

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



**CARACTERIZACION DE LA VIA CON VIGA BENKELMAN
MONITOREO DE CONSERVACION
CARRETERA CAÑETE-HUANCAYO Km. 104+000 AL Km. 106+000**

INFORME DE SUFICIENCIA

Para optar el Título Profesional de:

INGENIERO CIVIL

DYVI ESCALANTE BEJAR

Lima- Perú

2010

A mis padres, mi esposa y en especial a mi hijo Raúl Andrés por ser el motor que impulsa mi vida y hace que pueda superar todos los obstáculos

	Pagina
RESUMEN.....	3
LISTA DE CUADROS.....	4
LISTA DE FIGURAS.....	5
LISTA DE SÍMBOLOS Y DE SIGLAS.....	6
INTRODUCCIÓN.....	7
CAPITULO I: PERFIL DEL PROYECTO.....	9
1.1. UBICACION.....	9
1.2. OBJETIVO DEL PROYECTO	10
1.3. DESCRIPCION Y ANALISIS DEL PROYECTO.....	10
1.3.1 Descripción.....	10
1.3.2 Analisis del Proyecto.....	11
1.3.3 Característica de la carretera.....	14
1.3.4 Características del tramo en estudio.....	17
CAPITULO II: LA VIGA BENKELMAN.....	20
2.1. DESCRIPCION DEL EQUIPO.....	20
2.2. METODO EMPIRICO.....	24
2.3. USO DE LAS MEDIDS DE DEFLEXIONES.....	24
2.4. METODOLOGIA DE ESTUDIO.....	24
2.4.1. Estudio de campo.....	25
2.4.2. Equipo y personal.....	25
2.4.3. Espaciamiento de la toma de medidas deflectometricas.....	26
2.4.4. Procedimiento para la toma de deflexiones.....	27
2.5. PROCESAMIENTO DE LOS VALORES DEFLECTOMETRICOS.....	31
2.6. RESULTADOS OBTENIDOS.....	32
CAPITULO III: PROCESAMIENTO DE DATOS.....	33
3.1. DESCRIPCION DEL METODO EMPIRICO DEL ESTUDIO CONREVI.....	33
3.2. MEDICIONES Y CALCULO DE LAS DEFLEXIONES RECUPERABLES.....	34
3.3. CORRECCION POR TEMPERATURA.....	34
3.4. CORRECCION POR ESTACIONALIDAD.....	35
3.5. CALCULO DEL RADIO DE CURVATURA.....	35

3.6. DEFLEXION CARACTERISTICA.....	37
3.7. DEFLEXION ADMISIBLE.....	39
3.8. ESPESOR DE REFUERZO Y PROCESAMIENTO DE DATOS.....	41
3.9. PROCESAMIENTO DE DATOS.....	42
CAPITULO IV: ANALISIS DE RESULTADOS.....	46
4.1. EVALUACION DE LA CAPACIDAD ESTRUCTURAL.....	46
4.2. EVALUACION ECONOMICA DE LA METODOLOGIA USADA.....	47
4.3. DETERMINACION DE LA DEFLEXION Y SU RELACION CON EL ESTADO PAVIMENTO.....	48
4.4. ANALISIS DEL GRAFICO DEFLECTOMETRICO.....	49
4.5. CARACTERIZACION DEL TRAMO EN ESTUDIO.....	52
CONCLUSIONES.....	54
RECOMENDACIONES.....	57
BIBLIOGRAFIA.....	58
ANEXOS.....	59

RESUMEN

En el presente Informe de Suficiencia se realizó la evaluación estructural del pavimento de la carretera Cañete-Huancayo del tramo Km 104+000 al Km 106+000 mediante la medición de deflexiones, empleando el deflectómetro conocido como Viga Benkelman.

La evaluación estructural del pavimento se llevó a cabo utilizando la Viga Benkelman, la cual permite obtener datos de una manera no destructiva, los mismos que son procesados e interpretados por el método empírico del estudio CONREVIAl (Consortio de Rehabilitación Vial), el cual permite evaluar el debilitamiento progresivo de la estructura del pavimento.

El tramo en estudio está ubicado en la provincia de Yauyos y en este tramo se apreció que no existen zonas pobladas como tampoco áreas de cultivo.

Se constató que el pavimento está con un tratamiento superficial Monocapa desde el mes de febrero del año 2010.

En el presente informe se han determinado las características, tanto ambientales como del pavimento del tramo en estudio, también se identificó el estado del pavimento en base a los resultados obtenidos del ensayo con Viga Benkelman.



LISTA DE CUADROS

	Página
Cuadro N° 1.1	Características de la Población de la Carretera Cañete – Huancayo.....14
Cuadro N° 1.2	Cuadro de temperaturas.....15
Cuadro N° 1.3	Cálculo del estudio de tráfico.....16
Cuadro N° 1.4	Características del Suelo.....18
Cuadro N° 2.1	Resultado de deflexiones.....32
Cuadro N° 3.1	Factores de corrección por estacionalidad.....35
Cuadro N° 3.2	Estado del pavimento según deflexiones.....40
Cuadro N° 4.1	Resumen de resultados del tramo en estudio.....46
Cuadro N° 4.2	Análisis de costos unitarios del ensayo con Viga Benkelman.....47
Cuadro N° 4.3	Análisis de costos unitarios del ensayo C.B.R. in situ.....48
Cuadro N° 4.4	Cálculo del radio de curvatura.....49

LISTA DE FIGURAS

Figura N° 1.1	Recorrido de la Carretera Cañete - Huancayo (L=281.73Km).....	9
Figura N° 1.2	Plano Clave de la Carretera Cañete – Huancayo.....	13
Figura N° 1.3	Foto de la Carretera Cañete –Huancayo Km. 105+300.....	17
Figura N° 1.4	Sección transversal de la plataforma.....	19
Figura N° 1.5	Foto de la Carretera Cañete –Huancayo Km. 105+000.....	19
Figura N° 2.1	Viga Benkelman.....	20
Figura N° 2.2	Deflectómetro de Impacto.....	21
Figura N° 2.3	Esquema de la Viga Benkelman.....	23
Figura N° 2.4	Configuración geométrica del sistema de carga –Viga Benkelman....	27
Figura N° 2.5	Posición inicial del ensayo con Viga Benkelman.....	28
Figura N° 2.6	Lectura a 0.25m del ensayo con Viga Benkelman.....	29
Figura N° 2.7	Lectura máxima del ensayo con Viga Benkelman.....	30
Figura N° 3.1	Deflexiones generadas.....	33
Figura N° 3.2	Parábola y radio de curvatura.....	36
Figura N° 3.3	Tipos de radio de curvatura.....	37
Figura N° 4.1	Parchado de pavimento Km 105+000.....	48
Figura N° 4.2	Grafica Deflexión vs Progresiva.....	50
Figura N° 4.3	Grafica Deflexión vs Progresiva.....	51

LISTA DE SIMBOLOS Y SIGLA

CCGC	Consortio General de Carreteras.
CONREVIAl	Consortio de Rehabilitación Vial.
Cv	Coefficiente de variación.
Dv.	Desvío.
Dt	Deflexión total.
Dp	Deflexión permanente.
Dr	Deflexión recuperable.
END	Ensayos no destructivos.
IMD	Índice medio diario.
IRI	Índice Internacional de Rugosidad.
MTC	Ministerio de Transportes y Comunicaciones.
MSNM	Metros sobre nivel del mar.
NR	No refuerzo.
PERT	Proyecto Especial Rehabilitación de Transportes.
PROMCEPRI	Comisión de Promoción de Concesiones Privadas.
PROVIAS	Proyecto Especial de Infraestructura de Transporte.
Rc	Radio de curvatura.

INTRODUCCION

El desarrollo del presente Informe de Suficiencia tiene por objetivo principal evaluar la estructura del pavimento en el tramo en estudio y mediante esta evaluación tratar de establecer el tiempo apropiado para su mantenimiento.

Para llegar al objetivo planteado es necesario cumplir con los siguientes puntos: recopilar datos de medición de deflexión de campo, empleando la metodología del deflectómetro conocido como Viga Benkelman; procesar los datos de medición de deflexiones en gabinete, empleando el método empírico según el estudio CONREVIAL (Consortio de Rehabilitación Vial); analizar e interpretar los resultados, para así poder determinar la condición estructural en que se encuentra el pavimento.

La evaluación del pavimento mediante el deflectómetro de la Viga Benkelman permitirá medir las deflexiones de una manera sencilla, práctica y económica. Mediante ella, y usando métodos empíricos para interpretar los resultados, es posible evaluar el deterioro progresivo de la estructura del pavimento ya que éstos, durante su serviciabilidad y transitabilidad, presentan deterioros en su estructura por una serie de causas originadas por el hombre y la naturaleza.

En el capítulo I se realiza una breve descripción y características de la carretera en estudio, lo cual dará datos climatológicos, morfológicos y topográficos de la zona, los cuales se deberán tener en cuenta al momento de la evaluación estructural del pavimento.

En el capítulo II se hace una breve descripción del funcionamiento, la utilización y características del deflectómetro Viga Benkelman, así como el procedimiento para realizar la toma de datos.

En el capítulo III se hace una descripción de los procesos de cálculo para la obtención de los valores necesarios para poder determinar el estado del pavimento, asimismo se muestran las diferentes fórmulas a utilizar y la interpretación que se le debe dar a los resultados.

En el capítulo IV se hacen los cálculos y se realizan las gráficas deflectométricas, obtenidos estos datos se procederá a hacer un análisis para posteriormente dar las conclusiones a las cuales se ha llegado.

CAPITULO I: PERFIL DEL PROYECTO

1.1. UBICACIÓN

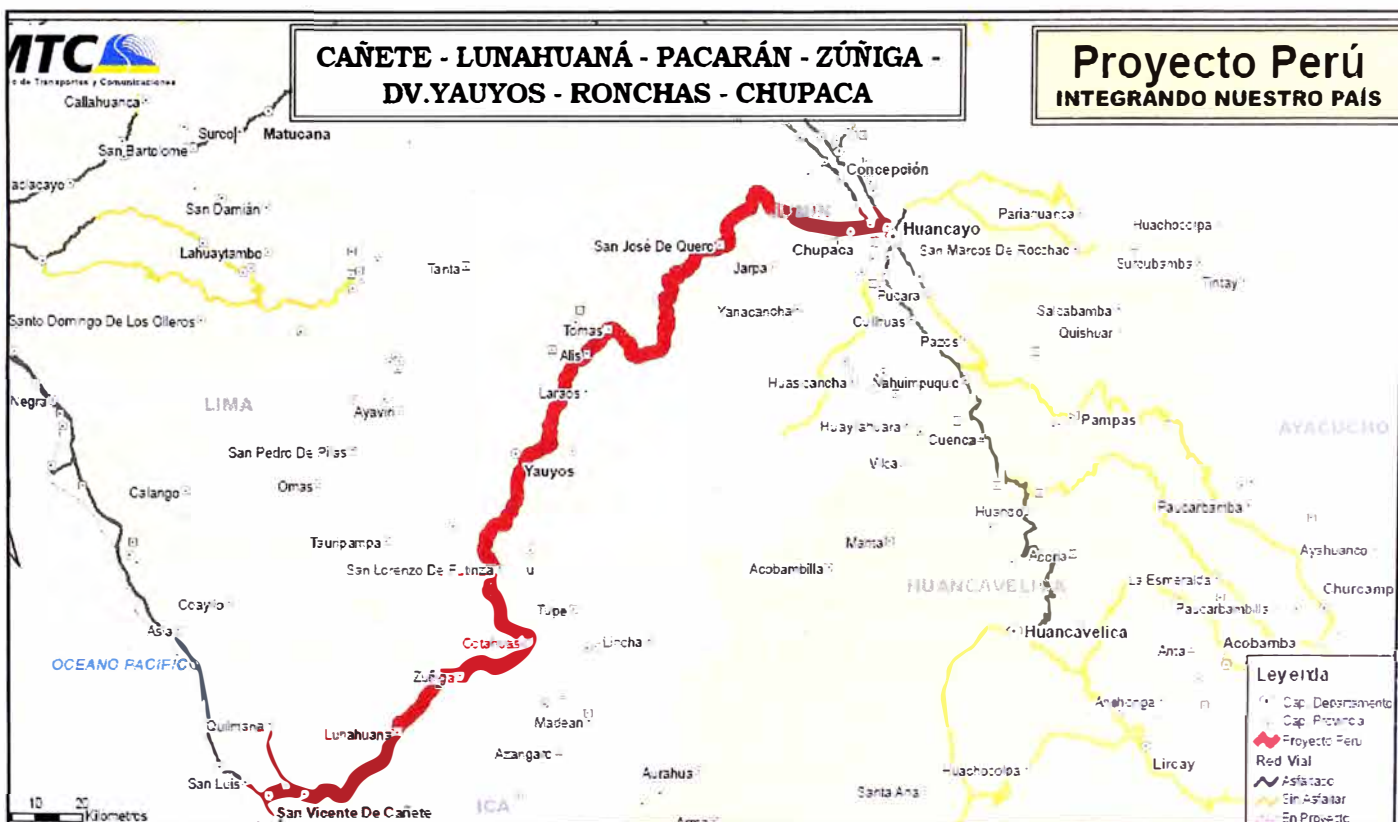
El tramo de carretera materia de estudio se encuentra ubicado en las Provincias de Cañete y Yauyos, en el departamento de Lima.

El valle de Cañete es estrecho y de forma triangular, siendo más amplio en el límite con la región Chala o Costa y el vértice, por el lugar donde ingresa uno de los afluentes principales del río; en este sector se encuentran terrazas que son empleadas para el cultivo.

En el tramo en mención todas las superficies de los cerros son pétreas, rocallosas, reseca y completamente desprovistas de condiciones naturales para la agricultura, por falta de agua. Esta área corresponde a la región Yunga (500 msnm - 2300 msnm).

Figura: 1.1 Plano Cañete-Huancayo

Recorrido de la Carretera Cañete - Huancayo (L=281.73Km)



Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC)

1.2. OBJETIVO DEL PROYECTO

Proponer una metodología adecuada para identificar, mediante los datos obtenidos con la Viga Benkelman, el grado de deterioro del pavimento

1.3. DESCRIPCION Y ANALISIS DEL PROYECTO

1.3.1. DESCRIPCION

En el año 2003, el Proyecto Especial Rehabilitación de Transportes (PERT) del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC) encargó la elaboración del Estudio de Pre-inversión a Nivel de Perfil de la Carretera Ruta 22, Tramo: Lunahuaná – Yauyos – Chupaca, de aproximadamente 245.15 km de longitud, mediante el Contrato de Estudios N° 0412-2003-MTC/20 del 28.11.2003; obteniéndose la aprobación mediante Resolución Directoral N° 815-2004-MTC/20 del 22.11.2004. Con oficio N° 1411-2004-EF/68.01 de fecha 06.10.2004 el Director General de Programación Multianual del Sector Público del MEF autoriza la elaboración del Estudio de Factibilidad del Proyecto Rehabilitación y Mejoramiento de la Carretera Ruta 22, Tramo: Lunahuaná – Yauyos – Chupaca.

Mediante la Resolución Ministerial N°223 -2007-MTC-02, modificada por Resolución Ministerial N° 408-2007-MTC/02 se creó el Programa Proyecto Perú, diseñado para mejorar las vías de integración de corredores económicos con el fin de elevar el nivel de competitividad de las zonas rurales, en la Red Vial Nacional, Departamental y Vecinal.

Mediante el Contrato: N° 288-2007-MTC/20, del 27 de Diciembre del 2007 celebrado con el PROVIAS NACIONAL, el Consorcio Gestión de Carreteras asume la responsabilidad de efectuar el servicio de Conservación del Corredor Vial Cañete – Lunahuaná – Pacarán – Dv. Yauyos – Ronchas – Chupaca (281,73 km) y el Mejoramiento del Tramo Zúñiga – Dv. Yauyos – Ronchas, como se indica en los Términos de Referencia.

De esta forma se busca mantener la vía con una adecuada serviciabilidad, interviniendo en forma oportuna y metódicamente mediante las actividades de Conservación Rutinaria, Conservación Periódica, Reparaciones Menores y Atención de Emergencias Viales, cuyos procedimientos deben cumplir a cabalidad con las especificaciones técnicas de los servicios y con las normas vigentes.

1.3.2. ANALISIS DEL PROYECTO

Uno de los principales motivos que genera la propuesta del proyecto “Estudio del Proyecto de Cambio de Estándar de la Carretera Cañete – Yauyos – Huancayo” es dar una ruta alterna con la cual se pretende aliviar la congestión de la Carretera Central, con esto se pretende reducir el tiempo de viaje y elevar el nivel socioeconómico de la población que se encuentra en el área de influencia del proyecto.

Actualmente el proyecto se encuentra en una etapa de mantenimiento rutinario y periódico luego de haber realizado diferentes cambios de estándar en los distintos tramos de la carretera.

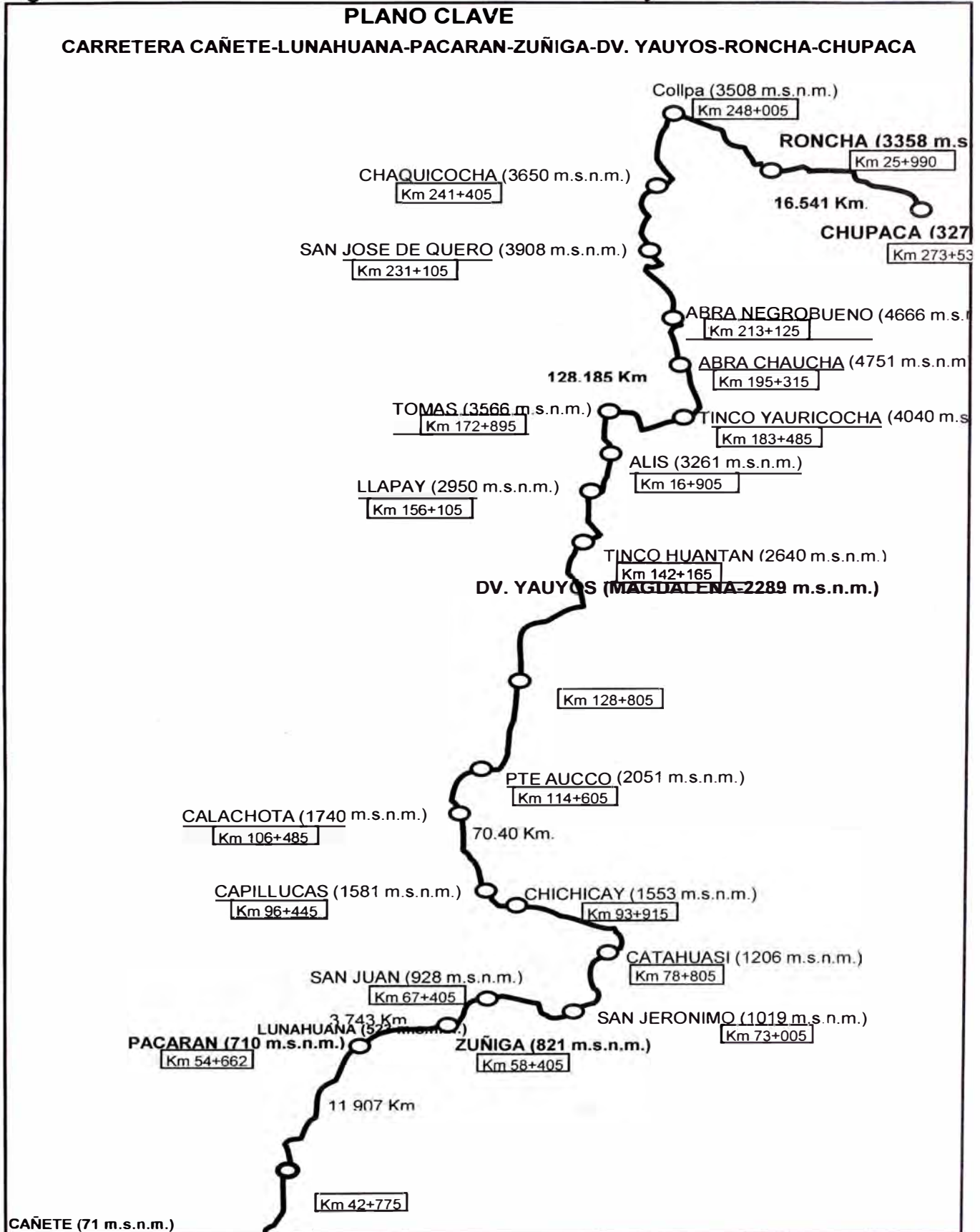
Cabe mencionar que la producción agropecuaria es la principal actividad económica de los poblados que están dentro del área de influencia de la carretera, siendo los cultivos diversos, debido a que se encuentran en distintas zonas climáticas y características topográficas.

En el proyecto se han designado los siguientes tramos:

- Cañete – Lunahuaná consta de 40.95 km, con IMD de 1477, la superficie de rodadura se encuentra con carpeta asfáltica.
- Lunahuaná – Pacarán consta de 11.91 km, con IMD de 555, la superficie de rodadura se encuentra con un tratamiento superficial – Slurry Seal.
- Pacarán – Zúñiga consta de 3.74 km, con IMD de 520, en este tramo se realizó el cambio de estándar con Slurry Seal.

- Zúñiga – Catahuasi consta de 20.40 km, con IMD de 722, en este tramo se realizó el cambio de estándar con Slurry Seal.
- Catahuasi – Capillucas consta de 17.64 km, con IMD de 1145, en este tramo se realizó el cambio de estándar con Monocapa.
- Capillucas – Dv. Yauyos consta de 32.36 km, con IMD de 90, en este tramo se realizó el cambio de estándar con Monocapa.
- Dv. Yauyos – Km. 227 consta de 98.20 km, con IMD de 305, en este tramo se realizó el cambio de estándar con Monocapa.
- Km. 227+000 – Ronchas consta 29.99 km. con IMD de 430, este tramo se encuentra a nivel de afirmado.
- Ronchas – Chupaca consta 16.54 km. con IMD de 430, este tramo se encuentra a nivel de afirmado. Ver gráfico 1.2.

Figura: 1.2 Plano Clave de la Carretera Cañete - Huancayo



Fuente: Convenio MTC - UNI

1.3.3. CARACTERISTICAS DE LA CARRETERA

La carretera Cañete-Huancayo es una carretera de tercer orden y pertenece al corredor vial N°13, que atraviesa diferentes poblados y regiones del Perú, siendo entre los poblados principales, indicados en el cuadro N° 3.1.1. 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 de 3270 msnm.

Esta carretera tiene una longitud de 271.73 Km. y se encuentra dentro de la cuenca del río Cañete, presentando una pendiente promedio de 2%, sin embargo presenta sectores donde la pendiente llega hasta el 8%, especialmente en la zona alta.

La carretera se ha dividido en tramos mostrados en el cuadro N° 1.3. Para una mejor evaluación y un mejor control.

Cuadro 1.1 Características de la Población de la Carretera Cañete - Huancayo

DEPARTAMENTO	PROVINCIA	Distrito	CARACTERISTICAS PRINCIPALES					
			Densidad pobl. (hab/km ²)	Población Urbana (%)	Población Rural (%)	Superficie (km ²)	Población	Categoría pobreza
LIMA	CAÑETE	Lunahuaná	8.95	87.32	12.68	494.85	4428	Pobre
		Pacarán	6.57	54.42	45.58	254.50	1673	Muy Pobre
		Zúñiga	5.83	42.04	57.96	194.13	1132	Muy Pobre
	YAUYOS	Alis	2.22	13.03	86.97	142.06	316	Pobre
		Ayauca	2.90	32.15	67.85	438.79	1272	Pobre
		Carania	2.70	70.61	29.39	122.13	330	Pobre
		Catahuasi	8.71	59.91	40.09	123.86	1079	Pobre
		Colonia	4.44	39.68	60.32	323.96	1439	Pobre
		Laraos	1.82	55.21	44.79	403.76	733	Pobre
		Tomas	2.72	33.24	66.76	299.27	814	Pobre
		Yauyos	8.11	88.84	11.16	327.17	2652	Pobre
JUNIN	CONCEPCION	San José de Quero	20.54	33.83	66.17	314.14	6452	Pobre
		Chambara	29.84	23.05	76.95	99.60	2972	Pobre
	CHUPACA	Ahuac	90.60	49.46	50.54	72.25	6546	Pobre
		Chupaca	919.79	68.80	31.20	22.74	20916	Pobre

Fuente: INEI- III Censo Nacional Agropecuario 1994

El clima: Como se ha visto, el área comprometida en el proyecto se ubica en diferentes regiones, según la clasificación del Dr. Javier Pulgar Vidal (expuesta en su “Geografía del Perú”).

A continuación se señalan las temperaturas típicas que se dan en estas regiones:

Cuadro N° 1.2. Cuadro de temperaturas

REGION	TEMP. MINIMA	TEMP MAXIMA	PRECIPITACION	CARACTERISTICA
Yunga (500-2300 msnm)		20 a 27 °c	P prom= 100- 150 mm	sol dominante casi todo el año
Quechua (2300-3500 msnm)	-4 a 7 °c	22 a 26 °c	P prom= 800- 1200 mm	clima templado
Suni o Jalca (3500-4000 msnm)	-1 a -16 °c	20 °c	P prom= 800 mm	clima frío
Puna (4000-4800 msnm)	-9 a -25 °c	22 °c	P prom= 200- 1000 mm	clima muy frío

Fuente: Elaboración Propia

La carretera está delimitada por las estribaciones andinas y el borde del altiplano y muestra una topografía abrupta con pendientes que llegan hasta los 60° mayormente. También se encuentra intensamente disertada por el río Cañete y sus tributarios que descienden del altiplano a la Costa, en general con tendencia Este a Oeste y que han labrado un valle profundo y encañonado que se hace más amplio a medida que se aproxima a la Costa, destacándose la etapa cañón y la etapa valle en forma de “V” en los flancos, modificado por la acción de las quebradas secundarias. Se considera una zona inestable ya que se pueden observar fenómenos geodinámicos como derrumbes, deslizamiento, erosión de riberas, fenómenos de huaycos, entre otros.

El territorio nacional se ha dividido en tres zonas, según la distribución espacial del efecto sísmico observado, las características generales de los movimientos y la atenuación de éstos con las distancias al epicentro, así como la información geotectónica.

Según ello, la provincia de Yauyos se encuentra en la zona 3 (Ver Anexo N°4) cuyo factor de aceleración máxima del terreno (0.40) es la mayor en comparación con las otras dos zonas, con una probabilidad de 10% de ser excedida en 50 años.

También se tienen los siguientes datos estadísticos como el estudio de tráfico actual y proyectado para los próximos tres años (Ver cuadro N° 1.3.), como también datos de la población (Ver cuadro N° 1.2.)

Cuadro N° 1.3.

RESUMEN HISTORICO 2010									
RESUMEN CLASIFICADO POR GRANDES GRUPOS DE VEHICULOS DEL IMDA POR ESTACION DE CONTROL (veh/día)									
Tramo	Cañete- Lunahuana	Lunahuana- Pacaran	Pacaran- Zuñiga	Zuñiga- Catahuasi	Catahuasi- Capilluca	Capilluca- DV Yauyos	Dv Yauyos- Colpa	Colpa- Huarisca	Huarisca- Chupaca
Tipo Vehículo	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9
VL (Auto+SW+Camioneta)	769	280	235	396	370	29	213	317	532
Camta Rural	416	143	146	313	64	12	22	27	32
Microbus	151	14	27	196	82	3	2	3	4
Ómnibus	32	14	13	31	32	12	4	6	7
Camión Unitario (2,3,4 Ejes)	107	87	85	73	47	35	42	49	50
Camión Acoplado	38	31	26	166	146	0	29	39	33
IMDa (Veh/día) 2010	1513	569	532	1175	741	91	312	441	658
IMDa (Veh/día) 2009	1477	555	520	1145	722	90	305	430	642
IMDa (Veh/día) 2008	1010	417	418	461	569	53		347	454

Fuente: Estudio de trafico Junio 2008/09 ICCGSA

Nota: el IMD calculado por el contratista en el tramo Zuñiga – Catahuasi no es el correcto ya que los datos tomados no fueron representativos.

1.3.4. CARACTERISTICAS DEL TRAMO EN ESTUDIO

El tramo en estudio de la carretera Cañete – Huancayo del Km. 104+000 al Km. 106+000, se encuentra de la provincia de Yauyos departamento de Lima.

En dicho tramo no se encontró ninguna zona poblada como tampoco hay áreas destinadas a la agricultura.

En esta zona el clima es caluroso y soleado casi todo el año con vientos frescos que bajan de las regiones altas y una precipitación ligera.

Figura: 1.3 Foto de la Carretera Cañete –Huancayo Km. 105+300



Fuente: Propia.

La topografía en este tramo se desarrolla sobre media ladera y terrenos en su mayoría deleznable que son un problema latente para la transitabilidad de la zona, la plataforma es de una sola calzada con un solo carril de dos sentidos de circulación y un ancho que varía entre los 3.00m y los 4.00m, así como pendientes entre un rango de 3% a 6%.

El tipo de suelo de fundación se clasifica según SUCS, detalles en el cuadro, para la progresiva descrita.

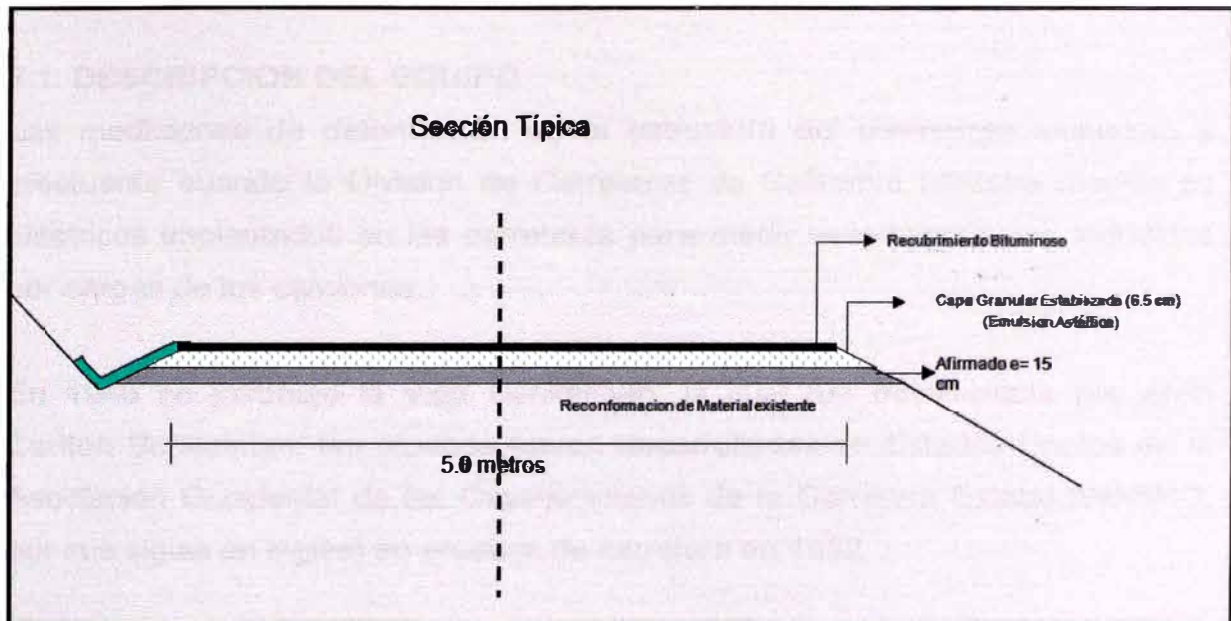
Cuadro 1.4. Características del Suelo

REGISTRO DE EXCAVACION											
Proyecto CONSERVACION DE LA CARRETERA CAÑETE - HUANCAYO						Calicata		C-01			
Ubicación MUESTRA DE TERRENO EXISTENTE						Fecha de excavacion		05/09/2009			
Km						Profundida total (m)		1.3			
Lado						Prof. Nivel freatico (m)		-			
PROF. (m)	GRAFICO	DESCRIPCION DEL SUELO	SUCS	ANALISIS GRANULOMETRICO % QUE PASA				LIMITES DE ATTERBERG %			Nº DE MUESTRA
			AASHTO	Nº 4	Nº 10	Nº 40	Nº 200	LL	LP	IP	
1.30		Arena limosa sub angular, color marron oscuro, humedad baja, plasticidad media, medianamente compresible, medianamente compacto, consistencia dura 4% boloneria, material fino sin materia organica. Tamaño maximo 3" material granular grueso.	SC-SM A-1-b(0)	17.3	51.7	31.0	4.0	24.0	5.0	3.7	M-01

Fuente: MTC, Consorcio Gestión de Carreteras

El sistema de drenaje en este tramo es inadecuado, con presencia de tramos con posibles deslizamientos de taludes (huaycos), en este tramo se van realizando los mantenimientos rutinarios y se hizo un cambio de estándar con tratamiento superficial Monocapa, esta solución básica está constituida por una base estabilizada y un recubrimiento bituminoso, este trabajo fue realizado en enero y febrero del 2010 por la concesionaria CGC.

Figura: 1.4 Sección transversal de la plataforma



Fuente: Elaboración Propia

Figura: 1.5. Foto de la Carretera Cañete –Huancayo Km. 105+000



Fuente: Elaboración Propia

CAPITULO II: LA VIGA BENKELMAN

2.1. DESCRIPCION DEL EQUIPO

Las mediciones de deformación de la estructura del pavimento empiezan a efectuarse cuando la División de Carreteras de California utilizaba medidores eléctricos implantados en las carreteras para medir desplazamientos inducidos por cargas de los camiones.

En 1940 se introdujo la Viga Benkelman, la cual fue desarrollada por Alvin Carlton Benkelman; las pruebas fueron desarrolladas en Estados Unidos en la Asociación Occidental de las Organizaciones de la Carretera Estatal (WASHO, por sus siglas en inglés) en pruebas de carretera en 1952.

Figura 2.1 Viga Benkelman



Fuente: Propia

En el año 1983 la viga fue utilizada en el Perú, en los estudios de rehabilitación de la Panamericana Norte, a cargo del Consorcio de Rehabilitación Vial conformada por empresas argentinas y canadienses. Con los resultados obtenidos se elaboró el estudio llamado CONREVIAL, por tal motivo el MTC sugiere el empleo de este estudio, ya que corresponde a una inversión considerable en aquellos años. A partir de aquel proyecto el método en mención cobró más importancia, aplicándose en la evaluación de otras carreteras del Perú.

En la actualidad en el Perú se sigue utilizando la Viga Benkelman ya que el MTC lo dispone en todos los términos de referencia en los trabajos de mantenimiento y rehabilitación de carreteras, pero en otros países se utiliza el llamado deflectómetro de impacto FWD (Falling Weight Deflectometer).

Figura 2.2. Deflectómetro de Impacto



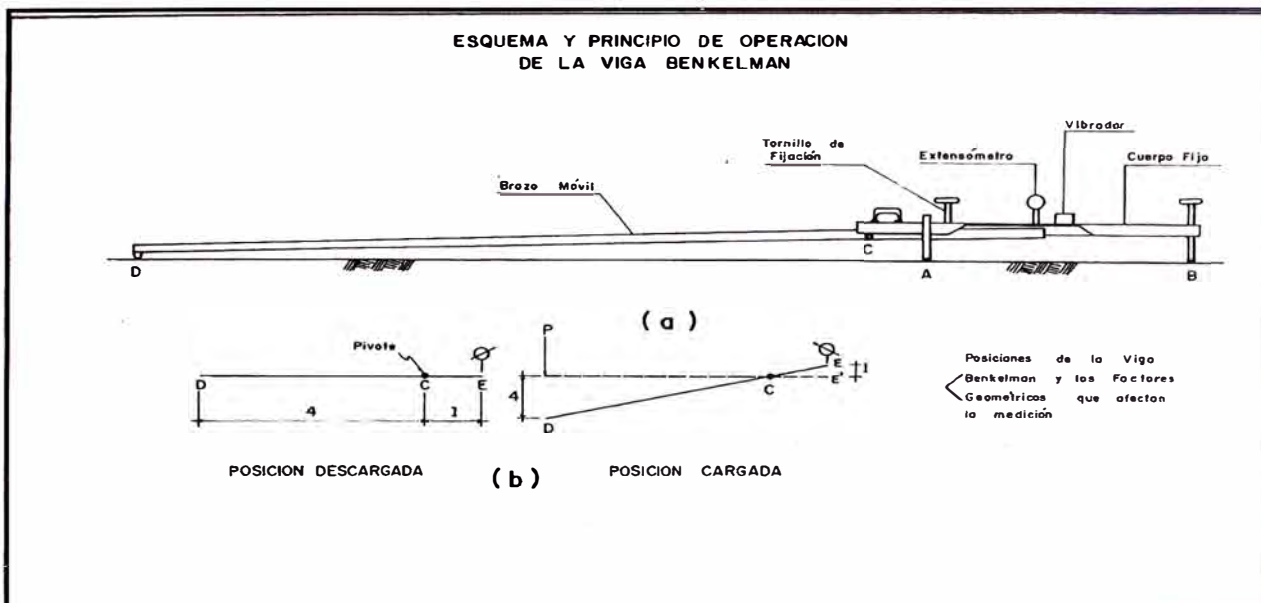
Fuente: www.aidpe.com

El deflectómetro Benkelman funciona según el principio de la palanca. Es un instrumento completamente mecánico y de diseño simple. Según se esquematiza en la figura 2.4, la viga consta esencialmente de dos partes: (1) Un cuerpo de sostén que se sitúa directamente sobre el terreno mediante tres apoyos (dos delanteros fijos "A" y uno trasero regulable "B") y (2) Un brazo móvil acoplado al cuerpo fijo mediante una articulación de giro o pivote "C", uno de cuyos extremos apoya sobre el terreno (punto "D") y el otro se encuentra en contacto sensible con el vástago de un extensómetro de movimiento vertical (punto "E"). Adicionalmente el equipo posee un vibrador incorporado que al ser accionado, durante la realización de los ensayos, evita que el indicador del dial se trabe y/o que cualquier interferencia exterior afecte las lecturas, como se verá más adelante.

El extremo "D" o "punta de la viga" es de espesor tal que puede ser colocado entre una de las llantas dobles del eje trasero de un camión cargado. Por el peso aplicado se produce una deformación del pavimento, consecuencia de lo cual la punta baja una cierta cantidad con respecto al nivel descargado de la superficie. Como efecto de dicha acción el brazo DE gira en torno al punto fijo "C", con respecto al cuerpo AB, determinando que el extremo "E" produzca un movimiento vertical en el vástago del extensómetro apoyado en él, generando así una lectura en el dial indicador. Si se retiran luego las llantas cargadas, el punto "D" se recupera, en lo que a deformación elástica se refiere, y por el mismo mecanismo anterior se genera otra lectura en el dial del extensómetro. La operación expuesta representa el "principio de medición" con la Viga Benkelman. Lo que se hace después son sólo cálculos en base a los datos recogidos.

Así, con las dos lecturas obtenidas, es posible determinar cuánto deflectó el pavimento en el lugar subyacente al punto "D" de la viga, durante el procedimiento descrito. Es de anotar que en realidad lo que se mide es la recuperación del punto "D" al remover la carga (rebote elástico) y no la deformación al colocar ésta. Para calcular la deflexión deberá considerarse la geometría de la viga, toda vez que los valores dados por el extensómetro (EE') no están en escala real sino que dependen de la relación de brazos existentes

Figura 2.3. Esquema de la Viga Benkelman



Fuente: Elifio Quiñonez Rosales (Curso de Titulación)

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.

Ante un problema de evaluación estructural, el ingeniero vial tradicionalmente ha recurrido a la perforación de calicatas, a la toma de muestras para su ensayo en el laboratorio, y al análisis de cada uno de sus componentes (materiales) por separado, para incorporarlos luego en el sistema (pavimento) y deducir acerca de las características estructurales del mismo. Esta metodología es cara, lenta, altera el equilibrio del sistema al perforar y es "destructiva".

La alternativa presentada en esta Evaluación Estructural del Pavimento se lleva a cabo mediante Ensayos No Destructivos (END), empleando la medición de las deflexiones con la Viga Benkelman, y que consiste en estudiar las deformaciones verticales que experimenta un pavimento cuando está actuando sobre él una carga estandarizada; es decir, es la respuesta del conjunto "pavimento – subrasante". La existencia de una correlación entre deflexiones y la presencia de fallas por fatiga, constituyen la base de la difundida utilización del Método Deflectométrico.

2.2. METODO EMPIRICO

Las deflexiones producidas en la superficie de un pavimento flexible, por acción de cargas vehiculares, pueden ser determinadas haciendo uso de deflectómetros tales como el denominado "Viga Benkelman". Llamado así en honor al Ing. A.C. Benkelman, quién la desarrolló en 1953, Desde entonces su uso se ha difundido ampliamente en proyectos de evaluación estructural de pavimentos flexibles, tanto por su practicidad como por la naturaleza directa y objetiva de los resultados que proporciona.

Este método consiste en determinar simultáneamente con una viga Benkelman la deflexión recuperable y el radio de curvatura de un pavimento flexible, producidos por una carga estática. A tal fin se utiliza un camión donde la carga, tamaño de llantas, espaciamiento entre ruedas duales, y presión de inflado están normalizadas.

2.3. USO DE LAS MEDIDAS DE LAS DEFLEXIONES

Las medidas de las deflexiones producidas en la superficie de un pavimento flexible son utilizadas para determinar el estado de la estructura del pavimento y con tales datos poder establecer si el pavimento necesita un mantenimiento rutinario, periódico, o reforzamiento de su estructura.

Estas medidas antes de ser utilizadas directamente en los cálculos deberán ser sometidas a una serie de correcciones como por temperatura y estacionalidad.

2.4. METODOLOGIA DE ESTUDIO

Se refiere a la metodología de medición, análisis e interpretación de las deflexiones para la evaluación estructural de pavimentos. En esta parte del capítulo se describe los procedimientos para una buena toma de datos en campo con el deflectómetro conocido como "Viga Benkelman" y el equipo necesario para llevar a cabo de una manera adecuada todos los procesos que serán descritos más adelante.

Una vez obtenidas todas las mediciones se procedió a elaborar los análisis estadísticos de cada una de las secciones estructuralmente homogéneas empleando la información de las estructuras de los pavimentos existentes, los ejes equivalentes y los tipos de suelos a nivel de sub rasante, entre otros.

2.4.1. ESTUDIO DE CAMPO

Las mediciones consistieron en obtener los valores de las deflexiones, espaciadas según se vió conveniente, realizándose tomas en ambos carriles. Asimismo para realizar una mejor toma de datos y en menor tiempo, es recomendable identificar las progresivas donde se tomaran los datos antes de iniciar el ensayo.

Por otro lado es importante que el día elegido para la toma de los datos con la Viga Benkelman no sea un día extremadamente soleado o extremadamente frío y/o lluvioso puesto que estos factores climáticos podrían alterar los datos obtenidos y por ende los resultados.

2.4.2. EQUIPO Y PERSONAL

Equipos. - Los equipos y materiales utilizados fueron:

- Una Viga Benkelman con las siguientes características:
- Viga de doble Brazo (Fabricada en Aluminio y Acero inoxidable).
Relación de Brazos 1:4
- 02 Diales o extensómetros,
- Aproximación (mm) 0.01
- Recorrido máximo (mm) 12.0
- 1 Camión volquete, calibrado, con una carga de 18 mil libras (8.2Tn) en el eje simple posterior de 2 ruedas y con presión de inflado de 80psi, las cuales tienen una cubierta de 10 x 20" y una distancia entre los puntos medios de las bandas de rodamiento igual a 32cm.
- 1 Camioneta Doble Cabina, para movilización del personal, y equipos.
- 1 Medidor de presión de inflado
- 1 Termómetro de 0 a 100°C con divisiones cada grado
- 1 Barreno para ejecutar orificios en el pavimento de 4 cm de profundidad y 10mm de diámetro
- 1 Cronómetro
- 1 Regla de 1.20m para medición de los ahuellamientos.
- 1 Wincha de acero de 5m

- 1 Tablero portátil
- Formatos para la evaluación
- 1 Cámara fotográfica

Personal.- La brigada estuvo conformada por:

- 1 Técnico Especialista en Evaluación de Pavimentos
- 1 Técnico Operador
- 2 Ayudantes Auxiliares
- 2 Ayudantes de seguridad
- 2 Choferes, 1 para la camioneta y otro para el volquete.

2.4.3. ESPACIAMIENTO DE LA TOMA DE MEDIDAS DEFLECTOMETRICAS

Es conocido que mientras más grande es el universo de datos los resultados obtenidos serán más precisos, pero por otro lado mientras más grande es el universo de datos más costoso será obtener estos datos como también tomará más tiempo recopilarlos.

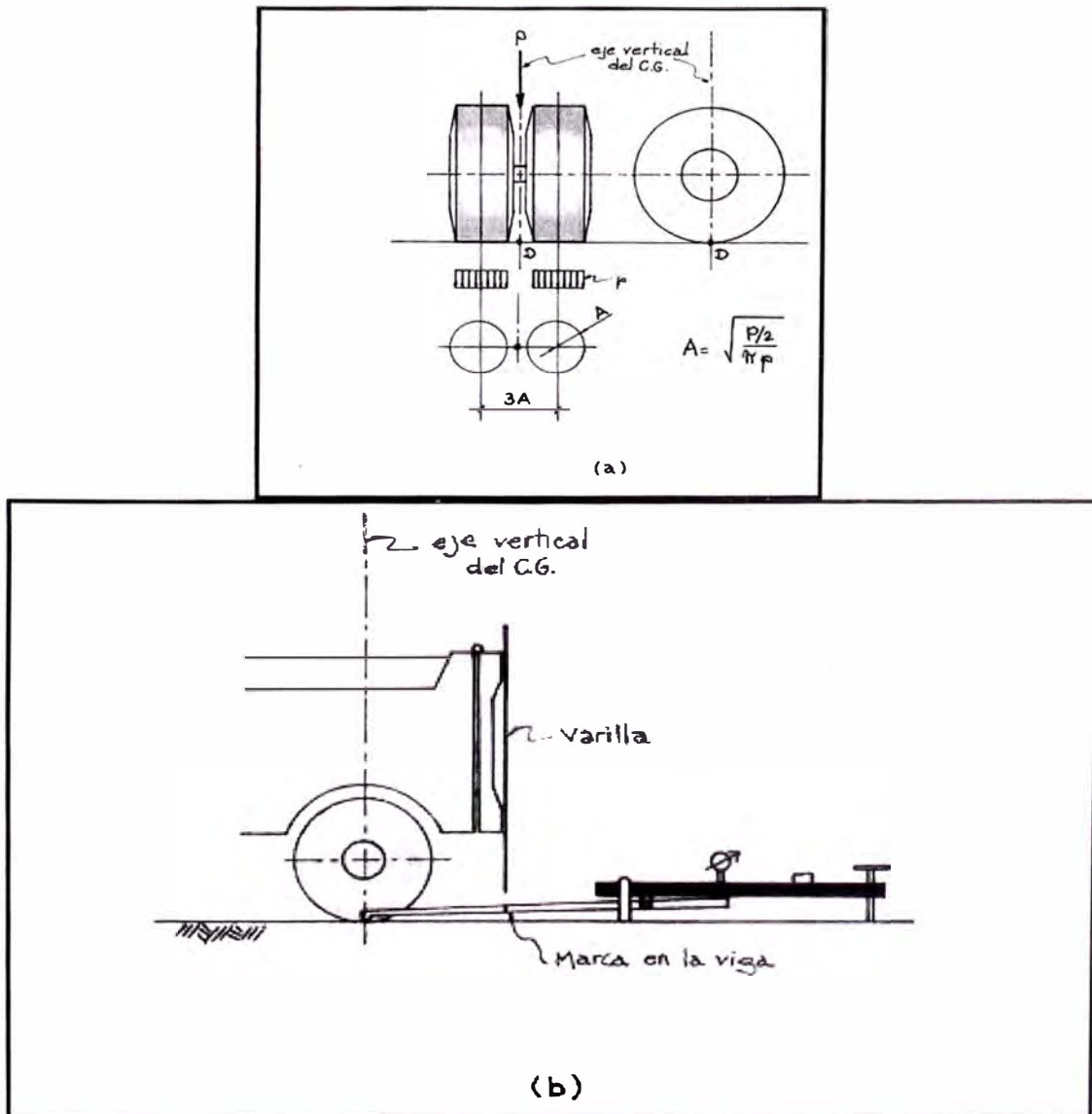
Los valores de deflexiones obtenidos con la Viga Benkelman son tomados directamente de las vías por lo que resulta ser un proceso relativamente costoso sobretodo por el personal necesario para realizar dicho proceso. Otro punto importante a tomar en cuenta es la importancia de la vía.

Para el proyecto en estudio se determinó tomar mediciones cada 200 metros, para lo cual se señalizaron los puntos en donde se iban a efectuar dichas mediciones, identificándolos el día anterior al trabajo de campo y teniendo en cuenta que debían ser representativos de la vía. Asimismo, siendo la vía en estudio de tercer orden el espaciamiento es adecuado, aunque vale mencionar que en una carretera de primer orden se recomienda que el espaciamiento sea de 100 a 50 metros entre punto y punto.

2.4.4. PROCEDIMIENTO PARA LA TOMA DE DEFLEXIONES

1. La carga aplicada al pavimento para la realización de ensayos de deflexiones ha sido estandarizada en 18,000 lbs. (8200 kg) y es proporcionada por las dos llantas dobles del eje trasero de un camión. Previamente a la realización de los ensayos deberá verificarse que se cumpla esta condición, así como que la presión de las llantas sea la requerida.

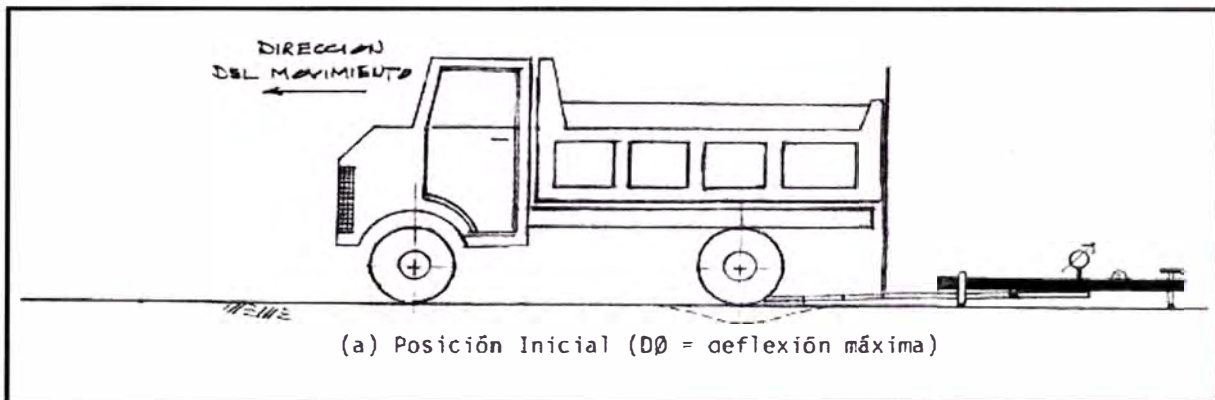
Figura 2.4. Configuración geométrica del sistema de carga –Viga Benkelman



Fuente: Estudios de evaluación estructural de pavimentos basados en la interpretación de curvas de deflexiones (ensayos no destructivos)

- Una vez localizado el lugar donde se realizará el ensayo (usualmente los puntos de medición se localizan en la mitad exterior de un carril), se coloca la llanta a usarse sobre el punto, de manera tal que éste coincida aproximadamente con el eje vertical del centro de gravedad del conjunto.

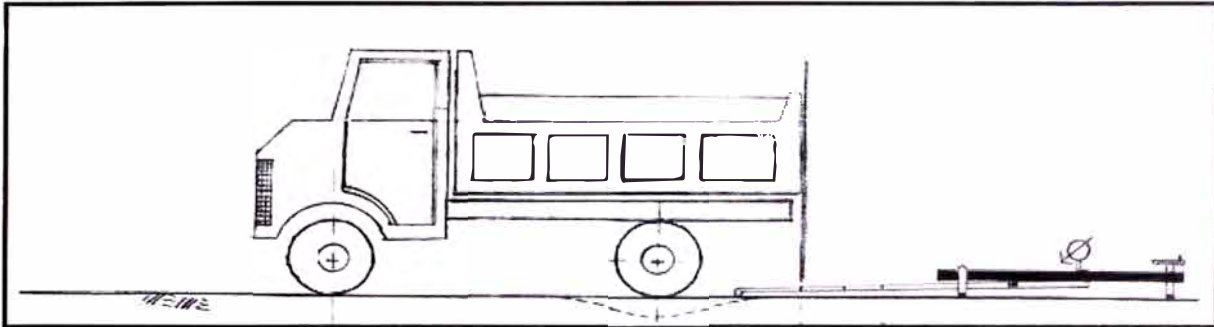
Figura: 2.5. Posición inicial del ensayo con Viga Benkelman



Fuente: Estudios de evaluación estructural de pavimentos basados en la interpretación de curvas de deflexiones (ensayos no destructivos)

- Para esta operación es aceptable una tolerancia en el rango de 3 pulgadas alrededor del punto. Estacionados los neumáticos se inserta entre ellos el extremo del brazo móvil de la viga colocándolo, nuevamente en la forma más aproximada, sobre el punto de ensayo seleccionado. Dado que esto último se dificulta por la inaccesibilidad tanto visual como manual, se realizará previamente la siguiente operación: se coloca la viga en la posición como si estuviera entre las llantas pero hacia la parte exterior de las mismas, haciendo coincidir igualmente, haciendo uso de una plomada, el extremo del brazo móvil con el eje vertical del centro de gravedad. Tomando como punto de referencia una varilla vertical adosada a la parte trasera del camión (Ver figura 2.5), se efectúa una marca en la viga de manera tal que, en adelante, basta con hacerlas coincidir (la marca con la varilla vertical) para asegurarse que el extremo de la viga coincide con el centro de las llantas, en el momento de iniciar las mediciones.

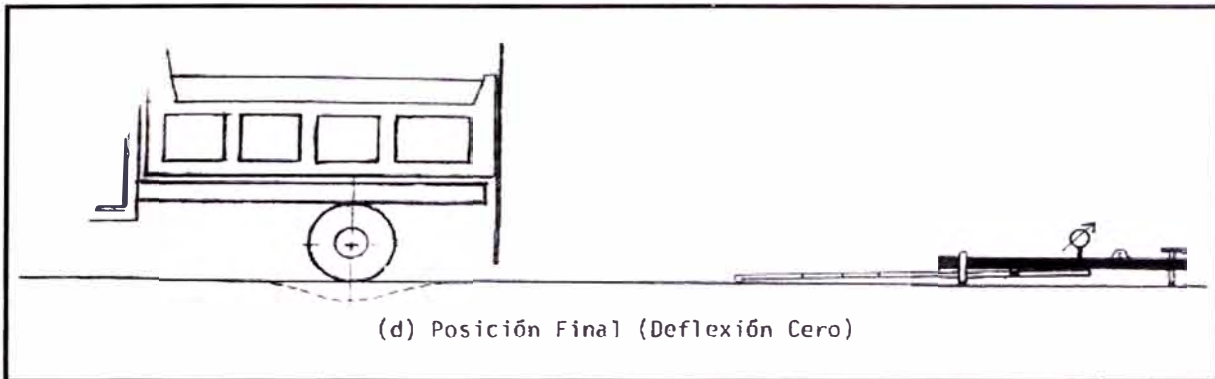
Figura: 2.6. Lectura a 0.25m del ensayo con Viga Benkelman



Fuente: Estudios de evaluación estructural de pavimentos basados en la interpretación de curvas de deflexiones (ensayos no destructivos)

4. De igual forma se puede efectuar, a partir de la primera, sucesivas marcas a distancias elegidas a las cuales se desee medir deflexiones adicionales (puede ser a 50 y 100 cm). Para la metodología de análisis se requiere de por lo menos tres lecturas, como se verá en el numeral 2.4, pero se pueden obtener más con fines de verificación, lo cual es recomendable, o si es que se desea tener una idea gráfica del tipo de curvas de deflexiones que se producen. Como norma se realiza la primera marca adicional a una distancia tal que la deflexión que se obtenga en ese punto sea la mitad de la deflexión máxima (obtenida en la marca inicial). La segunda marca adicional se realiza al doble de la distancia de la primera marca adicional. Estas dos distancias se determinarán específicamente para cada proyecto de evaluación que se emprenda. Esto deberá hacerse por medio de tanteos previos, antes de comenzar la recolección masiva de datos. Es común que se observen variaciones durante la realización de los ensayos, pero no deberá hacerse modificaciones mientras que las deflexiones tomadas en la primera marca adicional estén en el rango entre 35% y 65% de la deflexión máxima.

Figura: 2.7. Lectura max del ensayo con Viga Benkelman



Fuente: Estudios de evaluación estructural de pavimentos basados en la interpretación de curvas de deflexiones (ensayos no destructivos)

5. Una vez instalada la viga en el punto de medición haciendo coincidir la varilla vertical y la marca inicial (Ver figura 2.7), se verificará que ésta esté alineada longitudinalmente con la dirección del movimiento del camión. Se pondrá el dial del extensómetro en cero, se activará el vibrador y mientras el camión se desplaza muy lentamente se procederá a tomar lecturas conforme la varilla vertical vaya coincidiendo con la primera y segunda marcas adicionales (figuras 2.6) y una lectura final cuando el camión se haya alejado lo suficiente del punto de ensayo que el indicador del dial ya no tenga movimiento (aproximadamente 5m), registro que corresponde al punto de referencia con “deflexión cero” (figura 2.6). Para la realización de esta rutina será necesario del concurso de 3 operadores: Un técnico calificado que lea y dicte las lecturas, un operador que anote las mediciones y un ayudante que coordine con el conductor del camión y a la vez dé aviso cuando la varilla adosada al camión vaya coincidiendo con las marcas hechas en la viga. Todo el trabajo deberá ser supervisado permanentemente por un Ingeniero de Campo quien verificará los valores que se vayan obteniendo así como tomará anotación de cualquier factor que, a su juicio, pueda explicar los resultados (Corte, relleno, tipo de material, presencia de alcantarillas, napa freática, estado del pavimento, etc.)

2.5. PROCESAMIENTO DE LOS VALORES DEFLECTOMETRICOS

El objetivo de la evaluación estructural es encontrar tramos constantes en función de las deflexiones que pueda dar una idea del comportamiento estructural de los pavimentos.

Se recogió información de campo, con formatos elaborados previamente al ensayo.

Para el procesamiento en gabinete, se verificó la consistencia de los resultados para los tramos evaluados, descartándose los datos que evidenciaron una anomalía en el sector de estudio en campo; recomendándose a su vez efectuar más ensayos en dichos puntos para la verificación de estos resultados y ponerle especial atención en la etapa de conservación en esta zona.

Al término de esta depuración se obtuvieron resultados con coeficientes de variación en promedio por debajo de 30, procediéndose a procesar en forma conjunta los datos.

2.6. RESULTADOS OBTENIDOS

Cuadro 2.1: Resultado de deflexiones.

MEDICIÓN DE DEFLEXIONES CON VIGA BENKELMAN CARRETERA: CAÑETE - HUANCAYO										
SECTOR	: km 104+000 al km 106+000						OPERADOR	: Téc. Varios		
CARRIL	: Izquierdo						RELACIÓN VP	: 3.99		
CAPA	: T.S. Monocapa						DIAL	: 0.01		
Progresiva (km)	Lecturas (10^{-2} mm)		Espesor (mm)	Ahuellamiento (mm)		Temp (°C)	F.C.	RESUL. DEFLECT		Radio Curvatura (m)
	L ₂₅	L _{max}		Ahue 1	Prom			Deflexiones Corregidas		
								D ₂₅ mm	D ₀ mm	
104+000	1	4	6	4	4.0	35	0.991	0.12	0.16	790.3
104+200	4	33	4.5	6	6.0	36	0.993	1.15	1.31	197.2
104+400	1	9	7	3	3.0	38	0.988	0.32	0.35	793.1
104+600	5	12	5	5	5.0	37	0.992	0.28	0.47	158.0
104+800	7	12	7	5	5.0	36	0.989	0.20	0.47	113.1
105+000	10	30	7		-	36	0.989	0.79	1.18	79.2
105+200	2	6	6	2	2.0	36	0.990	0.16	0.24	395.4
105+400	5	23	6	0	-	36	0.990	0.71	0.91	158.1
105+600	4	17	3.5	2	2.0	36	0.994	0.52	0.67	196.9
105+800	1	10	7	13	13.0	35	0.990	0.36	0.39	791.4
106+000	3	25	4.5	1	1.0	35	0.993	0.87	0.99	262.8

Fuente: Elaboracion propia

CAPITULO III PROCESAMIENTO DE DATOS

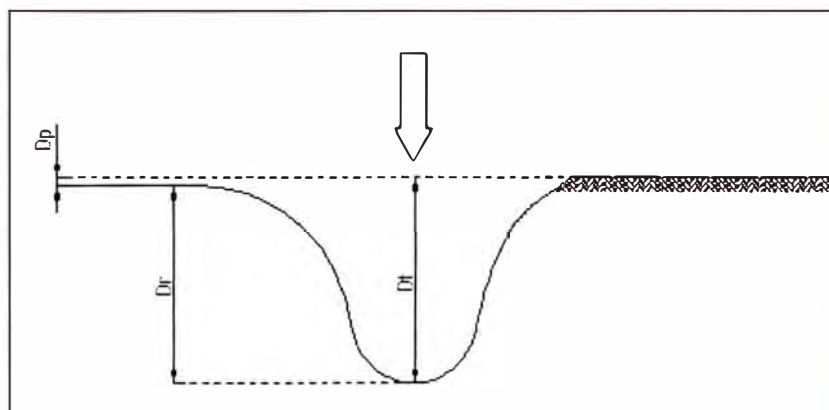
3.1. DESCRIPCION DEL METODO EMPIRICO DEL ESTUDIO CONREVAL

En los métodos empíricos las deflexiones convenientemente procesadas se relacionan con los valores admisibles, mientras que en los métodos más modernos, basados en la teoría de la elasticidad, se utilizan para ajustar los módulos elásticos de las capas estructurales y calibrar los modelos. En el método empírico del estudio Conreval se utiliza la Viga Benkelman la cual permite obtener la deflexión bajo una carga estandarizada.

Las deflexiones son de carácter elástico, pero intervienen esfuerzos plásticos. Los cuales primero desaparecen en cuanto se renueva las cargas y los segundos son permanentes y su acumulación a través de las reiteraciones de las cargas produce las distorsiones de ahuellamiento en la superficie del pavimento. Por este motivo, se distingue tres tipos de deflexiones:

- 1- Deflexión total (D_t): Es la deformación vertical puntual de una superficie bajo la acción de una carga.
- 2- 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.
- 3- Deflexión permanente (D_p): Es la diferencia entre la posición original de la superficie antes de aplicar la carga y después de retirarla.

Figura: 3.1 Deflexiones generadas



Fuente: Elifio Quiñonez Rosales (Curso de Titulación)

3.2. MEDICIONES Y CÁLCULO DE LAS DEFLEXIONES RECUPERABLES.

El procedimiento para el cálculo de las deflexiones es simple. Para el caso de la deflexión máxima, se sabe calcular la diferencia entre la lectura inicial y la lectura final.

Para el caso de la deflexión a 25cm, se debe encontrar la diferencia entre la lectura a 25 cm y la lectura final.

Las diferencias en ambos casos se multiplican por la relación de brazos de la viga Benkelman empleada.

3.3. CORRECCION POR TEMPERATURA.

Partiendo de la premisa que la temperatura de la capa asfáltica de rodadura influencia en el valor de la deflexión, las deflexiones medidas sobre la superficie de un pavimento asfáltico deben ser corregidas en función a la temperatura media de la capa experimenta durante la ejecución del ensayo, la cual varia durante el transcurso del día.

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

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

D₂₀ = Deflexión corregida, a la temperatura estándar de 20° C (1/100 mm).

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

K = Constante, para capas granulares K = 1 x 10⁻³ (1 / cm °C)

T = Temperatura del pavimento (°C).

e = Espesor capas asfálticas (cm).

3.4. CORRECCION POR ESTACIONALIDAD

La capacidad de deformación de los suelos esta influenciada por el grado de saturación que experimenta, por lo tanto, es deseable que la medición de deflexiones se realice durante la estación de lluvias, durante la cual los suelos se encuentran en la situación mas critica. De no ser así, se debe efectuar la corrección de las medidas a fin de tomar en cuenta dicho aspecto.

Para fines prácticos se propone el uso de los siguientes factores de corrección según estudios basados en Brasil, considerando el tipo de suelo de subrasante y la época en que se realizaron los ensayos.

Cuadro 3.1. Factores de corrección

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

Fuente:

3.5. CALCULO DEL RADIO DE CURVATURA

El radio de curvatura de la línea elástica de Deflexión es una característica de fundamental importancia, que determina la magnitud de la deformación lineal por tracción que sufren las capas elásticas al flexionar bajo las cargas, y en consecuencia, en el desarrollo del fisuramiento en forma de piel de cocodrilo.

Las primeras tentativas para expresar numéricamente la curvatura se basaron en relacionar la Deflexión máxima con el diámetro del área superficial deformada (índice de curvatura), lo que resulta algo aleatorio por las dificultades para fijar el punto donde la línea de Deflexión es tangencial a la horizontal. Un análisis de los diversos procedimientos de medición permite comprobar que uno del más simple es el que esta basado en la comprobación experimental; así 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. El radio de curvatura queda definido por la siguiente relación:

$$R = \frac{10 \cdot (25^2)}{2(D_0 - D_{25})} = \frac{6250}{2(D_0 - D_{25})}$$

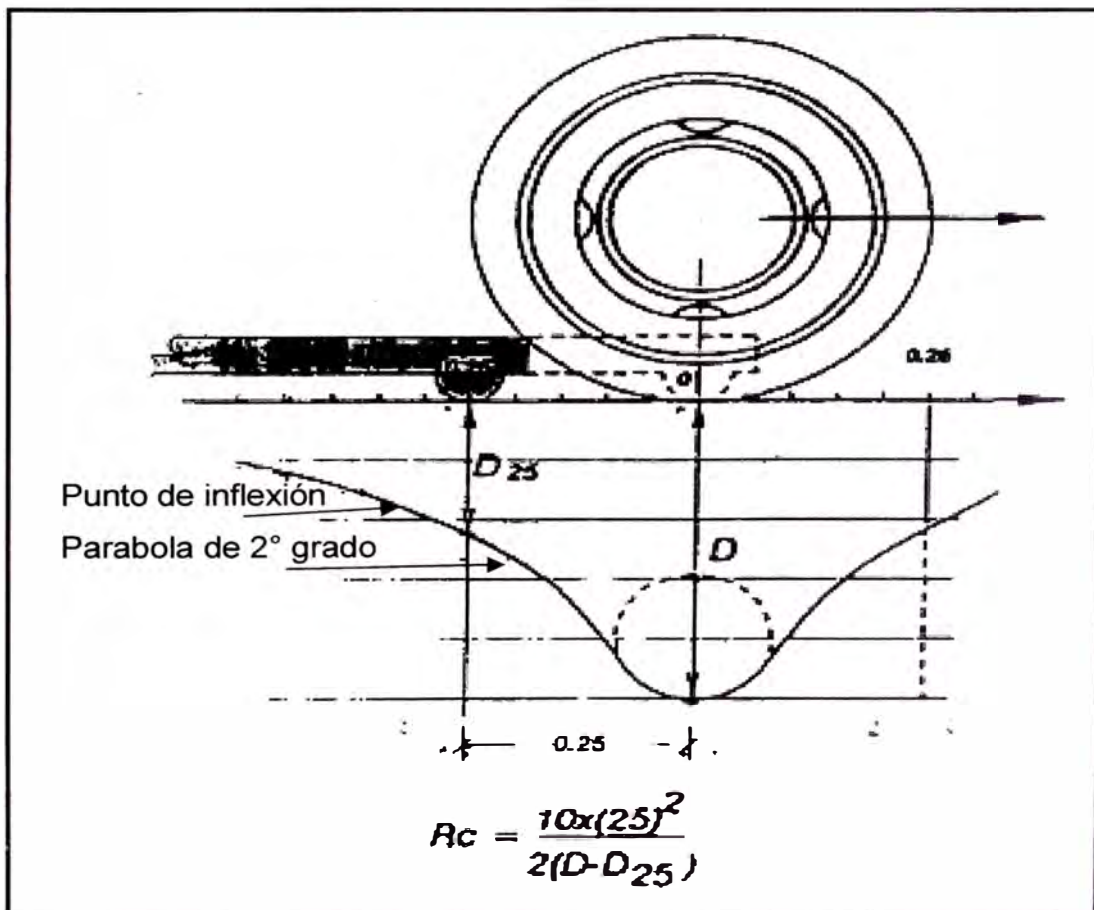
Donde:

Rc = Radio de Curvatura en metros

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

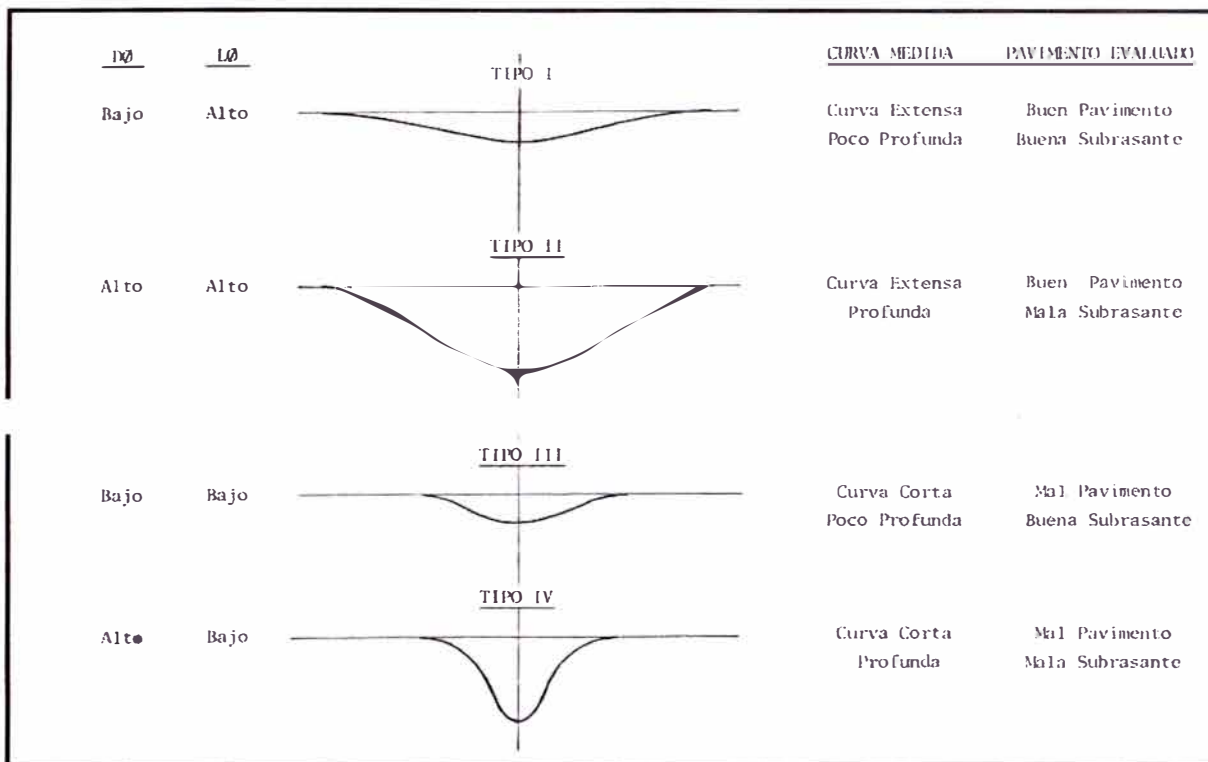
D₂₅ = Deflexión recuperable en el eje vertical de la carga, en centésimas de milímetros, a 25 del eje de carga.

Figura 3.2. Parábola y radio de curvatura.



Fuente: Evaluación Estructural (Ing. Wilfredo Gutiérrez Lázares)

Figura 3.2. Tipos de radio de curvatura.



Fuente: estudios de evaluación estructural de pavimentos basados en la interpretación de curvas de deflexiones (ensayos no destructivos)

3.6. DEFLEXION CARACTERISTICA

Los estudios de deflexiones recuperables han demostrado que las deflexiones medidas en una sección de pavimento, presentan una distribución de frecuencias que se asemejan a una distribución normal. Por lo tanto, a partir de las Deflexiones individuales, asumiendo que se hallan distribuidas de acuerdo a la ley de Gauss se han determinado la Deflexión media (D), la desviación estándar (σ), y el coeficiente de variación (Cv).

Para efectos de diseños de refuerzos asfálticos se emplea el concepto de Deflexión característica, que representa mejor a una sección de comportamiento Estructural Homogéneo; siguiendo el criterio adoptado normalmente en análisis estadísticos, se puede establecer como Deflexión característica el valor:

$$D_c = D + t * \sigma$$

- D_c = Deflexión característica
- D = Deflexión promedio de los valores individuales de D_o corregidos por temperatura y estacionalidad.
- σ = Desviación estándar
- t = Coeficiente que representa al porcentaje del área total con probabilidad de representar deflexiones superiores a la deflexión característica D_c . En el estudio CONREVIAl se utiliza un valor de $t=1.645$ que corresponde al 95%, lo que equivale a considerar que, solo un 5% del area total del pavimento, tendrá deflexiones mayores a D_c .

Dado que el estudio de deflexiones recuperables ha demostrado que las deflexiones medidas en una sección de pavimento, presenta una distribución de frecuencias que se asemejan a una distribución normal. Por ende, a partir de las deflexiones individuales, asumiendo que se hallan distribuidas de acuerdo a la ley de Gauss se ha determinado de deflexión media, la desviación estándar y el coeficiente de variación. Usando las siguientes expresiones.

Deflexión media (D).

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

D : Valor individual de un ensayo.

n : Numero de ensayos individuales

Desviación estándar (σ)

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

Coeficiente de variación (Cv)

$$Cv = \frac{\sigma}{D} \times 100$$

3.7. DEFLEXION ADMISIBLE

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

El concepto de deflexión admisible, se encuentra íntimamente relacionada al Número de Ejes Standard Equivalentes Acumulados de 8.2 Tn. La fórmula ampliamente difundida por el CONREVIAl (Consortio de Rehabilitación Vial), es la que se muestra a continuación:

$$D = (1.15 / N)^{1/4}$$

Donde:

- D Deflexión Admisible y
- N Número de Ejes Standard Equivalentes Acumulados de 8.2 Tn

La determinación de número de ejes equivalentes soportados se detalla en el Anexo 06 del presente informe, el cual sigue las normas establecidas en el manual de carreteras pavimentadas de bajo volumen de tránsito del MTC.

Cuadro 3.2 Estado del pavimento según deflexiones

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

Fuente: Rehabilitación de pavimentos (Ing. Wilfredo Gutierrez)

3.8. ESPESOR DE REFUERZO

Sabiendo que para la determinación de los espesores de refuerzo, se utiliza el método de reducción de las deflexiones con varias formulas 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 es 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 1º y 2º, se emplea la Formula de Ruiz (Argentina), cuya expresión es:

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

h=Espesor de refuerzo (cm).

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

Dh=Deflexión característica luego del refuerzo (1/100mm) (Corresponde a la deflexión admisible de diseño)

R=Coficiente con dimensiones de un espesor, que expresa la capacidad del material de refuerzo para reducir la deflexión del pavimento subyacente.

Estos espesores se determinan con la formula 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, faltara encontrar las deflexiones admisibles.

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

3.9. PROCESAMIENTO DE DATOS

Una vez finalizada las distintas tareas de campo, laboratorio y obtenidos los datos necesarios, a la luz de todos estos resultados, se debe llevar a cabo un análisis de los mismos que conduzcas a establecer la capacidad estructural actual del pavimento en relación al tránsito que debe soportar la calzada.

Como resultado de este análisis, se llega a:

- ✓ Establecer la necesidad y tipo de rehabilitación requerida, distinguiéndose tres situaciones representativas que pueden resumirse en:
 - Estructura adecuada : requiere mejora superficial.
 - Estructura fatigada : requiere un esfuerzo estructural.
 - Estructura deficiente : requiere reconstrucción parcial o total.

- ✓ Establecer el parámetro predominante y/o método que se empleara para el diseño de las obras de rehabilitación.

- ✓ La estimación de la vida útil remanente o residual de la estructura del pavimento.

Para llegar al juicio sobre la capacidad estructural del pavimento de un tramo de vía, se ha optado un criterio racional que combina tres factores principales.

- ✓ La apariencia de la superficie en relación a la observación de fallas (particularmente de carácter estructural) de acuerdo a los resultados de inspección visual.

- ✓ La deflexión recuperable del pavimento, como parámetro indicativo de la respuesta mecánica del mismo, complementando con el radio de curvatura de la deflexión.

- ✓ La estructura del pavimento, determinara en base a los sondeos y antecedentes disponibles, que implica una compleja relación entre espesores y calidad de las capas del pavimento, calidad del suelo de la subrasante, drenaje, etc., y que se resume en que si la misma responde a un diseño estructural adecuado o no.

El análisis es llevado a cabo para las secciones homogéneas que se han diferenciado en un tramo; para cada una de ellas se determinara una solución.

Básicamente se establecen casos típicos relacionando las respuestas a las siguientes preguntas.

1. ¿la deflexión característica de diseño resulta superior, igual o inferior a la admisible para el transito previsto?
2. ¿hay fallas de origen estructurales o se limitan a fallas superficiales? ¿de que tipo?
3. ¿existe una capa débil inmediatamente debajo de las capas asfálticas?

Caso 1

Se caracteriza por que las deflexiones características D_c es superior a la tolerable para el transito actual o futuro previsto y por no presentar fallas estructurales generalizadas.

Se trata de pavimentos infradiseñados que necesitan con urgencia un refuerzo estructural para resistir el transito futuro, sin esperar que el deterioro que se producirá agrave en elevada producción la capacidad estructural que posee el presente.

Caso 2

La característica que lo diferencia del primero es la generalización del desarrollo de fallas estructurales, que obedecen a causas ajenas a la presencia de un espesor de base débil, inmediatamente debajo de la capa asfáltica; es decir que concurren los tres parámetros considerados.

Es el caso avanzado del primero caso cuando no se han tomado a tiempo las medidas necesarias. Las deflexiones son empleadas para el cálculo de refuerzo. Sin embargo para valores excesivamente altos pueden objetarse su utilización en razón de que:

- ✓ Es extremadamente difícil estimar el poder reductor de las deflexiones por efecto de un espesor de refuerzo excesivamente grande.
- ✓ La utilización de un único material de refuerzo (concreto asfáltico) resulta, en la generalidad de los casos antieconómica.

Por estos motivos, en estas circunstancias es conveniente por lo menos verificar el refuerzo calculado en base a métodos de diseño racionales.

Caso 3

Esta caracterizado por la presencia de una capa débil subyacente a la asfáltica, que determina que la deformación de esta última bajo cargas no encuentre apoyo suficiente y sea mayor que la que correspondería en ausencia del espesor débil.

El origen de las fallas por fatiga (agrietamiento, fisuras, tipo cuero de cocodrilo) observadas deriva en este caso de la interrelación entre los espesores de las capas de asfálticas, radio de curvatura de la línea de deflexión y deformación por tracción de las mismas al flexionar repetidamente bajo cargas. Para determinado material de la capa superficial asfáltica, carga y espesor, la deformación por tracción al flexionar es inversamente proporcional al radio de curvatura; de ahí que cuando la curvatura es marcada se alcancen valores críticos de deformación, que por repetición llevan al fisuramiento.

Caso 4

El cuarto caso se estima poco probable para los pavimentos del Perú, por el momento, ya que se trata generalmente de antiguos pavimentos reforzados con grandes espesores asfálticos que evitan fallas por fatiga, pero no compensan la debilidad de la fundación primitiva, por lo que se observan deformaciones permanentes que afectan toda la estructura.

Caso 5

Se observan signos de degradación estructural, las deflexiones son inferiores a la tolerable y la estructura del pavimento no revela infradiseño. Los parámetros resultan concurrentes, la capacidad estructural del pavimento es satisfactoria por lo que la rehabilitación se limitará a una corrección de las deficiencias superficiales que se observen en la superficie de rodamiento.

CAPITULO IV ANALISIS DE RESULTADOS

4.1. EVALUACION DE LA CAPACIDAD ESTRUCTURAL

Con lo valores de D_c y D_a y las graficas de deflectograma, se realiza el juicio de la capacidad estructural del pavimento en el tramo en estudio.

Cuadro 4.1 RESUMEN DE RESULTADOS DEL TRAMO EN ESTUDIO

Descripción	Unidad	Cañete - Huancayo Km 104+00 al Km. 106+00			
		1	2	3	4
Año de Análisis (n)	años	1	2	3	4
Deflex. Carac. (D_c)	$\times 10^{-2}$ mm	116	116	116	116
Deflex. Admi (D_a)	$\times 10^{-2}$ mm	235.86	197.21	177.18	163.94
Radio de Curv (R_c)	m	357.78	357.78	357.78	357.78
ESPEJOR DE REFUERZO	cm	-12.78	-9.56	-7.63	-6.23
ESP. DE REFUERZO RECOMENDADO	cm	NR	NR	NR	NR

Fuente: Elaboración propia

Se observa que para los periodos de evaluación de $n=1$ a $n=4$ año, la deflexión característica ($D_c = 116 \times 10^{-2}$ mm) es menor que las deflexiones admisibles por lo tanto se considera que la capacidad estructural del pavimento tendrá un comportamiento adecuado, además el radio de curvatura ($R_c = 357.78$ m) por lo tanto en este sector tiene un adecuado comportamiento.

4.2. EVALUACION ECONOMICA DE LA METODOLOGIA

En este punto se analizara analizaremos el costo que significa realizar este ensayo y que tan conveniente es con respecto a otro ensayo que ayude a determinar el estado del pavimento.

Cuadro 4.2. Análisis de costo unitarios del ensayos con Viga Benkelman

ENSAYO CON VIGA BENKELMAN			FECHA: JUN-2010			
RENDIMIENTO DIARIO 5 PTOS X KM						
INSUMO	UND.	CANT.	P.U. S/.	PARCIAL S/.	TOTAL S/.	
8 KM						
Cuad.						
MANO DE OBRA						
ING SUPERVISOR	1 HH	1.00	15	15		
TECNICO VIGA BENKELMAN	1 HH	1.00	11	11		
AYUDANTE	5 HH	5.00	7.5	37.5		
CHOFER	2 HH	2.00	11	22		85.5
EQUIPO Y HERRAMIENTAS						
CAMION DE 8.2 TON		0.125	600	75		
VIGA BENKELMAN		0.125	175	21.875		
CAMIONETA		0.125	440	55		
HERRAMIENTA MANUAL	%MO	5%	85.5	4.275		156.15
				TOTAL S/.		241.65

Fuente: Elaboración Propia

Del análisis mostrado se puede notar que el costo por cada kilometro es de S/. 241.65 nuevos soles, el costo es considerando que los equipos son alquilados.

Cuadro 4.3. Análisis de costo unitarios del ensayos C.B.R. In situ

ENSAYO CON CBR IN SITU			FECHA: JUN-2010			
RENDIMIENTO DIARIO						
INSUMO	UND.	CANT.	P.U. S/.	PARCIAL S/.	TOTAL S/.	
6 KM						
Cuad.						
SUB CONTRATO						
ENSAYO CBR IN-SITU	1 HH	5.00	600	3000		3000
				TOTAL S/.		3000

Fuente: Elaboración Propia

Del análisis mostrado se puede notar que el costo por cada kilometro es de S/. 3000.00 nuevos soles, el costo es considerando que será subcontratado.

De ambos análisis se puede notar claramente que para evaluar la estructura del pavimento es mas conveniente en lo económico utilizar el deflectómetro de la Viga Benkelman, es claro que la diferencia entre los costos es muy grande, esto debido a que son muy pocas las empresas que realizan el ensayo del CBR in-Situ, además de requerirse personal especializado.

4.3. DETERMINACION DE LA FLEXION Y SU RELACION CON EL ESTADO DEL PAVIMENTO.

En el tramo en estudio después de los cálculos y análisis se puede determinar que la estructura del pavimento está en buena condición.

El presente Informe de Suficiencia trata específicamente de la evaluación estructural del pavimento y la metodología a utilizar, siendo así esta demostrado mediante los cálculos y gráficos de las deflexiones y el radio de curvatura que el pavimento se encuentra en buena condición estructural.

Esto no significa que el pavimento este en un buen estado superficial, ya que se pudo notar visualmente que la superficie de rodadura sufre desprendimientos lo que ha ocasionado un excesivo parchado de la carretera en algunos tramos.

Figura: 4.1 Parchado de pavimento Km 105+000



4.3. ANALISI DE GRAFICOS DEFLECTOGRAFICOS.

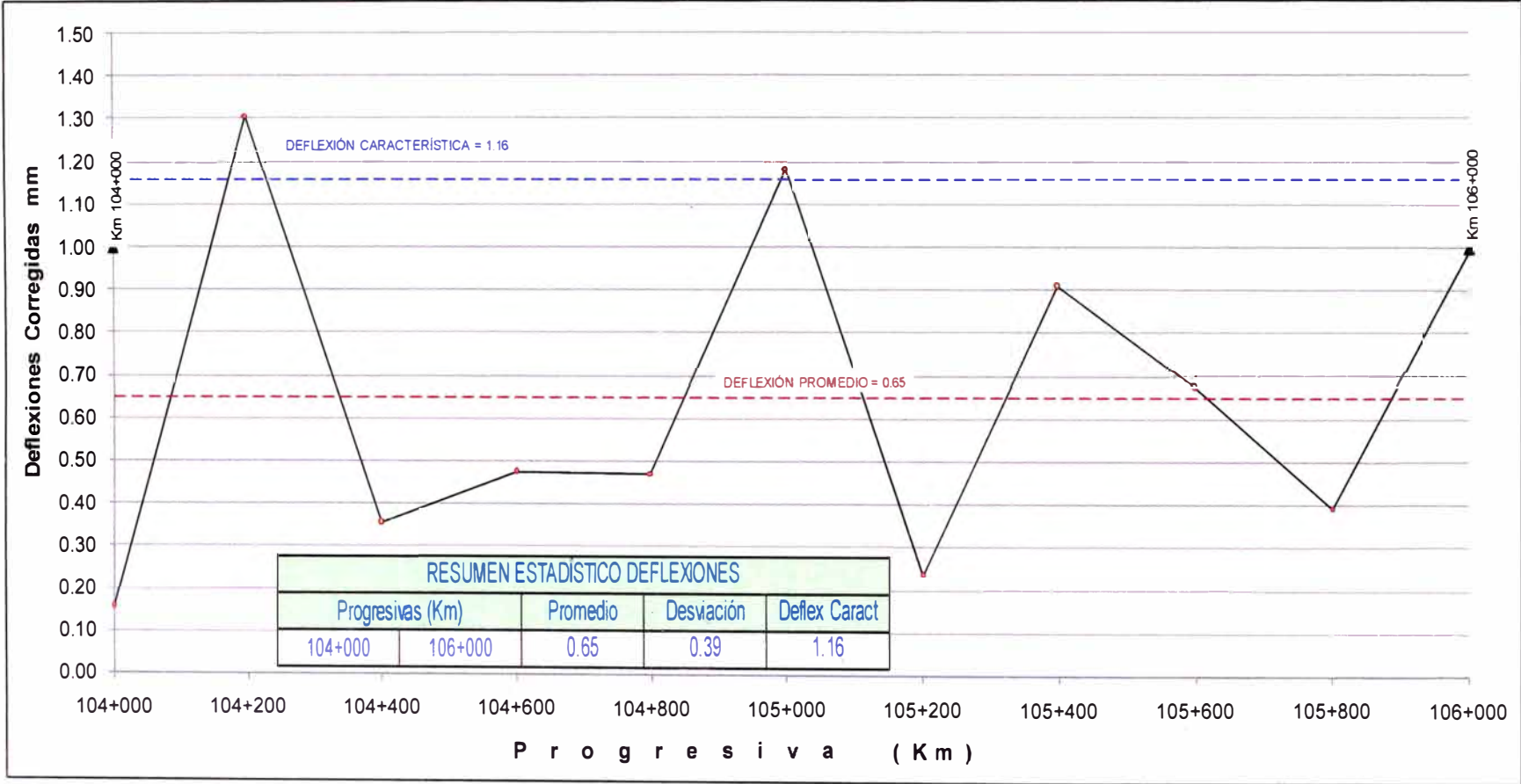
Cuadro 4.4. Calculo del radio de curvatura

CARACTERIZACIÓN DEFLECTOMÉTRICA CARRETERA: CAÑETE - HUANCAYO MEDICIÓN DE DEFLEXIONES CON VIGA BENKELMAN										
SECTOR : km 104+000 al km 106+000						OPERADOR : Téc. Varios				
CARRIL : Izquierdo						RELACIÓN VP : 3.99				
CAPA : T.S. Monocapa						DIAL : 0.01				
Progresiva (km)	Lecturas (10 ⁻² mm)		Espesor (mm)	Ahuellamiento (mm)		Temp (°C)	F.C.	RESUL. DEFLECT		Radio Curvatura (m)
	L ₂₅	L _{max}		Ahue 1	Prom			Deflexiones Corregidas		
								D ₂₅ mm	D ₀ mm	
104+000	1	4	6	4	4.0	35	0.991	0.12	0.16	790.3
104+200	4	33	4.5	6	6.0	36	0.993	1.15	1.31	197.2
104+400	1	9	7	3	3.0	38	0.988	0.32	0.35	793.1
104+600	5	12	5	5	5.0	37	0.992	0.28	0.47	158.0
104+800	7	12	7	5	5.0	36	0.989	0.20	0.47	113.1
105+000	10	30	7		-	36	0.989	0.79	1.18	79.2
105+200	2	6	6	2	2.0	36	0.990	0.16	0.24	395.4
105+400	5	23	6	0	-	36	0.990	0.71	0.91	158.1
105+600	4	17	3.5	2	2.0	36	0.994	0.52	0.67	196.9
105+800	1	10	7	13	13.0	35	0.990	0.36	0.39	791.4
106+000	3	25	4.5	1	1.0	35	0.993	0.87	0.99	262.8

Fuente: Elaboración Propia

CARACTERIZACIÓN DEFLECTOMÉTRICA CARRETERA: CAÑETE - HUANCAYO DEFLEXIONES VS PROGRESIVAS			
SECTOR	: km 104+000 al km 106+000	OPERADOR	: Téc. Varios
CARRIL	: Izquierdo	RELACIÓN VP	: 3.99
CAPA	: T.S. Monocapa	DIAL	: 0.01

Figura 4.1. Grafica Deflexión Vs Progresiva

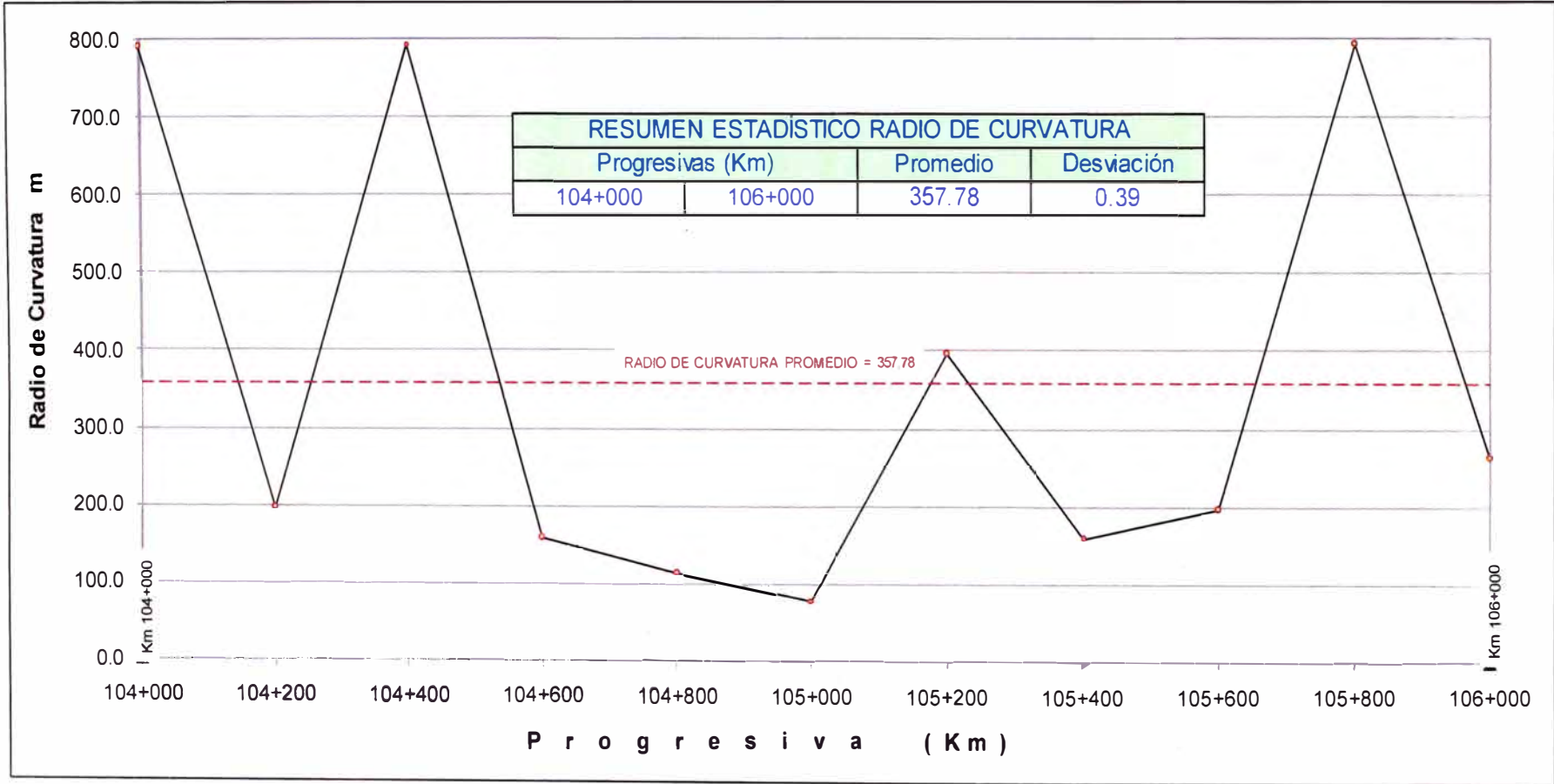


Fuente: Elaboracion propia

CARACTERIZACIÓN DEFLECTOMÉTRICA
CARRETERA: CAÑETE - HUANCAYO
RADIOS DE CURVATURA VS PROGRESIVAS

SECTOR : km 104+000 al km 106+000	OPERADOR : Téc. Varios
CARRIL : Izquierdo	RELACIÓN VP : 3.99
CAPA : T.S. Monocapa	DIAL : 0.01

Figura 4.2. Grafica Radio de Curvatura Vs Progresiva



Fuente: Elaboracion propia

- Como se aprecia en la grafica de Deflexión Vs Progresiva la deflexión característica es mayor a la deflexión promedio.
- También se obtiene de la grafica que la deflexión característica es menor que la deflexión admisible por tal motivo se concluye que el tramo en análisis tiene un buen comportamiento estructural.
- También se puede visualizar en la grafica que los valores son muy dispersos esto se debe a que hay valores inconsistentes.
- En la grafica Radio de curvatura Vs progresiva también se puede notar que los puntos son dispersos.

4.5. CARACTERIZACION DEL TRAMO EN ESTUDIO

En esta etapa se determina las características de los factores que de algún modo afectan a la estructura del pavimento en el tramo en estudio.

Clima.- En esta zona el clima es caluroso y soleado casi todo el año con vientos frescos que bajan de las regiones altas y una precipitación ligera.

Altitud.- La altitud del tramo en estudio es de 1740 m.s.n.m.

Terreno.- El terreno encontrado en la zona es arena limosa sub angular, con material fino sin materia orgánica con tamaño máximo de 3". Clasificación SUCS SC-SM.

Deflexión.- Las deflexiones encontradas en la zona han determinado que el pavimento no tendrá problemas estructurales en los próximos tres años.

Rugosidad.- La rugosidad en el tramo en estudio es de 4.6 lo que indica un estado superficial regular a malo.

Sismicidad.- Se encuentra en la zona 3 cuyo factor de aceleración máxima del terreno (0.40), es la mayor de las otras dos zonas con una probabilidad de 10% de ser excedida en 50 años.

Topografía.- En este tramo se desarrolla sobre media ladera y terrenos en su mayoría deleznable que son un problema latente para la transitabilidad de la zona.

Vía.- Plataforma de una sola calzada con un solo carril de dos sentidos de circulación y con un ancho que varía entre los 3.00m y los 4.00m y pendientes entre un rango de 3% a un 6%.

Carpeta de rodadura.- Este tramo tiene un tratamiento superficial Monocapa, esta solución básica está constituida por una base estabilizada y un recubrimiento bituminoso, este trabajo fue realizado en enero y febrero del 2010 por la concesionaria CGC, esto se obtuvo de los programas de avance que envió el contratista.

CONCLUSIONES

- ✓ Se puede concluir, que para establecer un periodo en la cual se debe realizar un nuevo ensayo con la Viga Benkelman, se debe tener en cuenta los siguientes puntos.
 - Se debe considerar que el sistema de drenaje no afectara el pavimento, ya que este es un factor muy variable.
 - Se debe tener en cuenta el tráfico actual y proyectado en la zona en estudio para el cálculo del número de ejes equivalentes.
 - Se debe tener en cuenta la primera toma de datos con la Viga Benkelman y con esto determinar el estado actual del pavimento.
 - El factor económico.

- ✓ Se sabe que cada carretera tiene distintas características, por lo tanto las frecuencias de ensayo estarán sujetas a las características antes mencionadas del estado de la estructura del pavimento determinadas con el ensayo con Viga Benkelman.

- ✓ Teniendo en cuenta lo antes mencionado y después de realizar los cálculos correspondientes el tramo en estudio no tendría problemas en su estructura en los próximos tres años. esto a causa principalmente de un IMD bajo de la zona y una $D_c < D_a$. Por tal razón no habría motivo para realizar un nuevo ensayo con la Viga Benkelman.

- ✓ De acuerdo con los datos obtenidos del radio de curvatura se puede concluir que el pavimento tiene un buen comportamiento estructural.

Radio Curvatura (m) calculado	Valores de Radios de curvatura $R_{ci} > 100m$
790.3	Cumple
197.2	Cumple
793.1	Cumple
158.0	Cumple
113.1	Cumple
79.2	No Cumple
395.4	Cumple
158.1	Cumple
196.9	Cumple
791.4	Cumple
262.8	Cumple

- ✓ De acuerdo al método racional del Dr. Ruiz, considerado dentro del estudio elaborado por MTC (CONREVI), el pavimento que se encuentra dentro del tramo en estudio no requiere un refuerzo estructural, pero si un refuerzo de la superficie de rodadura por el desgaste sufrido.
- ✓ El estudio ha demostrado mediante un análisis de costos que es mas rentable la utilización del deflectometro de la Viga Benkelman para la evaluación estructural del pavimento frente al ensayo del CBR in-situ.
- ✓ Se determina también que a mayor número de ejes equivalentes las deflexiones admisibles decrecen lo que al final se refleja en un deterioro del pavimento.
- ✓ Se observa también que el trafico en el tramo en estudio es relativamente bajo tanto en la actualidad como en su proyección, si este trafico aumentara significativamente la estructura del pavimento de deterioraría mas rápido.

RECOMENDACIONES

- ✓ se recomienda para la toma de datos en campo con la Viga Benkelman, las lecturas del dial lo debe realizar una sola persona, para no tener una interpretación diferente.
- ✓ Se recomienda determinar las zonas donde se realizaran los ensayos con anterioridad para que se obtengan valores más representativos, evitando realizar los ensayos sobre pavimentos parchados ya que se alterarían los datos.
- ✓ Se debe tener presente los factores climatológicos y la temperatura al momento de realizar las mediciones.
- ✓ Se recomienda implementar cunetas y realizar un buen mantenimiento de los sistemas de drenaje para no afectar la estructural del pavimento que según cálculos hasta el momento tiene un buen comportamiento.
- ✓ Se recomienda realizar distintos tipos de ensayo al pavimento para determinar un mantenimiento adecuado.
- ✓ Se debe implementar nuevas técnicas que permitan obtener datos más precisos y confiables en un menor tiempo, y a su vez implementarlas a los distintas carreteras en nuestro país.

BIBLIOGRAFIA

Consortio de Rehabilitación Vial de carreteras en el País, Perú, 1982.

Hoffman Mario S., Pablo M. del Águila “Estudio de Evaluación Estructural de Pavimentos basados en la Interpretación de Curvas de Deflexiones”, Lima-Perú, 1985.

Ministerio de Transportes y Comunicaciones, Manual de Diseño de Caminos Pavimentadas de Bajo Volumen de Transito, Perú, 2007.

Romero Coronado Elvis Pablo. “Aplicación de Viga Benkelman en Carreteras Afirmadas Propuestas Para su Rehabilitación Cusco-Quillabamba Tramo II-Carrizales-Alfamayo (Km 66+600 al Km 84+400)”, Tesis UNI-FIC. Perú, 2008.

Vargas Manrique, Fernando Alberto. “Evaluación Estructural de la Carretera Cañete-Yauyos-Chupaca con Viga Benkelman – Método Empírico Tramo Km. 69+000 al Km. 74+000”, Informe de Suficiencia UNI-FIC. Perú, 2009.

Páginas Web consultadas

www.mtc.gob.pe

<http://books.google.com.pe>

www.proviasnac.gob.pe

ANEXOS

Anexo N°1

Cuadro del IMD Actual en El Tramo en Estudio.

Tipo de Vehículo	Capillucas	
	94+640	
	Dv. Yauyos	
	127+000	
	32.36	
	2008	2009
Auto	1	2
Camioneta	20	27
C.R.	4	12
Micro	0	3
Omnibus 2	8	12
Omnibus +2	0	0
Camion 2 Ejes	9	20
Camion 3 Ejes	11	14
Camion 4 Ejes	0	0
Semitraylers	0	0
Traylers	0	0
IMDa	53	90

Anexo N°2

Población Directamente Beneficiada

Provincia	Distrito	Población 2007
Cañete	San Vicente de Cañete	46464
	Imperial	36340
	Nuevo Imperial	19026
	Lunahuana	4567
	Pacarán	1687
	Zuñiga	1582
Yauyos	Catahuasi	1090
	Tupe	655
	Cacra	544
	Hongos	435
	Lincha	771
	Putinza	452
	Ayauca	1773
	Colonia	1439
	Yauyos	2698
	Huantán	926
	Laraos	960
	Carania	330
	Alis	1519
	Tomas	1077
Concepción	San José de Quero	6452
	Chambara	2985
Chupaca	San Juan de Jarpa	3664
	Huachac	3738
	Ahuac	6547
	Chupaca	20976
	San Juan de Yscos	2332
	Huamancaca Chico	4998
	Tres de Diciembre	1920
	Chongos Bajo	4409
Huancayo	Pilcomayo	13295
	Huancayo	112054
Total		307705

Fuente: Del número de Habitantes INEI Censo 2007

Anexo N°3

Formato Para la toma de datos en el ensayo de la viga Benkelman

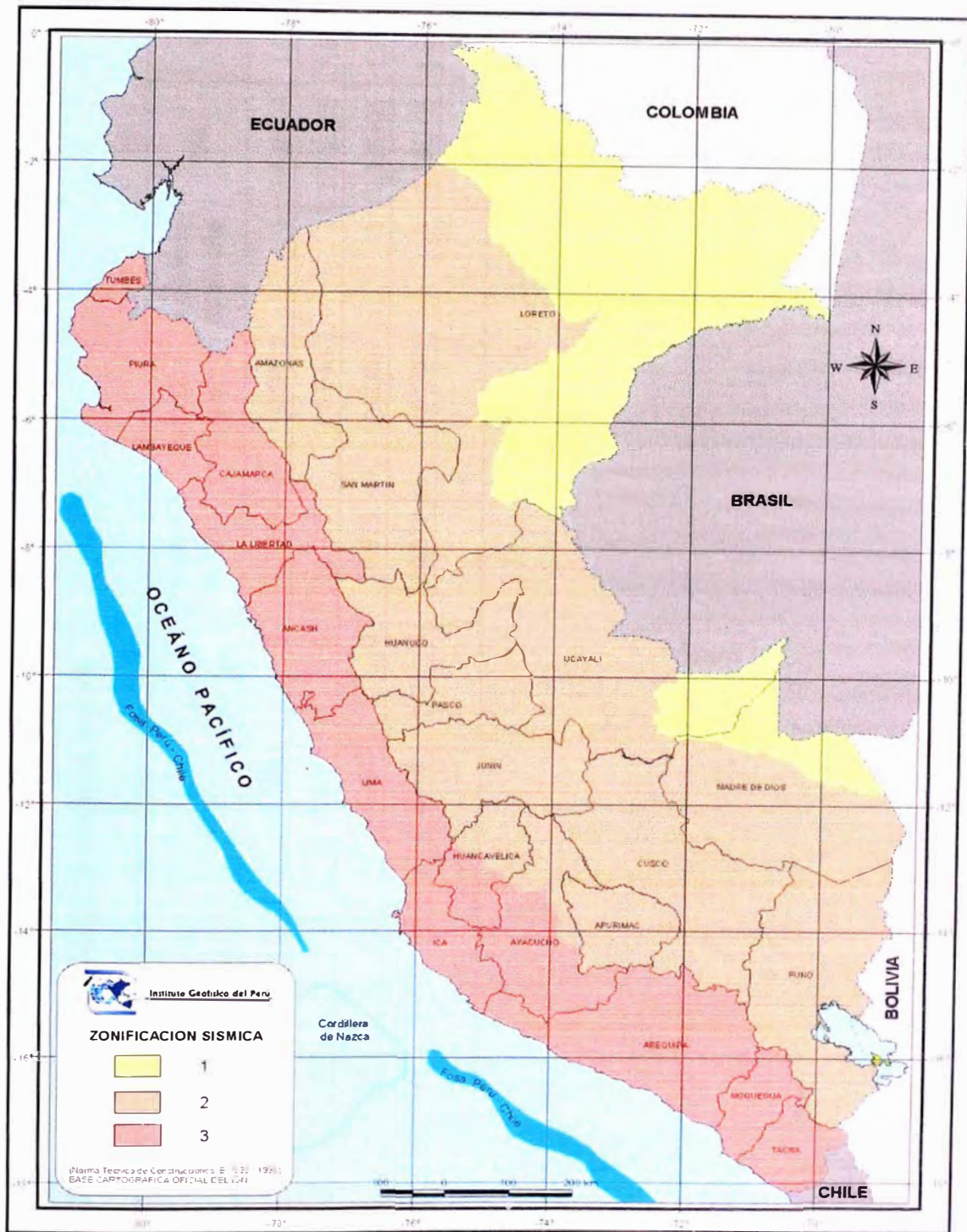
CARACTERIZACIÓN DEFLECTOMÉTRICA

MEDICIÓN DE DEFLEXIONES CON VIGA BENKELMAN

TRAMO	:		OPERADOR	:	
CARRIL	:		RELACIÓN VP	:	
CAPA	:		FECHA	:	

Estaca (km)	Lecturas de Campo (10 ⁻³ pulg)				Espesor (m)	Ahuellamiento (mm)			Temp (°C)	RESULTADOS DEFLECTOMÉTRICOS	
	L ₂₅	L ₄₀	L ₇₀	L _{max}		Ahue 1	Ahue 2	Prom		Deflexiones Corregidas	
										D ₂₅ x 10 ⁻² mm	D _{MAX} x 10 ⁻² mm

Anexo N°4 Clasificación de zonas sísmicas del Perú

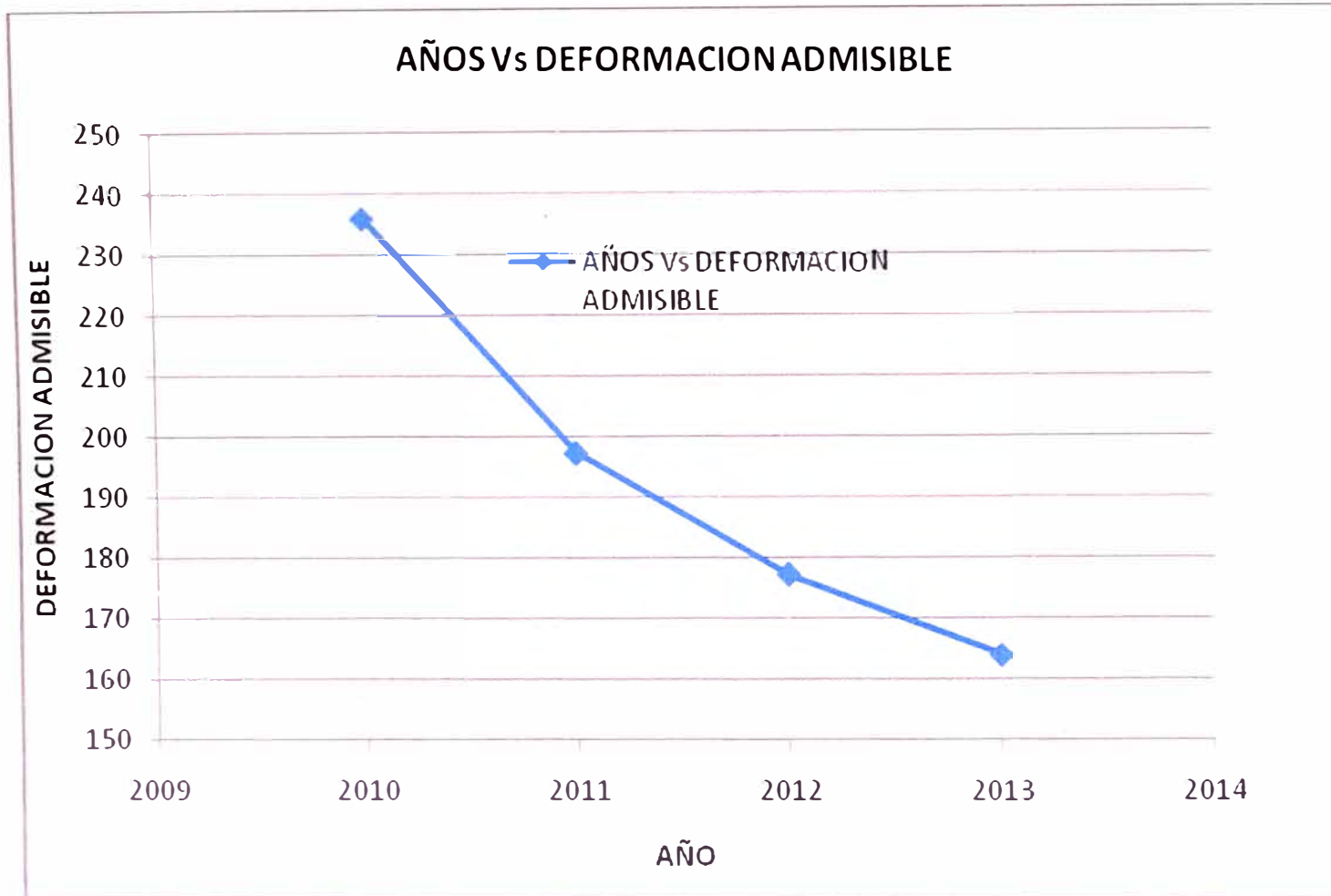


Anexo N°5

CUADRO DE CÁLCULO DE NÚMERO DE EJES EQUIVALENTES

AÑO	IMD Camion de 2 Ejes	Fac Dest de 2 Ejes	IMD Camion de 3 Ejes	Fac Dest de 3 Ejes	IMD Camion de Tys	Fac Dest de Tys	i (tasa de crecimiento)	n periodo de diseño	EAL	W18	Dadm (x10-2 mm)
2010	35	4.504	14	3.284	0	10.979	0.046	1	7.43E+04	3.72E+04	235.86
2011	35	4.504	14	3.284	0	10.979	0.046	2	1.52E+05	7.60E+04	197.21
2012	35	4.504	14	3.284	0	10.979	0.046	3	2.33E+05	1.17E+05	177.18
2013	35	4.504	14	3.284	0	10.979	0.046	4	3.18E+05	1.59E+05	163.94

Anexo N°6
Grafico Tiempo vs Deformación Admisible



Anexo N°7
Cuadro De Factores Destructivos

Nº	TIPO DE VEHICULO	DESCRIPCION	EJE DELANTERO	EJES POSTERIORES				EE 8.2TN
				1º EJE	2º EJE	3º EJE	4º EJE	
1	MICRO	CARGA TN	7	11				18
		F.E.C.	1.265	3.238				4.503
2	OMNIBUS 2E	CARGA TN	7	11				18
		F.E.C.	1.265	3.238				4.503
3	OMNIBUS 3E	CARGA TN	7	18				25
		F.E.C.	1.265	2.019				3.284
4	CAMION 2E-P	CARGA TN	7	11				18
		F.E.C.	1.265	3.238				4.503
5	CAMION 3E	CARGA TN	7	18				25
		F.E.C.	1.265	2.019				3.284
6	CAMION 4E	CARGA TN	7	23				30
		F.E.C.	1.265	1.018				2.283
7	SEMITRAYLER	CARGA TN	7	11	18			36
		F.E.C.	1.265	3.238	2.019			6.522
8	TRAYLERS	CARGA TN	7	11	11	11		40
		F.E.C.	1.265	3.238	3.238	3.238		10.979

Anexo N°8

CÁLCULO DE PARAMETROS ELÁSTICOS (MODELO DE HOGG)

PROYECTO: Corredor Vial N° 13 TIPO DE SUP: Monocapa TRAMO: Km 104+000 - Km 106+000	PROCESADO: BACH. ESCALANTE POR: BEJAR REVISADO POR: LADO: IZQUIERDO
---	--

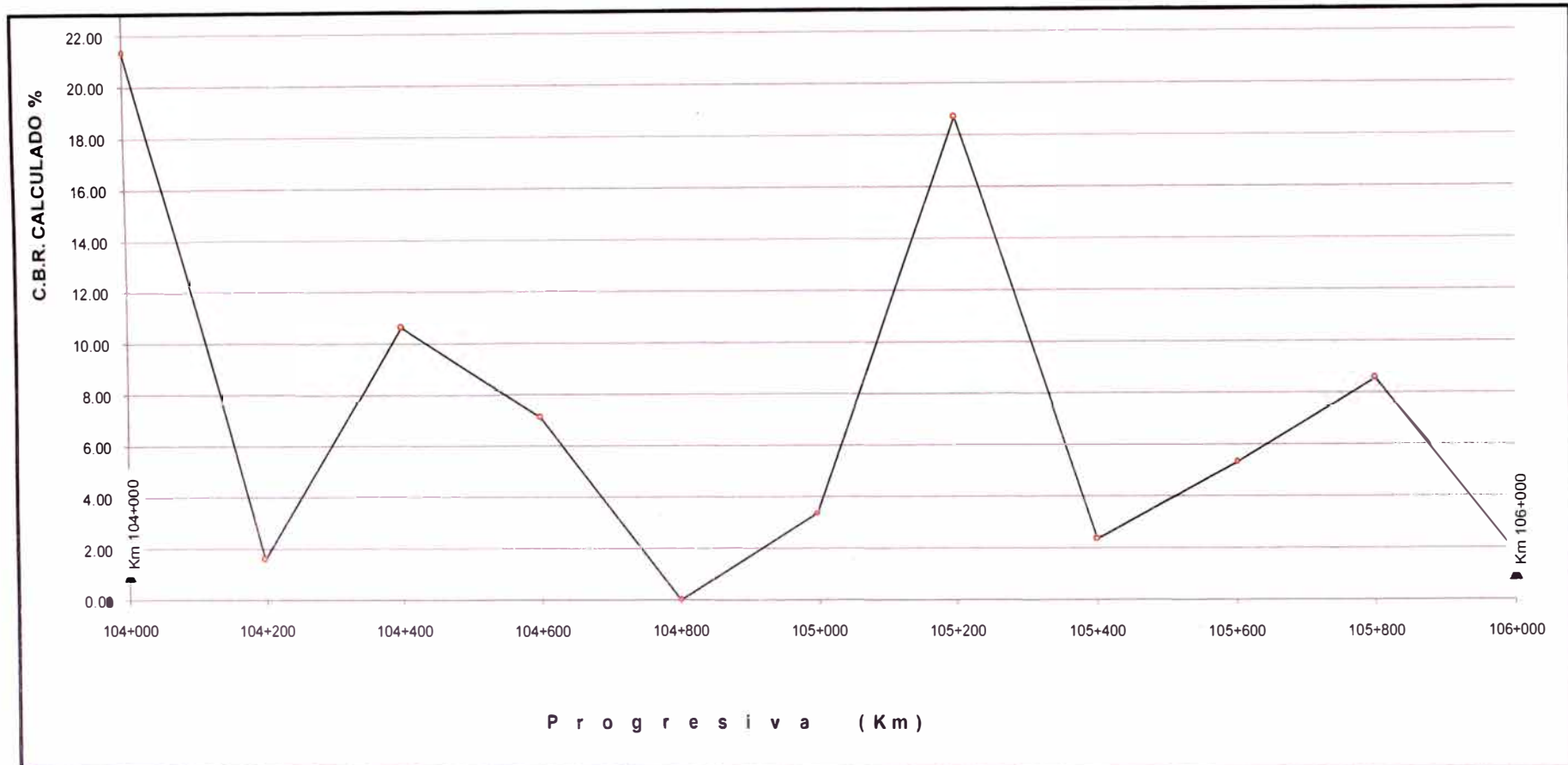
Progresiva	D _{máx} (10 ⁻² mm)	DR (cm)	R (cm)	Lo (cm)	R5 (cm)	So/S	Mr - Hogg		CBR (%)	Ancho de Superficie Curvatura
							kg/cm ²	psi		
104+000	16	0.08	50.0	27.2	50.0	0.86	2249	31931	21.3	4.6
104+200	131	0.75	70.0	47.7	82.8	0.94	170	2411	1.6	4.5
104+400	35	0.16	50.0	23.6	44.2	0.83	1119	15888	10.6	4.1
104+600	47	0.24	50.0	27.2	50.0	0.86	749	10638	7.1	3.6
104+800	47	0.20	25.0	0.0	21.0	0.00	0	0	0.0	4.4
105+000	118	0.47	50.0	21.2	40.5	0.81	362	5136	3.4	3.6
105+200	24	0.16	25.0	18.6	36.6	0.77	1970	27973	18.6	3.3
105+400	91	0.51	70.0	46.5	80.8	0.94	250	3547	2.4	5.0
105+600	67	0.32	50.0	25.2	46.9	0.84	559	7936	5.3	3.1
105+800	39	0.20	50.0	27.2	50.0	0.86	901	12791	8.5	3.2
106+000	99	0.63	70.0	56.0	95.9	0.96	194	2760	1.8	4.2

Anexo N°9

CARACTERIZACIÓN DEFLECTOMÉTRICA CARRETERA: CAÑETE - HUANCAYO GRAFICA DE CBR VS PROGRESIVA

SECTOR : km 104+000 al km 106+000
CARRIL : Izquierdo
CAPA : T.S. Monocapa

OPERADOR : Téc. Varios
RELACIÓN VP : 3.99
DIAL : 0.01



Anexo N°10

CARACTERIZACIÓN DEFLECTOMÉTRICA

CARRETERA: CAÑETE - HUANCAYO

GRAFICA DE CBR VS DEFLEXION

SECTOR : km 104+000 al km 106+000

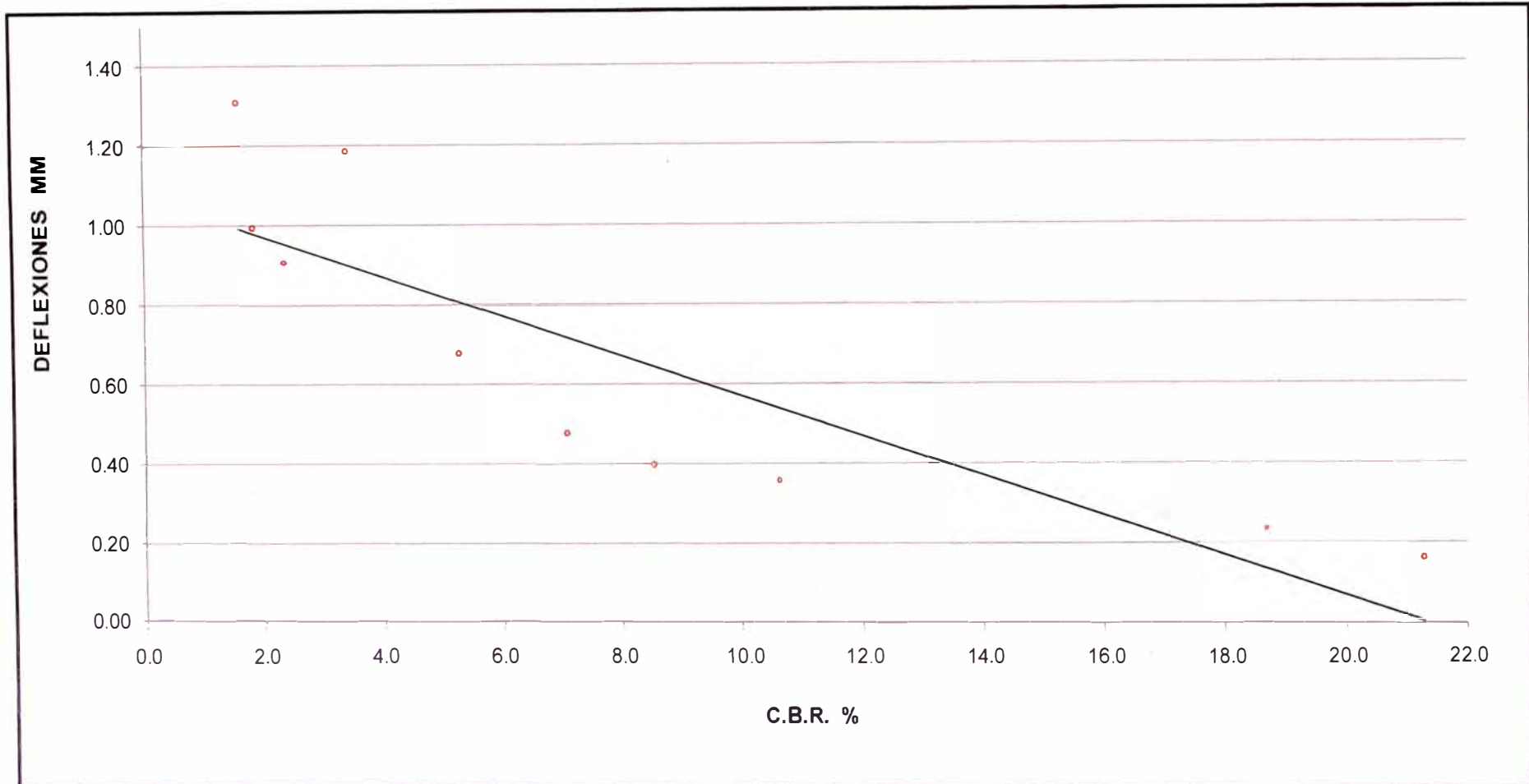
OPERADOR : Téc. Varios

CARRIL : Izquierdo

RELACIÓN VP : 3.99

CAPA : T.S. Monocapa

DIAL : 0.01



ANEXO N° 13

PANEL FOTOGRAFICO



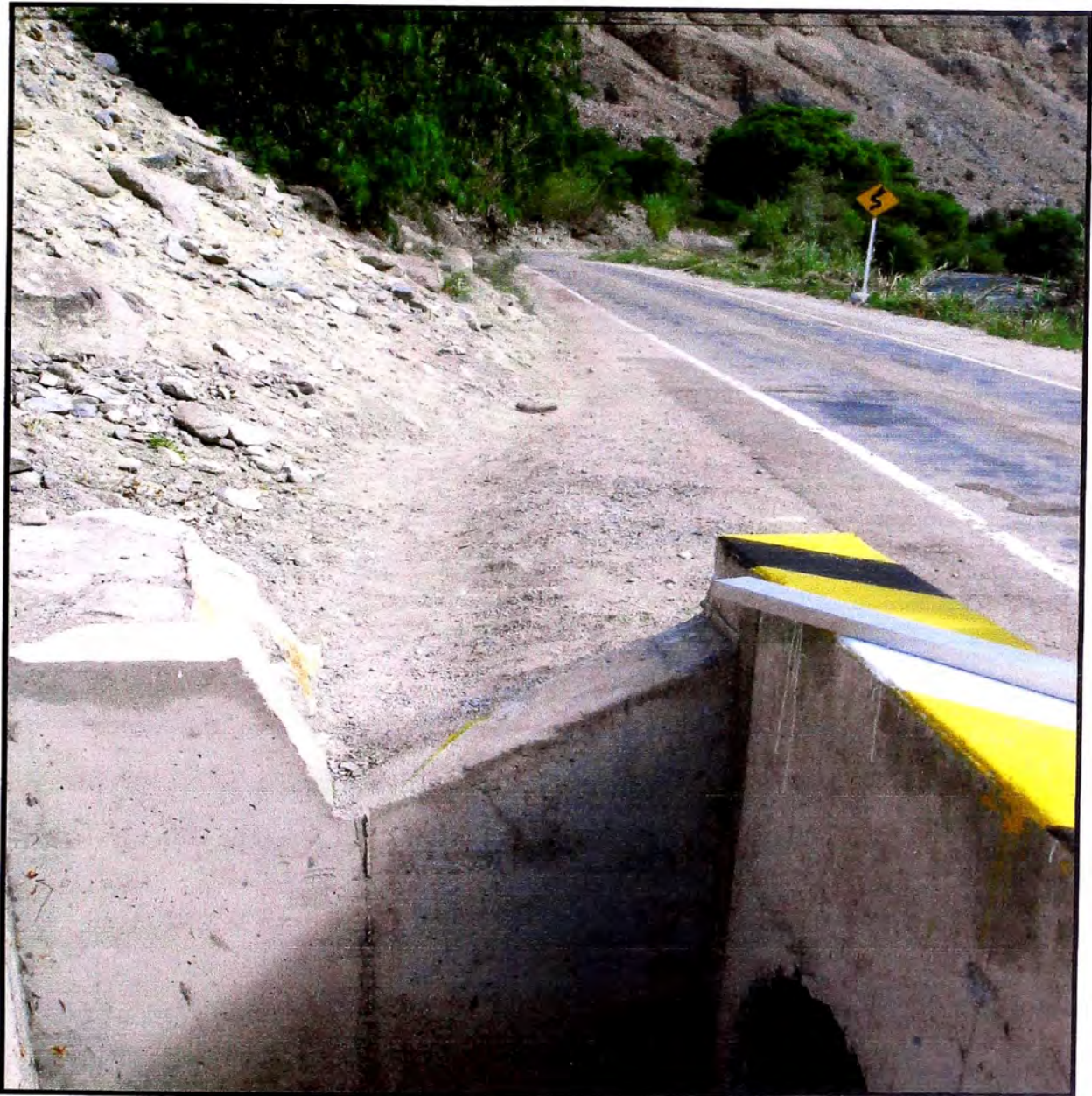
En la imagen se aprecia la topografía a media ladera y el material desdeñable.



En la imagen se aprecia las curvas cerradas con poca visibilidad además de la estreches de la carretera.



En la imagen se aprecia las condiciones de la superficie de rodadura, esta presenta demasiados parches a consecuencia del desprendimiento del recubrimiento superficial.



En la imagen se aprecia una de las tantas alcantarillas que cruzan la carretera, pero como se aprecia en la foto el drenaje longitudinal es prácticamente nulo lo cual hace que el sistema de drenaje en conjunto no funcione.



Se recomienda realizar un reconocimiento y marcado previo de la carretera para determinar las zonas representativas para la evaluación.



En la imagen se aprecia el camión estandarizado con 8.2 toneladas en el eje posterior con las barras que servirán de referencia para las lecturas.



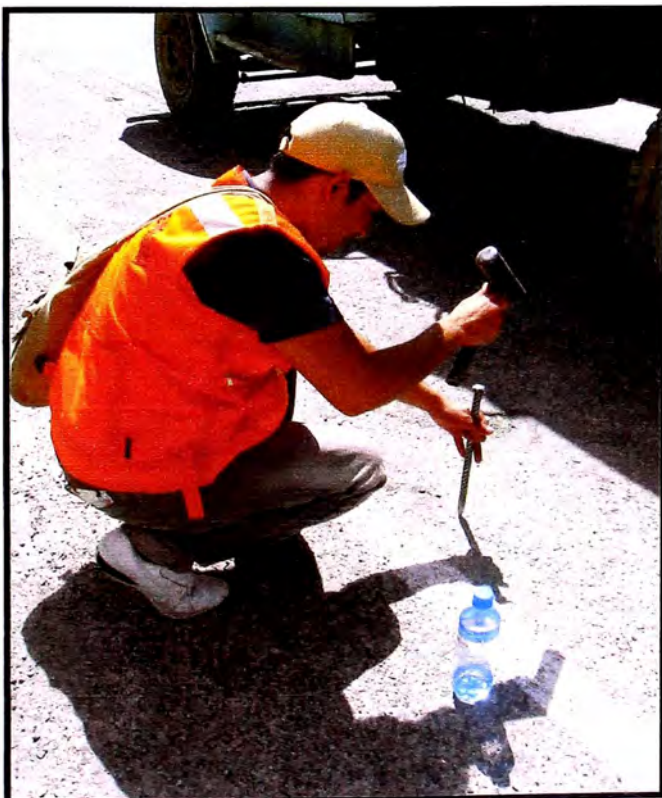
En la imagen se aprecia el la colocación de la Viga Benkelman entre las ruedas del eje posterior del camión para el inicio del ensayo.



En la imagen se aprecia el inicio del ensayo con el desplazamiento del camión y la toma de las lecturas.



En la imagen se aprecia la toma de datos de las lecturas hechas.



En la imagen se aprecia el punzonamiento de la carretera para la toma de la temperatura.



En la imagen se aprecia la colocación y lectura de la temperatura del pavimento.



En la imagen se aprecia la medición del ahuellamiento de la carretera.



En la imagen se hace la medición de los espesores de la superficie de rodadura, se puede notar claramente que el pavimento tiene un espesor menor a los 5mm lo que demuestra que es un pavimento que tiene un desgaste superficial considerable.