	61
Fotografía N° A6.1 Progresiva: Km. 99+000	63
Fotografía N° A6.2 Progresiva: Km. 99+900	63
Fotografía N° A6.3 Progresiva: Km. 100+500	64
Fotografía N° A6.4 Progresiva: Km. 101+450	64
Fotografía N° A6.5 Progresiva: Km. 102+500	65
Fotografía N° A6.6 Progresiva: Km. 103+500	65
Fotografía N° A6.7 Progresiva: Km. 104+000	66
Fotografía N° A7.1 toma de datos en el la progresiva 100+700	67
Fotografía N° A7.2 Obtención de la muestra del pavimento para medir el ancho de capa en la progresiva 100+700	67
Fotografía N° A7.3 Toma de medidas con la Viga Benkelman	68
Fotografía N° A7.8 Recapeo de monocapa Km. 100 +290 (28/05/09)	68

## LISTADO DE SIGLAS Y SIMBOLOS

<b>CONREVIAL</b>	Consortio de Rehabilitación Vial
<b>WASHO</b>	Western Association of State Highways Officials
<b>AASHO</b>	America Associaton of State Highway Officials
<b>AASHO Test road</b>	Pruebas en Caminos de la AASHO
<b>MTC</b>	Ministerio de Transporte y Comunicaciones.
<b>FWD</b>	Falling Weight Deflectometer
<b>CBR</b>	California Bearing Ratio
<b>Dt</b>	Deflexión Total
<b>Dr</b>	Deflexión recuperable o elástica
<b>Dp</b>	Deflexión permanente o residual.
<b>Dc</b>	Deflexión característica.
<b>Da</b>	Deflexión admisible
<b>Dprom</b>	Deflexión promedio
<b>D<sub>20</sub></b>	Deflexión a la temperatura standard 20°C
<b>N18</b>	Numero de ejes equivalente a 8.2 ton.
<b>IMD</b>	Índice Medio Diario
<b>FE</b>	Factor equivalente.

## INTRODUCCION

El objetivo del presente Informe de Suficiencia es llevar a cabo la evaluación estructural no destructiva del pavimento colocado en el tramo Km. 99+000 al Km. 104+000 mediante la medición de sus deflexiones usando el deflectógrafo Viga Benkelman, para lograr tal objetivo se recopilarán mediciones tomadas en campo, se procesarán y analizarán los datos en base al método empírico descrito en el manual de estudio de CONREVIAl. El trabajo se desarrolló a través de las siguientes etapas: Conocimientos y Metodología impartida en aulas de clase, trabajo de investigación, toma de datos en campo, procesamiento de datos, análisis de datos y entrega de Informe de Suficiencia detallado.

A continuación una breve descripción del contenido del informe:

Capítulo 1.- Se presentan los antecedentes de la carretera, se describe las principales características del tramo en estudio, se identifican los problemas existentes que determinan el comportamiento estructural de la carretera y se describen los objetivos a conseguir.

Capítulo 2.- Se describe el estado de arte de la Viga Benkelman a través de un breve resumen desde su nacimiento en Estados Unidos hasta su llegada al Perú.

Capítulo 3.- Se describe el marco teórico en el cual se basa el presente Informe de Suficiencia, presenta el marco teórico para calcular y analizar la deflectometría siguiendo el método de CONREVIAl.

Capítulo 4.- Comprende la aplicación paso a paso del marco teórico descrito en el capítulo anterior al tramo en estudio, se describe la metodología empleada en campo y se procesan los datos obtenidos del ensayo con la Viga Benkelman.

Capítulo 5.- Se analizan los resultados y se relacionan con otros tramos de la carretera, los gráficos y resultados se encontrarán en la sección de anexos.

Finalmente se presentan las conclusiones y recomendaciones en base a la visita de campo hecha para la toma de datos, el análisis de éstos y la información recopilada.

## **CAPÍTULO I - GENERALIDADES**

### **1.1 ANTECEDENTES DE LA CARRETERA**

La carretera Cañete-Yauyos-Chupaca, con una longitud de 271.73Km se encuentra entre los departamentos de Lima y Junín abarcando las provincias de Cañete, Yauyos y Huancayo.

Durante el gobierno de Augusto B. Leguía fue desarrollada por tramos desde el año 1920 y ejecutada hasta 1930 mediante la Ley decretada de la Conscripción Vial Territorial del Perú. Durante el gobierno de Manuel Prado, entre los años 1940 y 1944 (año de su inauguración) se desarrolla la carretera desde Cañete hasta Yauyos.

Desde 1956 a 1957, el esfuerzo de los pobladores de Alis y de los poblados vecinos, logra enlazar la carretera con dicho poblado al haber solicitado directamente al Gobierno Central que prosiga los trabajos en la carretera hasta llegar a Huancayo

En el año 1998 AYESA – ALPHA CONSULT se elabora el primer estudio denominado “Estudio de Ingeniería e Impacto Ambiental”, por encargo de PROMCEPRI (Comisión de Promoción de Concesiones Privadas), luego en el 2003 PROVIAS NACIONAL encarga el Estudio de Preinversión a Nivel de Perfil del Tramo: Lunahuaná – Yauyos – Chupaca al consultor Ing. Floriano Palacios León. En el año 2004 AYESA – ALPHA CONSULT elabora el Estudio de Factibilidad del Proyecto Rehabilitación y Mejoramiento de la Carretera.

El Ministerio de Transporte y Comunicaciones mediante Resolución Ministerial N° 223-2007-MTC-02 y modificada por Resolución Ministerial N° 408-2007-MTC/02 crea el programa Proyecto Perú, que es un programa diseñado para mejorar las vías de integración de corredores económicos conformados por ejes de desarrollo sostenido con la finalidad de elevar la calidad de vida de las zonas rurales de la Red Vial nacional.

El 27 de diciembre de 2007 se realiza la firma del contrato entre el Ministerio de Transporte y Comunicaciones y el Consorcio Gestión de Carreteras, para realizar el Servicio de Conservación Vial por Niveles de Servicio y la Rehabilitación del Tramo Zúñiga-Dv. Yauyos – Ronchas, siendo en total 271+73 Km.

### 1.1.1 UBICACIÓN

La carretera Cañete- Yauyos – Chupaca, une las provincias de Cañete y Yauyos en Lima y Chupaca, Concepción en Junín, con una longitud de 271.73 Km. La altitud de la carretera varía entre los 450 m.s.n.m y los 4600 m.sn.m. Se encuentra 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+531 con una altitud: 3270 msnm. Ver figura N° 1.1.



Fuente: Proyecto Perú - Ministerio de Transportes y Comunicaciones

Figura N° 1.1 Plano de Ubicación de Localidades

### 1.1.2 CARACTERÍSTICAS

La carretera Cañete- Yauyos – Chupaca es una carretera de 3er Orden y pertenece al corredor vial N°13, atraviesa diferentes climas y regiones de la geografía del Perú, siendo los poblados principales, los que se aprecian en el Cuadro N° 1.1 y la Figura N° 1.2.

**Cuadro N° 1.1: Principales poblados a lo largo de la carretera**

Región	Poblados
Yunga (500-2300 msnm)	Cañete , Lunahuana, Pacarán, Zúñiga, Catahuasi , Capillucas, Calachota, Dv.Yauyos o Magdalena
Quechua (2300-3500 msnm)	Tinco Huantan, Llapay, Alis, Ronchas, Chupaca
Suni o Jalca (3500-4000 msnm)	Tomas, San José de Quero, Chaquicocha, Collpa
Puna (4000- 4800msnm)	Tinco Yauricocha, Abra Chaucha, Abra Negro Bueno

Fuente: Recopilación del informe del cambio estándar y estudios de preinversión a nivel de perfil para el rehabilitación y mejoramiento de la carretera Cañete – Yauyos – Chupaca.

La carretera se encuentra dividida en seis tramos, de los cuales dos se encuentran pavimentados con una infraestructura vial apropiada, y los otros 4 tramos se encuentran con tratamiento superficial y nivel afirmado con una infraestructura vial inadecuada. . El cuadro N° 1.2 indica los sectores y una breve descripción de las superficies de rodadura antes y después de la intervención del mantenimiento.

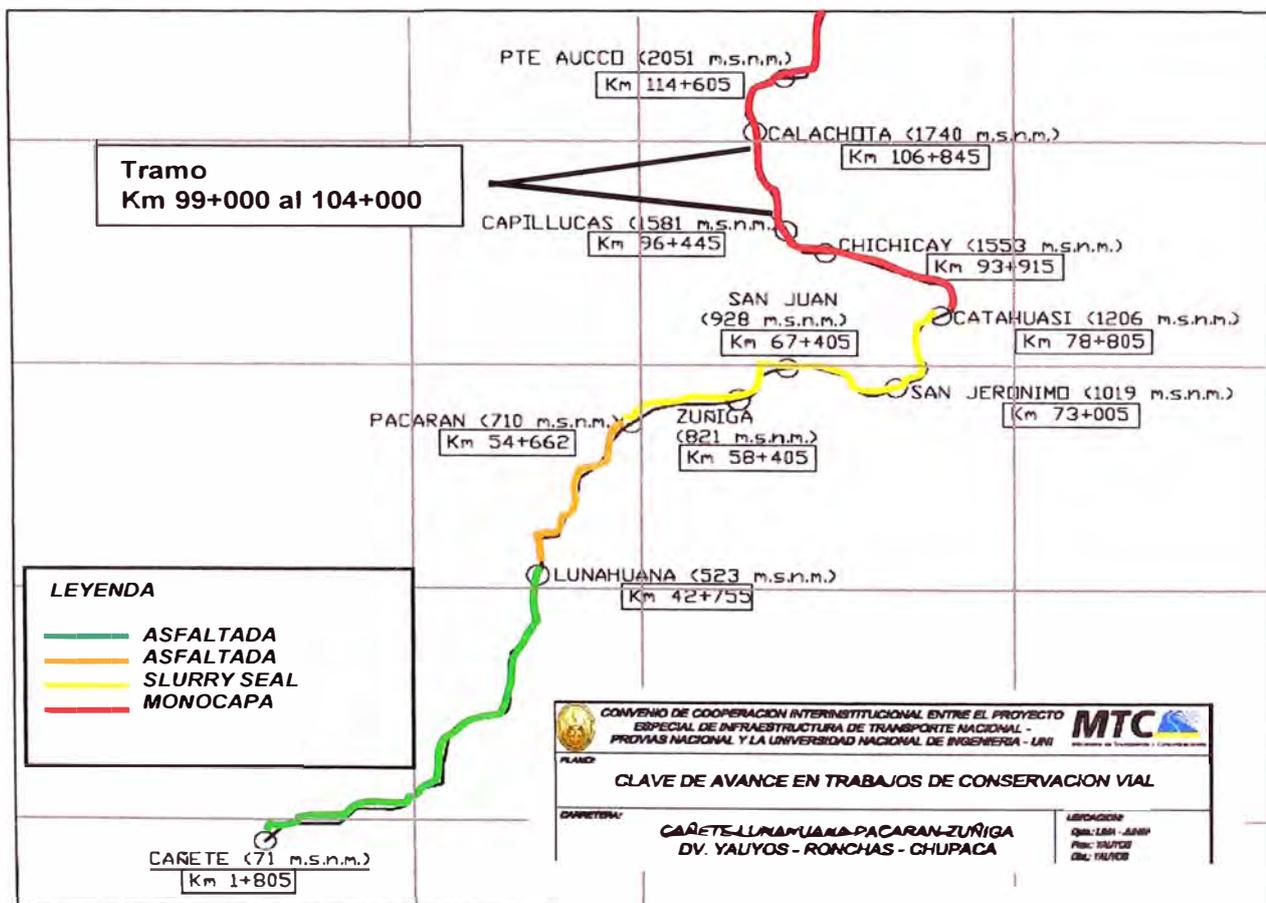


Figura N° 1.2 Plano de Kilometrajes Carretera Canete-Yauyos-Huancayo

Fuente Universidad Nacional de Ingeniería

**Cuadro N° 1.2: Tramos y longitudes de la carretera en estudio**

Tramo	Longitud (Km.)	Tipo de superficie de rodadura (antes)	Tipo de superficie de rodadura (actual)
Cañete - Lunahuaná	40.950	Carpeta Asfáltica	Carpeta Asfáltica
Lunahuaná - Pacarán	11.907	Tratamiento Superficial	Tratamiento Superficial
Pacarán - Catahuasi	24.143	Afirmado	Slurry Seal
Catahuasi - Dv. Yauyos	50.00	Afirmado	Monocapa
Dv. Yauyos - Roncha	128.185	Afirmado	Monocapa (33 Km.) - Afirmado (91.185 Km.)
Roncha - Chupaca	16.541	Afirmado	Afirmado

Fuente: Elaboración Propia

Del la figura N° 1.2 para el tramo en estudio se tiene:

**Cuadro N° 1.3: Tipo de Solucion utilizadas en el tramo en estudio**

Inicio del tramo	Final del tramo	Solución utilizada
Pacarán Km. 54+662	Catahuasi Km. 78+806	slurry
Catahuasi Km. 78+806	Dv. Yauyos km 128+805	monocapa

Fuente : Extraído del gráfico anterior

### 1.1.3 GEOLOGIA

La geomorfología de la zona en estudio, se encuentra conformada sobre las unidades sedimentarias volcánicas y metamórficas, en cuanto a las formaciones geológicas de la ruta se encuentran las formaciones de Cañete, Cerro Negro, Torán, Cocachacra y Pariatambo. La composición de los suelos tiene un 49% de material suelto, 33% de roca suelta y 18% de roca fija, en el tramo de Lunahuana a Yauyos y en el Tramo Yauyos - Chupaca se tiene 53% de material suelto, roca suelta 32% y roca fija 15%.

Los procesos geodinámicos existentes en el área en estudio son esporádicos, no evidenciando procesos geodinámicos de mayor envergadura y no existen puntos críticos que requieran tratamiento especial; sin embargo existe la posibilidad que debido a cortes de talud superior se generan procesos geodinámicos tales como: derrumbes, desprendimientos y desplomes.

### 1.1.4 CLIMA

En los pavimentos diseñados para un bajo volumen de tránsito, tanto las temperaturas altas como extremadamente bajas, afectan enormemente a los materiales asfálticos de la superficie de rodadura. En el caso de climas muy

lluviosos o en sectores bajos expuestos a inundaciones, puede derivar en una falla prematura de la estructura del pavimento debido a la disminución de la resistencia mecánica de las capas granulares y eventualmente de la subrasante, por efecto de la saturación Y en el caso de las temperaturas extremadamente bajas, el factor climático puede producir hinchamiento cuando se construye sobre suelos heladizos.

**Cuadro N° 1.4: Características del clima a lo largo de la carretera**

Región	Tem. mínima	Tem. media	Tem. 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: Recopilación del informe del cambio estándar y estudios de preinversión a nivel de perfil para el rehabilitación y mejoramiento de la carretera Cañete – Yauyos – Chupaca.

Debido a que la carretera atraviesa distintos tipos de regiones, a lo largo de todo su recorrido se tiene un clima variable, que produce diversos efectos sobre la estructura del pavimento. Los principales elementos del clima usualmente considerados en el deterioro de pavimentos son las temperaturas extremas y el agua.

### 1.1.5 TOPOGRAFÍA

La carretera presenta una topografía variable como: plana, accidentada, media ladera y ondulada, presenta también un ancho de plataforma variable, como se observará en el cuadro N° 1.5.

**Cuadro N° 1.5: Topografía y anchos de vía**

Tramo	Topografía	Ancho de plataforma
Cañete – Lunahuana Región Yunga	Plana	Plataforma con una calzada UC (dos carriles crecientes de 2.50 Km y una calzada UD (dos carriles decrecientes) de 0.13km, con un ancho promedio de carril de 3.60. El resto presenta una calzada CD (un carril creciente y un carril decreciente), con un ancho promedio de 3.60m.
Lunahuana –Pacarán Región Yunga	Ondulada.	Plataforma con una calzada CD (un carril creciente y un carril decreciente), con un ancho promedio de 3.60m.
Pacarán – Zúñiga Región Yunga	Ondulada a media ladera	Plataforma con una calzada con un solo carril y tiene un ancho útil que varía de 5 a 7.5m.
Zúñiga – Desvío Yauyos Región Yunga	Accidentada a media ladera	Plataforma con una calzada con un solo carril y tiene un ancho útil que varía de 3 a 8.5m.
Dv. Yauyos – Ronchas Región Quechua	Ondulada, a media ladera	Plataforma con una calzada con un solo carril y tiene un ancho útil que varía de 3 a 8.0m.
Ronchas – Chupaca Región Suni y Puna	Ondulada	Plataforma con una calzada con un solo carril y tiene un ancho útil que varía de 3.80 a 8.50m.

Fuente: Recopilación del informe del cambio estándar y estudios de preinversión a nivel de perfil para el rehabilitación y mejoramiento de la carretera Cañete – Yauyos – Chupaca.

## 1.2 TRAMO KM 99+000 – KM 104+000

Este comprendido entre las localidades de Capillucas y Calachota, se desarrolla en la margen izquierda del Río Cañete, siguiendo un corte a media ladera y desarrollándose sobre una topografía del tipo accidentada. Con una altitud promedio de 1660 m.s.n.m. y con temperaturas que van desde los 16°C, hasta los 27°C, la temporada de lluvias es de diciembre a marzo y tiene precipitaciones que oscilan entre los 100 a 150 mm anuales. Los procesos geodinámicos existentes son esporádicos.

La sección de la plataforma es variable entre 3.5 m. y 6 m. sin cunetas laterales. En algunos tramos críticos el ancho de la vía es de 3.0 m. a 3.50 m., pero en longitudes menores de 100m. La solución aplicada en su mayoría para el tramo evaluado es tratamiento superficial monocapa, solo en el tramo 100+500 al 101+450 se ha aplicado slurry sobre la monocapa existente. El Valor de CBR de diseño es 20, sus Ejes Proyectoados: 8.4E+04(EAL 2009-2013). El contratista es Consorcio Gestión de Carreteras y el Supervisor es la Unidad Zonal de Lima de PROVIAS NACIONAL.

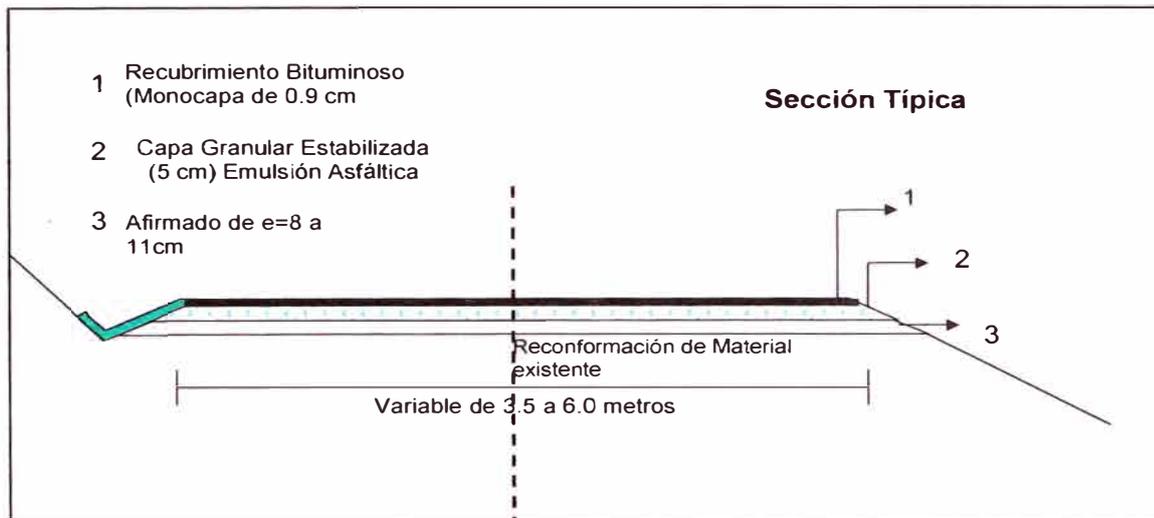


Figura N° 1.3 Sección típica tramo Km 99+000 al 104+000

Fuente Curso de Titulación por Actualización de Conocimientos 2009

El tipo de suelo de fundación del tramo en estudio se clasifican según el Sistema SUCS como SC-SM (Arenas arcillosas, mezclas de arena y arcilla y Arenas limosas, mezclas de arena y limo) principalmente.

### 1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA:

El tipo de contrato bajo el cual se ejecutan los trabajos es el de “Niveles de Servicio” que implica un cambio de estándar en la superficie de rodadura, es decir la aplicación de una delgada capa de solución asfáltica tipo monocapa o slurry seal sobre el afirmado y sin modificar el diseño geométrico de la vía, también incluye la prestación de un servicio de mantenimiento de la superficie de rodadura.

Todos los trabajos a realizar están orientados a mejorar la serviciabilidad de la vía, por tal motivo se buscará tener una superficie de rodadura en optimas condiciones pero sin una evaluación periódica de la estructura del pavimento que identifique y de soluciones a las fallas estructurales que se puedan presentar. La carretera en forma general muestra problemas que aunados al clima producen el desgaste de la vía y la generación de fallas en la superficie y en su estructura. Presenta un sistema de drenaje ineficiente, sin cunetas y pocas obras de arte, que con el tiempo hará que la superficie de rodadura se desgaste y la capacidad de soporte de la estructura del pavimento se vea menguada. No

se ha cambiado su diseño geométrico por lo que presenta varias curvas horizontales cerradas y varios tramos en los cuales el ancho del carril llega a 3.5 m dificultando la fluidez del tránsito vehicular en algunas zonas. Falta de señalización adecuada. El río Cañete que en algunos tramos se encuentra muy cerca a la carretera causa una marcada erosión, La presencia de algunas quebradas que cada vez que se activen pueden causar gran incidencia negativa en la superficie de rodadura y en el tránsito vehicular y el paso de vehículos de carga pesada para una vía que está destinada al tránsito liviano. Se evaluará estructuralmente esta carretera en el tramo Km 99+000 al Km 104+000 para conocer su estado actual y proponer soluciones adecuadas.

## 1.4 OBJETIVOS

### **Objetivo General:**

Llevar a cabo la evaluación estructural del pavimento colocado en el tramo en estudio, mediante la medición de sus deflexiones usando el deflectógrafo Viga Benkelman luego procesar y analizar los datos obtenidos con el método empírico.

### **Objetivos específicos:**

Evaluar estructuralmente el pavimento existente siguiendo los pasos indicados en el método de CONREVIAl y haciendo uso de la Viga Benkelman, como parte del control de calidad del tramo en estudio.

Calificar y cuantificar el comportamiento estructural de la carretera procesando los datos tomados en el campo por medio de técnicas estadísticas para obtener los valores del radio de curvatura, la deflexión admisible y la deflexión característica.

Evaluar los resultados obtenidos con el método empírico de medición de deflexiones para determinar la situación actual de la vía.

## CAPÍTULO II - ESTADO DEL ARTE DE LA VIGA BENKELMAN

La idea de determinar las propiedades de la estructura del pavimento mediante la medición de sus deflexiones se remonta a fines de la década del 30 del siglo pasado cuando en el año 1938 La División de Carreteras de California (California Division of Highways) utilizó dispositivos electrónicos implantados en carreteras para medir el desplazamiento inducido en el pavimento por acción de las cargas de un camión de prueba cargado. Luego durante la siguiente década se convirtió en un método muy usado en EEUU hasta que en el año 1955 la Viga Benkelman fue inventada y desde entonces es usada en el mundo. a pesar de haberse desarrollado otros métodos. por sus bajos costos y fácil manejo. A principio de los 60 hacen su aparición los aparatos de medición que usan carga de deflexión dinámica.

Dos proyectos claves para el desarrollo de las área de investigaciones de pavimentos en Estados Unidos, fueron El proyecto la WASHO (Asociación del Oeste de Oficiales de Carreteras Estatales) en Malad Idaho (1951) y de AASHO (Asociación Americana de Oficiales de Carreteras Estatales) desarrollado en Ottawa, Illinois, desde 1958 hasta 1960.

Es en el proyecto de la WASHO el ingeniero A. C Benkelman desarrolla la Viga Benkelman, la cual permitía medir las deflexiones del pavimento bajo la aplicación de cargas lentas usando un camión con carga estándar. La Viga Benkelman facilitaba rápidas medidas de las respuestas del pavimento en comparación con los métodos predecesores Y permitía una idea previa del comportamiento del pavimento. En este proyecto se demostró que en el caso de pavimentos flexibles existe una correlación entre su comportamiento y las deflexiones producidas por las cargas aplicadas por lo que es posible utilizarlos para evaluar el comportamiento estructural del pavimento.

Como ya se ha indicado antes que aparezca la Viga Benkelman se utilizaba un método electrónico que requería del empleo de un tiempo considerable en la instalación de costosos aparatos, además de la destrucción del pavimento en cada toma de datos, dando como resultado un limitado número de medidas por ensayo. El departamento de Carreteras de California hizo uso de ella casi inmediatamente en sus estudios de pavimentación reportando avances

considerables de rendimiento y reduciendo el tiempo de ejecución de los trabajos en algunos casos de 10 días con el método anterior a un día usando la Viga Benkelman.



Figura N° 2.1 .A.C. Benkelman

La intensificación del uso de la Viga Benkelman propició un rápido avance en el campo del control de las deflexiones de los pavimentos es así que en Francia se desarrolla el Deflectógrafo de La Croix y En Estados Unidos Hveem inventa el Deflectómetro móvil,

En 1962 la AASHO Road Test publica sus ensayos realizados en pavimentos flexibles, mas adelante en 1963 los ingenieros del Department of Highways (Departamento de Carreteras) llevan a cabo pruebas en la localidad de Etobicoke en Toronto Canadá, influenciados por la eficiencia y el ahorro en el tiempo de ejecución del método recientemente inventado publicándose en 1964 en Canadá las máximas deflexiones permisibles:

- 0.152 cm para pavimentos de calles residenciales con tráfico ligero.
- 0.114 cm para pavimentos de clasificación superior.

En 1966 estos valores sufrirían una variación:

- Para calles residenciales sin tráfico pesado, con un ancho de 8.54 metros de pavimentación; 0.152 cm. de deflexión máxima.

- Para calles residenciales, arterias principales, con tráfico anticipado de buses, y ubicada cerca a zonas industriales, con un ancho de 9.76 metros de pavimentación; 0.114 cm. de deflexión máxima.
- Para calles residenciales de alto tráfico y pavimentos de clasificación superior de 4 carriles; 0.089 cm de deflexión máxima.



Figura N° 2.2 Uso de la Viga Benkelman en la AASHO Test road, 1962

En nuestro país en el año 1983, durante los primeros trabajos realizados por el Consorcio de Rehabilitación Vial (800 km de carreteras), este equipo ya era considerado obsoleto para la toma de lecturas de deformaciones, sin embargo se uso debido a que equipos mas sofisticados demandaban costo por encima de los 100,000 dólares, tal es el caso del equipo Falling Weight Deflectometer (FWD) y que el Ministerio de Transporte y Comunicaciones (MTC) no podía adquirir en aquel entonces. Es en este trabajo donde se introducen los conceptos de Radio de Curvatura y deformación característica.

En la actualidad en los términos de referencia que presenta el MTC para sus concursos se exige de evaluaciones con estos equipos. Aunque las últimas convocatorias ya solicitan innovaciones entre los que se considera el equipo FWD se debe mencionar que ya en el año 2000, se utilizó el FWD para la carretera Piura - Paita y Piura - Sullana - Puente Macará donde las medidas dinámicas tuvieron que ser transformadas a estáticas, para satisfacer las exigencias del MTC.

## CAPÍTULO III – MARCO TEORICO

### 3.1 EVALUACION ESTRUCTURAL

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 (por ejemplo un nuevo tipo de avión en un aeropuerto existente).

La evaluación estructural involucra determinar la suficiencia de un pavimento para soportar el tránsito sin la creciente fatiga estructural, y predice su vida útil con respecto al tránsito proyectado en el tiempo. Cuando un pavimento se encuentre inadecuado para las necesidades a futuro de tránsito vehicular se hace necesaria la evaluación estructural como parte de un conjunto de acciones para estudiar y analizar el comportamiento del pavimento existente y diseñar los mejoramientos necesarios para que éste provea un adecuado servicio.

Anteriormente para realizar una evaluación estructural de pavimentos se procedía a los ensayos destructivos, llamados así porque indicaba la destrucción del pavimento a través de calicatas para tener una idea de la estructura del pavimento. Hoy en día estos métodos han sido relegados y se usan para tener una idea de la capacidad estructural del pavimento en casos puntuales. La medición de la deflexión efectuada con un ensayo no destructivo es de gran rendimiento operacional ya que permite obtener un elevado número de mediciones en poco tiempo, reduciendo al mínimo la cantidad necesaria de ensayos destructivos (calicatas).

Los trabajos de rehabilitación de carreteras, demandan evaluaciones del tipo no destructiva, las mismas que durante los últimos años en el Perú se han desarrollado mediante el empleo de la Viga Benkelman. Se basan en el valor de la deflexión máxima y el tipo de curvatura que adopta la superficie cargada. Para determinar las correcciones en el tramo en estudio se analiza la deformación elástica que experimenta el pavimento bajo carga, dicha deformación dependerá del estado superficial y/o estructural del mismo.

Las evaluaciones de las deflexiones del pavimento, ayudan grandemente al proyectista ya que le permiten, a través de un deflectograma el sectorizado de la vía de comportamiento homogéneo, pudiéndose adoptar una sola alternativa de solución por cada uno de los sectores determinados.

### 3.1.1 PROPOSITOS DE LA EVALUACION ESTRUCTURAL

Con el valor de la resistencia de la subrasante y CBR, es posible evaluar la estructura del pavimento existente, con dos propósitos:

- a) Determinar el espesor de recapeo requerido para reforzar el pavimento de tal modo que pueda soportar un tránsito de mayor peso en un tiempo proyectado.
- b) Estimar cuanto tiempo pasará antes de que se requiera la aplicación de un recapeo.

### 3.2 DEFLECTOMETRIA METODO EMPIRICO CONREVIAL

La deflectometría es el estudio de las deformaciones verticales de la superficie del pavimento a consecuencia de la acción de una carga normalizada. Las fallas estructurales fundamentales dependen de la magnitud y frecuencia de las deformaciones recuperables y de la acumulación de las deformaciones permanentes en la estructura bajo la acción de cargas móviles o estáticas, entonces se puede decir que la evaluación estructural esta basada en el estudio de la deformabilidad de los pavimentos bajo la acción de cargas normalizadas.

La deflexión es la deformación elástica que sufre un pavimento flexible bajo la acción de una carga móvil o estática, Mediante ella es posible evaluar el debilitamiento progresivo de la estructura del pavimento debido a las sollicitaciones del tránsito que pasa por encima de éste. En el método empírico de evaluación estructural, las deflexiones son convenientemente procesadas y luego se relacionan con los valores de las deflexiones admisibles. Se distingue tres tipos de deflexiones:

#### 3.2.1 TIPOS DE DEFLEXIONES

**Deflexión Total (Dt):** Es la deformación vertical puntual de una superficie bajo la acción de una carga.

**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.

**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.

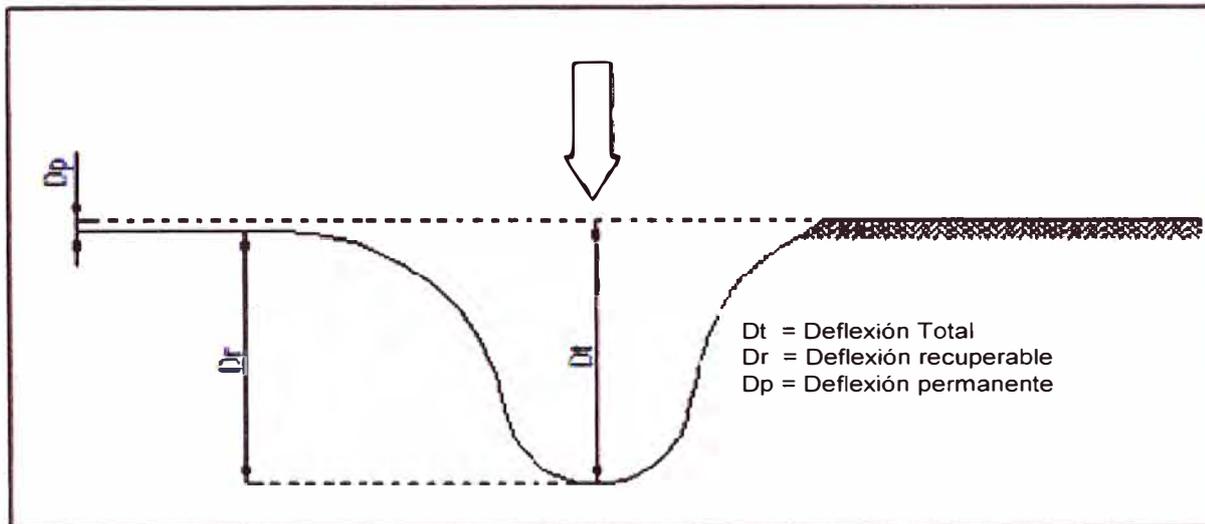


Figura N° 3.1 Tipos de Deflexiones

### 3.2.2 MEDICIÓN DE LAS DEFLEXIONES

Las deflexiones del pavimento se miden bajo la acción de una carga rodante estándar en un eje de 8.2 ton. La determinación de las deflexiones permite evaluar el debilitamiento progresivo de la estructura debido a las solicitaciones del tránsito que pasa por la vía. Las llantas de la rueda deberán estar infladas a una presión de 80 psi.

Las deflexiones se pueden medir con una variedad de equipos como la Viga Benkelman, Dynaflect, Deflectógrafo Lacroix y FWD (Falling Weight Deflectometer), etc; cada uno de ellos mide la deflexión bajo una carga que puede ser estática, o baja velocidad, o carga dinámica. Es motivo del presente trabajo utilizar la Viga Benkelman como instrumento de medición de deformaciones del pavimento de la carretera en estudio, exigido por las Normas del Ministerio de Transporte y Comunicaciones.

### 3.2.3 LA VIGA BENKELMAN

Existe una diversidad de equipos destinados a medir las deflexiones en los pavimentos, desde los más simples y versátiles como la Viga Benkelman hasta los más sofisticados y costosos pero con un gran rendimiento operacional como el Deflectógrafo Lacroix, la elección del equipo dependerá de la disponibilidad del tiempo de ejecución, y de los costos contemplados para estos ensayos.

En un pavimento flexible las deflexiones bajo carga estática estándar pueden ser medidas haciendo uso de la Viga Benkelman.

#### DESCRIPCION DEL EQUIPO

El deflectómetro Benkelman funciona bajo el principio de la palanca. Es un instrumento completamente mecánico y de diseño simple. Según se esquematiza en la figura N° 3.2. La viga consta principalmente de dos partes:

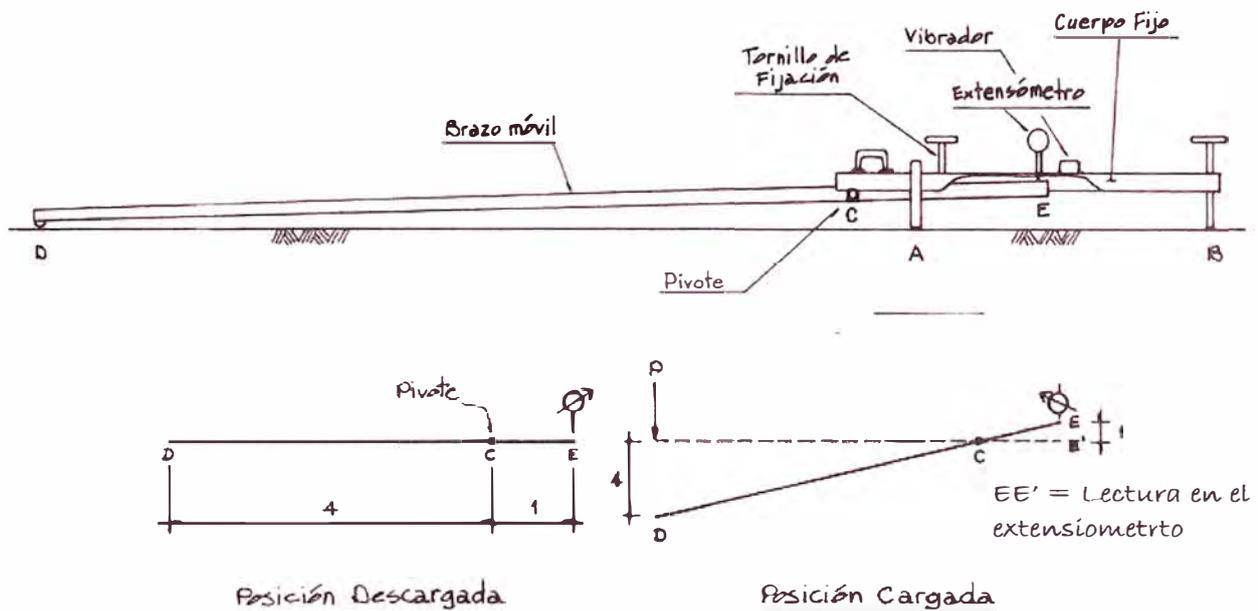


Figura N° 3.2 Esquema de la Viga Benkelman

Fuente: Estudio CONREVIAL

(1) Un cuerpo de sostén que se sitúa directamente sobre el terreno mediante 3 apoyos sobre el pavimento (dos apoyos delanteros fijos ubicados en el punto "A" y uno trasero regulable ubicado en el punto "B").

(2) Un brazo móvil acoplado al cuerpo fijo mediante una articulación de giro en pivote ubicada en el punto "C", uno de cuyos extremos va apoyado sobre el terreno (Punto "D"), y el otro se encuentra en contacto sensible con el vástago de un extensiómetro de movimiento vertical (Punto "E"). Adicionalmente el equipo posee un vibrador incorporado que a 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.

El extremo ubicado en el punto D llamado también "punta de la viga" va colocado en el espacio que existe entre uno de los dos pares de llantas del eje trasero del camión que lleva una carga estándar. El peso aplicado produce una deformación del pavimento que hace que la punta de la viga descienda una cierta distancia medida en milímetros, con respecto al nivel de la superficie. A causa de este accionar el brazo móvil DE gira en torno al punto fijo "C" y con respecto al cuerpo fijo AB, determinando que el extremo "E" produzca un movimiento vertical en el vástago del extensiómetro que va apoyado en AB, generando así una lectura en el dial. Si se retiran luego las llantas cargadas, el pavimento en el punto D se recupera por el comportamiento elástico de las capas inferiores y por el mismo mecanismo anterior se genera otra lectura en el dial del extensiómetro.

Con las dos lecturas obtenidas es posible determinar cuánto deflectó el pavimento en el lugar subyacente al punto D de la viga, durante el procedimiento anteriormente descrito. Es de especial énfasis aclarar que en realidad lo que se mide es la recuperación del pavimento en el punto D al remover la carga (rebote elástico), y no la deformación al colocar ésta. Para calcular la deflexión se deberá considerar la geometría de la viga, toda vez que los valores dados por el extensiómetro ("E") no están a escala real sino que dependen de la relación de medidas de los brazos de la viga. (Ver figura N° 3.2)

## **CAMPO DE ACCION DE LA VIGA BENKELMAN EN LA CONSTRUCCIÓN DE CARRETERAS**

En el cuadro N° 3.1 se muestra la importancia del empleo de la Viga Benkelman en el campo de la Ingeniería de Pavimentos.

**Cuadro N° 3.1: Empleo de la Viga Benkelman en pavimentos**

<b>Etapas de la vida del pavimento</b>	<b>Objetivos</b>	<b>Localización de las medidas</b>
Construcción	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Appreciar la resistencia de las diferentes capas de la estructura.</li> <li>- Determinar el grado de homogeneidad.</li> <li>- Ajustar las dimensiones de las capas sucesivas.</li> </ul>	A nivel de la subrasante sobre la superficie de rodadura
Pavimento terminado	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Appreciar la homogeneidad y localizar las áreas débiles susceptibles de observación continua.</li> <li>- Obtener los datos de las deflexiones iniciales para poder interpretar las medidas posteriores.</li> <li>- Comprobar la duración del pavimento.</li> </ul>	Sobre la superficie de rodadura
Pavimento en servicio	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Appreciar los fenómenos de fatiga:</li> <li>- Señalar la urgencia de operaciones de conservación rutinaria o de refuerzos.</li> <li>- Determinación de la variación de la capacidad portante durante los periodos de invierno y verano.</li> <li>- Control de las cargas de los vehículos.</li> </ul>	Sobre la superficie de rodadura
Pavimento reforzado	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Appreciar el poder de refuerzo de las sobrecapas,</li> <li>- Precisar la validez de las hipótesis obtenidas durante los estudios.</li> <li>- Corregir y mejorar los datos de calculo iniciales</li> </ul>	Sobre las capas de refuerzo

Fuente: Tesis UNI FIC Percy Mallque Heredia.

La medición directa de la relación carga-deformación, es de gran valor para la evaluación estructural del pavimento. Cualquiera que fuese el modelo de análisis o el método de medición utilizados, se acepta el esquema básico según el cual las deflexiones "bajas", "medianas" y "altas" guardan relación directa con pavimentos "fuertes", "medianos" o "débiles", esquema que se dio a conocer con la aparición de la Viga Benkelman en 1955. La existencia de una correlación de deflexiones con la presencia y desarrollo rápido de fallas por fatiga constituyen la base de su difundida utilización.

### 3.2.4 CORRECCION DE DEFLEXIONES

#### POR TEMPERATURA

En los pavimentos la magnitud de las deflexiones aumenta con un incremento en la temperatura de la capa asfáltica, Esto se atribuye a una menor rigidez de las mezclas bituminosas, por lo que el efecto dependerá del espesor de dichas capas y de la rigidez de las capas subyacentes.

Las deflexiones características deben referirse a una temperatura estandar de 20°C, las deflexiones medidas en el campo se deben corregir y llevarlas a tal temperatura. Si las carpetas asfálticas son gruesas, el efecto de la temperatura sobre la deflexión posee mayor importancia, por lo que se ha recomendado aplicar algún factor de corrección, mediante la siguiente formula:

$$D_{(20^{\circ}C)} = \frac{D_t}{1 + 10^{-3} (1/cm^{\circ}C) \times e \times (T - 20^{\circ}C)}$$

Donde:

$D_t$  = Deflexión recuperable, medida a la temperatura  $t(^{\circ}C)$  en centésimas de mm.

$D_{20}$  = Deflexión recuperable, medida a la temperatura estándar 20°C.

$e$  = Espesor de la carpeta asfáltica en cm. Medido en el borde del pavimento.

$t$  = Temperatura de la carpeta asfáltica al momento de ejecutarse el ensayo.

Para poder aplicar esta formula la temperatura de la capa asfáltica registrada en campo debe variar entre los 15°C y los 30°C. Las mediciones con la Viga Benkelman dependerán del clima local; en época de verano deben realizarse por las mañanas o por las tarde evitando las altas temperaturas del mediodía y en época de lluvias es aconsejable hacerlas al mediodía. Fuera del rango indicado se introducen distorsiones en las medidas, debido a la alteración del comportamiento elástico de la capa asfáltica.

#### POR ESTACIONALIDAD

La capacidad de deformación de los suelos esta influenciada por el grado de saturación que experimentan, por lo tanto, es deseable que la medición de deflexiones se realice durante la estación de lluvias, durante la cuál 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. El cuadro N°

3.2 indica los factores de corrección para diferentes tipos de suelos y para estación seca o lluviosa.

La temporada de lluvias en el tramo analizado es de Diciembre a Marzo, llueve un promedio de 100 a 150 mm y el tipo de suelo es una arena arcillosa limosa, por lo cual le corresponderá un factor de corrección de 1.1,

**Cuadro N° 3.2: Corrección de medidas por Estacionalidad**

<b>TIPO DEL SUELO DE SUBRASANTE</b>	<b>ESTACION LLUVIOSA</b>	<b>ESTACION SECA</b>
<i>Suelos arenosos-permeables</i>	1.0	1.1 -1.3
<i>Suelos arcillosos sensibles al agua</i>	1.0	1.2-1.4

Fuente: Evaluación y Diseño preliminar para Rehabilitación de pavimentos bituminosos – Estudio CONREVAL

### 3.2.5 OBTENCION 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 del pavimento al flexionar bajo las cargas de tránsito, y en consecuencia, en el desarrollo del fisuramiento en forma de piel de cocodrilo.

El método mas razonable para determinar el radio de curvatura fue ideado en Francia, queda definido por la siguiente relación, en la cual se considera que la línea de Deflexión se aproxima a una parábola hasta una distancia algo mayor de 25 cm. del eje de carga, para sufrir luego una inflexión y tender asintóticamente hacia la horizontal, la curvatura de la parábola queda definida por su parámetro, que en la zona de máxima curvatura se confunde practicante con el radio del circulo osculador en dicho punto, es decir exactamente bajo el

centro del eje de la rueda cargada. El radio de curvatura se obtiene de la siguiente forma:

$$R = \frac{10 \times 25^2}{2(D_0 - D_{25})} \quad 3125$$

Donde:

R = Radio de curvatura en metros.

$D_0$  = Deflexión recuperable en el eje vertical de la carga (máxima observada) en 1/100 mm.

$D_{25}$  = Deflexión a 25 cm del punto de deflexión máxima en 1/100 mm.  
10 = coeficiente por cambio de unidades

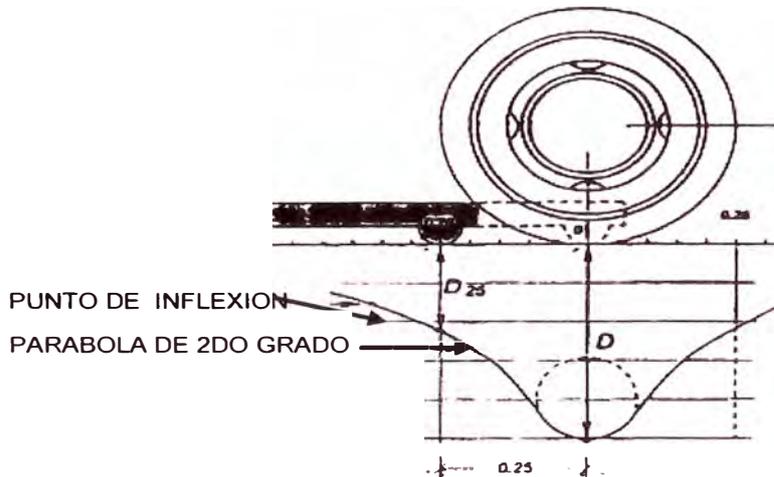


Figura N° 3.3  
Radio de curvatura

### 3.2.6 JUICIO DE LA CAPACIDAD ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO

Se puede entender aun mas el significado de las deflexiones ocurridas en el pavimento graficando la curva de deformación para cada punto de ensayo con la Viga Benkelman. En la figura 3.4 se muestra las relaciones entre la forma de la curva y la calidad del pavimento y la subrasante.

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 ( $D_c < D_a$ ).

Una vez finalizadas las distintas tareas de campo, el procesamiento de los datos obtenidos en campo, y haber obtenido los resultados necesarios, se debe llevar a cabo un análisis que conduzca a establecer la capacidad estructural del pavimento en relación al tránsito que debe soportar la vía.

Para lo cual existe la necesidad de establecer el tipo de rehabilitación requerida, de acuerdo a tres situaciones representativas que se resumen en:

- Estructura adecuada, requiere mejora superficial.
- Estructura de fatiga, requiere un refuerzo estructural.
- Estructura deficiente, requiere reconstrucción parcial o total

**Cuadro N° 3.3 Análisis Combinado de los resultados de Evaluación**

DEFLECTOMETRIA	ESTADO VISUAL	ESTADO ESTRUCTURAL	RECOMENDACIÓN
La deflexión característica es superior a la admisible. Los radios de curvatura son elevados o aceptables (en relación a la estructura). <b>Dc &gt; Dadm</b>	No hay fallas de origen estructural	Estructura infradiseñada, que necesita con <b>urgencia un refuerzo estructural para resistir el tránsito futuro. Es necesario realizar perforaciones que avalen los espesores, naturaleza y estado de las capas.</b> La capacidad portante de las capas decrece en profundidad. (No existe capa débil inmediatamente debajo capa asfáltica.	Examinar fecha y tipo de las últimas obras ejecutadas, para justificar estado del pavimento.... <b>1CASO.</b>
	Hay fallas de origen estructural generalizadas a causa ajenas a la presencia de un espesor de base débil.		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 de diseño..... <b>2°CASO</b>
La deflexión característica es superior a la admisible. Los radios de curvatura son pequeños (aún para deflexiones reducidas). <b>Dc &gt; Dadm</b>		Existe una capa débil inmediatamente debajo de las capas asfálticas (Relación entre módulos de elasticidad menor de 1). Las fallas por fatiga (agrietamiento, fisuras, tipo cuero de cocodrilo) observadas derivan de este caso.	Se trata de neutralizar el efecto de la capa que falla, ya sea por reconstrucción parcial, o refuerzo. No es conveniente emplear la deflexión ya que puede no ser representativa. <b>3°CASO</b>
La deflexión característica es inferior a la admisible. Los radios de curvatura son reducidos. <b>Dc &lt; Dadm</b>	Hay fallas de origen estructural por fatiga (Fisuras tipo piel de cocodrilo).	Existe una capa débil inmediatamente debajo de las capas asfálticas.	Analizar fecha de mediciones y tipo estructura. Neutralizar el efecto de la capa débil (reconstrucción o refuerzo). De ninguna manera se pueden considerar las deflexiones para el proyecto; emplear métodos de diseño <b>3°CASO</b>
La deflexión característica es inferior a la admisible. <b>Dc &lt; Dadm.</b>	Hay fallas de origen estructural: deformaciones permanentes de la fundación	Estructura degradada no adecuada para fundación.	Evaluar aporte estructural de la calzada existente (reconstrucción o refuerzo). La deflexión no es representativa.... <b>4°CASO</b>
	No hay fallas de origen estructural.	Estructura bien diseñada.	Corregir fallas de origen superficial, las soluciones dependerán de los defectos observados y sus causas. Mejora superficial... <b>5°CASO.</b>

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

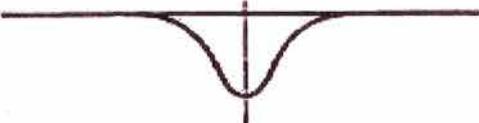
	<b>CURVA MEDIDA</b>	<b>PAVIMENTO EVALUADO</b>
 <p><b>Tipo I</b></p>	Curva Extensa Poco Profunda	Buen Pavimento Buena Subrasante
 <p><b>Tipo II</b></p>	Curva Extensa Profunda	Buen Pavimento Mala Subrasante
 <p><b>Tipo III</b></p>	Curva Corta Poco Profunda	Mal Pavimento Buena Subrasante
 <p><b>Tipo IV</b></p>	Curva Corta Profunda	Mal Pavimento Mala Subrasante

Figura N° 3.4 Relación cuantitativa entra la deformada y la calidad del pavimento

El comportamiento estructural del pavimento evaluado se calificará como satisfactorio, si se cumple que:

- Los valores de radio de curvatura calculados son mayores de 100 m ( $R_c > 100$  m)
- El radio de curvatura promedio esta comprendido entre 300-500 m ( $300 < R_c < 500$ )

La deflexión admisible es un parámetro dirimente dentro del análisis empírico y el radio de curvatura es un valor referencial de la condición actual del pavimento.

### ESPESOR DE REFUERZO

Sabiendo que para la determinación de los espesores de refuerzo, se utiliza el método de reducción de las deflexiones con varias fórmulas que propone el documento CONREVIAl, se puede indicar que este método se basa sobre la reducción de la elongación vertical sobre la subrasante provista por una capa adicional de carpeta asfáltica de espesor "h". Ella sola es utilizable, si esta elongación es representativa del modo de ruptura del pavimento y de su daño, es decir, solamente en el caso de pavimentos flexibles con pocos espesores de

carpeta asfáltica que continúan flexibles después del refuerzo. Es el caso de la mayoría de las carreteras en su primera rehabilitación.

Para el cálculo del espesor de refuerzo, en los casos 1° y 2°, se emplea la Fórmula de Ruiz (Argentina), cuya expresión es:

$$h = \frac{R}{0.434} \log \frac{D_o}{D_h}$$

Donde:

h : Espesor de refuerzo (cm).

Do : Deflexión característica antes del refuerzo (1/100 mm).

Dh : Deflexión característica luego del refuerzo (1/100mm); (Deflexión admisible de diseño)

R : Coeficiente con dimensiones de un espesor.

Estos espesores se determinarán con la fórmula ya mencionada, utilizando 18 como valor del coeficiente R recomendado por CONREVIAl para los espesores de refuerzo del orden de 5 y las deflexiones vecinas de 0,70 mm; como se conocen las deflexiones características, faltará encontrar las deflexiones admisibles.

Para los casos 3° y 4°, se emplearán métodos racionales para diseño de pavimentos, como por ejemplo el método AASHTO

### 3.2.7 ANALISIS ESTADISTICO DE LAS DEFLEXIONES

Los estudios de deflexiones recuperables, han demostrado que las deflexiones, presentan una distribución de frecuencias, que se asemeja a la distribución normal.

#### DEFLEXIÓN CARACTERÍSTICA

La deflexión característica es un parámetro estadístico empleado para la caracterización representativa de la magnitud de deformación de los pavimentos. Para su determinación es necesario contar con una base de datos de deflexiones máximas, del tramo que se requiere evaluar, y establecer los parámetros estadísticos de dichos datos.

Se define mediante la siguiente expresión:

$$D_c = D_{prom} + t \sigma$$

Donde:

$D_c$  : Deflexión característica

$D_{prom}$ : Deflexión promedio de los valores individuales de  $D_0$  corregidos por temperatura y estacionalidad (ver líneas abajo a y b)

$\sigma$ : Desviación estándar

$t$  : Coeficiente de variación, que representa al porcentaje del área total con probabilidad de presentar deflexiones superiores a la deflexión característica  $D_c$ . En el estudio del CONREVIAl se utiliza un valor  $t = 1.645$  que corresponde al 95%, lo que equivale a considerar que, sólo un 5% del área total del pavimento, tendrá deflexiones mayores a  $D_c$ .

En la tabla siguiente se indican los valores más frecuentes:

**Cuadro N° 3.4: Valores de Coeficiente de Variación**

Valor de Diseño (%)	Deflexión característica	Extensión del pav. con $D > D_c$ (%)	Método que considera
50	$D_p$	50	
75	$D_p + 0.674 \sigma$	25	
85	$D_p + \sigma$	15	
90	$D_p + 1.30 \sigma$	10	
95	$D_p + 1.645 \sigma$	5	Ing. Ruiz en Argentina.
98	$D_p + 2 \sigma$	2	Instituto de Asfalto y Canadá
99	$D_p + 2.33 \sigma$	1	
99.9	$D_p + 3 \sigma$	0.1	

Fuente: Estudio Definitivo para el Mantenimiento Periódico de la Carretera Panamericana Sur Tramo: Puente Santa Rosa – Puente Montalvo

El criterio expuesto es conducente a obtener la deflexión característica del tramo que sea representativo de las condiciones críticas del pavimento y cuyo valor, al estar calculado en base a la deflexión media más 1.645 veces la desviación estándar, hace que, si el histograma de los valores individuales sigue

una ley de distribución normal, el 95% de los valores individuales sea inferior a la deflexión característica.

### **DEFLEXIÓN ADMISIBLE**

La deflexión admisible es un parámetro definido en función al tránsito de diseño, que establece un límite para la deflexión característica por encima del cual no se garantiza un comportamiento satisfactorio de la estructura durante el período considerado. La expresión analítica que define este parámetro según la metodología del Dr. C. Ruiz (Argentina) es:

$$D_a = (1.15/N_{18})^{1/4}$$

Donde:

$D_a$  = deflexión admisible inicial (en mm)

$N_{18}$  = Número total de eje equivalentes a 8.2 Ton (en millones)

La determinación del número de ejes equivalentes soportados se detalla en el ANEXO 01 del presente informe, y se ha calculado siguiendo las normas establecidas en el manual de carreteras pavimentadas de bajo volumen de tránsito del MTC.

### **3.2.8 ANÁLISIS DE TRÁNSITO - EJE EQUIVALENTE**

El concepto de eje equivalente se basa en la posibilidad de evaluar el daño que produce determinada carga y compararla con otra de referencia. El eje equivalente o estándar es el eje único que produce efectos críticos o daños en el pavimento equivalentes a aquellos producidos por los distintos ejes mixtos que conforman el espectro de cargas. Un incremento en los niveles de carga tiene como consecuencia un aumento mayor en el número de ejes equivalentes aunque permanezca constante el volumen de tránsito.

### **FACTORES DE EQUIVALENCIA**

De los estudios experimentales desarrollados, se han obtenido ecuaciones crecientes, de relación exponencial del orden de 4, entre la carga real y la del eje referencial. Estas experiencias ampliamente difundidas, dan lugar a establecer factores de equivalencia de carga, tanto para cada tipo de composición

vehicular, que permiten cuantificar el tremendo efecto destructivo de los vehículos más pesados.

El eje estándar de adoptado es un eje simple de 8.2 ton, se determinaran los factores de equivalencia siguiendo la metodología de AASHO Road Test, que tiene como criterio de comparación la valorización de la pérdida de la serviciabilidad del pavimento por efecto de la carga.

**Cuadro N° 3.5: Valores de Ejes Equivalentes**

Tipo de eje	Eje equivalente (EE <sub>8.2 TN</sub> )
Eje Simple de ruedas simples	$EES1 = [ P / 6.6 ]^4$
Eje Simple de ruedas dobles	$EES2 = [ P / 8.2 ]^4$
Eje Tandem de ruedas dobles	$EETA = [ P / 15.1 ]^4$
Ejes Tridem de ruedas dobles	$EETR = [ P / 22.9 ]^4$

Fuente: Manual de Diseño de Carreteras Pavimentadas de Bajo Volumen de Tránsito

DONDE P = peso real por eje en toneladas

## DETERMINACIÓN DEL NÚMERO DE REPETICIONES DEL EJE ESTÁNDAR DE 8.2 TON

Para el número de repeticiones, se debe considerar exclusivamente camiones, omnibuses, trailers etc., que tenga un alto factor destructivo al pavimento, se ha despreciado los vehículos ligeros. Así también se debe considerar el año que fue determinado el IMD y las tasas de crecimiento.

$$N(18) = 365/2 \times ( IMD_{2E} \times FE_{2E} + IMD_{3E} \times FE_{3E} + IMD_{Tyst} \times FE_{Tyst} + \dots ) \times ((1+i)^n - 1) / i$$

N(18) : Numero de repeticiones de ejes de 8.2 ton para un periodo de n años  
( en una dirección)

IMD<sub>2E</sub>: Índice Medio Diario de cada tipo de composición correspondiente al año base.

FE<sub>2E</sub>: Factor equivalente de 8.2 ton por cada tipo de composición.

IMD<sub>3E</sub>: Índice Medio Diario de cada tipo de composición correspondiente al año base.

$FE_{3E}$ : Factor equivalente de 8.2 ton por cada tipo de composición.

$IMD_{TYST}$ : Índice Medio Diario de cada tipo de composición correspondiente al año base.

$FE_{TYST}$ : Factor equivalente de 8.2 ton por cada tipo de composición.

$i$  : Tasa de crecimiento del tráfico de camiones

$N$  : Periodo de Diseño.

Cuadro N° 3.6: Valores de IMD tomados el 2008

Tipo de Vehículo	IMD 2008				Tasa de crecimiento $i$ (%)
	Zuñiga 56+600 - P. Nuevo 66+580	P. Nuevo 66+580 - Chichicay 92+110	Chichicay 92+110 - Capillucas 94+640	Capillucas 94+640 - Dv. Yauyos 127+000	
Automóvil	6	3	2	1	2.6
Camioneta	194	289	58	20	2.6
Combi Rural	74	61	18	4	2.6
Micro	48	68	8	0	1.4
Ómnibus 2E	15	14	13	8	1.4
Ómnibus 3E	1	0	1	0	1.4
Camión 2 Ejes	47	42	30	9	4.6
Camión 3 Ejes	9	4	2	11	4.6
Camión 4 Ejes	1	2	2	0	4.6
Semitraylers	28	53	98	0	4.6
Traylers	38	33	0	0	4.6

Fuente: Informe del CGC DEL Proyecto Conservación Vial de la Carretera Cañete – Lunahuana – Pacarán – Chupaca y Rehabilitación del tramo Zuñiga Dv. Yauyos - Rochas

### 3.2.9 GRAFICAS DEFLECTOMÉTRICAS

#### VARIABILIDAD DE LA CAPACIDAD ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO

La medición de las deflexiones, permite un aporte de interés en la evaluación estructural del pavimento, ya que identifica la variación de la capacidad estructural a lo largo de un pavimento, aún en aquellas consideradas como correctamente proyectadas y construidas, lo que obliga a su estudio siguiendo criterios probabilísticos.

Algunas de las razones de la variación en la capacidad estructural son:

En el sentido transversal, se revela mayores deflexiones de la huella externa con respecto a la interna en un mismo carril, atribuidas principalmente a una reducción del confinamiento lateral asociada a la terminación del pavimento, y a

condiciones más adversas del suelo principalmente al contenido de humedad y grado de densificación.

En el sentido longitudinal, se revela en la gran dispersión de valores individuales, aun en distancias muy próximas entre sí, atribuidas principalmente a la variabilidad de los materiales y del proceso constructivo.

Los resultados no se pueden interpretar individualmente, por tal motivo surge la necesidad de establecer una deflexión que represente adecuadamente cada sección o tramo de pavimento, y por ende, de una evaluación estadística. Estos resultados serán reflejados en un Deflectograma (progresiva vs deflexiones), permitiendo una visión global del conjunto de datos obtenidos.

## **DEFLECTOGRAMA**

El deflectograma constituye una herramienta fundamental para el análisis de la variabilidad en las deflexiones de la capacidad estructural. Donde se podrá diferenciar secciones de distinta capacidad en un mismo tramo.

Dado que para interpretar los resultados no se puede considerar los valores individuales, surge la necesidad de establecer una deflexión que represente adecuadamente cada sección o tramo de pavimento, y, por ende, de una evaluación estadística.

Con este propósito los resultados obtenidos se vuelcan en un Deflectograma donde se grafica los resultados obtenidos en campo, permitiendo una visión global del conjunto de datos obtenidos.

El Deflectograma constituye un elemento fundamental para el análisis de la variabilidad de la capacidad estructural. En este sentido cabe destacar que el principal objetivo de la medición de deflexiones radica en poder diferenciar secciones de distinta capacidad estructural en un mismo tramo.

Por lo tanto, es en base al deflectograma que se procede a:

- Diferenciar secciones de distinta capacidad estructural y/o comportamiento considerando deflexiones, fallas observadas y estructura del pavimento, las que son posteriormente procesadas estadísticamente.
- Eliminar valores extremos aislados, no representativos y que distorsionan los resultados.
- Obtenidos los parámetros estadísticos, ubicar las perforaciones requeridas para interpretar los resultados, en zonas representativas de buen y mal comportamiento.
- Delimitar secciones en las que se requiere intensificar los estudios o realizar estudios especiales.

El deflectograma es empleado para juzgar la capacidad portante del pavimento, cuando se dispone de los resultados de todos los estudios llevados a cabo.

## **CAPÍTULO IV**

### **APLICACIÓN AL TRAMO KM 99+000 AL 104+000**

#### **4.1 RECOPIACION DE DATOS DE CAMPO**

Se efectuaron mediciones de deflexiones recuperables haciendo uso de la Viga Benkelman y un camión con carga normalizada, además el uso de la viga permitió determinar el radio de curvatura de la línea de deflexión.

Se inició en el primer tramo desde el Km. 59+300 al Km. 60+300 haciendo lecturas en el carril de subida para después realizarlas en el sentido de bajada por comodidad y ahorro de tiempo desde el Km. 101+000 al Km. 66+600.

##### **4.1.1 METODOLOGIA DE EMPLEO**

En el tramo evaluado de la Carretera Cañete – Yauyos – Huancayo (Km. 99+000 al km 104+000) se marcaron con días de anticipación puntos cada 100 metros a manera de agilizar los tiempos en el momento de la toma de las medidas el día del ensayo, Una vez en campo se tomó una muestra representativa de 1 Km. (Km. 100+500 al 101+000) realizando en ella 06 tomas de medición, una por punto, con la Viga Benkelman de un solo brazo.

Siendo la Viga Benkelman un dispositivo mecánico que mide las deformaciones en dos puntos de contacto, En cada punto se colocó la viga entre las ruedas duales del camión de prueba bajo eje de carga estándar 8.2 t y con una presión de inflado de llantas de 80 psi con movimiento lento, y se midió la máxima flecha de la línea de deformación bajo la misma carga estándar.

##### **4.1.2 TRABAJO DE CAMPO**

Durante la evaluación de campo se cumplió con las siguientes pautas:

- Se hicieron las medidas desde el km 101+0.00 en forma decreciente terminado en el 100+500 km.
- Se utilizó la Viga Benkelman de brazo simple.
- Se empleó la metodología empleada por el CONREVIAL.

- Se utilizó un camión de un solo eje posterior, que transmitía una carga de 8.2 toneladas controladas por una balaza electrónica adecuada.
- La presión de inflado de las llantas fue de 80 psi.
- Se registró la temperatura de las capas asfálticas medidas con termómetro digital de precisión en el centro de las capas.
- Se midió el espesor de las capas asfálticas en cada punto.
- Se registró la lectura de las deflexiones.
- Se corrigieron las deflexiones de la temperatura a 20°C.

#### **4.1.3 PROCEDIMIENTO DE MEDICIÓN**

La toma de medidas hechas durante el ensayo de campo se basó en el siguiente procedimiento:

- Se deben marcar con anticipación los puntos de medición en el pavimento a ser ensayado de manera que permita agilizar el proceso.
- Antes de empezar a medir se colocará en la parte trasera del camión una regla de metal que sirva de plomada para saber en que momento el camión pasa por los puntos previstos que son materia de ensayo.
- Se marcarán en la viga previamente con papel adhesivo los punto previstos, en nuestro caso se ubicaron a 0, 25, 40, 70 y máx. cm. respectivamente empezando en la punta final de la viga.
- La rueda dual externa del camión deberá ser colocada sobre el punto seleccionado por encima de la línea de huella pronunciada.
- Se coloca la regla sobre el pavimento, detrás del camión perpendicularmente al eje de carga de modo que la punta de prueba (de la viga) coincida con el punto de ensayo y la regla no roce ninguna de las ruedas duales.
- Se retira la traba de la regla y la base se ajusta por medio del tornillo trasero de modo tal que el brazo de medición quede en contacto con el vástago del dial.
- El extensiómetro se ajusta de modo tal que el vástago tenga un recorrido libre comprendido entre 4 y 6 mm. Se gira la esfera del extensiómetro hasta que la aguja quede en cero y se verifica la lectura golpeando suavemente con un lápiz y poniendo en marcha el vibrador de la regla. Se deberá girar la esfera si es necesario y repetir la operación hasta obtener la posición "0" (cero).

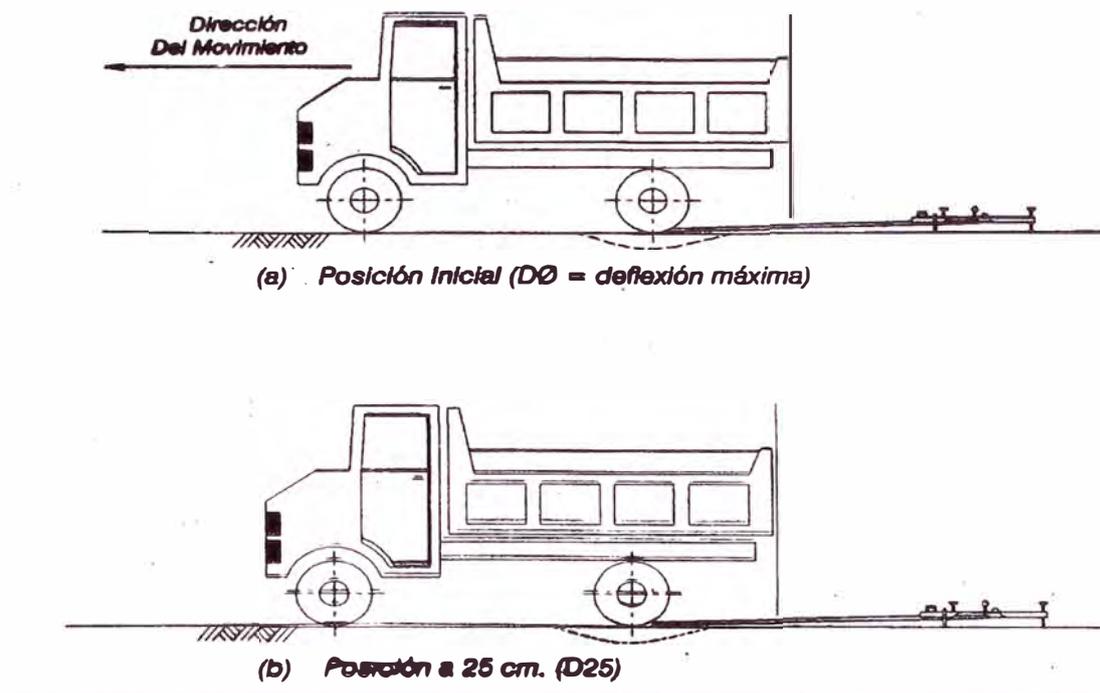


Figura N° 4.1 Esquemización del proceso de medición del ensayo de la Viga Benkelman

- El ensayo comenzará cuando se compruebe que dicha lectura permanece constante, asegurando el equilibrio del pavimento bajo carga. Se da por estabilizada la deformación producida por la carga cuando la lectura inicial varía en 0.01 mm/minuta o menos.
- Establecida la lectura inicial en cero, un operador indicará al conductor del camión que inicie el movimiento lento mientras que indicará a los operadores encargados de las lecturas el momento exacto cuando la regla colocada en el camión coincida con los puntos marcados previamente en la viga.
- Al escuchar las indicaciones los lectores dirán en voz fuerte y clara las medidas indicadas por el extensiómetro, mientras que otro operador las anotará, esto se hace con el fin de que no se presente problema alguno en la toma de medidas.
- Se procede a la medición de la temperatura que presenta el asfalto en el punto en medición. Se toma una pequeña muestra del espesor del pavimento haciendo una pequeña incisión en el costado del pavimento más cercano al punto de toma.
- Se anota la medida del abollamiento en el punto de ensayo y se hacen anotaciones y tomas de fotografías generales de las fallas superficiales aledañas.

- Se continúa con el siguiente punto. Con el objetivo de ahorrar tiempo terminadas las anotaciones de las lecturas el camión se trasladará al siguiente punto; el operador, la viga (en forma cuidadosa) y los lectores también deberán dirigirse al otro punto o ser trasladados con la ayuda de otro vehículo si se cuenta con los recursos suficientes, mientras tanto se anotan las características superficiales del pavimento, el ahuellamiento y se toman fotos generales.

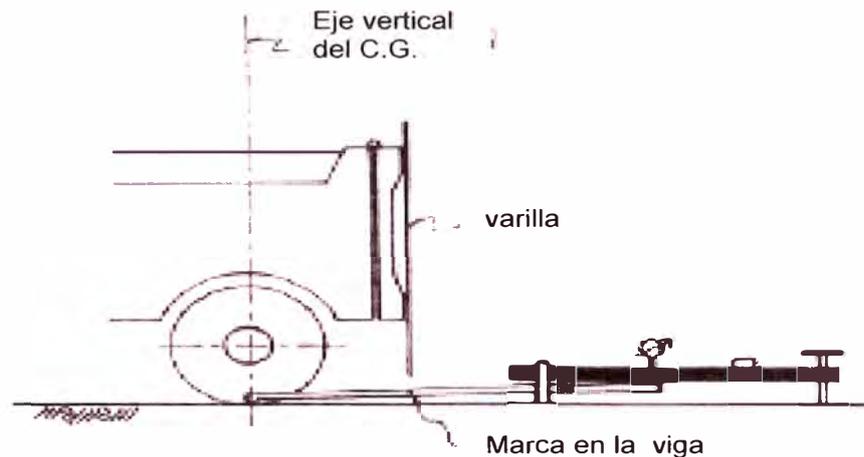


Figura N° 4.2 Ubicación de la Viga Benkelman durante el ensayo

Todo el proceso deberá ser supervisado por un ingeniero de campo experimentado quien verificará los valores que se vayan obteniendo así como las anotaciones de fallas, tipo de material, superficie, abolladura entre otras características.

## 4.2 PROCESAMIENTO DE DATOS

Se basa en el valor de la deflexión máxima y el tipo de curvatura que adopta la superficie cargada, siendo sus resultados confiables a medida que exista una base de comparación en una gran gama de variedades de estructuras.

El procedimiento para el cálculo de las deflexiones es simple. Para el caso de la Deflexión máxima, se debe calcular la diferencia entre la lectura inicial y la lectura final. Para el caso de la deflexión a 25 cm, se debe encontrar la diferencia entre la lectura a 25 cm y la lectura final. Las diferencias se multiplican por 4, debido a que la relación de brazos de la Viga Benkelman empleada es 1: 4.

Siguiendo la metodología de CONREVIAl se determinaron los valores de deflexiones corregidos por temperatura y estacionalidad, se elaborará el deflectógrama y se analizará a fin de definir sectores homogéneos y determinar

valores representativos en base a la deflexión característica con una confiabilidad de 95%.

Adicionalmente se determinó el radio de curvatura, que expresa el grado de curvatura de la línea elástica de deflexión,

Para una mayor comprensión se cita a continuación un ejemplo completo del procesamiento de datos de medición de deflexiones elásticas o recuperables, recopilados en campo. Los resultados se podrán observar en el cuadro N° A.1 de los Anexos.

#### Paso 1.-

Para cada estación medida con la Viga Benkelman se calculan las deflexiones restando las deflexiones medidas de la deflexión máxima. A manera de ejemplo se calculará para la Prog. 100+500:

Para el tramo en estudio en la Prg, 100+500, se tiene que la deflexión máxima es  $16 \times 10^{-2}$  mm, la deflexión inicial ( $D_0$ ) es cero y la deflexión a 25cm ( $D_{25}$ ) es  $8.00 \times 10^{-2}$  mm.:

$$D_0 = (16.00 - 0.00) = 16.00 \times 10^{-2} \text{ mm}$$

$$D_{25} = (16.00 - 8.00) = 8.00 \times 10^{-2} \text{ mm}$$

#### Paso 2.-

Dado que la relación de brazos de la Viga Benkelman tiene una relación de 4:1, todas las lecturas de deflexiones recuperables de campo se deberán multiplicar por 4.

Se tiene:

$$D_0 = (16.00) \times 4 = 64.00 \times 10^{-2} \text{ mm}$$

$$D_{25} = (8.00) \times 4 = 32.00 \times 10^{-2} \text{ mm}$$

#### Paso 3.-

Dado que las Deflexiones Características deben darse a 20°C, se realizará la corrección por temperatura a las deflexiones halladas en el paso 2.

Para el tramo en estudio en la PGR. 100+500, se tiene una temperatura de 52.0 °C y el espesor de la carpeta es 0.6 cm:

$$D_{0(20)} = 64.00 / (1 \times (52^\circ - 20^\circ) \times 0.6 + 1) = 62.79 \times 10^{-2} \text{ mm}$$

$$D_{25(20)} = 32.00 / (1 \times (52^\circ - 20^\circ) \times 0.6 + 1) = 31.40 \times 10^{-2} \text{ mm}$$

**Paso 4.-**

Se aplica la corrección por estacionalidad, a las deflexiones halladas en el paso 3 porque el ensayo fue realizado en una estación seca.

Para el tramo en estudio la Prg. 100+500, pertenece a la Región Yunga con un clima con sol dominante casi todo el año y con la cantidad promedio de precipitación indicada según el Cuadro N° 1.4 Características del clima de la carretera, entonces del Cuadro N° 3.2 corrección de medidas por estacionalidad se considera un factor de corrección de 1.1.

$$D_0 = 62.79 \times 1.1 = 69.10 \times 10^{-2} \text{ mm}$$

$$D_{25} = 31.40 \times 1.1 = 34.50 \times 10^{-2} \text{ mm}$$

**Paso 5.-**

Se procede a graficar las progresivas ensayadas vs las deflexiones máximas y con la ayuda del cuadro N° 1.2 (capítulo 1) se identifican los tipos de soluciones usadas en la carretera por km. (Figura N° A2.1). Luego se procede a sectorizar, por tipo de pavimento y por comportamiento homogéneo, se calcularán las deflexiones promedios y desviaciones estándar para los tramos por tipo de sección mediante el análisis estadístico del método conrevial. Se distinguen los siguientes tipos de pavimentos:

Monocapa (km 84.+600 al km.101+000), y Slurry (km. 59+300 al km. 80+500), a la vez se procede a identificar los sectores por IMD contados en el 2008

Para el tramo en estudio, se tienen los siguientes datos que ya han sido corregidos por estacionalidad.

Km. 100+500	$D_0 = 69.10 \times 10^{-2} \text{ mm}$	$D_{25} = 34.50 \times 10^{-2} \text{ mm}$
Km. 100+600	$D_0 = 94.60 \times 10^{-2} \text{ mm}$	$D_{25} = 43.00 \times 10^{-2} \text{ mm}$
Km. 100+700	$D_0 = 51.10 \times 10^{-2} \text{ mm}$	$D_{25} = 17.00 \times 10^{-2} \text{ mm}$
Km. 100+800	$D_0 = 189.10 \times 10^{-2} \text{ mm}$	$D_{25} = 137.50 \times 10^{-2} \text{ mm}$
Km. 100+900	$D_0 = 119.90 \times 10^{-2} \text{ mm}$	$D_{25} = 68.50 \times 10^{-2} \text{ mm}$
Km. 101+000	$D_0 = 127.90 \times 10^{-2} \text{ mm}$	$D_{25} = 93.80 \times 10^{-2} \text{ mm}$

$$D_0 \text{ promedio} = 108.62 \times 10^{-2} \text{ mm}, \sigma = 49.09 \times 10^{-2} \text{ mm}$$

$$\rightarrow D_c = 90.88 + (1.645 \times 30.07) = 189.37 \times 10^{-2} \text{ mm}$$

De la misma manera se han calculado las deflexiones máximas para todos los puntos tomados durante el ensayo. En el siguiente capítulo se analizarán los tramos por comportamiento y por tipo de pavimentación aplicada.

Paso 6.-

Se proceden a actualizar los índices IMD al 2009 con la información de las tasas de crecimiento proporcionados en el cuadro N° 3.5, los resultados se presentan en el cuadro N° A1.1,

Paso 7.-

Se calcula la deflexión admisible, en función del tráfico proyectado. Para ello se calcula el número de ejes equivalentes (N18).

$$N18 = 365/2 \times (IMD_{2E} \times FE_{2E} + IMD_{3E} \times FE_{3E} + IMD_{TyST} \times FE_{TyST} + \dots) \times ((1+i)^n - 1) / i$$

De acuerdo a la fórmula se considera:

- Los IMD's según cuadro N° 3.4, se obtendrán del tramo Capillucas (94+640) a Dv. Yauyos (127+000) y se actualizarán al 2009 aplicando las tasas de crecimiento indicadas. Se tiene :

Ómnibus 2 = 8

Camiones 2 ejes= 9

Camiones 3 ejes= 11

- Los FE's se calculan según las Normas Peruanas de pesos y medidas permitidas ver Anexo 01 (cuadro N° A1.2 y A1.3 y A1.4)

**Cuadro N° 4.1: Valores de los FE para los vehículos de evaluación según Reglamento Nacional**

TIPO	PES_EJE1	PES_EJE2	Es1	Es2	FE
B2	7000	11000	1.265367	3.238287	4.503654
C2	7000	11000	1.265367	3.238287	4.503654
C3	7000	18000	1.265367	2.019213	3.284580

Fuente : Elaboración propia.

- Se considera todos los tipos de vehículos observados en el conteo, incluso los pesados como traylers y semitraylers debido a la presencia del Proyecto Platanal que si bien es cierto termina a fines del 2009, en algún momento el tráfico de vehículos pesados ha influenciado en la carretera y en un futuro por cuestiones de reparación o ampliación de edificaciones este tráfico se puede

volver a presentar. La tasa de crecimiento de tráfico de microbuses es del 1.4% y del de camiones, traylers y semitraylers es de 4.6%, según últimos informes de los Estudios Técnicos para el cambio de estándar de afirmado a del MTC.

- Para una mejor interpretación se ha considerado en la evaluación, tres periodos (1,3 y 5 años) y se han calculado las deflexiones admisibles para todos los tramos con distintos IMD (Ver cuadros N° A1.4 al A1.6).

**Cuadro N° 4.2: Valores de la Deflexión admisible para diferentes periodos de evaluación**

n	N18(8.2)	Da X10 <sup>-2</sup>
1	0.021	271.1
3	0.066	204.1
5	0.115	178.0

Fuente : Elaboración propia.

#### Paso 8.-

Cálculo de Radio de curvatura  $R = 6250 / 2 \times (D_0 - D_{25})$

$$\text{Km. 100+500} \quad R = 6250 / 2 \times (69.10 - 34.50) = 90.50 \text{ m}$$

$$\text{Km. 100+600} \quad R = 6250 / 2 \times (94.60 - 43.00) = 60.60 \text{ m}$$

$$\text{Km. 100+700} \quad R = 6250 / 2 \times (51.10 - 17.00) = 91.80 \text{ m}$$

$$\text{Km. 100+900} \quad R = 6250 / 2 \times (119.90 - 68.50) = 94.10 \text{ m}$$

$$\text{Km. 101+000} \quad R = 6250 / 2 \times (127.90 - 93.80) = 93.30 \text{ m}$$

Rprom = 79.05 m tramo en estudio

#### Paso 9.-

Construcción de las cuencas características para el tramo en evaluación.

## CAPÍTULO V. - ANALISIS DE RESULTADOS

### 5.1 GRÁFICOS DE DEFLECTOGRAMA

Se graficará el deflectograma del tramo tomado en cuenta para el análisis, (indicado en el capítulo anterior). También se incluirá en las gráficas a las deflexiones admisibles, características y promedio para un mejor entendimiento. Tales gráficos se podrán encontrar dentro del Anexo final del presente informe.

### 5.2 INTERACCION CON OTROS TRAMOS

Después de procesar los datos tomados en campo, se grafica el deflectograma correspondiente. (Ver figura N° A2.1 en los anexos), se determinan las zonas donde la gráfica sigue un comportamiento homogéneo y se sectoriza el deflectograma por tipo de suelo, por solución básica aplicada y por Índices medios diarios.

Se puede observar en la figura N° A2.1 que hay tres comportamientos homogéneos además que el tramo en estudio (km. 99+000 al 104+000) la solución aplicada es del tipo monocapa, que va desde el Km. 78+806 al 128+805, (ver cuadro N° 1.2) y que del cuadro N° 3.4 el índice de conteo que corresponde es el efectuado entre los km. 94+640 al Km. 127+000. Luego de sectorizar el deflectograma de acuerdo a estos tres criterios (Figura N° A2.1), se analizará para el tramo 97+800 al 101+000, la gráfica correspondiente se puede ver en anexo (Figura N° A4.1)

Hay dos valores elevados correspondientes a las progresivas Km. 98+800 y la progresiva 108+800 En estos puntos se deberá disponer de ensayos de mayor precisión buscando verificar la excesiva deflexión, algo que es materia de otro tipo de estudio.

Con los valores considerados (ver Figura A2.1) se calculan los números estadísticos del conjunto de valores del tramo tomado en cuenta. Haciendo uso de la formula presentada en la sección 3.2.7 se obtiene:

$$D_0 \text{ promedio} = 11.30 \times 10^{-2} \text{ mm}$$

$$\sigma = 53.16 \times 10^{-2} \text{ mm}$$

$$\rightarrow D_c = 100.70 + (1.645 \times 42.05) = 198.74 \times 10^{-2} \text{ mm}$$

### 5.3 EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD ESTRUCTURAL

A continuación se presentan las deflexiones admisibles por años de evaluación de cada tramo sectorizado por IMD.

Cuadro N° 5.1 Deflexiones admisibles para tramos según IMD.

TRAMO					
Zúñiga 56+600 -		P. Nuevo 66+580 -		Capillucas 94+640 -	
P. Nuevo 66+581		Chichicay 92+111		Dv. Yauyos 127+001	
Años	Da	Años	Da	Años	Da
1	152.2	1	147.5	1	271.1
2	127.4	2	123.5	2	226.9
3	114.6	3	111.0	3	204.1
5	99.9	5	96.8	5	178.0

Da = Deflexiones admisibles. Las Da están en  $10^{-2}$  mm<sup>2</sup>

Fuente elaboración propia

Cuadro N° 5.2 Sectorización de la carretera por tramos

Estaca (Km.) sectorización según IMD	$e_{prom}$ (mm)	$D_p$ $10^{-2}$ mm	$R_c$ promedio (m)	Desviación estándar	$D_c$ $10^{-2}$ mm	Da (1 año)
59+300 AL 60+300	0.007	117.33	74.69	42.58	187.38	152.20
66+600 AL 77+000	0.012	75.05	110.50	26.06	117.92	147.50
80+100 AL 91+500	0.011	95.94	97.63	39.64	161.15	147.50
<b>97+800 AL 101+000</b>	<b>0.006</b>	<b>111.30</b>	<b>71.26</b>	<b>53.16</b>	<b>198.74</b>	<b>271.10</b>

Fuente elaboración propia

De los cuadros N° 5.1 y 5.2 se puede indicar que:

1. Para el tramo Km. 59+300 al 60+300, que se midió cuesta arriba la Deflexión característica  $D_c = 187.38 \times 10^{-2}$  mm es mayor que la Deflexión admisible  $D_a = 152.20 \times 10^{-2}$  mm, y con un radio de curvatura promedio de 74.69, estructuralmente, el tramo tiene un mal comportamiento, aunque no se observó fallas estructurales en la superficie en su recorrido se pudo apreciar la existencia al lado derecho de la carretera de un canal de regadío sin revestir cuya cota de fondo se encuentra por debajo de los 0.30 cm de la primera capa de la subrasante correspondiente a un suelo SC-CM y ubicándose en la siguiente capa de 0.70 cm. correspondiente a un suelo SC.

2. En el segundo tramo sectorizado Km. 66+600 AL 77+000, la Deflexión característica  $D_c = 117.92 \times 10^{-2}$  mm es mayor para un periodo de evaluación de tres años en que la Deflexión admisible es  $D_a = 111.0 \times 10^{-2}$  mm, Antes de cumplir los tres años se debe realizar un recapeo.

3. En el tercer tramo sectorizado Km. 80+100 al 91+500, la Deflexión característica  $D_c = 161.15 \times 10^{-2}$  mm es mayor que la Deflexión admisible  $D_a = 147.5 \times 10^{-2}$  mm, se deben excavar calicatas en las zonas de mayor deflexión máxima y realizar un recapeo lo antes posible en esta zona.

4. El cuarto tramo sectorizado 97+800 AL 101+000 tiene un buen comportamiento estructural ya que la deflexión característica  $D_c = 198.74 \times 10^{-2}$  mm es menor que la Deflexión admisible  $D_a = 271.10 \times 10^{-2}$  mm.

Aplicando lo anterior al tramo evaluado luego de la sectorización: KM 97+800 al 101+000 se puede determinar que:

- Desde el punto de vista del análisis de las deflexiones la carretera en el tramo en estudio (Ver cuadros N° 5.1 y 5.2) Km. 97+800 al Km. 101+000, se encuentra en buen estado ya que la deflexión característica  $D_c = 198.74 \times 10^{-2}$  mm será menor que la deflexión admisible  $D_a = 204.10 \times 10^{-2}$  mm durante un periodo de 3 años, tiempo requerido para realizar trabajos de mantenimiento considerando que en un subtramo del tramo estudiado se han realizado trabajos de recapeo sobre monocapa (KM. 100+500 AL 101+450) en junio de este año.
- En líneas generales el tramo tendrá un buen comportamiento durante un periodo de evaluación de tres años con deflexión admisible de  $204.10 \times 10^{-2}$  mm, pero habrá que poner atención en la progresiva Km. 97+800 ya que en este punto la medida de la deflexión máxima es la mas alta  $217.20 \times 10^{-2}$  mm y pasará el valor de la deflexión admisible antes de cumplir los 03 años, igualmente en la progresiva Km. 108+800, ya que con una deflexión máxima de  $189.10 \times 10^{-2}$  mm al culminar el periodo de evaluación estaría a punto de alcanzar tal deflexión admisible.

- Para el mismo periodo de evaluación de 03 años, se tiene que la deflexión característica ( $D_c = 198.74 \times 10^{-2}$  mm) es ligeramente menor que la deflexión admisible ( $D_a = 204.10 \times 10^{-2}$  mm), por lo tanto cumple con tener un buen comportamiento. Antes de cumplir este periodo es preciso recapear el tramo en estudio, el espesor de diseño dependerá de los ensayos destructivos que se hagan en los puntos de mayor deflexión encontrada.
- Con un periodo de evaluación de 05 años, se tiene que la deflexión característica ( $D_c = 198.74 \times 10^{-2}$  mm) logra pasar el valor de la deflexión admisible ( $D_a = 178.0 \times 10^{-2}$  mm), por lo tanto antes de culminar este periodo el pavimento no soportará y fallará.
- En el deflectograma (ver figura N° A.2.1 de los anexos) se puede diferenciar tres tipos de comportamientos homogéneos el primero desde el Km. 59+300 al 66+600 al segundo desde el 66+700 al 84+700, y el último desde el 84+800 al 101+000. dándose los valores más altos en el primer y el último tramo. En el primer tramo debido a la presencia de un canal de regadío no revestido al lado derecho de la carretera y en el segundo tramo principalmente a pequeños espesores del pavimento.
- En el comportamiento a homogéneo N° 2 (ver deflectograma de la figura N° A.2.1) desde el Km. 66+600 al 84+700, donde la carretera tiene parecida composición del suelo de subrasante, igual IMD, pero diferente tipo de pavimento aplicado, se dan deflexiones mayores en el sector monocapa. Se puede indicar que el comportamiento estructural de un pavimento obedece al conjunto estructura y suelo y que la monocapa ofrece menor resistencia al tráfico vehicular dado que su espesor promedio es de 4 mm frente a los 11 mm de espesor promedio que tiene la capa slurry.

## CONCLUSIONES

1. El tramo evaluado Km. 97+800 al Km. 101+000 de la carretera se encuentra en buen estado estructural.
2. El análisis de deflexiones indica que para periodos de evaluación mayores a tres años, las deflexiones características son mayores a las deflexiones admisibles. El tramo evaluado se encuentra en buenas condiciones estructurales para un periodo de tres años contados a partir del año 2009.
3. En una red secundaria de carreteras la Viga Benkelman es el instrumento más adecuado con el que se puede realizar la evaluación estructural no destructiva debido a su confiabilidad, bajo costo comparado con otros instrumentos de medición y debido al poco tránsito que presenta este tipo de carreteras la interferencia del tránsito vehicular al momento del ensayo no es relevante.
4. La sectorización por índices medio diarios sirve para una mejor determinación de la evaluación estructural de la carretera debido a que las magnitudes de las deflexiones dependen en gran medida de las cargas vehiculares aplicadas.
5. Las formas de la curva de deflexión para el tramo evaluado indican que es un mal pavimento y una mala subrasante, en el tramo evaluado, debido a valores bajos de radio de curvatura y altas deflexiones.
6. Las Deflexiones máximas picos encontradas son muy altas y no corresponden a una carretera con poco tiempo de haber sido tratada.
7. El exceso de tráfico causado por el proyecto de la Central Hidroeléctrica EL PLATANAL ha provocado aumento rápido y considerable en las deflexiones del pavimento de la carretera a pesar del mantenimiento rutinario ejecutado por el contratista. Según las condiciones de contratación solo se permite la mejora a nivel de superficie.

## RECOMENDACIONES

1. Debido al inadecuado sistema de drenaje que presenta la carretera se debe colocar un sistema de cunetas cuanto antes para evitar que las actuales condiciones estructurales del pavimento y su superficie de rodadura a futuro sufran deterioro.
2. Para ese tipo de carreteras que son de bajo volumen de tránsito se recomienda hacer proyecciones en las evaluaciones estructurales para periodos menores a 5 años debido a que un aumento en el tráfico no produce aumento considerable en las deflexiones admisibles pasado este periodo y la solución empleada en este caso solo es tratamiento superficial.
3. Se recomienda por criterios de proceso constructivo en rehabilitaciones o mantenimientos la toma de medidas en ambos carriles con un desfase de 50 m y estas se analicen en conjunto para no tener diferentes soluciones de diseño, además que el personal técnico cuente con la experiencia necesaria en el uso de la Viga Benkelman,
4. Durante el último conflicto social ocurrido en la ciudad de La Oroya y la consecuente paralización de la Carretera Central se utilizó esta vía como alterna para el paso de vehículos y en forma mayoritaria de las camionetas que prestan el servicio denominado colectivo, no hay registros de conteo de vehículos durante este periodo. Se recomienda realizar conteos en periodos críticos como éste para un mejor monitoreo estructural de la carretera.
5. Debido a que esta carretera conecta Lima con Huancayo, se presenta como alternativa a la Carretera Central por lo tanto se prevé que el tráfico aumente considerablemente en pocos años para lo cual se recomienda hacer un mayor seguimiento de la capacidad estructural del pavimento y realizar la evaluación estructural cada tres años, periodo que coincide con los mantenimientos según las normas del MTC.
6. En los puntos de elevada deflexión máxima, que sobre pasan las deflexiones admisibles calculadas para un año, la carretera ha fallado estructuralmente sin embargo no se apreciaron agrietamientos severos, en estos casos se debe confrontar la información de trabajos recientes hechos por el contratista (recapeos) con los resultados de la excavación de calicatas para un mejor entendimiento y solución.

## BIBLIOGRAFÍA

1. CÉSPEDES, José, “Los Pavimentos en las Vías Terrestres”, Universidad Nacional de Cajamarca, Cajamarca, 2002.
2. CHANG, Carlos, “Pavimentos Un Enfoque al Futuro”, Segunda Edición, Fondo Editorial Instituto de la Construcción y Gerencia, Lima, 2007.
3. CONSORCIO PCI – CESEL, “Estudio del la Rehabilitación de las Carreteras afectadas por “El Niño” MTC-SINMAC-JBIC; Lima, 2000.
4. FERNANDEZ Wilder; “Evaluación y Reparación de Pavimentos Asfálticos”, Informe de Suficiencia, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú, 2004.
5. GUTIÉRREZ, José, “Modelación Geotécnica de Pavimentos Flexibles con Fines de Análisis Y Diseño En El Perú, Tesis De Maestría”, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima – Perú, 2007.
6. HOFFMAN, Mario S. - Louis Berger Internacional Inc., Pablo m. Del Águila, B.Sc. Lagesa Ingenieros Consultores. “Estudios de Evaluación Estructural de Pavimentos Basados en La Interpretación de Curvas de Deflexiones (Ensayos No Destructivos)” Octubre, 1985.
7. MALLQUE Percy, Tesis de grado “Estudios de Evaluación Estructural de Pavimentos basados en la Interpretación de Deflexiones con el Modelo de Hogg-Aplicación”, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima 2002.
8. MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES PROVIAS NACIONAL; “Estudios Técnicos para el cambio de Estándar de Afirmado a Solución Básica”, Carretera: Cañete – Lunahuana – Pacarán - Chupaca Y Rehabilitación del Tramo Zuñiga – Dv Yauyos – Ronchas”; Lima, Perú ,2007.
9. MINISTERIO DE TRANPOSTES Y COMUNICACIONES PROVIAS NACIONAL; “Servicio de Conservación Vial de la Carretera: Cañete – Lunahuana – Pacarán - Chupaca Y Rehabilitación del Tramo Zuñiga – Dv Yauyos – Ronchas”; Lima, Perú, Septiembre 2007.

10. NEWCOMB E. – Birgisson Björn – “Measuring In Situ Mechanical Properties Of Pavement Subgrade Soils”, National Publication Cooperative Highway research Program - Transportation Research Board 1999.

#### Referencias en Internet

1. [www.camineros.com](http://www.camineros.com)
2. [www.proviasnac.gob.pe](http://www.proviasnac.gob.pe)

## ANEXOS

ANEXO N° 01 - DETERMINACION DE LAS DEFLEXIONES ADMISIBLES

ANEXO N° 02 - CALCULO DE DEFLEXIONES MAXIMAS Y RADIOS DE  
CURVATURA

ANEXO N° 03 - SECTORIZACION DE LA CARRETERA

ANEXO N° 04 - GRAFICAS DEL TRAMO SECTORIZADO

ANEXO N° 05 - PRINCIPALES PROBLEMAS UBICADOS EN EL TRAMO KM.  
99+000 – KM. 104+000.

ANEXO N° 06 - ESTADO ACTUAL DEL TRAMO EVALUADO KM. 99+000 AL  
104+000

ANEXO N° 07 - PANEL FOTOGRAFICO

## ANEXO 01 - DETERMINACION DE LAS DEFLEXIONES ADMISIBLES

Cuadro N° A1.1 Cálculo de IMD para el año 2010

Tipo de Vehículo	IMD 2008 (*)				Tasa de crecimiento i (%)	IMD 2009 (**)		
	Zuñiga 56+600 - P. Nuevo 66+580	P. Nuevo 66+580 - Chichicay 92+110	Chichicay 92+110 - Capillucas 94+640	Capillucas 94+640 - Dv. Yauyos 127+000		Zuñiga 56+600 - P. Nuevo 66+580	P. Nuevo 66+580 - Capillucas 94+640	Capillucas 94+640 - Dv. Yauyos 127+000
Automovil	6	3	2	1	2.6	6	3	1
Camioneta	194	289	58	20	2.6	199	297	21
Combi Rural	74	61	18	4	2.6	76	63	4
Micro	48	68	8	0	1.4	49	69	0
Omnibus 2E	15	14	13	8	1.4	15	14	8
Omnibus 3E	1	0	1	0	1.4	1	0	0
Camión 2 Ejes	47	42	30	9	4.6	49	44	9
Camión 3 Ejes	9	4	2	11	4.6	9	4	12
Camión 4 Ejes	1	2	2	0	4.6	1	2	0
Semitraylers	28	53	98	0	4.6	29	55	0
Traylers	38	33	0	0	4.6	40	35	0
<b>TOTAL</b>						475	585	55

(\*) Fuente: Conservación Vial Por Niveles de Servicio de la Carretera Cañete - Lunahuaná - Pacarán - Chupaca y Rehabilitación del Tramo Zuñiga - Dv. Yauyos - Ronchas

Cuadro N° A1.2 Cálculo de Pesos y EE

Nro.	Tipo de vehículo	Descripción	Eje delantero	Ejes posteriores		EE <sub>8.2 TN</sub>
				1er eje	2do eje	
1	Omnibus 2E	Carga (Tn)	7	11		18
		F.E.C.	1.265	3.238		4.504
2	Omnibus 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

Fuente: Manual de Diseño de Carreteras Pavimentadas de Bajo Volumen de Tránsito

Nota: Los pesos de los ejes se han determinado utilizando el reglamento de pesos y medidas máximas permiti

Cuadro N° A1.3 Cálculo de Pesos factores de carga

Nro.	Tipo de vehículo	Factor de Carga
1	Ómnibus 2E	4.504
2	Camión 2 Ejes	4.504
3	Camión 3 Ejes	3.285

## ANEXO 01 - DETERMINACION DE LAS DEFLEXIONES ADMISIBLES

Cuadro N° A1.4 Cálculo de EAL para el tramo Zúñiga P. Nuevo

Tipo de vehículo	Factor de Carga	IMD <sub>2009</sub>	Tasa de crecimiento (i%)	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>		
Micro	4.504	49	1.4	1	80009	2	161137	3	243402	5	411402		
Omnibus 2E	4.504	15	1.4	1	25003	2	50355	3	76063	5	128563		
Omnibus 3E	3.285	1	1.4	1	1216	2	2448	3	3698	5	6251		
Camión 2 Ejes	4.504	49	4.6	1	80814	2	165346	3	253766	5	442995		
Camión 3 Ejes	3.285	9	4.6	1	11286	2	23092	3	35440	5	61867		
Camión 4 Ejes	2.283	1	4.6	1	872	2	1783	3	2737	5	4778		
Semitraylers	6.523	29	4.6	1	69730	2	142668	3	218961	5	382237		
Traylers	10.980	40	4.6	1	159301	2	325931	3	500225	5	873234		
Nota: N <sub>18</sub> , numero total de ejes equivalentes a 18 klb o 8.2 ton (en millones)				EAL N <sub>18</sub>		4.28E+05		8.73E+05		1.33E+06		2.31E+06	
				Da (x 10 <sup>-2</sup> mm)		0.214		0.436		0.667		1.156	
						152.2		127.4		114.6		99.9	

Cuadro N° A1.5 Cálculo de EAL para el tramo P. Nuevo Chichicay

Tipo de vehículo	Factor de Carga	IMD <sub>2009</sub>	Tasa de crecimiento (i%)	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>		
Micro	4.504	69	1.4	1	113346	2	228278	3	344820	5	582820		
Omnibus 2E	4.504	14	1.4	1	23336	2	46998	3	70992	5	119992		
Omnibus 3E	3.285	0	1.4	1	0	2	0	3	0	5	0		
Camión 2 Ejes	4.504	44	4.6	1	72217	2	147756	3	226769	5	395868		
Camión 3 Ejes	3.285	4	4.6	1	5016	2	10263	3	15751	5	27496		
Camión 4 Ejes	2.283	2	4.6	1	1743	2	3567	3	5474	5	9556		
Semitraylers	6.523	55	4.6	1	131989	2	270050	3	414462	5	723520		
Traylers	10.980	35	4.6	1	138341	2	283045	3	434406	5	758335		
Nota: N <sub>18</sub> , numero total de ejes equivalentes a 18 klb o 8.2 ton (en millones)				EAL N <sub>18</sub>		4.86E+05		9.90E+05		1.51E+06		2.62E+06	
				Da (x 10 <sup>-2</sup> mm)		0.243		0.495		0.756		1.309	
						147.5		123.5		111.0		96.8	

Cuadro N° A1.6 Cálculo de EAL para el tramo Capillucas Dv. Yauyos

Tipo de vehículo	Factor de Carga	IMD <sub>2009</sub>	Tasa de crecimiento (i%)	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>		
Micro	4.504	0	1.4	1	0	2	0	3	0	5	0		
Omnibus 2E	4.504	8	1.4	1	13335	2	26856	3	40567	5	68567		
Omnibus 3E	3.285	0	1.4	1	0	2	0	3	0	5	0		
Camión 2 Ejes	4.504	9	4.6	1	15475	2	31662	3	48593	5	84829		
Camión 3 Ejes	3.285	12	4.6	1	13794	2	28223	3	43315	5	75615		
Camión 4 Ejes	2.283	0	4.6	1	0	2	0	3	0	5	0		
Semitraylers	6.523	0	4.6	1	0	2	0	3	0	5	0		
Traylers	10.980	0	4.6	1	0	2	0	3	0	5	0		
Nota: N <sub>18</sub> , numero total de ejes equivalentes a 18 klb o 8.2 ton (en millones)				EAL N <sub>18</sub>		4.26E+04		8.67E+04		1.32E+05		2.29E+05	
				Da (x 10 <sup>-2</sup> mm)		0.021		0.043		0.066		0.115	
						271.1		226.9		204.1		178.0	

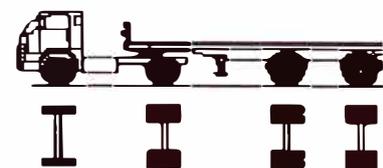
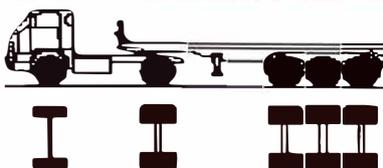
## ANEXO 01 - DETERMINACION DE LAS DEFLEXIONES ADMISIBLES

Cuadro N° A1.7 Pesos de Vehículos a considerar – Reglamento nacional de Vehículos

Lima, domingo 12 de octubre de 2003  Pág. 252981

### ANEXO IV: PESOS Y MEDIDAS

#### 1. PESOS Y MEDIDAS MÁXIMAS PERMITIDAS

Configuración vehicular	Descripción gráfica de los vehículos	Long. Máx. (m)	Eje Delant	Peso máximo (t)				Peso bruto máx. (t)
				Conjunto de ejes posteriores				
				1°	2°	3°	4°	
C2		12,30	7	11	—	—	—	18
C3		13,20	7	18	—	—	—	25
C4		13,20	7	23 <sup>(1)</sup>	—	—	—	30
Bx4		13,20	7+7 <sup>(1)</sup>	18	—	—	—	32
T2S1		20,50	7	11	11	—	—	29
T2S2		20,50	7	11	18	—	—	38
T2Sx2		20,50	7	11	11	11	—	40
T2S3		20,50	7	11	25	—	—	43

## ANEXO 02 - CALCULO DE DEFLEXIONES MAXIMAS Y RADIOS DE CURVATURA

### Cuadro N° A2.1 Valores obtenidos del ensayo de Viga Benkelman EVALUACION ESTRUCTURAL DE LA CARRETERA CAÑETE - YAUYOS - CHUPACA

#### MEDICIÓN DE DEFLEXIONES CON VIGA BENKELMAN

TRAMO	Km. 59+300 Km. 101+000	OPERADOR	UNI
CARRIL	: Derecho	RELACIÓN VP	: 4:1
CAPA	: SLURRY + MONOCAPA	FECHA	: 03/10/2009

Estaca (Km.)	Lecturas de Campo (10 <sup>-3</sup> pulg.)				Espesor (m)	Temp (°C)	RESULTADOS DEFLECTOMÉTRICOS		Radio Curvatura (m)	OBSR
							Deflexiones Corregidas			
	L <sub>25</sub>	L <sub>40</sub>	L <sub>70</sub>	L <sub>max</sub>			D <sub>25</sub> x 10 <sup>-2</sup> mm	D <sub>MAX</sub> x 10 <sup>-2</sup> mm		
59+300	6.00	12.00	16.00	28.00	0.010	29.0	95.9	122.1	119.4	SLURRY
59+400	8.00	14.00	16.00	18.00	0.007	38.0	43.5	78.2	89.9	
59+500	8.00	12.00	16.00	18.00	0.006	44.0	43.4	78.1	90.1	
59+600	8.00	10.00	16.00	20.00	0.008	44.0	51.8	86.3	90.5	
59+700	10.00	14.00	14.00	20.00	0.007	46.0	43.2	86.4	72.3	
59+800	12.00	20.00	22.00	26.00	0.007	48.0	60.4	112.2	60.3	
59+900	8.00	12.00	18.00	20.00	0.006	48.0	51.9	86.5	90.3	
60+000	12.00	16.00	24.00	26.00	0.009	49.0	60.0	111.5	60.7	
60+100	14.00	32.00	34.00	36.00	0.006	49.0	95.1	155.7	51.6	
60+200	14.00	34.00	36.00	38.00	0.006	48.0	103.9	164.4	51.6	
60+300	16.00	32.00	44.00	48.00	0.005	40.0	139.4	209.1	44.8	
66+600	8.00	14.00	26.00	32.00	0.014	43.0	102.3	136.4	91.6	
66+700	6.00	8.00	10.00	12.00	0.007	44.0	26.0	51.9	120.4	
66+800	4.00	6.00	8.00	10.00	0.014	44.0	25.5	42.6	183.5	
66+900	10.00	14.00	16.00	18.00	0.020	44.0	33.6	75.6	74.4	
67+000	6.00	8.00	10.00	12.00	0.009	46.0	25.8	51.6	121.1	
71+500	6.00	8.00	10.00	12.00	0.011	40.0	25.8	51.7	121.0	
71+600	8.00	14.00	16.00	18.00	0.012	40.0	43.0	77.3	90.9	
71+700	8.00	12.00	16.00	22.00	0.013	39.0	60.1	94.5	91.0	
71+800	6.00	8.00	10.00	12.00	0.007	43.0	26.0	52.0	120.3	
71+900	8.00	14.00	18.00	20.00	0.006	44.0	52.1	86.8	90.1	
76+600	8.00	16.00	22.00	24.00	0.015	49.0	67.5	101.2	92.6	
76+700	8.00	16.00	22.00	24.00	0.010	48.0	68.5	102.7	91.3	
76+800	4.00	8.00	10.00	12.00	0.008	50.0	34.4	51.6	181.8	
76+900	8.00	12.00	16.00	18.00	0.020	50.0	41.5	74.7	94.1	
77+000	8.00	12.00	16.00	18.00	0.016	52.0	41.9	75.3	93.3	
80+100	6.00	10.00	14.00	18.00	0.013	55.0	50.5	75.8	123.8	
80+200	8.00	12.00	20.00	26.00	0.009	52.0	77.0	111.2	91.3	
80+300	10.00	16.00	24.00	30.00	0.011	56.0	84.6	127.0	73.8	
80+400	8.00	18.00	24.00	26.00	0.011	56.0	76.2	110.0	92.3	
80+500	12.00	18.00	28.00	32.00	0.011	54.0	84.8	135.7	61.4	
84+600	6.00	12.00	14.00	18.00	0.011	54.0	50.9	76.3	122.8	
84+700	4.00	6.00	8.00	8.00	0.009	56.0	17.0	34.1	183.3	
84+800	6.00	8.00	14.00	14.00	0.012	57.0	33.7	59.0	123.6	
84+900	8.00	12.00	18.00	20.00	0.013	60.0	50.2	83.7	93.4	
85+000	8.00	10.00	14.00	16.00	0.013	61.0	33.4	66.8	93.5	
91+100	10.00	16.00	20.00	22.00	0.009	54.0	51.2	93.9	73.2	
91+200	8.00	14.00	20.00	22.00	0.011	53.0	59.4	93.4	92.0	
91+300	8.00	14.00	18.00	24.00	0.007	53.0	68.8	103.2	90.8	
91+400	12.00	16.00	20.00	48.00	0.009	54.0	153.7	204.9	61.0	
91+500	8.00	14.00	16.00	20.00	0.012	54.0	50.7	84.6	92.4	
<b>Tramo sectorizado analizado – monocapa IMD Capillucas KM 94+640 a Dv. Yauyos KM127+000</b>										
97+800	20.00	28.00	40.00	50.00	0.004	52.0	130.3	217.2	36.0	MONOCAPA + SLURRY SEAL
97+900	12.00	18.00	20.00	22.00	0.004	55.0	43.4	95.5	60.0	
98+000	8.00	12.00	14.00	16.00	0.004	57.0	34.7	69.4	90.1	
98+100	8.00	10.00	12.00	14.00	0.005	58.0	25.9	60.5	90.5	
98+200	14.00	24.00	28.00	30.00	0.005	50.0	69.4	130.0	51.5	
100+500	8.00	10.00	14.00	16.00	0.006	52.0	34.5	69.1	90.5	
100+600	12.00	14.00	20.00	22.00	0.007	53.0	43.0	94.6	60.6	
100+700	8.00	10.00	12.00	12.00	0.010	54.0	17.0	51.1	91.8	
100+800	12.00	14.00	32.00	44.00	0.007	54.0	137.5	189.1	60.6	
100+900	12.00	20.00	24.00	28.00	0.008	54.0	68.5	119.9	60.8	
101+000	8.00	20.00	28.00	30.00	0.010	52.0	93.8	127.9	91.6	

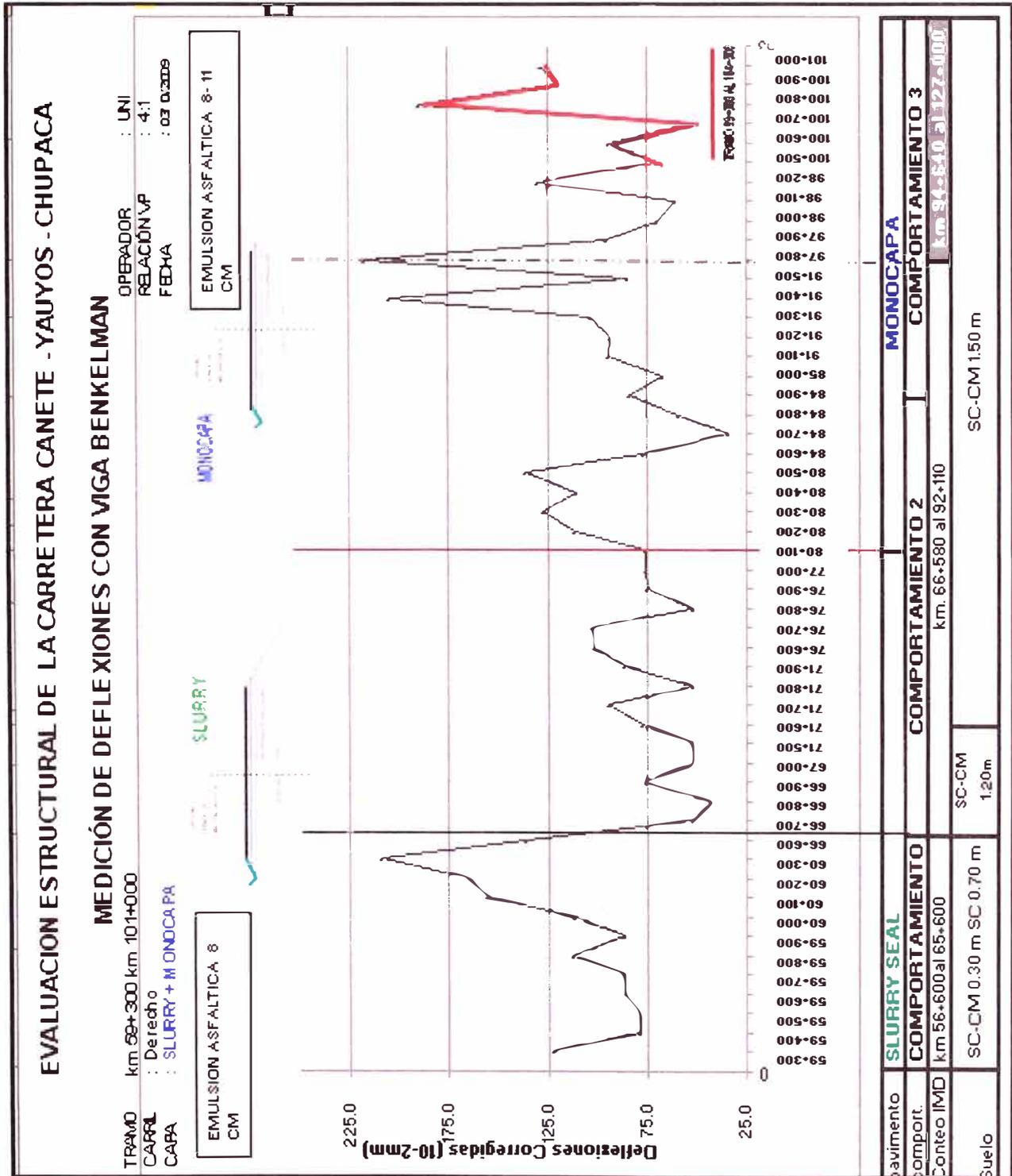


Figura N° A2.1 Deflexiones máximas y sectorización de la carretera

## ANEXO 03 - SECTORIZACION DE LA CARRETERA

### Cuadro N° A3.1 Cálculos de deflexiones del tramo evaluado EVALUACION ESTRUCTURAL DE LA CARRETERA CAÑETE - YAUYOS - CHUPACA

#### MEDICIÓN DE DEFLEXIONES CON VIGA BENKELMAN TRAMO SECTORIZADO POR TIPO DE PAVIMENTO Y CONTEO IMD

TRAMO Km. 97+800 101+000

OPERADOR

: UNI

CARRIL : Derecho

RELACIÓN VP

: 4:1

CAPA :  
**MONOCAPA**

FECHA

: 03/10/2009

Estaca (Km.)	Lecturas de Campo (10 <sup>-3</sup> pulg.)				Espesor (m)	Temp (°C)	RESULTADOS DEFLECTOMÉTRICOS				Radio Curvatura (m)
							Deflex. X fct. Viga		Deflexiones Corregidas		
	L <sub>25</sub>	L <sub>40</sub>	L <sub>70</sub>	L <sub>max</sub>			D <sub>25</sub> x 10 <sup>-2</sup> mm	D <sub>0</sub> x 10 <sup>-2</sup> mm	D <sub>25</sub> x 10 <sup>-2</sup> mm	D <sub>MAX</sub> x 10 <sup>-2</sup> mm	
97+800	20.00	28.00	40.00	50.00	0.004	52.0	120.0	200.0	130.3	217.2	35.97
97+900	12.00	18.00	20.00	22.00	0.004	55.0	40.0	88.0	43.4	95.5	60.01
98+000	8.00	12.00	14.00	16.00	0.004	57.0	32.0	64.0	34.7	69.4	90.09
98+100	8.00	10.00	12.00	14.00	0.005	58.0	24.0	56.0	25.9	60.5	90.47
98+200	14.00	24.00	28.00	30.00	0.005	50.0	64.0	120.0	69.4	130.0	51.49
100+500	8.00	10.00	14.00	16.00	0.006	52.0	32.0	64.0	34.5	69.1	90.48
100+600	12.00	14.00	20.00	22.00	0.007	53.0	40.0	88.0	43.0	94.6	60.55
100+700	8.00	10.00	12.00	12.00	0.010	54.0	16.0	48.0	17.0	51.1	91.80
100+800	12.00	14.00	32.00	44.00	0.007	54.0	128.0	176.0	137.5	189.1	60.59
100+900	12.00	20.00	24.00	28.00	0.008	54.0	64.0	112.0	68.5	119.9	60.80
101+000	8.00	20.00	28.00	30.00	0.010	52.0	88.0	120.0	93.8	127.9	91.62

Cuadro N° A3.2 Valores estadísticos tramo evaluado

Tramo Total	Deflexiones	Radio de Curvatura
Mínimo	51.06	35.97
Máximo	217.22	91.80
Promedio	111.30	71.26
Desviación	53.16	20.08
Coefi Variación	0.48	0.28
Característico	<b>198.74</b>	<b>97.36</b>

### ANEXO 04 - GRÁFICAS DEL TRAMO SECTORIZADO

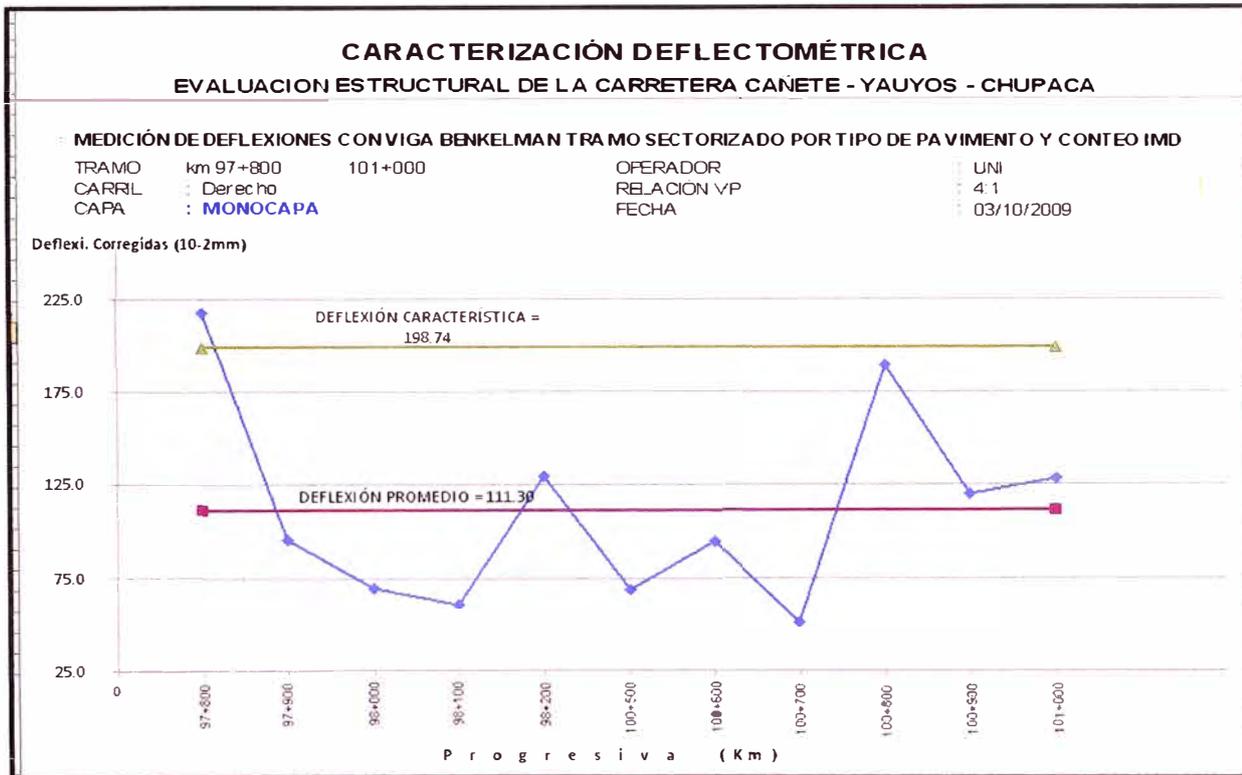


Figura Nº A4.1 Deflexiones máximas entre los km 97+800 al 101+000 solución monocapa

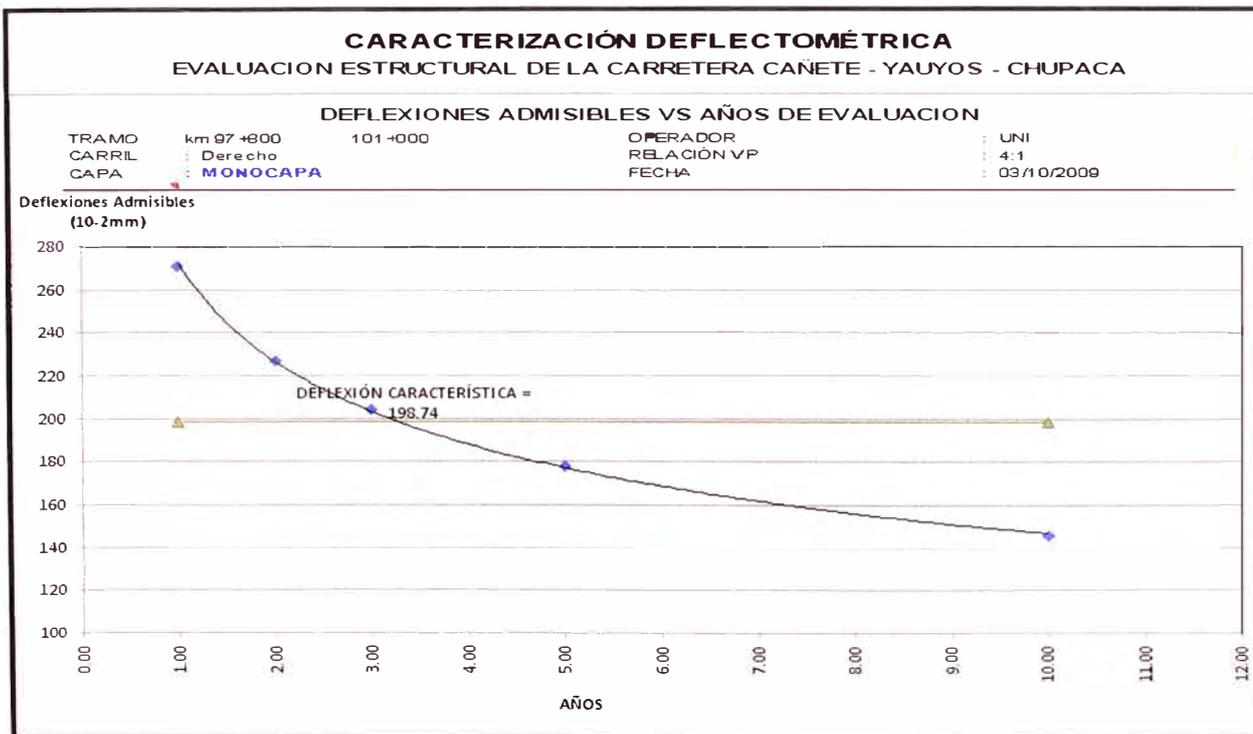


Figura Nº A.4.2 Grafica deflexiones admisibles vs años Tramo monocapa 97+800 al 101+000

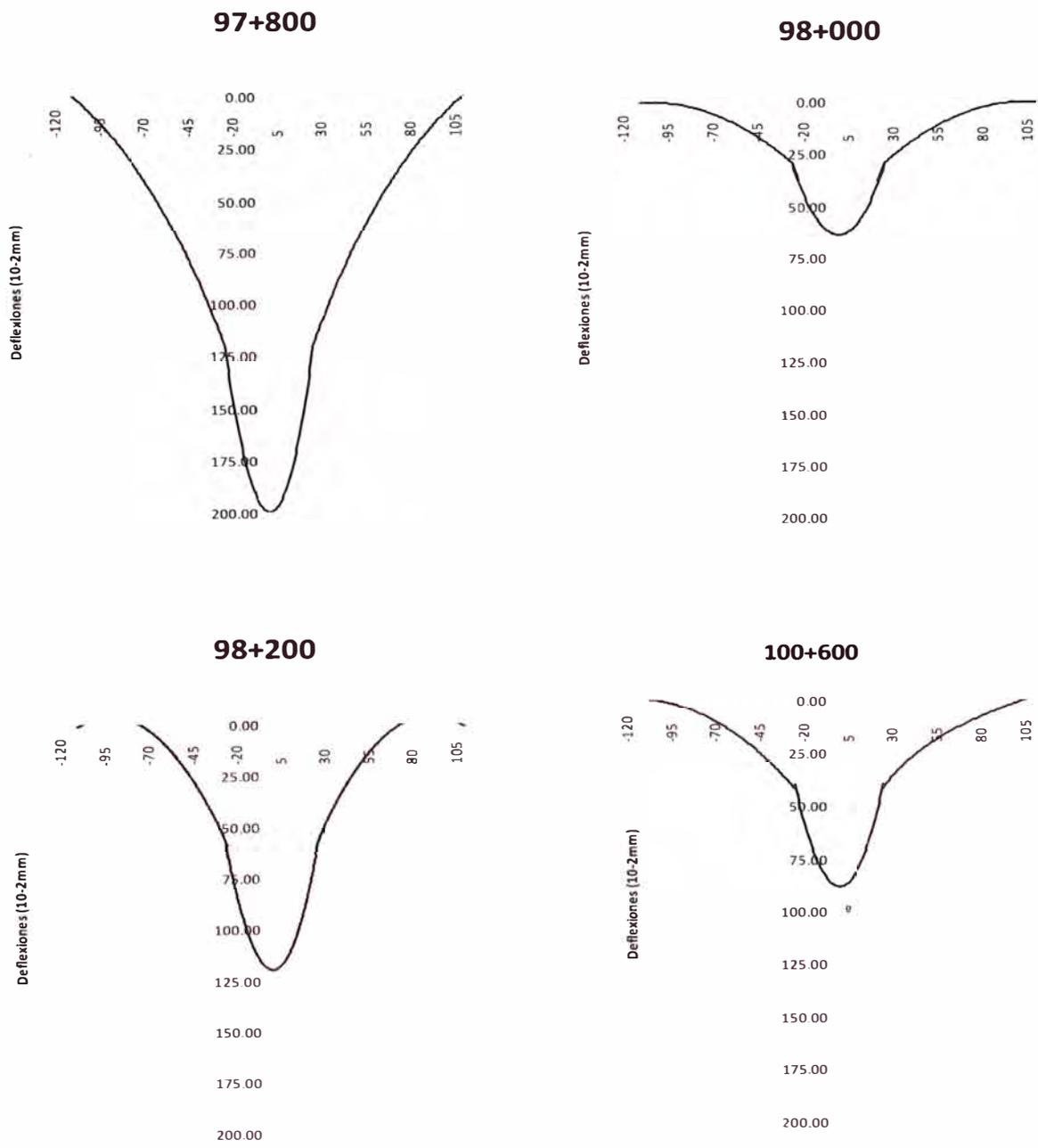


Figura N° A.4.3 Curvas de deflexión tramo 97+800 al 101+000

## **ANEXO N° 05 - PRINCIPALES PROBLEMAS UBICADOS EN EL TRAMO KM. 99+000 – KM. 104+000.**

### **OBRAS DE DRENAJE UBICADAS A LO LARGO DEL TRAMO LUNAHUANA YAUYOS**

- En el tramo Lunahuaná – Yauyos hay 146 Obras de Drenaje.
- 54 Alcantarillas de TMC de 24", 17 Badenes, 06 Puentes, 01 Pontón, 02 Canales de riego, 01 Alcantarilla de losa y 65 Tarjeas (mampostería de piedra).
- No presenta canaleta de drenaje a lo largo de toda la carretera.

### **PROBLEMAS DE TALUDES**

#### **TALUDES INESTABLES**

- Km. 95+505 al 95+605 Inestabilidad de taludes-caída de materiales.

#### **TALUDES INFERIORES EROSIONADOS (plataforma comprometida)**

- Km. 101+012 al 101+020 Erosión de talud inferior.
- Km. 104+805 al 104+855 Erosión de talud inferior.

### **PROBLEMAS DE ANCHOS REDUCIDOS**

- Km. 104+205 al 104+255 Vía angosta con topografía accidentada.

Fuente: Informe del CGC DEL Proyecto Conservación Vial de la Carretera Cañete – Lunahuana – Pacarán – Chupaca y Rehabilitación del tramo Zuñiga Dv. Yauyos - Rochas

## ANEXO Nº 06 - ESTADO ACTUAL DEL TRAMO EVALUADO KM. 99+000 AL 104+000

### Progresiva: Km. 99+000

- Tratamiento Superficial:  
Monocapa
- Fallas Característica:  
Desgaste de Superficie
- Ancho de Plataforma:  
4.00 m
- Sección:  
A media ladera
- Talud: 1:1
- Drenaje: No presenta  
Cunetas



Fotografía Nº A6.1 Progresiva: Km. 99+000

### Progresiva: Km. 99+900

- Tratamiento Superficial:  
Monocapa
- Fallas Característica:  
Desgaste de Superficie
- Ancho de Plataforma:  
4.00 m
- Sección:  
A media ladera
- Talud: 1:1
- Drenaje:  
No presenta Cunetas  
Alcantarillas TMC 24”.



Fotografía Nº A6.2 Progresiva: Km. 99+900

## ANEXO N° 06

### Progresiva: Km. 100+500

- Tratamiento Superficial:  
Slurry sobre monocapa
- Fallas Característica:  
Tratamiento nuevo
- Ancho de Plataforma:  
5.00 m
- Sección:  
Plana
- Talud: 1:1
- Drenaje:  
Cunetas de tierra



Fotografía N° A6.3 Progresiva: Km. 100+500

### Progresiva: Km. 101+450

- Tratamiento Superficial:  
Cambio de Slurry a  
Monocapa
- Fallas Característica:  
Desgaste de Superficie
- Ancho de Plataforma:  
5.00 m
- Sección:  
A media ladera
- Talud: 1:1
- Drenaje:  
Cunetas de Tierra



Fotografía N° A6.4 Progresiva: Km. 101+450

## ANEXO N° 06

### Progresiva: Km. 102+500

- Tratamiento Superficial:  
Monocapa
- Fallas Característica:  
Tratamiento nuevo
- Ancho de Plataforma:  
4.00 m
- Sección:  
A media ladera
- Talud: 85°
- Drenaje:  
Cunetas de Tierra



Fotografía N° A6.5 Progresiva: Km. 102+500

### Progresiva: Km. 103+500

- Tratamiento Superficial:  
Monocapa
- Fallas Característica:  
Desgaste de Superficie
- Ancho de Plataforma:  
5.00 m
- Sección:  
A media ladera
- Talud: 1:1
- Drenaje:  
Cunetas de Tierra



Fotografía N° A6.6 Progresiva: Km. 103+500

## ANEXO N° 06

### Progresiva: Km. 104+000

- Tratamiento Superficial:  
Monocapa
- Fallas Característica:  
Desgaste Lateral
- Ancho de Plataforma:  
5.00 m
- Sección:  
A media ladera
- Talud: 1:1
- Drenaje:  
Cunetas de Tierra



Fotografía N° A6.7 Progresiva: Km. 104+000

## ANEXO Nº 07 - PANEL FOTOGRAFICO



Fotografía Nº A7.1 toma de datos en el la progresiva 100+700



Fotografía Nº A7.2 Medición del ancho de capa en la progresiva 100+700

## ANEXO Nº 07 - PANEL FOTOGRAFICO



Fotografía Nº A7.3 Toma de medidas con la viga Renkelman



Fotografía Nº A7.8 Recapeo de monocapa km 100 +290 (28/05/09)