

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL



EVALUACIÓN DE DEFLEXIONES CON VIGA BENKELMAN
EMPLEANDO MÉTODO EMPÍRICO
MONITOREO DE CONSERVACIÓN CARRETERA
CAÑETE – HUANCAYO Km. 116+000 AL Km. 118+000

INFORME DE SUFICIENCIA

Para optar el Título Profesional de:
INGENIERO CIVIL

FREDY RICHARD MERCADO TORRES

Lima – Perú

2010

	Pág.
RESUMEN	02
LISTADO DE CUADROS	03
LISTADO DE FIGURAS	04
LISTADO DE SIMBOLOS Y SIGLAS	05
INTRODUCCIÓN	06
CAPÍTULO I.- GENERALIDADES	
1.1 Antecedentes.	08
1.2 Ubicación de la carretera.	10
1.3 Características de la carretera.	10
1.4 Sub-tramo en estudio Km. 116+000 al Km. 118+000.	16
CAPÍTULO II.- DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO	
2.1 Antecedentes de la viga Benkelman	19
2.2 Componentes de la viga Benkelman	21
CAPÍTULO III.- MARCO TEÓRICO	
3.1 Evaluación estructural.	23
3.2 Deflectometría método empírico CONREVIAL.	24
CAPÍTULO IV.- APLICACIÓN TRAMO Km. 116+000 AL Km. 118+000	
4.1 Recopilación de datos.	39
4.2 Procesamiento de datos.	39
CAPÍTULO V.- ANÁLISIS DE RESULTADOS	
5.1 Gráficos de deflectograma.	46
5.2 Evaluación de la capacidad estructural.	47
CONCLUSIONES	49
RECOMENDACIONES	51
BIBLIOGRAFÍA	52
ANEXOS	53

RESUMEN

El presente Informe de Suficiencia está dirigido a evaluar estructuralmente la superficie de rodadura de la carretera Lunahuana – Dv. Yauyos – Chupaca del tramo km. 116+000 al km. 118+000, mediante la medición de deflexiones elásticas empleando el deflectómetro conocido como “Viga Benkelman”.

La elección de la evaluación estructural de la superficie de rodadura con Viga Benkelman, permite medir deflexiones elásticas, de una manera sencilla, práctica, económica y no destructiva, cuyos resultados serán procesados e interpretados por el método empírico del estudio CONREVIAL (Consortio de Rehabilitación Vial), el cual permite evaluar el debilitamiento progresivo de la estructura de la superficie de rodadura, el cual adopta el procedimiento Canadiense que coincide con el Instituto de Asfalto, que determina la deflexión recuperable de la superficie de rodadura.

El tramo en estudio de la carretera Lunahuana – Dv. Yauyos – Chupaca Km. 116+000 al 118+000, ubicado entre los poblados de Aucco y Magdalena, se encuentra mejorada con la aplicación de un tratamiento superficial llamado Monocapa colocada sobre una base estabilizada, trabajos realizados por el consorcio CGC, de acuerdo al cronograma de trabajos de mantenimiento y conservación vial entre enero y marzo del 2009.

LISTADO DE CUADROS

	Pág.
Cuadro N°1.01: Principales poblados que cruza la carretera	11
Cuadro N°1.02: Tramificación y estado de la carretera en estudio	11
Cuadro N°1.03: Características del clima de la carretera	12
Cuadro N°1.04: Topografía y anchos de vía	13
Cuadro N°1.05: Valores de CBR y Mr	14
Cuadro N°1.06: Tasa de crecimiento anual para el tráfico	14
Cuadro N°1.07: Número de IMDs por tramo de la carretera	15
Cuadro N°3.01: Valores de Coeficiente de Variación t	29
Cuadro N°3.02: Corrección por estacionalidad	30
Cuadro N°3.03: Criterio para el cálculo de Equivalencia de carga	31
Cuadro N°3.04: Determinación de los factores de equivalencia de carga	32
Cuadro N°3.05: Casos Típicos de análisis combinando resultados de Evaluación.	36
Cuadro N°3.06: Valores recomendados de R	37
Cuadro N°4.01: Cuadro resumen de deflexiones promedio y característica	41
Cuadro N°4.02: Cuadro del cálculo de IMD's al 2010	42
Cuadro N°4.03: Obtención de los factores de equivalencia	42
Cuadro N°4.04: Obtención de EAL 's y Dadmisible	43
Cuadro N°4.05: Obtención de los Radios de Curvatura	43
Cuadro N°4.06: Resumen del cálculo de refuerzo por el metodo de deflexiones	44

LISTADO DE FIGURAS

	Pág.
Figura N°1.01: Plano de Ubicación de carretera	9
Figura N°1.02: Plano Clave de la carretera.	10
Figura N°1.03: Tramo en estudio km. 116+000 al km. 118+000	16
Figura N°1.04: Perfil Estatigrafico del Tramo en estudio Km. 116+000 al 118+000	16
Figura N°1.05: Estructura del pavimento tramo Km. 116+000 al Km. 118+000	17
Figura N°2.01: Pruebas con Viga Benkelman 1952	18
Figura N°2.02: Esquema de la Viga Benkelman	21
Figura N°3.01: Tipos de deflexiones.	23
Figura N°3.02: Esquema y principio de Operación de la Viga Benkelman	25
Figura N°3.03: Esquematización del proceso de medición	28
Figura N°3.04: Determinacion del Radio curvatura.	35
Figura N°4.01: Formato de hojas para la recopilación de datos de medidas De deflexion en campo	38
Figura N°4.02: Formato de hojas para el procesamiento de datos	39
Figura N°5.01: Deflectograma D ₀ y D ₂₅ tramo Km. 116+000 al Km. 118+000	45
Figura N°5.02: Deflectograma tramo Km. 116+000 al Km. 118+000	46

LISTADO DE SIGLAS Y SIMBOLOS

CONREVIAl	Consortio de Rehabilitación Vial.
CGC	Consortio Gestión de Carreteras.
WASHO	Western Association of State Highways Officials
AASHO	American Association of State Highway Officials
MTC	Ministerio de Transporte y Comunicaciones.
FWD	Falling Weight Deflectometer.
CBR	California Bearing Ratio
M.D.S.	Máxima Densidad Seca
S.U.C.S.	Sistema Unificado de Clasificación de Suelos
Dt	Deflexión Total
Dr	Deflexión recuperable o elástica
Dp	Deflexión permanente o residual.
Dc	Deflexión característica.
Dad	Deflexión admisible
Dprom	Deflexión promedio
D₀₂₀	Deflexión máx. corregida por temperatura estándar 20°C
D₂₅₂₀	Deflexión a 25cm corregida por temperatura estándar 20°C
N18(EE8.2)	Numero de ejes equivalente a 8.2 ton.
IMD	Índice Medio Diario
FE	Factor equivalente.
Rc	Radio de Curvatura

INTRODUCCIÓN

El presente Informe está dirigido a evaluar la condición de la capacidad estructural de la superficie de rodadura, mediante el empleo de la Viga Benkelman, la cual permite medir las deformaciones elásticas que sufre un pavimento flexible bajo la acción de una carga rodante estándar, de una manera sencilla, práctica y económica. Estas deflexiones serán procesadas e interpretadas por el método empírico basado en el estudio del CONREVIAL.

Este informe se encuentra dividido en cinco capítulos.

El Capítulo I, se abocará a todo lo relacionado al estado de la carretera y del tramo en estudio Km. 116+000 al Km.118+000 para lo cual se identificará: ubicación (punto de inicio y punto final), características del clima, topografía, tipo de suelo, tráfico de diseño, tipo de solución básica aplicada al afirmado, etc.

El Capítulo II, se detalla la descripción del equipo a emplearse para realizar la evaluación estructural del pavimento con el deflectómetro Viga Benkelman.

El Capítulo III, se realizará el marco teórico de los conceptos relacionado con deflexiones totales, recuperables o elásticas, remanentes, característica, admisible, promedio, efecto del tráfico, efecto del clima, radio de curvatura y juicios para evaluar estructuralmente el pavimento por método empírico basado en el estudio del CONREVIAL.

El Capítulo IV, de la teoría adquirida del capítulo III se describe todo lo referente a la recopilación y procesamiento de datos deflexiones elásticas obtenidas en campo del tramo en estudio.

El Capítulo V, se interpretará las curvas deflectométricas obtenidas para evaluar si la capacidad estructural del pavimento tiene un comportamiento adecuado mediante la comparación de deflexiones (entre D_c y D_{ad}), durante distintos periodos de diseño, del tramo en estudio Km. 116+000 al Km. 118+000.

CAPÍTULO I.- GENERALIDADES

1.1 Antecedentes.

La Carretera Lunahuana – Dv. Yauyos – Chupaca ubicada en los departamentos de Lima y Junín, fue proyectada y ejecutada por etapas durante el Gobierno del Sr. Augusto B. Leguía entre los años 1920 a 1930, mediante la ley de la Conscripción Vial Territorial del Perú promulgada por el entonces Ministerio de Fomento.

En los años 1940- 1944 durante el Gobierno del Dr. Manuel Prado Ugarteche, se avanza con los trabajos en la zona de la Costa desde Cañete hasta Yauyos, siendo inaugurada por el presidente en Junio de 1944, quedando postergado los trabajos de Yauyos a Huancayo. En 1954 se gestiona ayuda ante el Ministerio de Fomento, solicitando una delegación de Ingenieros para realizar la rectificación del trazo. Dicho trabajo queda concluido en 1957, integrando de esta manera la región costa con la sierra.

En el año 1998, la comisión de Promoción de Concesiones Privadas (PROMCEPRI) adjudicó la buena Pro al Consorcio “Asociación Aguas y estructuras (AYESA) – ALPHA CONSULT SA” para realizar el Servicio de Consultoría a Nivel de Estudio Definitivo de la Carretera Lunahuaná - Huancayo.

En el año 2003, el Proyecto Especial Rehabilitación de Transportes (PERT) del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC) encargó al consultor Ing. Floriano Palacios León, la elaboración del Estudio de Preinversión a Nivel de Perfil de la Carretera Ruta 22, Tramo: Lunahuaná – Yauyos – Chupaca de 245.15 km de longitud.

En el año 2005, PROVIAS NACIONAL – MTC realizó el Estudio de Pre Inversión a nivel de Factibilidad del Proyecto Mejoramiento y Rehabilitación de la Carretera Ruta 22, enfatizando el tema de Diseño Vial.

Posteriormente en 2007 por Resolución Ministerial N° 408 -2007-MTC/02 se creó el Programa “Proyecto Perú” bajo responsabilidad de PROVIAS NACIONAL. Este programa de Infraestructura vial fue diseñado para mejorar las vías de

integración de corredores económicos, conformado por ejes de desarrollo sostenido con el fin de mejorar el nivel de competitividad de las zonas rurales, en la red Vial Nacional, Departamental y Vecinal.

Con fecha 16 de Octubre de 2007 se realizó la Convocatoria para el Concurso Público “Servicio de Conservación Vial por Niveles de Servicio de la Carretera Cañete – Lunahuaná – Pacarán - Chupaca y Rehabilitación del tramo Zúñiga. Dv. Yauyos – Ronchas por un periodo de 5 años. Adjudicando la Buena Pro al CONSORCIO GESTION DE CARRETERAS, por un monto que asciende en S/. 131'589,139.71 con fecha 17 de Diciembre 2007.

Con fecha 01 de febrero del 2008 se inicia el servicio. El consorcio decidió ejecutar el servicio en 2 etapas: Pre-Operativa y Operativa.

En la etapa Pre-Operativa se realizaron los siguientes estudios o informes:

- Diseño y elaboración del programa de Conservación Vial.
- Elaboración del Plan de Manejo Socio Ambiental.
- Elaboración del informe técnico de la situación inicial de las rutas materia del contrato de Conservación Vial por Niveles de Servicio.
- Elaboración del Plan de Calidad para la ejecución de los servicios.

En la etapa Operativa, se realizarán las siguientes labores como:

- Conservación Rutinaria
- Conservación Periódica
- Cambio de Estándar de afirmado a solución básica
- Reparaciones menores
- Puesta a punto
- Atención de emergencias viales extraordinarias hasta garantizar la transitabilidad.
- Relevamiento de información
- Elaboración de informes mensuales e informes finales del proyecto.
- Implementación y puesta en marcha del plan de manejo socio ambiental.

Las alternativas de solución básica planteadas, se realizarán en campo por tramos de prueba. Estos trabajos requieren de evaluaciones superficiales,

estructurales y rugosidad de la superficie para su análisis y evolución de su comportamiento.

1.2 Ubicación de la carretera.

La carretera Lunahuana – Dv. Yauyos – Chupaca, se encuentra ubicada en los departamentos de Lima y Junín, con una longitud de 271.726 Km. Esta carretera está dentro de la cuenca del río cañete, presentando una pendiente promedio de 2%, sin embargo, presenta sectores en donde la pendiente es más pronunciada llegando hasta 8%, especialmente en la zona alta.

Se considera como punto de inicio de la carretera, la ciudad de Cañete km 1+805 con una altitud de 71 msnm y como punto de término el poblado de Chupaca Km 273+531 con una altitud: 3270 msnm. Ver figura N°01



Figura N°1.01 Plano de ubicación de carretera
(Fuente: Proyecto Perú - Ministerio de Transportes y Comunicaciones)

1.3 Características de la carretera.

La carretera Lunahuana – Dv. Yauyos – Chupaca es una carretera de tercer orden y pertenece al corredor vial N°13, atraviesa diferentes regiones de la Geografía del Perú, siendo los poblados principales, los que se aprecian en el Figura N°02 Plano Clave y en el Cuadro N° 01.

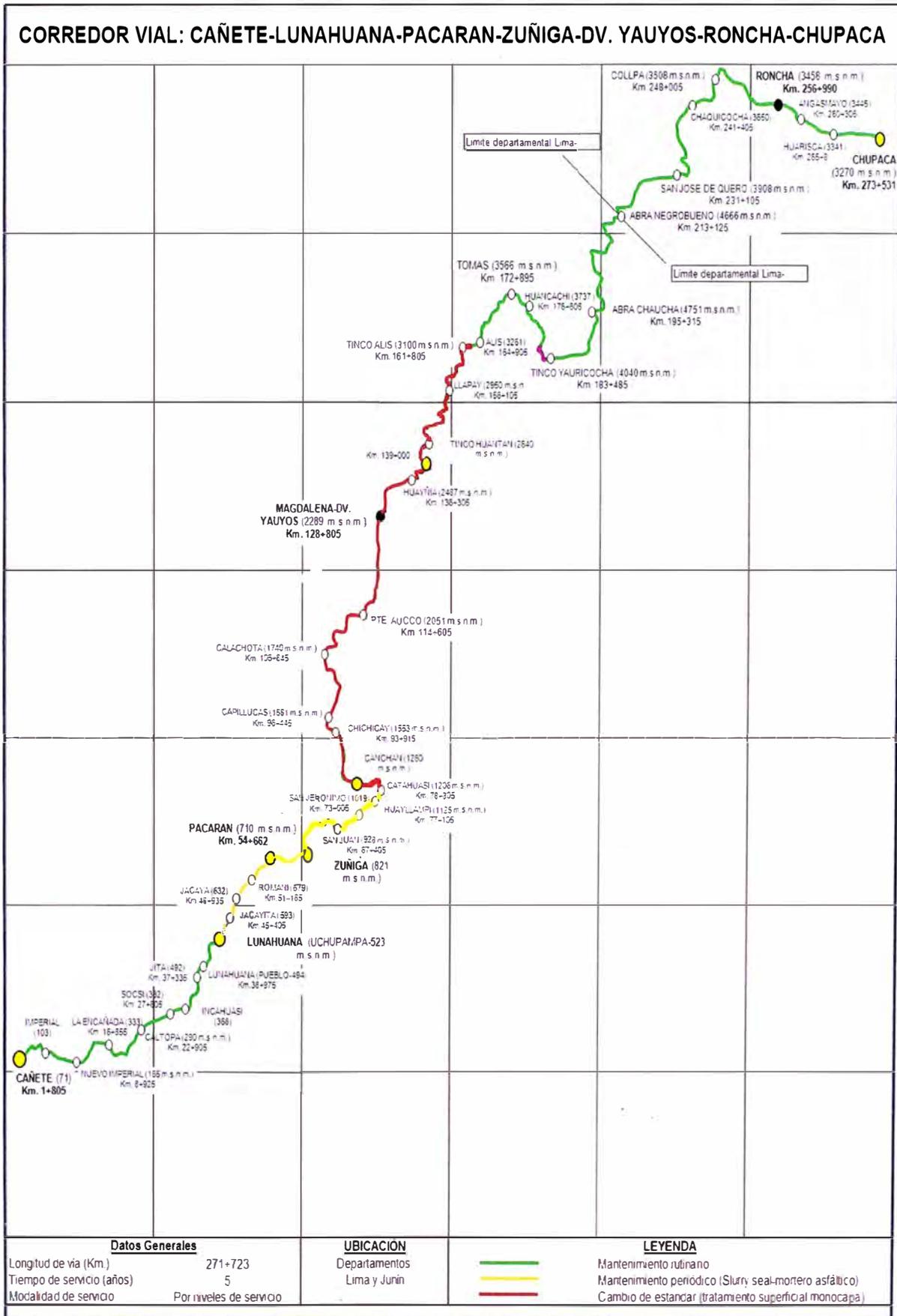


Figura N°1.02 Plano Clave
(Fuente : Escuela Profesional de Ing. Civil)

Cuadro N°1.01: Principales poblados que cruza la carretera

Región	Poblados
Yunga (500-2300 msnm)	Cañete , Lunahuanà, Pacarán, Zúñiga, Catahuasi , Capillucas, Calachota, Aucco, 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- 4800 msnm)	Tinco Yauricocha, Abra Chaucha, Abra Negro Bueno

(Fuente : Elaboración propia)

1.3.1 Tramificación de la Carretera

La carretera se encuentra dividida en seis tramos, de los cuales dos se encuentran pavimentadas con una infraestructura vial apropiada, y los otros 4 tramos se encuentran con tratamiento superficial y nivel afirmado que cuenta con una infraestructura vial insuficiente e inadecuada, esta tramificación se describe en el siguiente cuadro N° 1.02 antes y después de la intervención del mantenimiento.

Cuadro N°1.02: Tramificación y estado 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 - Zúñiga	3.743	Afirmado	Slurry Seal
Zúñiga - Dv. Yauyos	70.400	Afirmado	Monocapa
Dv. Yauyos - Roncha	128.185	Afirmado	Monocapa
Roncha - Chupaca	16.541	Afirmado	Afirmado

(Fuente: Elaboración propia)

1.3.2 Clima

El clima que se tiene a lo largo de la carretera es variable, como se dijo anteriormente atraviesa distintas regiones, produciendo diversos efectos sobre la estructura del pavimento

En los pavimentos de bajo volumen de tránsito, tanto las temperaturas altas como extremadamente bajas, afectan a los materiales asfálticos de la superficie de rodado. En el caso de las temperaturas extremas bajas pueden producir hinchamiento cuando se construye sobre suelos heladizos. 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.

Cuadro N°1.03 Características del clima de la carretera

Región	Temp. mínima	Temp. media	Temp. máxima	Precipitación	Característica
Yunga (Cañete – Dv. Yauyos) (500-2300 msnm)		20° a 27°C		Pprom=100-150 mm	Sol dominante casi todo el año.
Quechua (D. Yauyos - Tomas) (2300-3500 msnm)	-4 a 7°C	11° a 16°C	22° a 29°C	Pprom=800-1200 mm	Clima templado
Suni o Jalca (Tomas, San José de Quero, Chaquicocha, Collpa) (3500-4000 msnm)	-1 a -16°C	7° a 10°C	>20°C	Pprom.= 800 mm por año.	Clima frío
Puna (Tinco Yauricocha, Abra Chaucha, Abra Negro Bueno) (4000- 4800msnm)	-25° a -9°C	0° a 7°C	22°C	Pprom entre 200 mm y 1000 mm al año.	Clima muy frío

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

1.3.3 Topografía

La carretera en estudio presenta una topografía variable siendo plana, accidentada, media ladera y ondulada en diferentes sectores. Se tiene también un ancho de plataforma variable, como se observará en el cuadro N°04.

Cuadro N°1.04 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.
Lunahuaná –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 Región Puna	Ondulada	Plataforma con una calzada con un solo carril y tiene un ancho útil que varía de 3.80 a 8.50m.

(Fuente Elaboracion Propia . Recopilacion del Informe de conservacion vial por niveles de servicio de la carretera Cañete-Lunahuana-Pacaràn-Chupaca y rehabilitación del tramo Zúñiga - Dv. Yauyos – Ronchas.)

1.3.4 Geología

La geomorfología de la zona en estudio se encuentra conformada sobre las unidades sedimentarias que van desde el jurásico hasta el terciario, 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%.

1.3.5 Tipos de Suelos

Los estudios realizados por el Consorcio Gestión de Carreteras, correspondientes a los suelos y materiales de construcción, se encontró:

Del Km. 57+000 al Km. 130+000, como material predominante arena y gravas limosa que en el sistema SUCS clasifican como GC-GM, SC, SC-SM y en el sistema AASHTO es variable entre A-1-b(0) y A-2-4(0), presencia de bolonerías, en poca proporción en la capa superior.

Del Km. 130+000 al Km. 258+000 se encuentra como tipo de suelo arenas y gravas limosas y arcillosa clasificando en el sistema SUCS como GC, GC-GM, SC, SC-SM y en el AASHTO, A-2-4(0).

Los estudios de suelos efectuados por CGC se realizaron a 1.5m de profundidad, obteniendo valores de CBR y Mr tal como se muestran en el siguiente cuadro.

Cuadro N° 1.05: Valores de CBR y Mr

Sectores por Mecánica de Suelos		CBR (%)	Mr (psi)
Sector I: Zúñiga – Dv. Yauyos – Alis	57+450 – 130+000	20	13 201
	130+000 – 163+100	18	12 745
Sector II: Alis – San José de Quero	163+100 – 220+000	18	12 745
	220+000 – 229+300	5	7 500
Sector III: San José de Quero – Ronchas	229+300 – 240+000	5	7 500
	240+000 – 248+000	15	11 956
	248+000 – 255+185	4	6 000

(Fuente: Consorcio Gestión de Carreteras CGC. Abril, 2008)

1.3.6 Tráfico Vehicular

Del Estudio de Tráfico realizado en el mes de Junio del 2009 a cargo de CGC, se muestran los IMD's y las tasas de crecimiento por cada tipo de vehículo, para el cálculo de IMD's para próximos años.

Cuadro N° 1.06: Tasa de crecimiento anual para el tráfico

Indicadores Macroeconómicos	2009	2010	Tipo de Tráfico
Tasa de crecimiento anual de ingreso per cápita (PBI per cápita)	2.80%	3.40%	Vehiculos Ligeros
Tasa de crecimiento anual de la población	1.60%	1.60%	Transporte Público
Tasa de crecimiento anual del PBI económico (agropecuario departamental o nacional) (Prom. 2000-2009)	4.40%	5.00%	Transporte de Carga

(Fuente: Elaboración Propia)

La tasa de crecimiento para el tráfico liviano (Autos, camionetas, camioneta rural) será similar a la del crecimiento anual de Ingreso per cápita, la cual es de 3.4% (obtenido del promedio de los últimos 10 años para los departamentos de Lima y Junín).

La tasa de crecimiento para el tráfico de transporte público (micro, ómnibus) será similar a la del crecimiento anual de población, la cual es de 1.6% (obtenido del promedio de los últimos 10 años para los departamentos de Lima y Junín).

La tasa de crecimiento anual para el tráfico de transporte de Carga (camiones) será similar a la del crecimiento de PBI, la cual es de 5.0 % (obtenido del promedio de los últimos 10 años para los departamentos de Lima y Junín, considerando el escenario optimista).

Cuadro N°1.07: Número de IMDs por tramo de la carretera

RESUMEN DEL IMDA 2010 - 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
Estación	LUNAHUANA	PACARAN	ZUÑIGA	SAN JUAN	CHICHICAY	YAUYOS	COLPA	RONCHA	HUARISCA
Tipo de Vehículo	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9
Auto	144	32	13	48	6	2	4	13	27
Camioneta	632	250	224	352	367	28	211	306	510
C.R.	412	142	145	311	64	12	22	27	33
Micro	151	14	27	196	82	3	2	3	4
Ómnibus 2	33	14	12	31	33	12	4	6	7
Ómnibus +2	0	0	1	0	0	0	0	0	0
Camión 2 Ejes	90	71	67	61	42	21	38	44	45
Camión 3 Ejes	18	15	19	11	5	15	5	5	5
Camión 4 Ejes	0	2	0	2	0	0	0	0	0
Semitraylers	39	32	26	51	70	0	29	40	34
Traylers	0	0	0	116	77	0	0	0	0
IMDa (Veh/día) 2010	1,519	572	534	1,179	746	93	315	444	665

(Fuente: Elaboración Propia. Recopilación del informe de conservación vial por niveles de servicio de la carretera Cañete-Lunahuana-Pacarán-Chupaca y rehabilitación del tramo Zuñiga – Dv. Yauyos Ronchas)

1.4 Sub-tramo en estudio Km. 116+000 al Km. 118+000.

El sub-tramo de la carretera en estudio inicia en el Km.116+000 pasando por el poblado Aucco a 2051 msnm y termina en el Km 16+000 perteneciente al poblado de Magdalena a 2089 msnm, dicho sub tramo pertenece a la región Yunga.

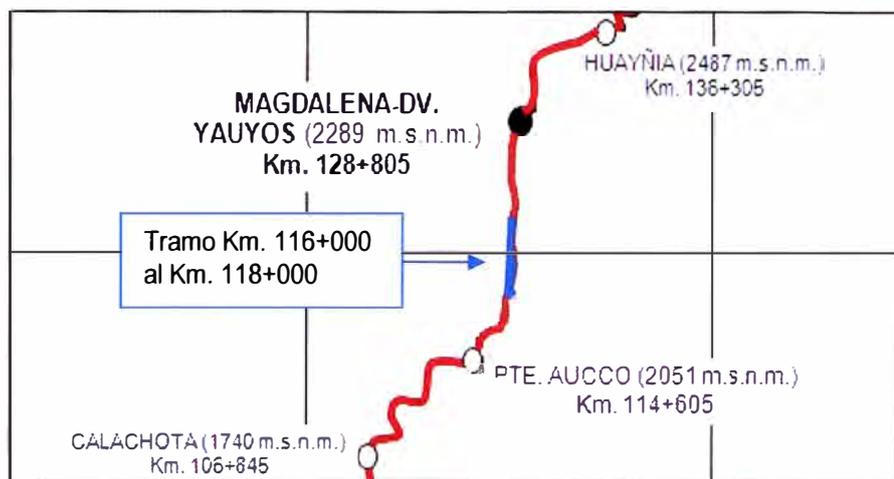


Figura N°1.03 Tramo en estudio km. 116+000 al Km. 118+000

(Fuente : Plano Clave)

a) Clima: Su clima es caluroso. Temperatura varía entre 20°C y 27°C durante el día y en las noches son frescas a causa de los vientos que bajan de las regiones más altas.

b) Topografía: Su topografía es ondulada a media ladera. Presenta una plataforma con una calzada con un solo carril y tiene un ancho útil que varía de 3.5 a 7.5m.

c) Geología: La carretera se encuentra en la quebrada del río cañete, conformado por material aluvional, terrazas de depósitos fluviales y cortes en rocas macizas.

d) Composición de los suelos de fundación: Los materiales de fundación del tramo en estudio se clasifican en el Sistema SUCS como SC-SM y en el sistema AASHTO varía entre A-1-b(0) y A-2-4(0).

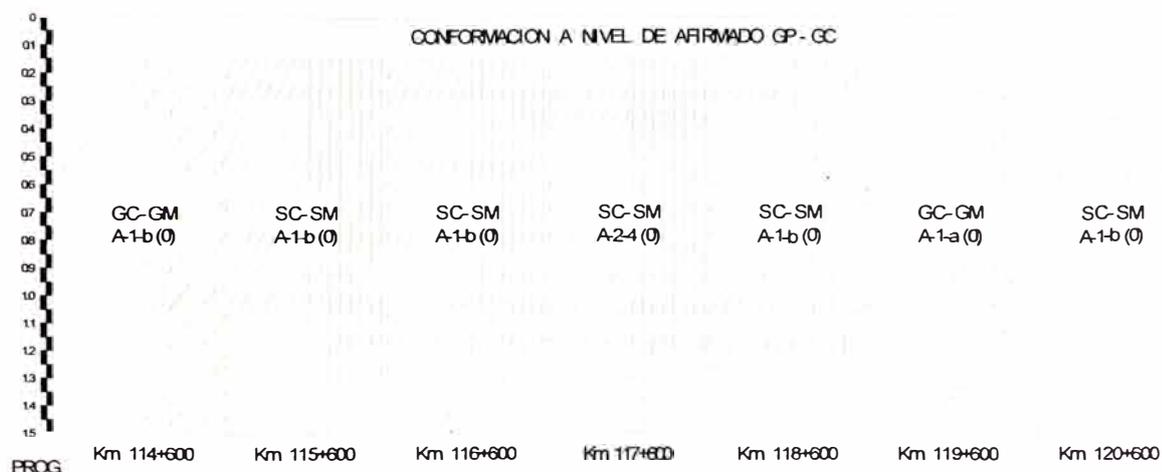


Figura N°1.04 Perfil Estadigrafico del Tramo en estudio Km. 116+000 al Km. 118+000

(Fuente : Elaboración Propia)

e) Sistema de Drenaje: Falta de un sistema de drenaje adecuado, presencia de tramos críticos debido a deslizamientos de material suelto.

f) Actualidad - Solución básica:

El cambio estándar para el tramo en estudio, el Consorcio ha considerado la colocación de un tratamiento asfáltico Monocapa sobre una base estabilizada, para lo cual se ha tenido que evaluar la naturaleza y condición del pavimento existente, tipo y volumen de tráfico y las condiciones climáticas en el área. Este tratamiento extenderá la vida del pavimento existente, protegiéndola por los efectos al desgaste causado por el tiempo, clima y tráfico.

Con la aplicación de Monocapa, se obtendrá una superficie de mejores características antideslizantes, mejorar la contextura superficial para conseguir un pavimento de circulación más confortable.

El Monocapa podrá ser colocado en velocidades de 60 a 85 m por hora, por lo que permite rendimientos de 3,500 a 5,000 m²/día.

Aunque se mantiene el viejo concepto de dar mantenimiento a las vías cuando es muy tarde, el Monocapa puede ser colocado después de varios años de uso o cuando la deterioración del pavimento ya ha empezado, es esencial e importante para aumentar y extender al máximo la vida del pavimento. El mantenimiento preventivo es más rentable que el mantenimiento correctivo.

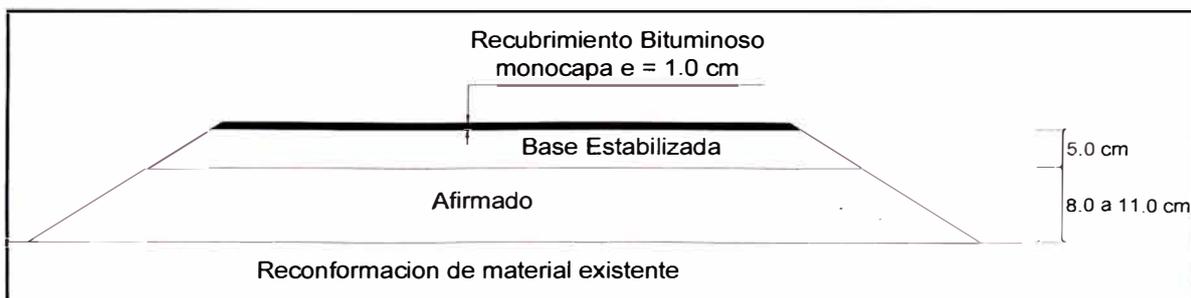


Figura N°1.05 Estructura de pavimento tramo en estudio km. 116+000 al Km. 118+000

(Fuente: MTC - Provias Nacional – Proyecto Perú)

CAPÍTULO II.- DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO

2.1 Antecedentes de la viga Benkelman

Uno de los equipos más utilizados en la medición de deformaciones elásticas es el deflectómetro tipo Viga Benkelman, es bajo este marco que Alvin Carlton Benkelman (1895 – 1987) en California en el año 1958, creó este dispositivo económico portátil para medir las desviaciones de pavimento bajo cargas pesadas, la cual hasta este día lleva su nombre, la Viga Benkelman. Se lleva a cabo con un simple dispositivo que opera en el principio de brazo de palanca, se usa con un camión cargado con 8.2 Tn. en el eje posterior, eje con doble neumáticos inflados hasta 80 PSI.



Figura Nº 2.01. Pruebas con Viga Benkelman (1952)

(Fuente: Internet, <http://strongfamilytree.org>)

Aproximadamente después de un año de terminar la prueba AASHO para 1961 salió publicada la primer “Guía AASHO para Diseño de Pavimentos Rígidos y Flexibles”.

En 1964 el profesor Dr. Ruíz propuso una fórmula analítica para el cálculo de refuerzos, basada en la deflexión del pavimento, que fue verificada con algunas experiencias. Simultáneamente, y basados exclusivamente en observaciones experimentales los franceses Lasalle y Languiner, llegaron a una ecuación

equivalente. Posteriormente, en 1972 el Dr. Ruíz redactó el “Manual para el Proyecto de Obras de Mejoramiento de Pavimento Flexibles”, adoptado por la Dirección Nacional de Vialidad de Argentina.

Posteriormente para 1972 se realizó una revisión de la Guía AASHO para Diseño de Pavimentos Rígidos y Flexibles”. y se publicó como la “Guía AASHTO para Diseño de Estructuras de Pavimento – 1972”.

En el año de 1973 fue revisado y actualizado el método de California, fue elaborada por la División de Carreteras del Estado de California, para diseño de refuerzos de pavimentos flexibles, basado en curvas de deflexiones tolerables y en un criterio de atenuación de deflexiones en base a espesores de refuerzo.

En el año 1975 el profesor G. Wiseman y el Dr. J. Uzan, habían desarrollado una metodología simple para la evaluación estructural de pavimentos basada en el modelo de Hertz.

En agosto de 1982, se presento los últimos ajustes y experiencias desarrolladas del método del T.R.R.L. (Gran Bretaña), El método fue desarrollado por el Transportation & Road Research – Laboratory que es fruto de 25 años de seguimiento y estudio del comportamiento de pavimentos flexibles bajo tránsito.

En Perú fue desarrollado en el año 1982 por el CONSORCIO DE REHABILITACIÓN VIAL (CONREVIAL), conformado por las firmas asociadas Roy Jorgensen Associates, Inc. De Maryland U.S.A., Sociedad Argentina de Estudios (SAE) de Buenos Aires, Argentina, Ingenieros Consultores S.C.R.L. y H.B.O. Ingenieros Asesores de Lima Perú a través de un contrato celebrado con el MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES, dentro del Programa de Inversiones del Convenio de Préstamo N° 1196 – PE concertado entre el gobierno Peruano y el Banco Internacional de Reconstrucción y Fomento (BIRF).

El método de CONREVIAL, describe los procedimientos planteados y seguidos por los consultores para la evaluación de condición de pavimentos de tipo bituminoso, y para la elaboración de los diseños preliminares correspondientes a

la rehabilitación de diversos tramos de la Red Básica Nacional; que comprende aproximadamente 800 kilómetros de estudio y que se hallan distribuidos en tres regiones naturales del país.

Desde entonces su uso se ha difundido ampliamente en proyectos de evaluación estructural de pavimentos flexibles, permitiendo conocer diferentes estados y propiedades del pavimento, de gran utilidad para el diseño, construcción y conservación de su estructura.

2.2 Componentes de la viga Benkelman

La Viga Benkelman, esta constituido por un brazo o palanca pivoteada en un punto dividiéndola en dos brazos desiguales, usualmente tiene relación de 2:1 ó 4:1 correspondiente al brazo de mayor longitud el cual se colocara el extremo en el punto de aplicación.

En el brazo menor se encuentra el palpador de un extensometro, soportado en un bastidor independiente de la palanca, la viga se apoya en dos patas delanteras y una trasera. Un vibrador que asegura un contacto continuo entre extensometro y el brazo de palanca, se muestra en la figura 2.02 el esquema de de la Viga Benkelman.

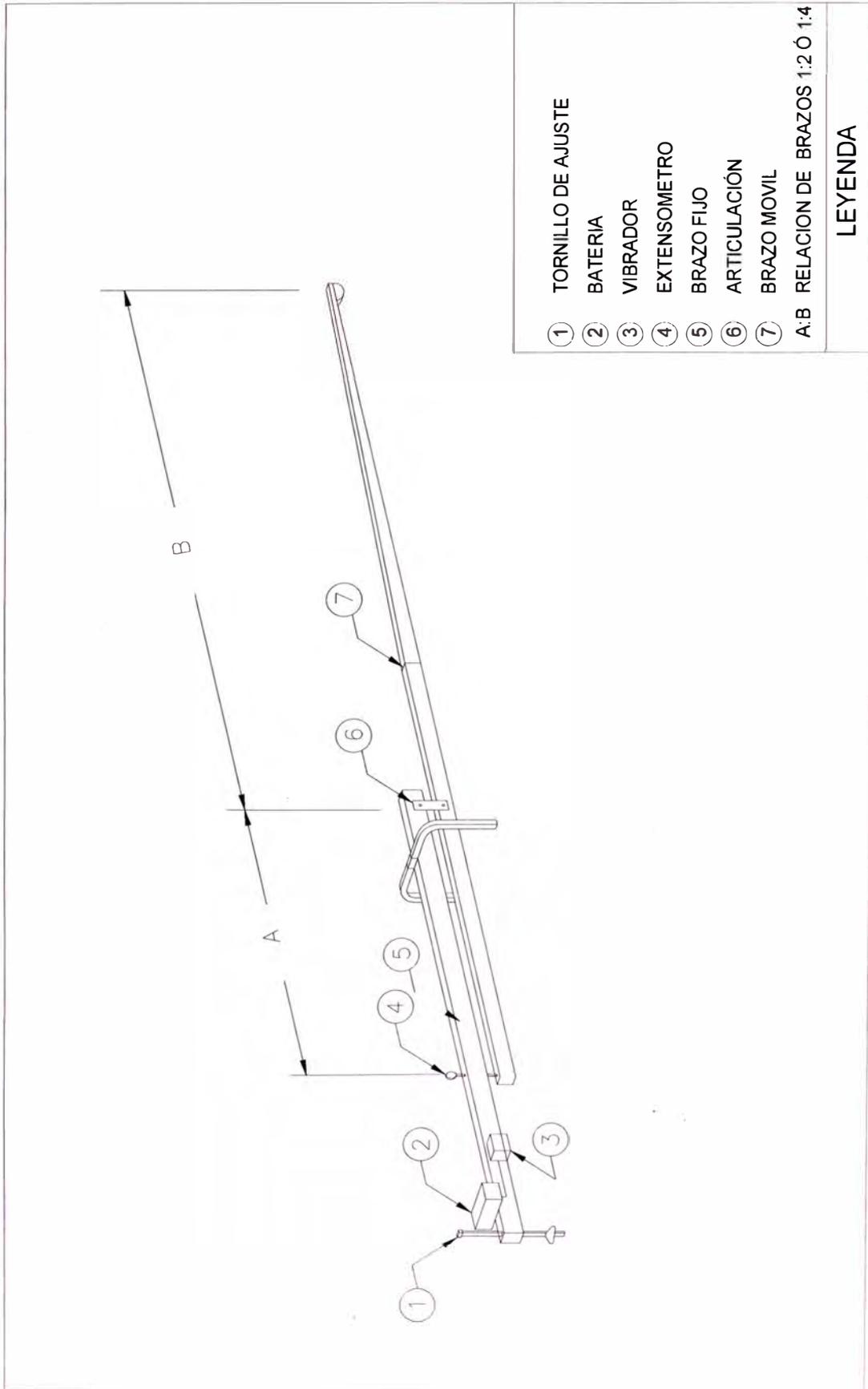


Figura N° 2.02. Esquema de la Viga Benkelman
(Fuente: Propia)

CAPÍTULO III.- MARCO TEÓRICO

3.1 Evaluación Estructural

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

Las necesidades de evaluar estructuralmente los pavimentos de una red vial aumentan a medida que se completa el diseño y la construcción de una red vial nacional o regional y consecuentemente aumenta su necesidad de su preservación y rehabilitación.

Ante un problema de evaluación estructural, el Ingeniero vial tradicional recurría a la perforación de calicatas, a la toma de muestras para su ensayo en el laboratorio y analizar cada uno de los componentes por separado y luego incorporarlo al sistema pavimento. Esta metodología es cara, lenta y destructiva.

Por tal motivo se presenta una alternativa, la cual se basa en la interpretación de deflexiones medidas en la superficie de un pavimento. Las deflexiones reflejan una respuesta global del sistema pavimento-subrasante bajo una carga dada. Su medición es simple, rápida, económica y no destructiva.

El campo de aplicación de la medición de deflexiones es amplio, pero destacaremos las más importantes:

- Determinar la vida útil remanente de un pavimento.
- Evaluar estructuralmente el pavimento.
- Contribuir en el diseño, rehabilitación y evaluación de estructuras de pavimento
- Determinar la condición de un pavimento con miras a su conservación.
- Facilitar la identificación de zonas débiles o deterioradas

3.2 Deflectometría método empírico CONREVIAL

Los métodos empíricos en deflexiones, convenientemente procesadas, se relaciona con los valores admisibles.

3.2.1 Concepto de deflexión

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

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

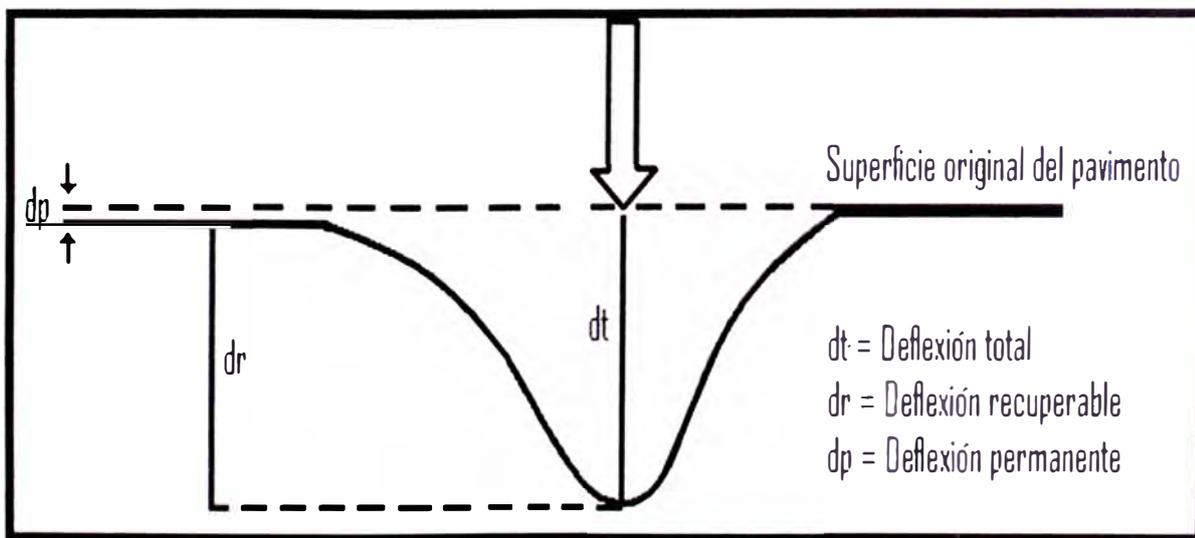


Figura N°3.01: Tipos de deflexiones.

(Fuente : Estudio del CONREVIAL)

3.2.2 Determinación de la deflexión

La deflexión se determina bajo la acción de una carga rodante estándar en el eje trasero de 8.2 ton. Mediante la deflexión es posible determinar la condición estructural de un pavimento, debido a las solicitancias del tránsito que lo utiliza. Las llantas de la rueda deberán estar infladas a una presión de 5.6 kg/cm² (80psi).

La deflexión depende de un conjunto de variables: como espesores y rigideces de las capas estructurales (sub base, base y superficie de rodadura), rigidez relativa de cada capa con respecto a la subyacente, corresponde a deformación del pavimento y su apoyo hasta profundidades que superen el metro, siendo en la subrasante donde ocurre la mayor parte de la misma.

3.2.3 Medición de la deflexión

Las medición de las deflexiones se pueden realizar por 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.

El instrumento más utilizado para medir deflexiones es la Viga Benkelman, representada esquemáticamente de acuerdo a la figura N°3.02, la cual se descompone esencialmente de una parte fija y una parte móvil.

- La parte fija, es un cuerpo de sostén que se sitúa directamente sobre el terreno mediante tres apoyos (dos delanteros fijos A y uno trasero B).
- La parte móvil, es un brazo móvil acoplado al cuerpo fijo mediante una articulación de giro o pivote C, uno 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).

Los ensayos de deflexión deben elaborarse en la rueda exterior del camión. Los puntos para la medida de la deflexión deben estar situados a unos 60 cm, aproximadamente del borde de la calzada, o sea sobre la zona más afectada por el paso de los vehículos (huella).

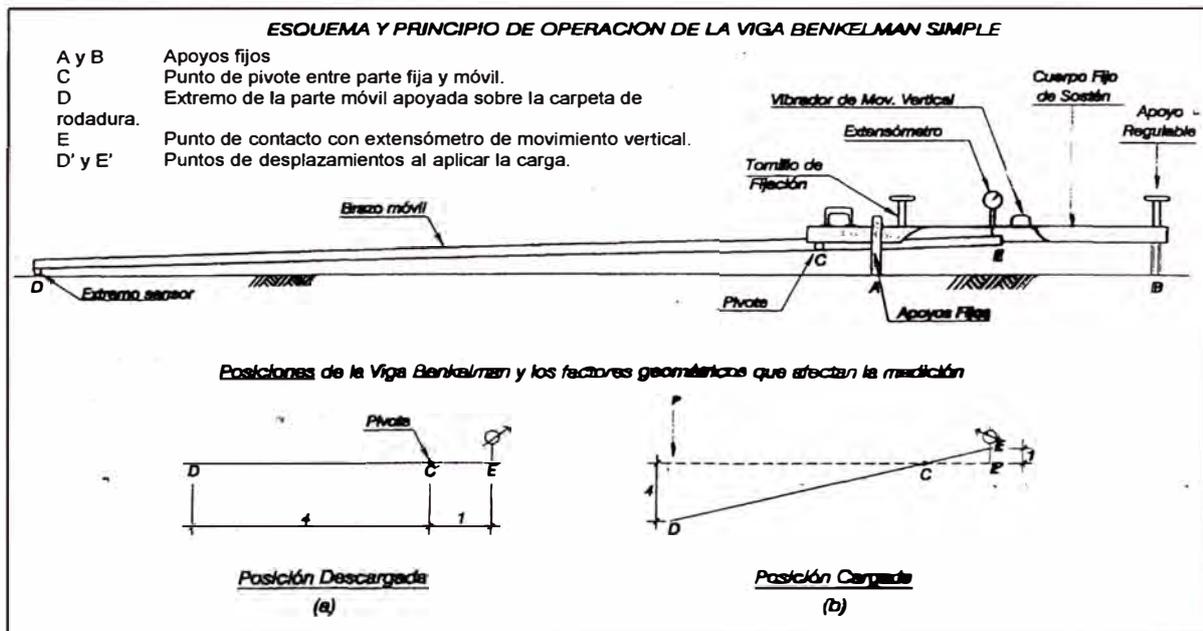


Figura N°3.02 : Esquema y principio de Operación de la Viga Benkelman

(Fuente : Estudio del CONREVAL)

La Viga Benkelman es un dispositivo mecánico que mide el desplazamiento de un punto de contacto colocado entre las ruedas duales de un camión bajo el eje de carga, con una determinada presión de inflado en los neumáticos y una carga pre-establecida en el eje.

La viga está constituida por una palanca de gran longitud, que pivotea alrededor de un eje de rotación horizontal, situado en un punto fijo, que divide la palanca en dos brazos desiguales. En uno de los extremos de la palanca, que corresponde al brazo de mayor longitud, se encuentra la punta de prueba, diseñada para situarse entre las llantas de la rueda dual. Al otro lado se sitúa el extensómetro (comparador), soportado por un bastidor independiente de la palanca.

La viga apoyada en patas delanteras y traseras de posición regulable. Un pequeño vibrador asegura un estrecho y continuo contacto entre el extensómetro y palanca.

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 del 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 reacción el brazo DE gira en torno al punto fijo C con respecto al cuerpo AB, determinando que el extremo E, produzca un movimiento vertical del extensómetro apoyado en él, generando así una lectura en el dial indicador. Si se retiran 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 solo cálculos en base a los datos recogidos. Así, con las dos lecturas obtenidas es posible determinar cuánto deflecto 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 esta. Para calcular la deflexión deberá considerarse la geometría de la viga, toda vez que los valores dados por el extensómetro (EE') no están en la escala real sino que dependen de la relación de brazos existentes.

a) Relación de equipos:

- Camión volquete de 8-12 m³ de capacidad, llantas 12-20 (11-20) de 16 lonas en óptimo estado, 80 psi presión de inflado de llantas, eje trasero con 8.2 Ton de peso.
- Balanza de plataforma para pesado del eje trasero del camión volquete.
- Viga Benkelman con sistema de bloqueo de brazo pivotante y sistema de vibración. Con dial indicador para toma de lecturas.
- Varilla guía para referenciar la medición en los puntos indicados.
- Termómetro electrónico digital para la medición de la temperatura del pavimento.
- Cincel o punzón de acero y comba.
- Tablero de campo con formatos para toma de datos.
- Juego de herramientas básicas (plomada de albañil, martillo, desarmador, alicata, alambre negro de construcción, marcador de tinta indeleble, cinta plástica, tiza blanca, lápices, clavos de 2" y 3").
- Elementos de seguridad (Chalecos de seguridad fosforescentes y 2 o 3 banderolas de tela roja).
- Tope de madera para trabar llanta de camión en tramos de subida.

b) Relación de Personal

- Ingeniero de campo.
- Técnico de laboratorio para ejecución de lecturas.
- Técnico de laboratorio para anotación de datos de ensayos.
- Auxiliar de laboratorio para medición de temperaturas.
- Ayudante para transporte y colocación de Viga Benkelman.
- Chofer de volquete.
- Ayudante para seguridad (2).

c) Procedimiento de campo

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 realizar las lecturas.

Para ello se coloca la punta del instrumento, en un punto seleccionado, que está bajo el centro de gravedad de una de las llantas dobles del camión que aplica la carga, y que inicialmente se encuentra estacionado.

El pavimento, en consecuencia, por efecto del peso aplicado por las llantas experimenta una deformación elástica ver figura N°3.03. En esa posición se gradúa el dial en "cero". Una vez anotada la primera lectura que corresponde al inicio del ensayo, se procede a mover el camión a una velocidad constante de 1cm/seg, como consecuencia el punto del pavimento, donde está apoyada la punta de la Viga Benkelman, es liberado progresivamente de la carga a la que inicialmente estaba sometido, y por lo tanto, el pavimento en ese punto empieza igualmente a recuperarse del estado de deformación en que se encontraba. Cuando el camión avanza 25 cm, el pavimento en el punto seguirá todavía parcialmente deformado; en esa posición se tomará una lectura.

Finalmente, la llanta del camión se aleja completamente del punto dejándolo completamente liberado de la influencia de su carga, y, en consecuencia, el pavimento en dicho punto se recuperará completamente

del estado inicial de deformación, condición en la cual se toma una última lectura en el dial.

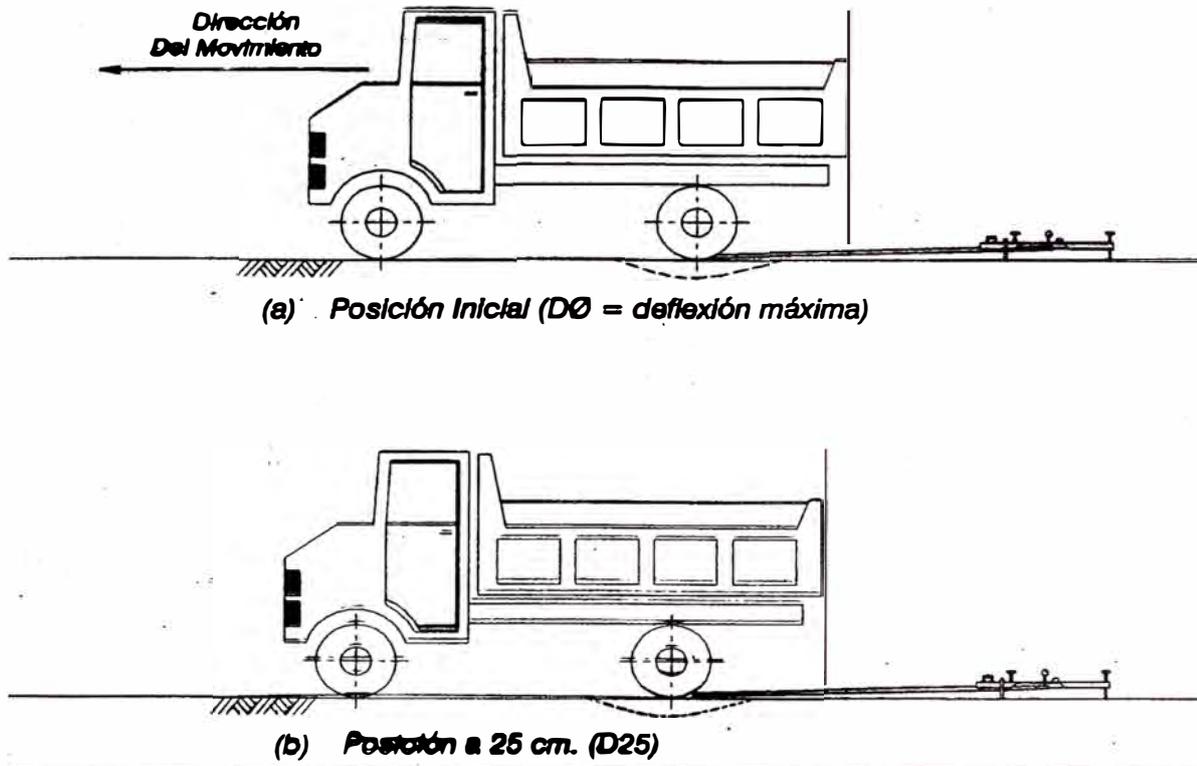


Figura N°3.03: Esquematzación del proceso de medición.

(Fuente : Estudio del CONREVIAl)

3.2.4 Análisis estadístico de deflexiones - Deflexión Característica

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

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)

σ : desviación standard

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 el cuadro N°3.01 se indican los valores de t más frecuentes:

Cuadro N°3.01: Valores de Coeficiente de Variación t

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 del CONREVIAl)

a) Corrección por temperatura

La temperatura de la superficie de rodadura influencia en el valor de la deflexión, las deflexiones medidas sobre la superficie de la capa de rodadura deben ser corregidas en función a la temperatura media que la capa experimenta durante la ejecución del ensayo, la cual varía durante el transcurso del día. El rango de temperatura de la superficie de rodadura debe estar comprendido entre 15°C y 30°C.

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

$$D_{20} = \frac{D_t}{(Kx(t - 20^\circ C)xe + 1)}$$

Donde:

D_{20} : Deflexión a la temperatura standard 20°C

D_t : Deflexión a la temperatura t (0.01 mm)

K : coeficiente igual a 1×10^{-3} (1/cm x°C)

t : temperatura del superficie de rodadura medida para cada ensayo
(15°C < t < 30°C)

e : espesor de la capa de rodadura en cm

b) Corrección por estacionalidad

La capacidad de deformación de los suelos está 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 cual los suelos se encuentran en la situación más crítica. De no ser así, se debe efectuar la corrección de las medidas a fin de tomar en cuenta dicho aspecto. Para fines prácticos se propone el uso de los siguientes factores de corrección, considerando el tipo de suelo de subrasante y la época en que se realizaron los ensayos.

Cuadro N°3.02: Corrección por estacionalidad

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

(Fuente : Estudio del CONREVIAL)

3.2.5 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 cuál no se garantiza un comportamiento satisfactorio de la estructura durante el período considerado. La expresión analítica que define este parámetro es:

$$Dad = \left(\frac{1.15}{N} \right)^{1/4}$$

Donde:

Dad = deflexión admisible (en mm)

N = Número total de eje equivalentes a 8.2 Ton (en millones)

a) 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.

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 ejes de equivalencia de carga, tanto para cada tipo de eje sea simple o tandem, que permiten cuantificar el tremendo efecto destructivo de los vehículos más pesados.

Cuadro N°3.03: Criterio para el cálculo Equivalencia de carga

Tipo de eje	Eje equivalente (EE _{8.2 TN})
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
P = peso real por eje en toneladas	

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

b) Factores de equivalencia (FE)

El eje estándar adoptado es un eje simple de 8.2 ton, luego se determinan los factores de equivalencia siguiendo la metodología AASHTO.

Cuadro N°3.04: Determinación de los factores de equivalencia de carga

Nro.	Tipo de vehículo	Descripción	Eje delantero	Ejes posteriores				EE _{8.2 TN}
				1er eje	2do eje	3er eje	4to eje	
1	Ómnibus 2E	Carga (Tn)	7	11				18
		F.E.C.	1,265	3,238				4,504
2	Ómnibus 3E	Carga (Tn)	7	18				25
		F.E.C.	1,265	2,019				3,285
3	Camión 2E-L	Carga (Tn)	7	7				14
		F.E.C.	1,265	1,265				2,531
4	Camión 2E-P	Carga (Tn)	7	11				18
		F.E.C.	1,265	3,238				4,504
5	Camión 3E	Carga (Tn)	7	18				25
		F.E.C.	1,265	2,019				3,285
6	Camión 4E	Carga (Tn)	7	23				30
		F.E.C.	1,265	1,018				2,283
7	Semitrayler 2S2	Carga (Tn)	7	11	18			36
		F.E.C.	1,265	3,238	2,019			6,523
8	Semitrayler 2S3	Carga (Tn)	7	11	25			43
		F.E.C.	1,265	3,238	1,420			5,924
9	Semitrayler 3S1	Carga (Tn)	7	18	11			36
		F.E.C.	1,265	2,019	3,238			6,523
10	Semitrayler >= 3S3	Carga (Tn)	7	18	25			50
		F.E.C.	1,265	2,019	1,420			4,705
11	Traylers C2R2	Carga (Tn)	7	11	11	11		40
		F.E.C.	1,265	3,238	3,238	3,238		10,980

(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 permitidas del MTC

c) Determinación del número de repeticiones del eje estándar de N18 (8.2 ton)

Para el número de repeticiones, se debe considerar exclusivamente camiones, omnibuses, 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.

$$N(18) = \left(\frac{365}{2}\right) \times (IMD_{2E} \times XFE_{2E} + IMD_{3E} \times XFE_{3E} + IMD_{TyST} \times XFE_{TyST} + \dots \left(\frac{(1+i)^n - 1}{i}\right))$$

Donde:

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

IMD_{2E}: Índice medio diario de cada tipo de composición correspondiente al año base.

FE_{2E}: Factor equivalente de 8.2 ton por cada tipo de composición.

IMD_{3E}: 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.

Tasa de crecimiento del tráfico de camiones

N Periodo de Diseño.

3.2.6 Gráficas Deflectométricas

a) Variabilidad de la capacidad estructural del pavimento

La medición de las deflexiones, ha permitido un aporte de interés en la evaluación estructural del pavimento, ya que se ha identificado la No uniformidad de la capacidad estructural a lo largo de un pavimento, lo que ha obligado a su estudio con criterio probabilístico.

Algunas de las razones de No uniformidad 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, una evaluación estadística. Estos resultados serán reflejados en un Deflectograma (progresiva vs deflexiones), permitiendo una visión global del conjunto de datos obtenidos.

b) Deflectograma

El deflectograma constituye un elemento fundamental para el análisis de la variabilidad de la capacidad estructural. Con el deflectograma se identificará:

- Secciones de diferente capacidad estructural y/o comportamiento, las que posteriormente serán procesadas estadísticamente.
- Eliminar los valores extremos aislados, los que distorsionan los resultados.
- Obtenidos los parámetros estadísticos, identificar los sectores donde se realizarán las perforaciones representativas de buen y mal comportamiento.

3.2.7 Radio de Curvatura.

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

Existen diferentes métodos para obtener los valores de esas deformadas, uno de los métodos más simples es el basado en la comprobación experimental de la figura N° 3.04, el cual se basa en la hipótesis que la línea de deflexión se aproxima a una parábola hasta una distancia algo mayor a 25cm, sufriendo luego una inflexión para tender asintóticamente hacia la horizontal. La curvatura de la parábola queda entonces definida en la zona de máxima curvatura, la cual se confunde con el radio del arco osculador en dicho punto, o sea bajo el centro del eje de la rueda cargada.

Para la determinación del radio de dicha curvatura, se ha establecido la siguiente expresión empírica:

$$Rc = \frac{10x(25)^2}{2x(D_0 - D_{25})}$$

- Donde:
- R_c : Radio de curvatura (m)
 - D_0 : Deflexión máxima corregida por temperatura (0.01 mm)
 - D_{25} : Deflexión a 25 cm corregida por temperatura (0.01 mm)
 - 10 : coeficiente por cambio de unidades.

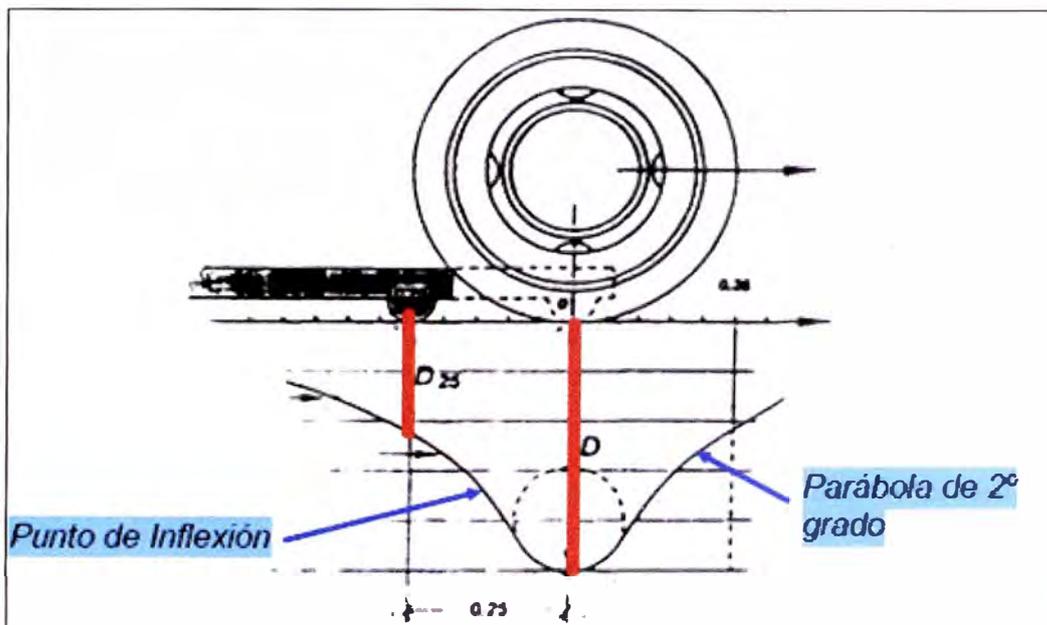


Figura N° 3.04 : Determinación del Radio curvatura.

(Fuente : Estudio del CONREVIAL)

3.2.8 Juicio de la capacidad estructural del pavimento

Una vez finalizadas las distintas tareas de campo y procesamiento de datos de campo, descritos en los ítems precedentes, a la luz de estos resultados, se debe llevar a cabo un análisis de los mismos que conduzca a establecer la capacidad estructural del pavimento en relación al tráfico de diseño, para condiciones de resistencia del suelo.

El tipo de rehabilitación requerida, de acuerdo a tres situaciones representativas:

Estructura adecuada ($D_c < D_{ad}$) Solo podría requerir una mejora superficial.

Estructura de fatiga ($D_c > D_{ad}$) y R_c reducido, requiere un refuerzo estructural.

Estructura deficiente ($D_c \gg D_{ad}$), requiere reconstrucción parcial o total.

Cuadro N° 3.05: Casos típicos de análisis combinando 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). Dc > Dad	No hay fallas de origen estructural	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.	Examinar fecha y tipo de las últimas obras ejecutadas, para justificar estado del pavimento.... 1CASO.
	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..... 2ºCASO
La deflexión característica es superior a la admisible. Los radios de curvatura son pequeños (aún para deflexiones reducidas). Dc > Dad		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. 3ºCASO
La deflexión característica es inferior a la admisible. Los radios de curvatura son reducidos. Dc < Dad	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 3ºCASO
La deflexión característica es inferior a la admisible. Dc < Dad.	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..... 4ºCASO
	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... 5ºCASO.

(Fuente: Manual del Convevia)

3.2.9 Cálculo del 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 a la superficie de rodadura 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); (Dad de diseño)

R : Coeficiente con dimensiones de un espesor.

Estos espesores se determinarán con la fórmula ya mencionada, utilizando el valor del coeficiente R de acuerdo al cuadro N°3.06, en función de la deflexiones características obtenidas.

Cuadro N° 3.06: Valores recomendados R

		Espesor de refuerzo "h" (en cm)			
		5	10	15	20
Deflexión Característica antes del refuerzo (1/100mm)	50	20	21.5	(23)	(24.5)
	70	18	19.5	21	22.5
	90	17	18.0	19.5	21.0
	120	15	16.5	18.0	19.5
	150	13.5	15.0	16.5	18.0
	170	13.0	14.5	16.0	17.5
	200	12.0	13.5	15.0	16.5

(Fuente: Manual del Conreval)

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

CAPÍTULO IV.- APLICACIÓN TRAMO Km. 116+000 AL Km. 118+000**4.1 Recopilación de datos.**

De la visita efectuada en campo, se recopiló las mediciones de deflexiones recuperables con la Viga Benkelman con la relación de brazos de 3.99:1 y con un dial de precisión de 0.01 mm. Adicionalmente se midió la temperatura, espesor de la carpeta de rodadura y el ahuellamiento en cada estación de ensayo. Esta recopilación de datos se realizó en hojas cuyo formato se detalla a continuación:

MEDICIÓN DE DEFLEXIONES CON VIGA BENKELMAN

SECTOR : CARRETERA CAÑETE - YAUYOS - CHUPACA SUPERFICIE : Monocapa
 TRAMO : Km. 116+000 - Km. 118+000 CARGA EJE : 8200 KG
 FECHA : 22/05/2010 RESPONSABLE : UNI PRESIÓN : 80 PSI
 CARRIL : Izquierdo OPERADOR : UNI R. BRAZOS : 1 a 3.99

Progresiva (km)	Lecturas de Campo (10 ⁻² mm)				Espesor Asfalto (m)	Ahuellamiento (mm)			Temperatura Asfalto (°C)	Observaciones
	L ₂₅	L ₅₀	L ₇₀	L _{max}		Ahue 1	Ahue 2	Prom		

Figura N° 4.01: Formato de hojas para la recopilación de datos de medidas de deflexiones en campo

(Fuente: Elaboración propia)

Esta base de datos se encuentra en el Anexo N°01 del presente informe.

4.2 Procesamiento de datos.

El procesamiento de datos de medición de deflexiones, se realizó con la teoría descrita en el capítulo anterior, con los cuales se obtuvo las deflexiones corregidas y el radio de curvatura en cada estación de ensayo, estos cálculos se realizaron en hojas cuyo formato se detalla a continuación:

PROCESAMIENTO DE DATOS DE DEFLEXIONES

SECTOR : CARRETERA CAÑETE - YALUYOS - CHLPACA CARRIL : Izquierdo
 TRAMO : Km. 116+000 - Km. 118+000 SUPERFICIE : Mbnocapa
 FECHA : 22/05/2010 R BRAZOS : 1 a 3.99

Est.	Progresiva (km)	Lecturas de Campo (10 ² mm)			Espesor (m)	Temp. C.A. (°C)	Factor Corrección		Deflexiones Corregidas		Radio Curvatura R _c (m)
		L _{inicial}	L ₂₅	L _{final}			Factor Temp.	Factor Estac.	D ₀	D ₂₅	
									(x 10 ² mm)	(x10 ² mm)	

Figura N° 4.02: Formato de hojas para el procesamiento de datos

(Fuente: Elaboración propia)

Los datos procesados, se detallan en el Anexo N°02 del presente informe.

Con los datos de deflexiones corregidas calculadas, se realizó el grafico del deflectograma, para luego analizar y definir sectores homogéneos. Definidos los sectores se procedió a hallar la deflexión característica, deflexión admisible y el radio de curvatura promedio.

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.

Paso 1.-

Se calcula las deflexiones elásticas recuperables de cada progresiva restando la deflexión máxima a cada una de ellas.

Como ejemplo ilustrativo se realizará el procesamiento a la Prg. 116+600, se tiene que la deflexión máxima es 10 x 10⁻² mm, la deflexión inicial es cero y la deflexión a 25cm (D25) es 2.00 x 10⁻² mm.:

$$D_0 = (10.00 - 0.00) = 10.00 \times 10^{-2} \text{ mm}$$

$$D_{25} = (10.00 - 2.00) = 8.00 \times 10^{-2} \text{ mm}$$

Paso 2.-

Dado que la Viga Benkelman tenía una relación de brazos de 3.99:1, todas las lecturas de deflexiones recuperables de campo se deberán multiplicar por 3.99.

Para el ejemplo ilustrativo Prg. 116+600 se tiene:

$$D_0 = (10.00) \times 3.99 = 39.90 \times 10^{-2} \text{ mm}$$

$$D_{25} = (8.00) \times 3.99 = 31.92 \times 10^{-2} \text{ mm}$$

Paso 3.-

Dado que el tramo evaluado presentaba cambios de temperatura y espesor variable, se realizará la corrección por temperatura a las deflexiones halladas en el paso 2.

Para el ejemplo ilustrativo Prg 116+600, se tiene una temperatura de 46°C y el espesor de la capa de rodadura es 1.00 cm:

$$D_{020} = 39.90 / (1 \times (46^\circ - 20^\circ) \times 1.00 + 1) = 38.89 \times 10^{-2} \text{ mm}$$

$$D_{2520} = 31.92 / (1 \times (46^\circ - 20^\circ) \times 1.00 + 1) = 31.11 \times 10^{-2} \text{ mm}$$

Paso 4.-

Dado que el ensayo fue realizado en una estación seca, se aplicará la corrección por estacionalidad, a las deflexiones halladas en el paso 3.

Para el ejemplo ilustrativo Prg 116+600, pertenece a la Región Yunga con un clima con sol dominante casi todo el año, descrito según el Cuadro N°1.03 Características del clima de la carretera, por lo cual de acuerdo al Cuadro N°3.02 corrección por estacionalidad se considera un factor de corrección de 1.1.

$$D_0 = 38.89 \times 1.1 = 42.78 \times 10^{-2} \text{ mm}$$

$$D_{25} = 31.11 \times 1.1 = 34.22 \times 10^{-2} \text{ mm}$$

Paso 5.-

Con estas deflexiones máximas corregidas (D_0) se procede a graficar el deflectograma (progresivas vs deflexiones máximas corregidas). Ver anexo N° 03.

Paso 6.-

El deflectograma puede ser sectorizado por varios criterios, estos son:

Por tipo de tratamiento colocado.

Por tipo de suelo de fundación.

- Por tipo de tráfico IMD's.
- Por homogeneidad del deflectograma.

En el tramo en estudio Km. 116+000 al km. 118+000, se calcula la deflexión característica, para ello se procesan las deflexiones máximas mediante análisis estadísticos.

$$D_0 \text{ promedio} = 60.18 \times 10^{-2} \text{ mm}$$

$$\sigma = 33.40 \times 10^{-2} \text{ mm}$$

$$\rightarrow D_c = 60.18 + (1.645 \times 33.40) = 115.11 \times 10^{-2} \text{ mm}$$

Cuadro N° 4.01: Cuadro de Resumen de Deflexiones Promedio y característica

Tramo Total	Deflexiones x 10 ⁻² mm
Mínimo	29.20
Máximo	115.39
Promedio (D _{prom})	60.18
Desviación Estándar	33.40
Coefficiente de Variación	0.55
Característico (D _c)	115.11

(Fuente: Elaboración propia)

Paso 7.-

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

$$N(18) = \left(\frac{365}{2}\right) \times (IMD_{2E} \times XFE_{2E} + IMD_{3E} \times XFE_{3E} + IMD_{TyST} \times XFE_{TyST} + \dots \left(\frac{(1+i)^n - 1}{i}\right))$$

De acuerdo a la fórmula se considera:

- Los IMD's del 2010, calculados a partir de los datos de IMD del 2009, obtenidos de los Estudios Técnicos para el cambio de estándar de afirmado a solución básica carretera: Cañete - Lunahuaná - Pacarán - dv. Yauyos - Ronchas - Chupaca tramo: Zúñiga - Dv. Yauyos - Ronchas.

Cuadro N° 4.02: Cuadro de cálculo de IMD's al 2010

Vehículos	2009 (*)	Tasa de crecimiento i (%)	2010
	Capillucas 94+640 - Dv. Yauyos 127+000		Capillucas 94+640 - Dv. Yauyos 127+000
Automovil	2	3.4	2
Camioneta	27	3.4	28
Combi Rural	12	3.4	12
Micro	3	1.6	3
Omnibus 2E	12	1.6	12
Omnibus 3E	0	1.6	0
Camión 2 Ejes	20	5	21
Camión 3 Ejes	14	5	15
Camión 4 Ejes	0	5	0
Semitraylers	0	5	0
Traylers	0	5	0
TOTAL			93

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

- Los FE's de la composición vehicular para el tramo en estudio km. 116+000 al km. 118+00, se calculan según las Normas Peruanas de pesos y medidas permitidas ver cuadro N°3.04 y aplicando las tasas de crecimiento enunciadas en el capítulo I.

Cuadro N°4.03: Obtención de factores equivalente

Tipo de vehículo	Factor de Equivalencia	IMD ₂₀₁₀	Tasa de crecimiento (i%)
Micro	4.504	3	1.6
Omnibus 2E	4.504	12	1.6
Omnibus 3E	3.285	0	1.6
Camión 2 Ejes	4.504	21	5.0
Camión 3 Ejes	3.285	15	5.0
Camión 4 Ejes	2.283	0	5.0
Semitraylers	6.523	0	5.0
Traylers	10.980	0	5.0

(Fuente elaboración propia)

- Para una mejor interpretación se ha considerado en la evaluación del tramo en estudio, el cálculo de los EAL`s y Dadmisible para periodos de diseño (1, 2, 3 y 5 años).

Cuadro N°4.04: Obtención de EAL`s y Dadmisible

Tramo 116+000 - 118+000												
Tipo de vehiculo	Factor de Carga	IMD ₂₀₁₀	Tasa de crecimiento (i%)	Proyección								
				n años	EAL ₂₀₁₁	n años	EAL ₂₀₁₂	n años	EAL ₂₀₁₃	n años	EAL ₂₀₁₅	
Micro	4.504	3	1.6	1	4932	2	9942	3	15032	5	25459	
Ornibus 2E	4.504	12	1.6	1	19726	2	39768	3	60130	5	101837	
Ornibus 3E	3.285	0	1.6	1	0	2	0	3	0	5	0	
Camión 2 Ejes	4.504	21	5.0	1	34521	2	70767	3	108826	5	190748	
Camión 3 Ejes	3.285	15	5.0	1	17983	2	36865	3	56692	5	99368	
Camión 4 Ejes	2.283	0	5.0	1	0	2	0	3	0	5	0	
Semitraylers	6.523	0	5.0	1	0	2	0	3	0	5	0	
Traylers	10.980	0	5.0	1	0	2	0	3	0	5	0	
Nota: N ₁₈ , numero total de ejes equivalentes a 18 klb o 8.2 ton (en millones)				EAL	7.72E+04		1.57E+05		2.41E+05		4.17E+05	
				N ₁₈	0.039		0.079		0.120		0.209	
				Da (x 10 ⁻² mm)	233.7		195.5		175.8		153.2	

(Fuente elaboración propia)

Paso 8.-

Calculo de Radio de curvatura $R_c = 6250 / 2 \times (D_0 - D_{25})$.

Para el ejemplo ilustrativo del tramo en estudio se tiene:

Cuadro N°4.05: Obtención de los Radios de curvatura

Progresiva (km)	Deflexiones Corregidas		Radio Curvatura R _c (m)
	D ₀	D ₂₅	
	(x 10 ⁻² mm)	(x 10 ⁻² mm)	
116+000	37.62	29.26	373.80
116+200	29.20	25.03	749.03
116+400	29.94	25.67	730.52
116+600	42.78	34.22	365.26
116+800	115.39	89.75	121.87
117+000	94.11	85.56	365.26
117+200	67.49	54.84	246.95
117+400	50.55	33.70	185.48
117+600	105.45	84.36	148.17
117+800	29.25	25.07	747.89

(Fuente elaboración propia)

$$R_c \text{ prom} = 403.42 \text{ m}$$

Paso 9.-

El tramo en estudio km. 116+000 al km. 118+000, se obtuvo el cuadro N°4.06 Resumen de deflexiones y de acuerdo al cuadro N°3.05 de la combinación de resultados y cuadro N°3.06 Valores recomendados del factor R, que para los próximos cinco años se debe realizar la reconstrucción o refuerzo a la estructura, empleando método de diseño ASSTHO.

Cuadro N°4.06: Resumen del cálculo de refuerzo por el método de deflexiones

Descripción	Unidad	Carretera Cañete - Yauyos - Chupaca Km. 116+000 - Km. 118+000				
		AÑO DE ANALISIS (n)	1 (2011)	2 (2012)	3 (2013)	5 (2015)
DEFLEX. CARACT. (Dc)	x 10 ⁻² mm		115.11	115.11	115.11	115.11
DEFLEX. ADMISIBLE (Da)	x 10 ⁻² mm		233.66	195.53	175.82	153.21
RADIO DE CURVATURA (Rc)	m		403.42	403.42	403.42	403.42
ESPESOR DE REFUERZO	cm		-12.04	-7.95	-6.36	-4.29
ESP. DE REFUERZO RECOMENDADO	mm		NR	NR	NR	NR

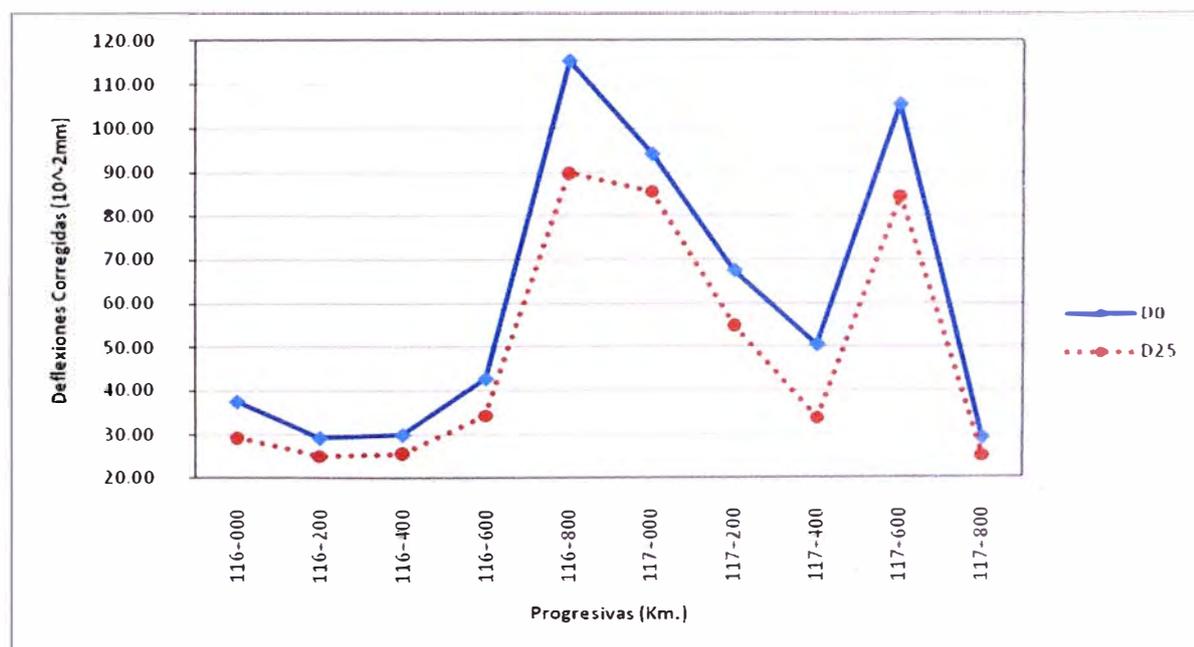
(Fuente elaboración propia)

CAPÍTULO V.- ANÁLISIS DE RESULTADOS

5.1 Gráficos de deflectograma.

De los cálculos realizados en el capítulo anterior se puede plotear el deflectograma del tramo en estudio donde se visualizará las deflexiones corregidas tanto en su punto máximo D_0 y la deflexión a 25 cm de la máxima deformada, esta deflexión se representada por D_{25} , Ver figura N° 5.01.

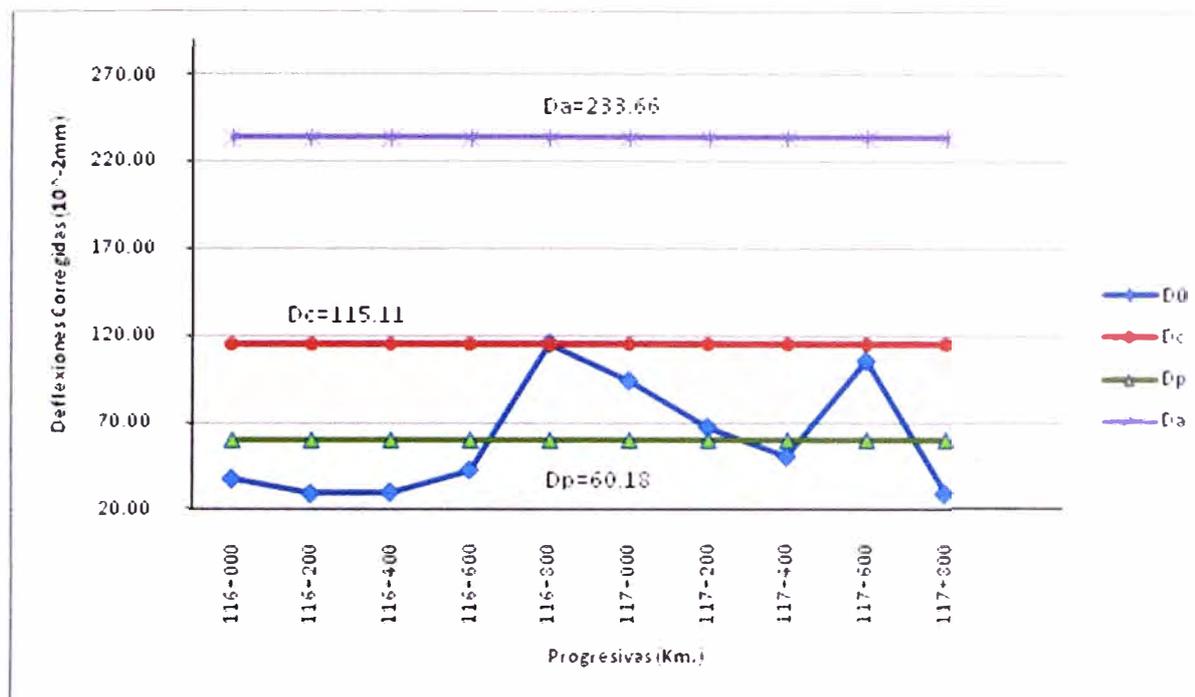
Figura N° 5.01: Deflectograma D_0 y D_{25} tramo Km. 116+000 al Km. 118+000



(Fuente elaboración propia)

También se presenta el deflectograma incluyendo las deflexiones características, admisibles y promedio en la figura N° 5.02.

Figura N° 5.02: Deflectograma tramo Km. 116+000 al Km. 118+000



(Fuente elaboración propia)

La deflexión admisible ha sido calculado para un periodo de 01 años y un EAL de $7.72E+04$. Lo que resalta a primera vista es que la deflexión admisible es mayor que la deflexión característica por lo cual se puede inferir inicialmente que no se requiere de un refuerzo estructural, esto se planteará como opciones de alternativa en siguiente ítem.

Por otro lado para interpretar los resultados obtenidos se debe tener en cuenta que, si bien las deflexiones altas son indicativas de una mayor debilidad estructural, estas son comparadas con niveles de deflexión admisible o tolerable que básicamente dependen de la intensidad del tránsito.

5.2 Evaluación de la capacidad estructural.

Luego del análisis de la información obtenida y de sintetizar los resultados en la evaluación deflectométrica en el tramo de estudio, las secciones determinadas en estos tramos predeterminados están asociadas, generalmente, a distintas necesidades de rehabilitación, ya sea por el tipo de mejora (superficial, refuerzo o reconstrucción o en los espesores de refuerzo); la delimitación de las mismas

resultaría según la experiencia acumulada en aproximada, aunque suficiente para una estimación de los costos de rehabilitación.

Dentro de un contexto técnico económico se plantean posibles soluciones que mejorarían los resultados, estas van desde el aumento del espesor de la capa superior, el tratamiento de fisuras, sellado o hasta parchado en zonas puntuales de deformación más extrema.

Posibles actividades a proponer

Tratamiento de fisuras (Emulsiones Asfálticas)

Tratamiento de fisuras (Slurry Seal)

Parchado Superficial

Carpeta Asfáltica

Aunque en términos prácticos, por el tipo de modalidad de contrato sólo se busca la serviciabilidad de la pista, por tal motivo a pesar de dejar constantemente con un IRI promedio de 3.48 en la carretera, siempre tendría problemas estructurales de orden interior (rasante, subrasante).

CONCLUSIONES

- El deflectómetro Benkelman es el instrumento más usado en el Perú, para medir las deflexiones elásticas recuperables en el pavimento, debido a su practicidad y bajo costo. Este método es considerado dentro de los términos de referencia en el mantenimiento y rehabilitación de carreteras por el Ministerio de Transporte y Comunicaciones.
- Con la evaluación estructural, se podrá 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.
- El factor de corrección por temperatura aplicada a las deflexiones, tienen una influencia mínima, cuando los espesores de este tipo de tratamiento son mínimos.
- Con la aplicación del tratamiento asfáltico Monocapa en el tramo en estudio km. 116+000 al km. 118+000, se ha obtenido los siguientes resultados:

Descripción	Unidad	Carretera Cañete - Yauyos - Chupaca Km. 116+000 - Km. 118+000			
		1 (2011)	2 (2012)	3 (2013)	5 (2015)
AÑO DE ANALISIS (n)	años	1 (2011)	2 (2012)	3 (2013)	5 (2015)
DEFLEX. CARACT. (Dc)	x 10 ⁻² mm	115.11	115.11	115.11	115.11
DEFLEX. ADMISIBLE (Da)	x 10 ⁻² mm	233.66	195.53	175.82	153.21
RADIO DE CURVATURA (Rc)	m	403.42	403.42	403.42	403.42
ESPESOR DE REFUERZO	cm	-12.04	-7.95	-6.36	-4.29
ESP. DE REFUERZO RECOMENDADO	mm	NR	NR	NR	NR

A la fecha del estudio y hasta un periodo de diseño de cinco años, se obtuvo que la deflexión característica es menor que la deflexión admisible, concluyéndose que en el tramo de estudio, se tiene un adecuado comportamiento estructural.

- De acuerdo al Anexo N° 05 (Ejes equivalentes vs Deflexiones Admisibles), se concluye que a medida que aumentan los ejes equivalente la deflexión admisible disminuye, para este tipo de carreteras de bajo volumen de tránsito, provocando el deterioro prematuro del pavimento.
- Del método empírico con Viga Benkelman, se concluye que el aumento de la deflexión del pavimento y disminución del radio de curvatura, es un indicador

fundamental de la debilidad estructural del pavimento. Del tramo de la carretera evaluado se podría concluir que los agentes que originan este debilitamiento son las corrientes subterráneas y superficiales, cercanía del cauce del río, mal procedimiento constructivo en la conformación de la base estabilizada de la estructura, etc.

RECOMENDACIONES

- A mayor número de recopilación de datos de deflexiones en el tramo en estudio, es posible obtener un deflectograma más confiable, para su interpretación y evaluación.
- Para una adecuada evaluación del deflectograma, es importante que el tramo escogido, sea el más representativo y se tenga información suficiente para poder combinar resultados y dar un veredicto sobre la situación estructural del pavimento.
- Disponer de estudios de tráfico actualizados, es decir información de los IMD's de la composición vehicular, para poder determinar los ejes equivalentes con exactitud, ya que una sobreestimación genera cálculo de deflexiones admisibles equivocados y por ende juicios errados.
- Se recomienda realizar anualmente una evaluación estructural al pavimento para este tipo de carreteras de bajo volumen de tráfico, ya que el tráfico podría alterarse bruscamente, e identificar si esta urge una rehabilitación y/o reforzamiento, que en el caso de ser postergada podría requerir soluciones más costosas.
- Para saber el tipo de tratamiento a aplicar al pavimento, es muy importante reconocer la condición del pavimento existente, el tipo y volumen de tráfico y condiciones climáticas en el área.
- En la mediciones de los datos en campo, es importante contar con todo el equipo calibrado, herramientas y del personal técnico con experiencia en la toma de lecturas con Viga Benkelman, para evitar tiempos muertos que retrasarían las mediciones y datos errados que alteren la muestra.
- Si la carretera a evaluar se encuentra en pendiente es recomendable iniciar la evaluación de la progresiva de mayor altitud a la progresiva de menor altitud, porque cuando se está en pendiente de subida, al momento de su arranque podría aplastar la viga.
- Se recomienda realizar ensayos destructivos puntuales (Calicatas) en las progresivas 116+800 y 117+600, en las estaciones cuyo valor de deflexión es elevado, según la grafica del deflectograma, y así analizar mejor las características y el comportamiento de los materiales y la estructura del pavimento.

BIBLIOGRAFÍA

1. Consorcio de Rehabilitación Vial, Estudio de Rehabilitación de Carreteras en el País, Perú, 1983.
2. Consorcio Gestión de Carreteras, Estudios Técnicos para el cambio estándar de afirmado a solución básica Carretera Cañete – Lunahuaná – Pacarán – Zúñiga - Dv Yauyos-Ronchas-Chupaca, Setiembre 2008.
3. Consorcio Gestión de Carreteras, Plan de Conservación Vial por niveles de servicio del la Carretera Cañete – Lunahuaná – Pacarán – Zúñiga - Dv. Yauyos-Ronchas-Chupaca, Junio 2008.
4. Gonzalo Rojas, Pablo, Evaluación Superficial no destructiva aplicando la Viga Benkelman, Tesis UNI FIC Lima 2005.
5. Gutiérrez Lazares, José Wilfredo, Modelación Geotécnica de Pavimentos Flexibles con Fines de Análisis y Diseño en el Perú, Tesis de Maestría Lima – Perú, 2007.
6. Manual de Carreteras. Diseño de pavimentos y mantenimiento de caminos. Honduras 1996.
7. Melchor Areche José, Evaluación de Integral del Pavimento, Experiencia Profesional, Perú, 1999.
8. Ministerio de Transporte y Comunicaciones, Manual para el Diseño de Caminos Pavimentados de Bajo Volumen de Tránsito, Perú, 2007.
9. Montejo Fonseca Alonso, Ingeniería de Pavimentos para carreteras, Colombia, 2002.
10. www.camineros.com
11. www.proviasnac.gob.pe

ANEXOS

	Pág.
ANEXO N°01: Medición de deflexiones con Viga Benkelman	53
ANEXO N°02: Procesamiento de datos de deflexiones	53
ANEXO N°03: Deflectograma con datos completos	54
ANEXO N°04: Cálculo de Ejes equivalentes N18 o EAL(8.2) y Deflexión Admisible.	55
ANEXO N°05: Análisis de ejes equivalentes vs deflexiones admisibles	56
ANEXO N°06: Graficas Temperatura vs F.C.T.	57
ANEXO N°07: Panel Fotográfico	58

ANEXO 01

MEDICIÓN DE DEFLEXIONES CON VIGA BENKELMAN

SECTOR : CARRETERA CAÑETE - YAUYOS - CHUPACA SUPERFICIE : Monocapa
 TRAMO : Km. 116+000 - Km. 118+000 CARGA EJE : 8200 KG
 FECHA : 22/05/2010 RESPONSABLE : UNI PRESIÓN : 80 PSI
 CARRIL : Izquierdo OPERADOR : UNI R. BRAZOS : 1 a 3.99

Progresiva (km)	Lecturas de Campo (10 ⁻² mm)				Espesor Asfalto (m)	Ahuellamiento (mm)	Temperatura Asfalto (°C)	Obs
	L ₂₅	L ₅₀	L ₇₀	L _{max}		Ahue 1		
116+000	2	5	7	9	0.020	4.0	45.0	MONOCAPA
116+200	1	2	3	7	0.020	3.0	46.0	
116+400	1	3	5	7	0.010	3.0	46.0	
116+600	2	5	8	10	0.010	3.0	46.0	
116+800	6	11	16	27	0.010	17.0	47.0	
117+000	2	6	10	22	0.010	4.0	46.0	
117+200	3	8	12	16	0.015	2.0	47.0	
117+400	4	6	8	12	0.015	7.0	48.0	
117+600	5	17	22	25	0.015	6.0	47.0	
117+800	1	3	5	7	0.018	3.0	48.0	

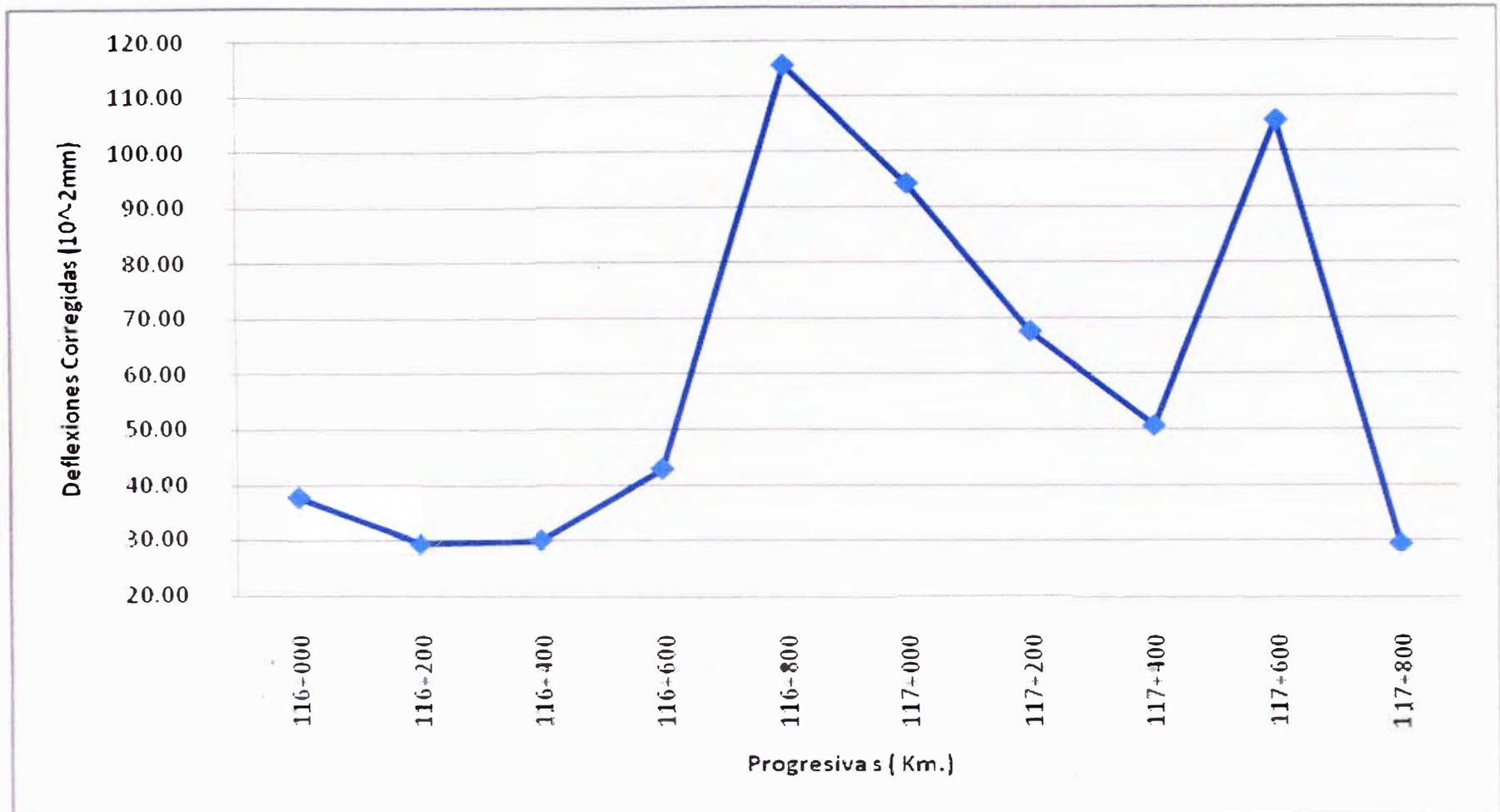
ANEXO 02

PROCESAMIENTO DE DATOS DE DEFLEXIONES

SECTOR : CARRETERA CAÑETE - YAUYOS - CHUPACA CARRIL : Izquierdo
 TRAMO : Km. 116+000 - Km. 118+000 SUPERFICIE : Monocapa
 FECHA : 22/05/2010 R. BRAZOS : 1 a 3.99

Est.	Progresiva (km)	Lecturas de Campo (10 ⁻² mm)			Espesor (m)	Temp. C.A. (°C)	Factor Corrección		Deflexiones Corregidas		Radio Curvatura R _c (m)
		L _{inicial}	L ₂₅	L _{final}			Factor Temp.	Factor Estac.	D ₀ (x 10 ⁻² mm)	D ₂₅ (x 10 ⁻² mm)	
1	116+000	0	2	9	0.020	45.0	0.9524	1.1	37.62	29.26	373.80
2	116+200	0	1	7	0.020	46.0	0.9506	1.1	29.20	25.03	749.03
3	116+400	0	1	7	0.010	46.0	0.9747	1.1	29.94	25.67	730.52
4	116+600	0	2	10	0.010	46.0	0.9747	1.1	42.78	34.22	365.26
5	116+800	0	6	27	0.010	47.0	0.9737	1.1	115.39	89.75	121.87
6	117+000	0	2	22	0.010	46.0	0.9747	1.1	94.11	85.56	365.26
7	117+200	0	3	16	0.015	47.0	0.9611	1.1	67.49	54.84	246.95
8	117+400	0	4	12	0.015	48.0	0.9597	1.1	50.55	33.70	185.48
9	117+600	0	5	25	0.015	47.0	0.9611	1.1	105.45	84.36	148.17
10	117+800	0	1	7	0.018	48.0	0.9520	1.1	29.25	25.07	747.89

ANEXO N°03 - PROGRESIVAS VS DEFLEXIONES CORREGIDAS



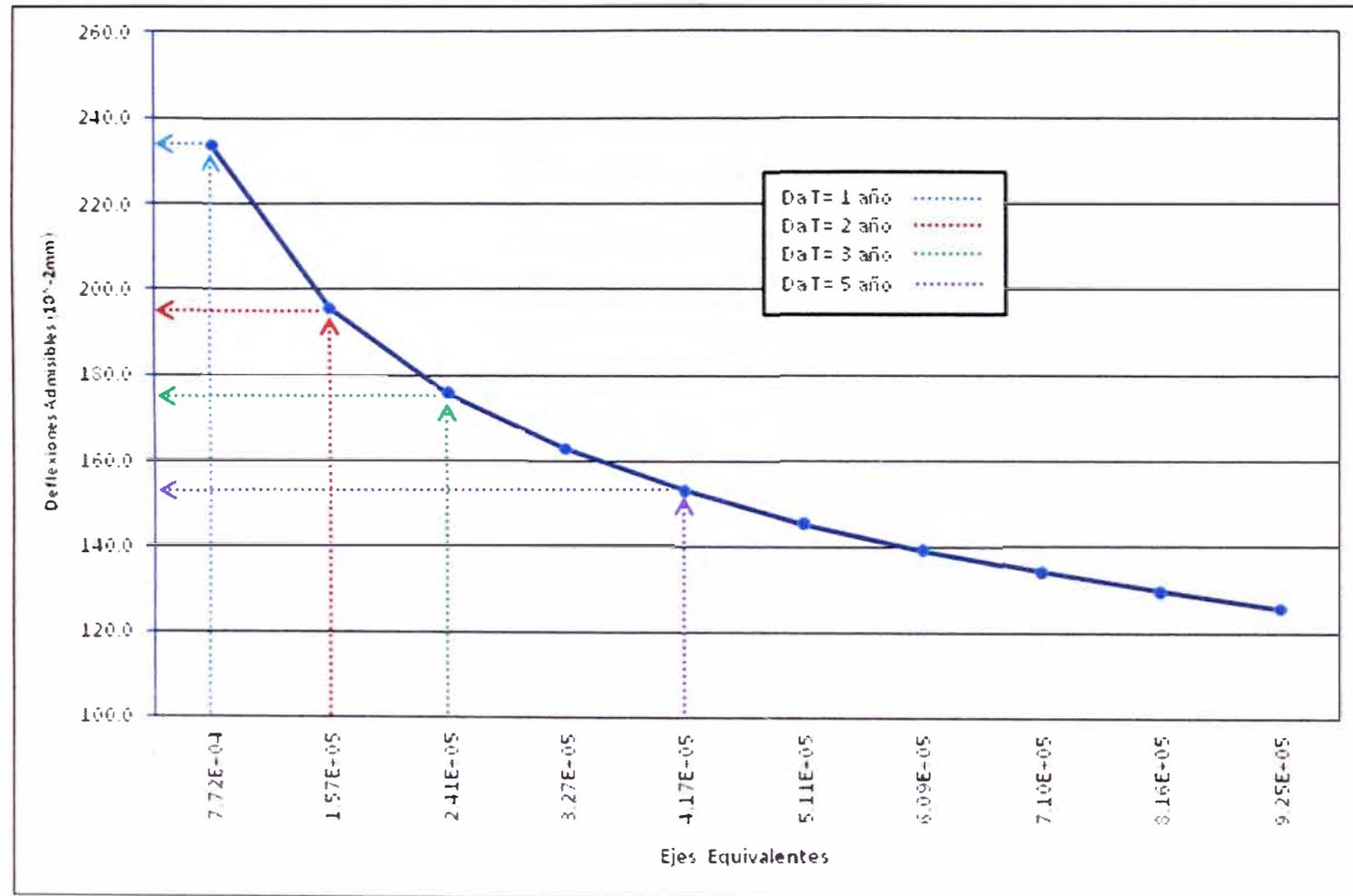
ANEXO N°04 - CÁLCULO DE N18 Y DEFLEXIÓN ADMISIBLE Dad

Tramo 116+000 - 118+000											
Tipo de vehículo	Factor de Carga	IMD ₂₀₁₀	Tasa de crecimiento (i%)	Proyección							
				n años	EAL ₂₀₁₁	n años	EAL ₂₀₁₂	n años	EAL ₂₀₁₃	n años	EAL ₂₀₁₆
Micro	4.504	3	1.6	1	4932	2	9942	3	15032	5	25459
Omnibus 2E	4.504	12	1.6	1	19726	2	39768	3	60130	5	101837
Omnibus 3E	3.285	0	1.6	1	0	2	0	3	0	5	0
Camión 2 Ejes	4.504	21	5.0	1	34521	2	70767	3	108826	5	190748
Camión 3 Ejes	3.285	15	5.0	1	17983	2	36865	3	56692	5	99368
Camión 4 Ejes	2.283	0	5.0	1	0	2	0	3	0	5	0
Semitraylers	6.523	0	5.0	1	0	2	0	3	0	5	0
Traylers	10.980	0	5.0	1	0	2	0	3	0	5	0
Nota: N ₁₈ , numero total de ejes equivalentes a 18 klb o 8.2 ton (en millones) EAL N ₁₈ Da (x 10-2 mm)				7.72E+04		1.57E+05		2.41E+05		4.17E+05	
				0.039		0.079		0.120		0.209	
				233.7		195.5		175.8		153.2	

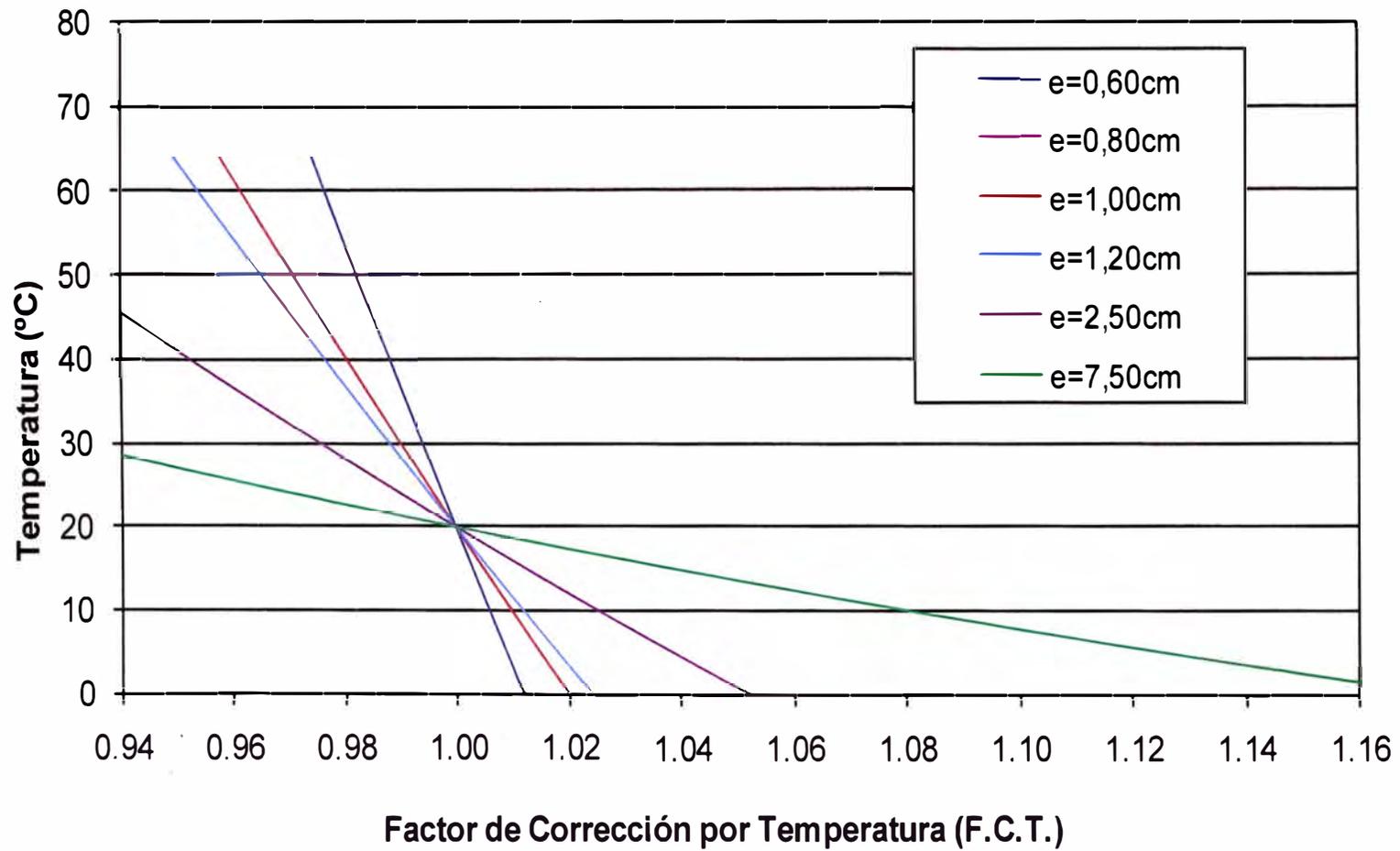
ANEXO N°05

Análisis de Ejes Equivalentes vs Deflexiones Admisibles

Km. 116+000 al Km. 118+00



ANEXO N°06
GRÁFICAS TEMPERATURA VS F.C.T.



ANEXO N°07 PANEL FOTOGRÁFICO



Foto N°01: Ubicación de las progresivas en el tramo de estudio, para su evaluación



Foto N°02: Posicionamiento del equipo Viga Benkelman, para el inicio de las mediciones de deflexiones



Foto N°03: Recopilación de datos de deflexiones con Viga Benkelman.

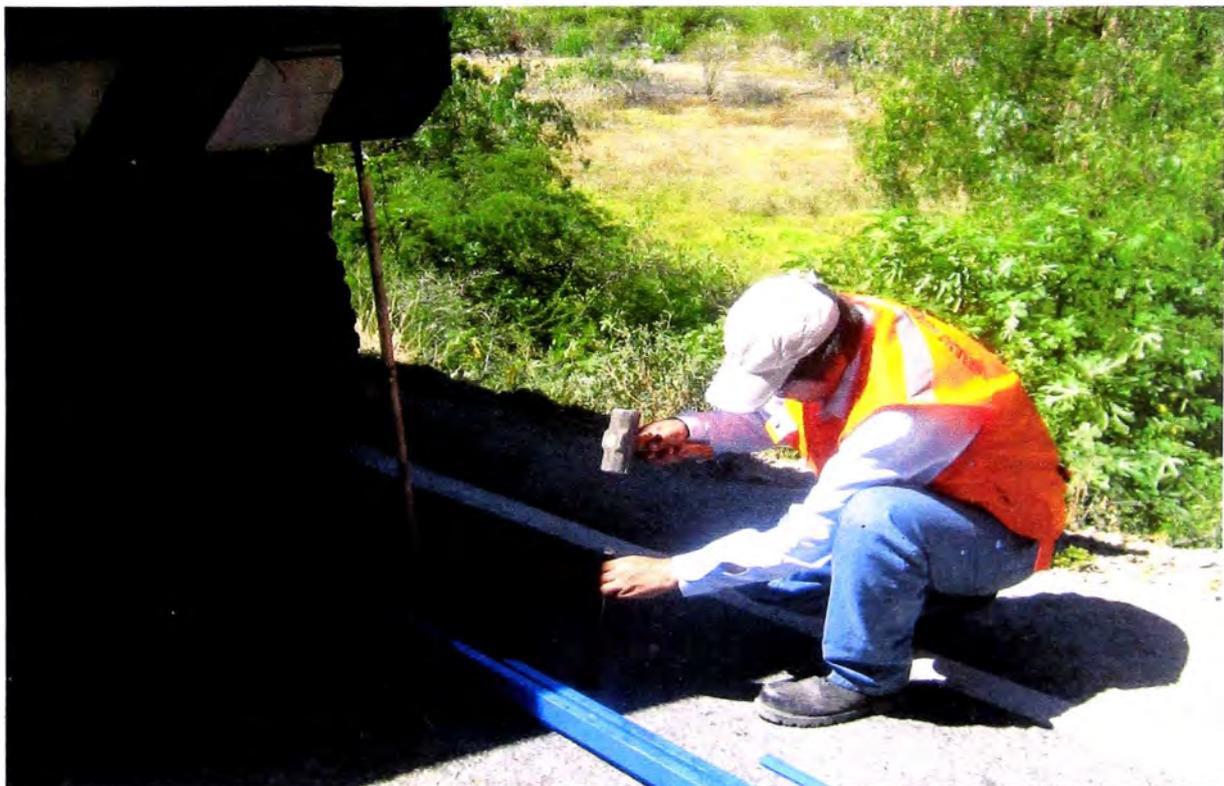


Foto N°04: Toma de muestra de espesor de la carpeta de rodadura.



Foto N°05: Medición del ahuellamiento



Foto N°06: Medición de la temperatura