

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL



**EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DE LA CARRETERA CAÑETE –
YAUYOS-CHUPACA CON VIGA BENKELMAN
MÉTODO EMPÍRICO
TRAMO KM.74+000 – KM.79+000**

INFORME DE SUFICIENCIA

Para optar el Título Profesional de:

INGENIERO CIVIL

CECILIA INÉS OSORIO DÍAZ

Lima- Perú

2009

Dedicatoria: El presente Informe se lo dedico a mi pequeño retoño Luis Eduardo, a mis padres Eduardo e Inés por su gran apoyo incondicional y a mi esposo Lucho por la gran familia que hemos formado.

Gracias a Dios Padre por darnos siempre las fuerzas necesarias para continuar con la laborar que nos ha encomendado.

	Pág.
RESUMEN	03
LISTADO DE CUADROS	04
LISTADO DE FIGURAS	05
LISTADO DE SIMBOLOS Y SIGLAS	06
INTRODUCCION	07
CAPÍTULO I.- GENERALIDADES	
1.1 Antecedentes.	08
1.2 Ubicación de la carretera.	10
1.3 Características de la carretera.	12
1.3.1 Tramificación de la carretera.	12
1.3.2 Clima.	13
1.3.3 Topografía	14
1.3.4 Geología.	16
1.3.5 Tipos de Suelos	16
1.3.6 Tráfico Vehicular	17
1.3.7 Actualidad- Programa de Conservación y Cambio estándar.	18
1.4 Sub-tramo en estudio km 74+000 –km 79+000.	19
1.4.1 Clima	19
1.4.2 Topografía	20
1.4.3 Geología	20
1.4.4 Composición de los suelos de fundación.	20
1.4.5 Sistema de Drenaje	20
1.4.6 Actualidad – Solución básica	20
CAPÍTULO II.- ESTADO DEL ARTE	22
CAPÍTULO III.- MARCO TEORICO	
3.1 Evaluación estructural.	25
3.2 Deflectometría método empírico CONREVIAl.	26
3.2.1 Concepto de deflexión	26
3.2.2 Determinación de la deflexión.	27

3.2.3	Medición de la deflexión.	27
3.2.4	Análisis estadístico de deflexiones–Deflexión característica	31
3.2.5	Deflexión admisible	33
3.2.6	Gráficas Deflectométricas	36
3.2.7	Radio de Curvatura.	37
3.2.8	Juicio de la capacidad estructural del pavimento.	38
3.2.9	Cálculo de espesor de refuerzo	40

CAPÍTULO IV.- APLICACIÓN AL TRAMO KM 74+000 – KM 79+000

4.1	Recopilación de datos.	41
4.2	Procesamiento de datos.	41

CAPÍTULO V.- ANÁLISIS DE RESULTADOS

5.1	Gráficos de deflectograma.	48
5.2	Evaluación de la capacidad estructural.	48
5.3	Interacción con otros tramos.	50

CONCLUSIONES 52

RECOMENDACIONES 55

BIBLIOGRAFIA 57

ANEXOS 58

RESUMEN

El Presente Informe de Suficiencia está dirigido a evaluar estructuralmente el pavimento de la carretera Cañete – Yauyos – Chupaca del tramo km 74+000 – km 79+000, mediante la medición de deflexiones elásticas empleando el deflectógrafo conocido como “Viga Benkelman”.

La elección de la evaluación estructural del pavimento 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 del pavimento flexible, el cual adopta el procedimiento Canadiense que coincide con el Instituto de Asfalto, que determina la deflexión recuperable del pavimento.

El tramo en estudio de la carretera Cañete- Yauyos – Chupaca Km 74+000 – 79+000, ubicado entre los poblados de San Jerónimo y Catahuasi, se encuentra mejorada con la aplicación de un tratamiento superficial llamado Slurry Seal colocada sobre una base estabilizada, trabajos realizados por el consorcio CGC, de acuerdo al cronograma de trabajos de mantenimiento y conservación vial entre febrero y marzo del 2009.

LISTADO DE CUADROS

	Pág.
Cuadro N°1.01: Principales poblados que cruza la carretera	12
Cuadro N°1.02: Tramificación y estado de la carretera antes de la intervención de CGC	12
Cuadro N°1.03 Características del clima de la carretera	14
Cuadro N°1.04 Topografía y anchos de vía	14
Cuadro N°1.05 Valores de CBR y Mr	16
Cuadro N°1.06 Numero de IMDs	17
Cuadro N°1.07: Trabajos a ejecutar con la intervención de CGC	18
Cuadro N°1.08: Estructura de pavimento proyecta según Especificaciones Técnicas	19
Cuadro N°3.01: Valores de Coeficiente de Variación	32
Cuadro N°3.02: Corrección por estacionalidad	33
Cuadro N°3.03: Criterio para el cálculo de Equivalencia de carga	34
Cuadro N°3.04: Determinación de los factores de equivalencia de carga	35
Cuadro N°3.05: Casos Típicos de análisis combinando resultados de Evaluación.	39
Cuadro N°3.06: Valores recomendados de R	41
Cuadro N°4.01: Cuadro de deflexiones corregidas	41
Cuadro N°4.02: Cuadro resumen de deflexiones promedio y característica	44
Cuadro N°4.03: Cuadro del cálculo de IMD`s al 2009	44
Cuadro N°4.04: Obtencion de los factores de equivalencia	45
Cuadro N°4.05: Obtencion de EAL `s y Dadmisible	45
Cuadro N°4.06: Obtencion de los Radios de Curvatura	46
Cuadro N°4.07: Resumen del cálculo de refuerzo por el metodo de deflexiones	47
Cuadro N°5.01: Resultado de Deflexiones tdiseño =1año	48
Cuadro N°5.02: Resultado de Deflexiones tdiseño =2años	49
Cuadro N°5.03: Resultado de Deflexiones tdiseño =3años	50

LISTADO DE FIGURAS

	Pág.
Figura N°1.01 Plano de Ubicación de carretera	10
Figura N°1.02 Plano Clave de la carretera.	11
Figura N°1.03 Panel Fotografico de la tramo de carretera	15
Figura N°1.04 Tramo en estudio km 74+000-km 79+000	19
Figura N°1.05 Perfil Estatigrafico del Tramo en estudio Km 74+000-79+000	20
Figura N°1.06 Estructura del pavimento tramo Km 74+000-79+000	21
Figura N°2.01 Pruebas con Viga Benkelman 1952	22
Figura N°3.01 Tipos de deflexiones.	26
Figura N°3.02 Esquema y principio de Operación de la Viga Benkelman	28
Figura N°3.03 Esquematzación del proceso de medición	31
Figura N°3.04 Determinacion del Radio curvatura.	38

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 pavimento, 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 del arte de la carretera y del tramo en estudio KM 74+000 – 79+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 realizará el estado del arte de la metodología evaluación estructural del pavimento con el deflectógrafo 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 74+000 al km 79+000 y la interacción con otros tramos de la carretera Cañete-Yauyos- Chupaca.

CAPÍTULO I.- GENERALIDADES

1.1 Antecedentes.

La Carretera Cañete – 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 avanzan 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 Cañete- 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°01

(Fuente: Proyecto Perú - Ministerio de Transportes y Comunicaciones)

1.3 Características de la carretera.

La carretera Cañete- Yauyos – Chupaca es una carretera de 3er Orden y pertenece al corredor vial N°13, atraviesa diferentes regiones de la Geografía del Perú, siendo los poblados principales, los que se aprecian en el Figura N°02 Plano Clave y en el Cuadro N° 01.

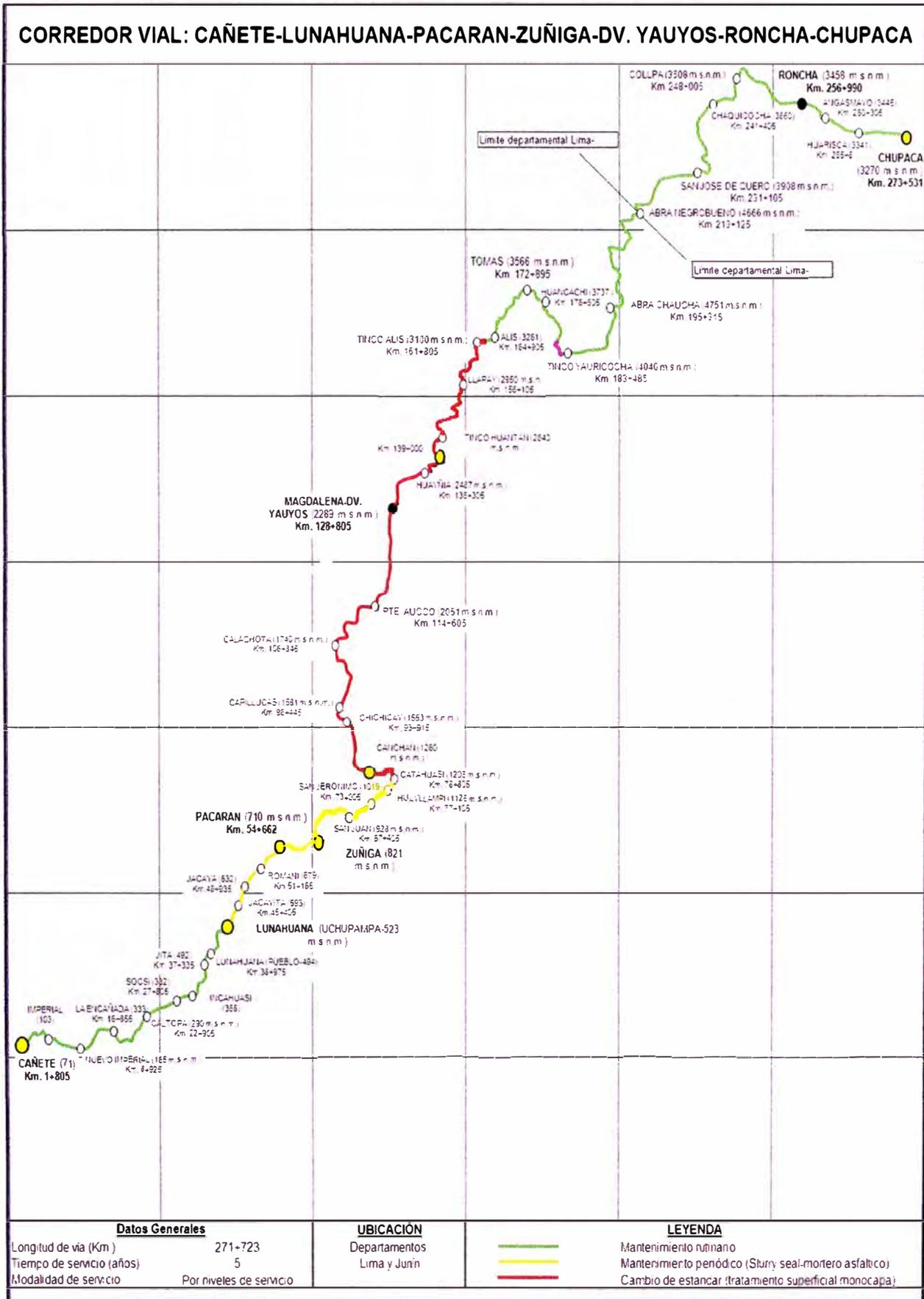


Figura N°1.02 Plano Clave
(Fuente : Escuela Profesional de Ing. Civil)

Cuadro N°1.01: Principales poblados que cruza la carretera

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

(Fuente : Elaboracion propia)

1.3.1 Tramificación de la Carretera

La carretera se encuentra dividida en 6 tramos, de los cuales 2 se encuentran pavimentadas con una infraestructura vial apropiada, con un sistema de drenaje adecuado, presenta problemas de inestabilidad de taludes y erosiones en algunas zonas, además presenta daños en la condición superficial de la superficie de rodadura y en algunas estructuras y obras (fallas en muros de mampostería).

Cuadro N°1.02: Tramificación y estado de la carretera antes de la intervención de CGC

Tramo	Vía	Longitud	Estado de la carretera antes de la intervención
Cañete – Lunahuana (1+805km – 42+755km) Región Yunga	Asfaltada	40.950km	Evidente deterioro en la estructura, como fisuramiento de asfalto, asentamiento de rellenos, huecos, parches, etc. Existencia de obras de arte y señalización en el tramo. Problemas de inestabilidad de taludes y erosiones en algunas zonas.
Lunahuana –Pacarán (42+755km-54+662) Región Yunga	Tratamiento Superficial Bicapa	11.907km	Algunos problemas de baches. Es una zona de poca presencia de lluvias. Existencia de señalización y obras de arte. Problemas de inestabilidad de taludes y erosiones en algunas zonas.
Pacarán – Zúñiga (54+662km -58+405 km) Región Yunga	Afirmada	3.743 km	Superficie medianamente deteriorada y anchos variables. Tiene una infraestructura vial insuficiente e inadecuada (falta de un sistema de drenaje adecuado, presencia de tramos críticos debido a huaycos, muros secos en peligro de colapso en gran parte de zonas críticas).

Tramo	Vía	Longitud	Estado de la carretera antes de la intervención
Zuñiga - Desvío Yauyos (58+405km-128+805km) Región Yunga	Afirmada	70.400 km	Superficie deteriorada y anchos variables a lo largo de su recorrido y obras de arte pendientes por implementarse. Se ha incrementado el tránsito pesado por la construcción de la central hidroeléctrica del Platanal.
Dv. Yauyos – Ronchas (128+805km-256+990km) Región Quechua	Afirmada	128.185 km.	Superficie medianamente deteriorada y anchos variables a lo largo de su recorrido y obras de arte pendientes por implementarse.
Ronchas – Chupaca Región Suni y Región Puna (256+990km-273+531km)	Afirmada	16.541 km	Superficie medianamente deteriorada con ancho uniforme.

(Fuente: Elaboración propia. Recopilación del Informe de Conservación vial por niveles de servicio de la carretera Cañete-Lunahuana-Pacaràn-Chupaca y rehabilitación del tramo Zuñiga - Dv. Yauyos – Ronchas.)

Los otros 4 tramos no pavimentados tienen una infraestructura vial insuficiente e inadecuada (falta de un sistema de drenaje adecuado, presencia de tramos críticos debido a huaycos y a una topografía accidentada, muros secos en peligro de colapso en gran parte de zonas críticas).

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 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.

Tramo	Topografía	Ancho de plataforma
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-Pacarán-Chupaca y rehabilitación del tramo Zuñiga - Dv. Yauyos – Ronchas.)

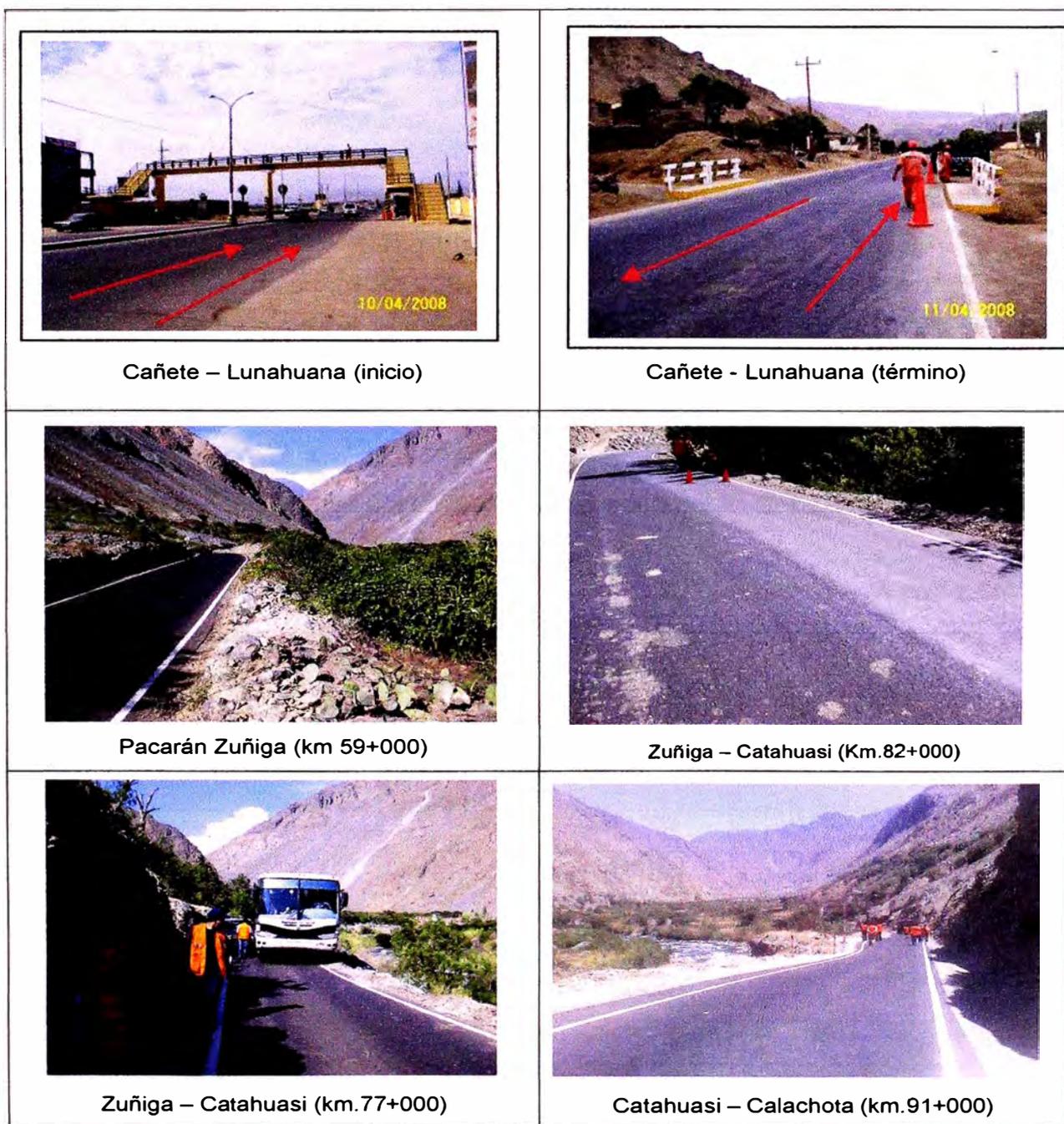


Figura N° 1.03 Panel fotográfico de la Carretera (1+805km – 105+000km)

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

Sector 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 2008 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, ver cuadro N°1.06.

Cuadro N°1.06: Número de IMDs

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

(Fuente: Conservación Vial Por Niveles de Servicio de la Carretera Cañete - Lunahuaná - Pacarán - Chupaca y Rehabilitación del Tramo Zúñiga - DV. Yauyos – Ronchas. Estudio de Tráfico Junio 2008)

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 2.6% (obtenido del promedio de los últimos 7 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 1.4% (obtenido del promedio de los últimos 7 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 4.6 % (obtenido del promedio de los últimos 7 años para los departamentos de Lima y Junín, considerando el escenario optimista).

1.3.7 Actualidad – Programa de Conservación y Cambio estándar.

En la actualidad la contratista CGC se encuentra ejecutando permanentes actividades de conservación rutinaria, conservación periódica, cambio estándar, etc; para alcanzar un adecuado nivel de transitabilidad en dicha carretera.

Cuadro N°1.07: Trabajos a ejecutar con la intervención de CGC

Tramo	Tipo de tratamiento	Trabajos con la intervención
Cañete – Lunahuana Región Yunga	Carpeta Asfáltica	Conservación rutinaria a las estructuras existentes, así como a todas sus obras de arte y señalización en el tramo, a nivel de limpieza y mantenimiento de operatividad de todas sus estructuras, brindando un nivel de servicio bueno. Se removerán y eliminarán los derrumbes localizados de hasta 200m ³ , así como el roce de la vegetación lateral.
Lunahuana – Pacarán Región Yunga	Tratamiento superficial	Rehabilitación superficial de la carpeta existente (bicapa), previo parchado de huecos y sellado de fisura. Colocación de un tratamiento asfáltico en toda la calzada del tramo y además se repondrán las marcas en el pavimento y algunas señales faltantes.
Pacarán – Catahuasi Región Yunga	Slurry Seal	Conservación rutinaria a las estructuras existente, así como a todas sus obras de arte y señalización existente en el tramo, a nivel de limpieza y mantenimiento, para garantizar la operatividad de todas sus estructuras. Se removerán y eliminarán los derrumbes localizados de hasta 200m ³ , así como el roce de la vegetación lateral.
Catahuasi - Desvío Yauyos Región Yunga	Monocapa	Conservación rutinaria para mantener el tramo afirmado en condiciones de transitabilidad adecuada así como la visibilidad requerida en los tramos sinuosos (Roce). Drenaje existente se mantendrá libre y limpio. A raíz de la presencia de las empresas constructoras y el alto tránsito pesado que generan para la construcción de la central hidroeléctrica del Platanal, se ha decidido realizar la intervención con cambio estándar a lo largo del tramo.
Dv. Yauyos – Ronchas Región Quechua	Monocapa (33 Km) – Afirmado (95.185 Km)	Realizar el cambio estándar progresivamente durante los primeros dos años de la conservación, utilizando básicamente los meses o períodos sin lluvia. Trabajos de conservación rutinaria para mantener el afirmado en condición de transitabilidad adecuada, visibilidad requerida en los tramos sinuosos (Roce). Drenaje existente se mantendrá libre y limpio.
Ronchas – Chupaca Región Suni y Región Puna	Afirmado	Conservación rutinaria a la estructura existente, así como a todas sus obras de arte y señalización existente en el tramo, a nivel de limpieza y mantenimiento, para garantizar la operatividad de todas sus estructuras.

(Fuente: Elaboración Propia. Recopilación del informe del cambio estándar de afirmado a solución básica de la carretera Lunahuana – Yauyos – Chupaca)

La Estructura de pavimento proyectada a lo largo de toda la carretera, de acuerdo al Estudio Técnico del cambio estándar es:

Cuadro N°1.08: Estructura de pavimento proyectada

SECTOR		ESTRUCTURA DE PAVIMENTO		
		Superficie de rodadura (cm)	Afirmado estabilizado con emulsión (cm)	Afirmado (cm)
Sector I: Zúñiga - Dv. Yauyos – Alis	57+450 – 130+000	0,9	5	8
	130+000 – 163+100	0,9	5	11
Sector II: Alis - San José de Quero	163+100 – 200+000	0,9	5	11
	200+000 – 220+000	0,9	5	17
	220+000 – 229+300	0,9	5	45
Sector III: San José de Quero - Ronchas	229+300 – 240+000	0,9	5	40
	240+000 – 248+000	0,9	5	20
	248+000 – 255+185	0,9	5	42

(Fuente: Informe del cambio estándar de afirmado a solución básica de la carretera Lunahuana – Yauyos – Chupaca)

1.4 Sub-tramo en estudio km 74+000 –km 79+000.

El sub-tramo de la carretera en estudio inicia en el Km.74+000 pasando un km del poblado San Jerónimo a 1019 msnm y termina en el Km 79+000 pasando el poblado de Catahuasi a 1206 msnm, dicho sub tramo pertenece a la región Yunga.

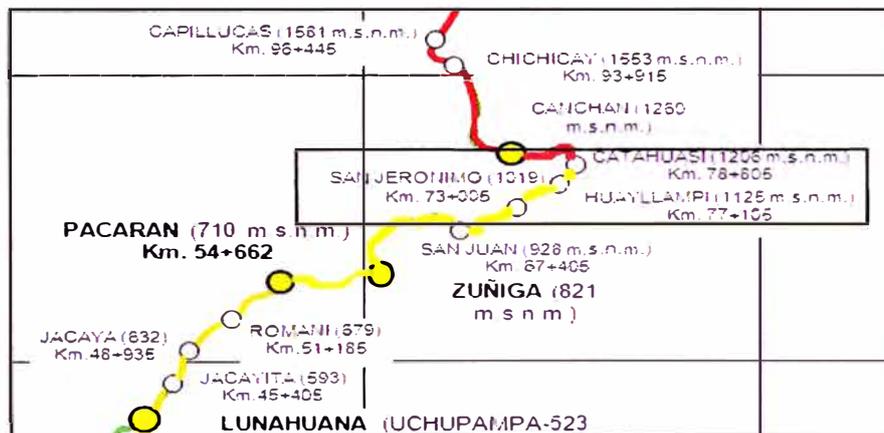


Figura N°1.04 Tramo en estudio km 74+000 – 79+000

(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).

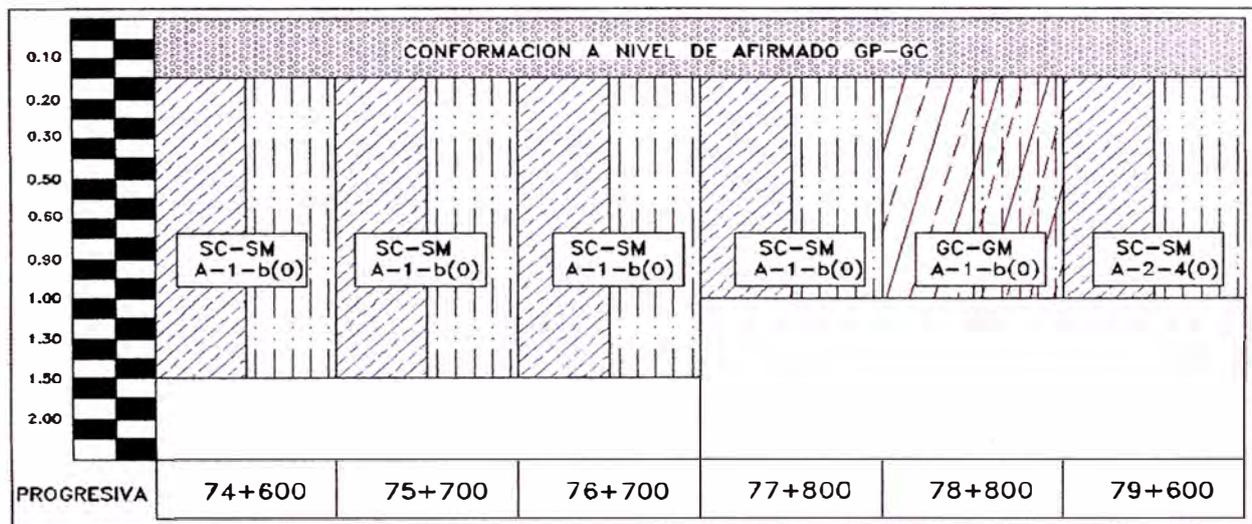


Figura N°1.05 Perfil Estatigráfico del Tramo en estudio km 74+000 - 79+000
(Fuente : Elaboración Propia)

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

f) Actualidad - Solución básica:

El cambio estándar para el tramo en estudio, el Consorcio ha considerado la colocación de un tratamiento asfáltico Slurry Seal 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 del Slurry Seal, obtendremos una superficie de mejores características antideslizantes, mejorar la contextura superficial para conseguir un pavimento de circulación más confortable.

El Slurry Seal podrá ser colocado en velocidades de 18 a 55 m por minuto, por lo que permite rendimientos de 6000 a 10,000 m²/día.

Aunque se mantiene el viejo concepto de dar mantenimiento a las vías cuando es muy tarde, el Slurry Seal 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.

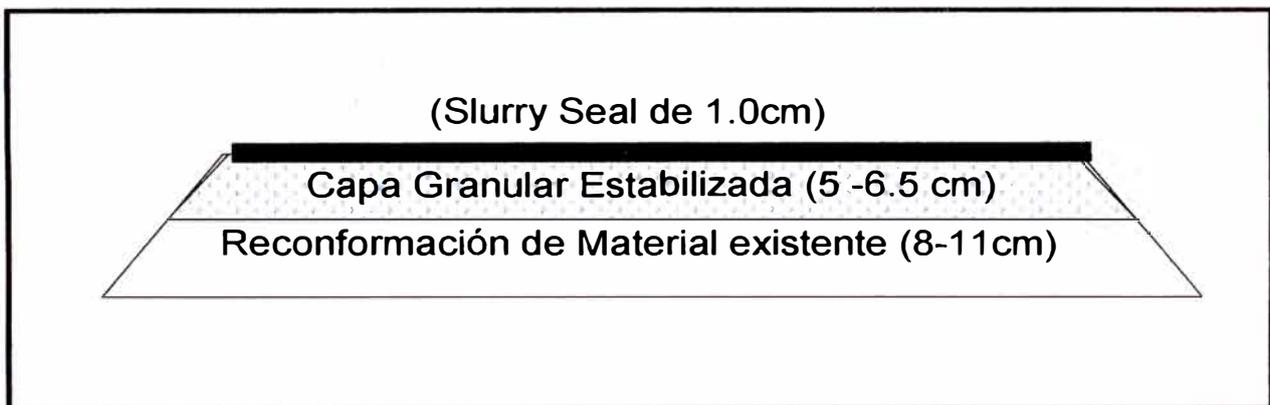


Figura N°1.06 Estructura de pavimento tramo en estudio km 74+000 – 79+000
(Fuente : Elaboración propia)

CAPÍTULO II.- ESTADO DEL ARTE DEL METODO

La Viga Benkelman fue introducida en los años 1940, llamada así en honor al Ing. A.C.Benkelman. Su utilización nace desde los años 1952, en el Programa de Ensayos viales de la WASHO (WASHO Road Test).



Figura N° 2.01. Pruebas con Viga Benkelman (1952)

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

Durante estos años, los ingenieros de caminos, investigaban el comportamiento del pavimento bajo los efectos del tráfico, considerando condiciones análogas de clima, tipo de suelo, etc.

La WASHO- Western Association of State Highways Officials, utilizó la Viga Benkelman, para evaluar un camino compuesto por pavimento flexible construida en Malad, Idaho al oeste de los Estados Unidos. Dicho camino estaba constituido por cuatro circuitos cerrados, los que se construyeron bajo condiciones cuidadosamente controladas, para luego transiten vehículos de diferente carga y evaluar su comportamiento bajo las condiciones de carga estática, movimientos de la base granular, humedad y temperatura bajo la superficie del camino.

Posteriormente en los años 1958-1960, se realizó el ensayo vial AASHO Road Test, carretera ubicada cerca a Ottawa, Illinois al Suroeste de Chicago, donde el

suelo de esta zona es uniforme y representativo de las que se encuentra en los Estados Unidos.

Los resultados de la prueba en carretera AASHO se utilizaron para elaborar una Guía de diseño de pavimentos, publicada por primera vez en 1961 como AASHO Provisional de Guía para el Diseño de pavimentos rígidos y flexibles, con cambios importantes emitidas en 1972 y 1993. La versión de 1993 está todavía en uso generalizado en los Estados Unidos. Una nueva guía, inicialmente prevista para el lanzamiento en 2002, pero aún sigue en desarrollo.

La prueba de carretera AASHO introducido muchos conceptos en ingeniería de pavimentos, incluyendo la carga de factor de equivalencia. Como se sabe, los vehículos más pesados reducen la servicialidad en un tiempo mucho más corto que los vehículos ligeros. El resultado directo de las pruebas era obtener nuevas normas de control de calidad para la construcción de carreteras en los EE.UU., que todavía están en uso hoy en día.

En los años 1983 la Viga Benkelman fue utilizada en el Perú, en la rehabilitación de la Panamericana Norte, a cargo del Consorcio de Rehabilitación Vial conformada por empresas argentinas y canadienses. Se evaluó un tramo de dicha carretera y con los resultados obtenidos se elaboró el estudio llamado CONREVIAL, por tal motivo el MTC sugiere el empleo de este estudio, ya que corresponde a una inversión considerable en aquellos años.

En el año 1986, mediante los trabajos realizados por el consorcio Berger – Lagesa, en un tramo de la Panamericana Norte, se implementó la aplicación del modelo de Hogg para evaluar las deflexiones, cambiando de esta manera las aplicaciones que hasta el momento se venía empleando.

En el año 1990, los trabajos convocados por el MTC con los primeros préstamos efectuados por el Banco Interamericano de Desarrollo, propició la formación de una oficina administradora del préstamo, llamada Unidad Ejecutora de Proyecto (UEP). El asesor de la UEP por varios años fue la empresa Peruana Barriga Dall'Orto, la misma que formó parte del Consorcio CONREVIAL, con Argentinos y Canadienses. Por esta razón los términos de referencia respaldaron las evaluaciones deflectométricas mediante la metodología desarrollada por el

consorcio CONREVIAl, dejando de lado la posible evaluación complementaria con métodos matemáticos.

En el año 2000 la evaluación estructural de la Carretera Piura – Sullana – Macará, se aplicó la toma de datos con el deflectógrafo de impacto (FWD), que registra deformaciones dinámicas, las mismas que posteriormente tuvieron que ser transformadas a estáticas para cumplir con las exigencias de los términos de referencia dispuestos por el MTC.

En la actualidad en otros países es utilizado el llamado deflectógrafos de impacto FWD (Falling Weight Deflectometer). 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.

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

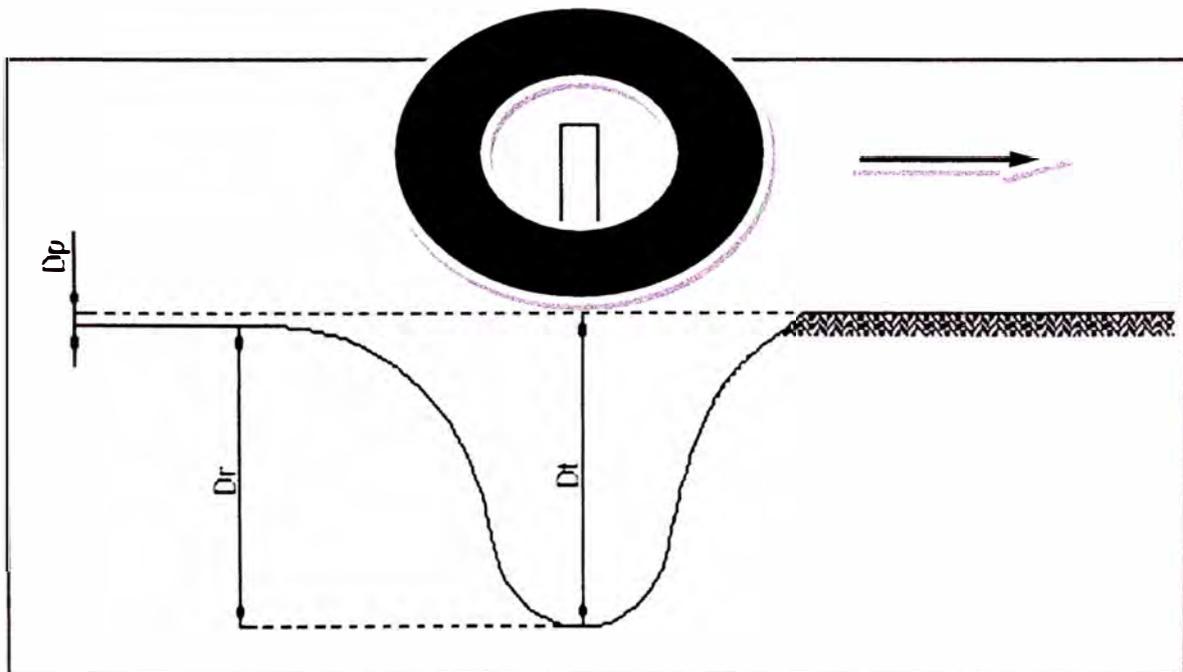


Figura N°3.01: Tipos de deflexiones.
(Fuente : Estudio del CONREVIAl)

3.2.2 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).

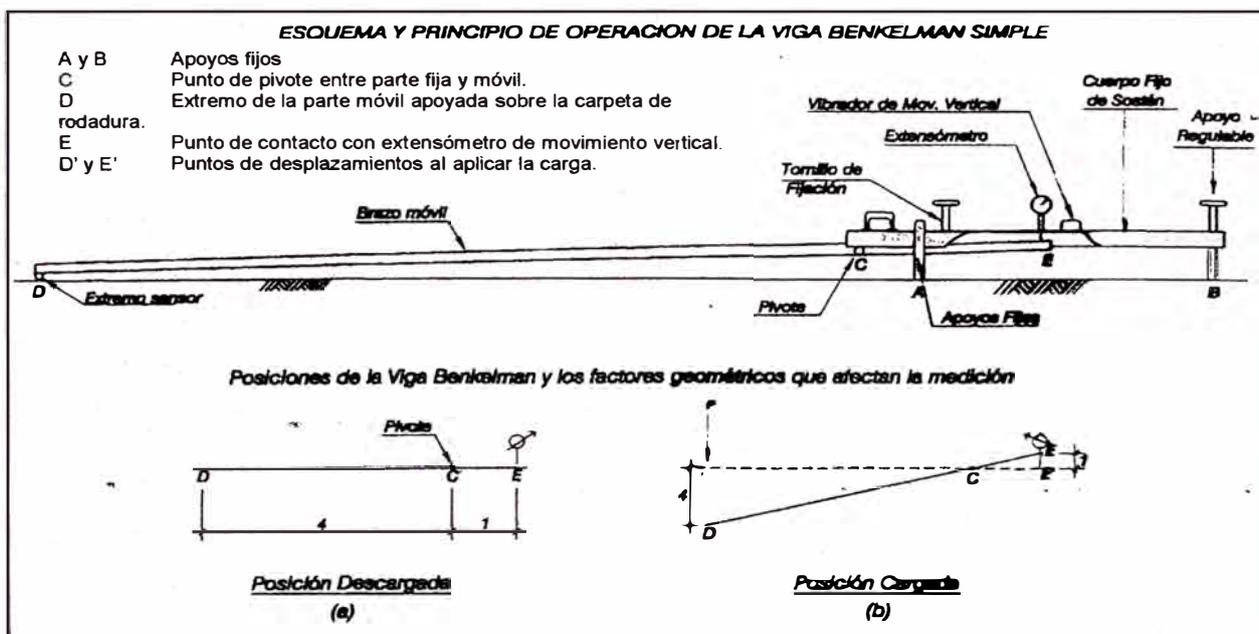


Figura N°3.02 : Esquema y principio de Operación de la Viga Benkelman

(Fuente : Exposición del Ing. Wilfredo Gutiérrez – Evaluación estructural)

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 asfalto.
- 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, alicate, 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.

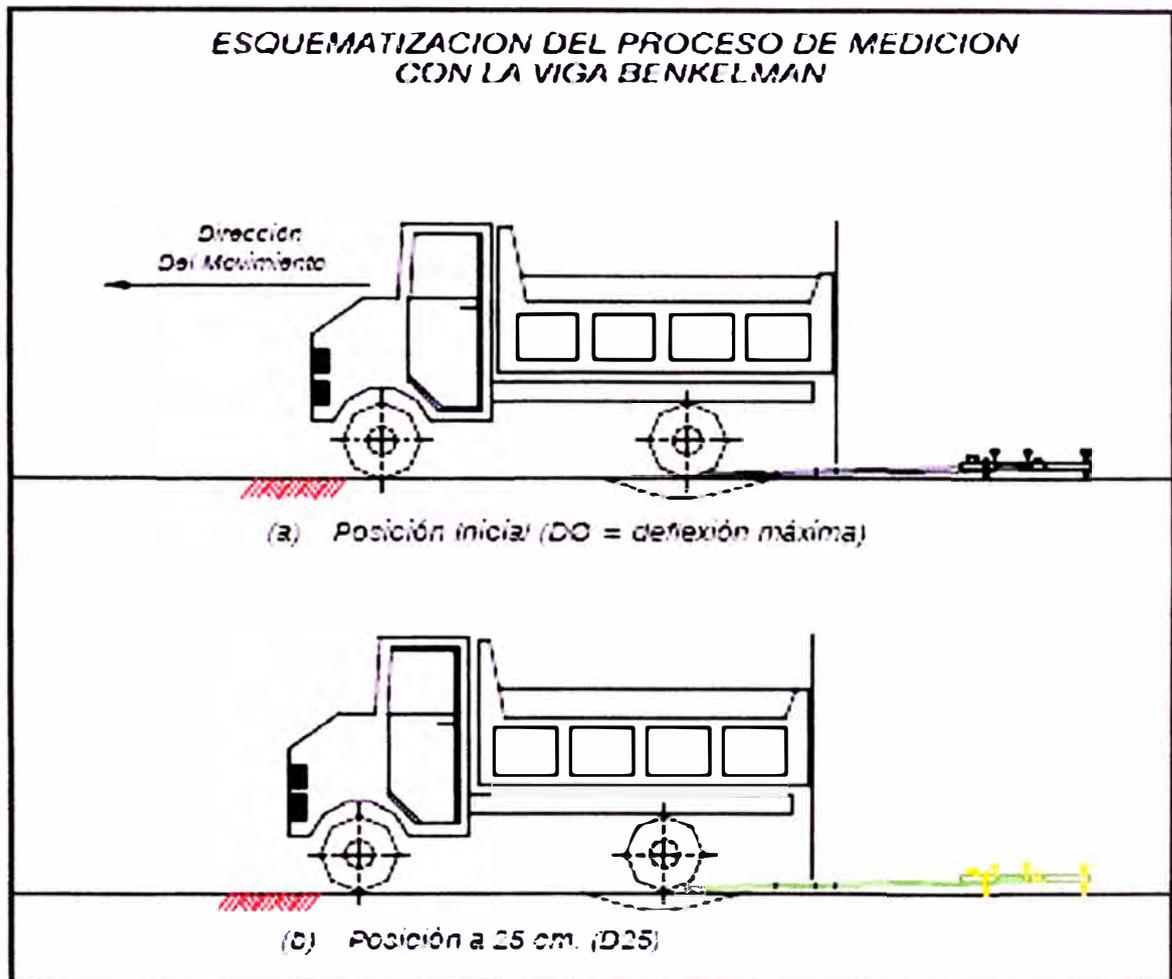


Figura N°3.03 : Esquemática del proceso de medición.

(Fuente : Exposición del Ing. Wilfredo Gutierrez – Evaluación estructural)

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:

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

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 < 20°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	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 : 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:

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

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.

i : 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:

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

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.

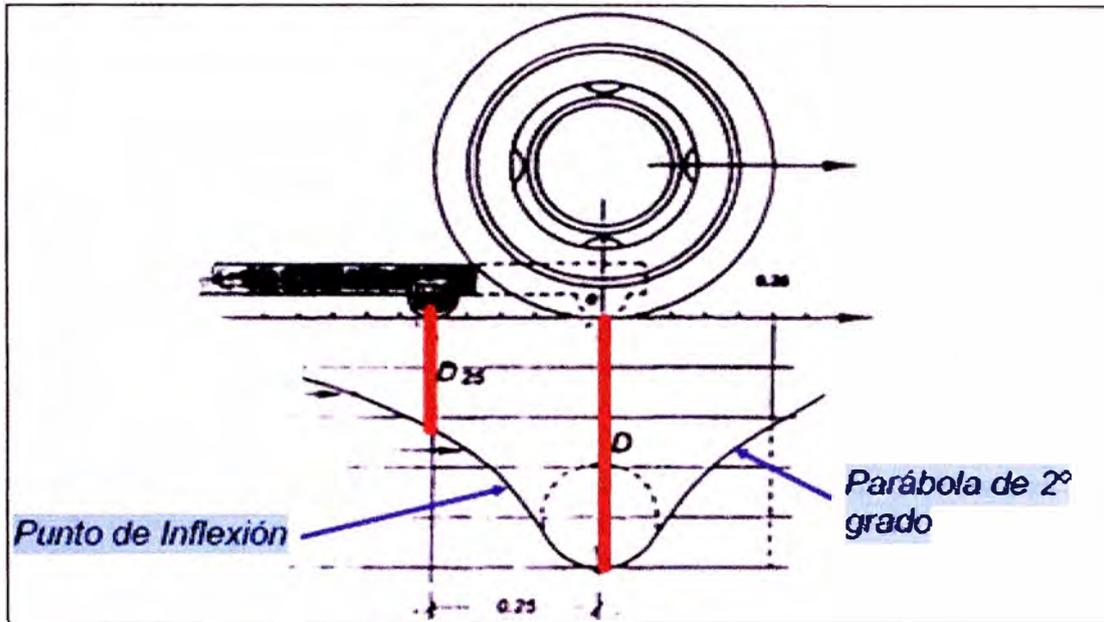


Figura N° 3.04 : Determinación del Radio curvatura.

(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
<p>La deflexión característica es superior a la admisible. Los radios de curvatura son elevados o aceptables (en relación a la estructura). Dc > Dad</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.... 1CASO.</p>
	<p>Hay fallas de origen estructural generalizadas a causa ajenas a la presencia de un espesor de base débil.</p>		<p>Hay acuerdo entre todas las variables. a) Las deflexiones son empleadas para el cálculo de refuerzo. b) Para deflexiones muy fuertes analizar económicamente reconstrucción. Verificar refuerzo con métodos diseño.....2°CASO</p>
<p>La deflexión característica es superior a la admisible. Los radios de curvatura son pequeños (aún para deflexiones reducidas). Dc > Dad</p>		<p>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.</p>	<p>Se trata de neutralizar el efecto de la capa que falla, ya sea por reconstrucción parcial, o refuerzo. No es conveniente emplear la deflexión ya que puede no ser representativa. 3°CASO</p>
<p>La deflexión característica es inferior a la admisible. Los radios de curvatura son reducidos. Dc < Dad</p>	<p>Hay fallas de origen estructural por fatiga (Fisuras tipo piel de cocodrilo).</p>	<p>Existe una capa débil inmediatamente debajo de las capas asfálticas.</p>	<p>Analizar fecha de mediciones y tipo estructura. Neutralizar el efecto de la capa débil (reconstrucción o refuerzo). De ninguna manera se pueden considerar las deflexiones para el proyecto; emplear métodos de diseño 3°CASO</p>
<p>La deflexión característica es inferior a la admisible. Dc < Dad.</p>	<p>Hay fallas de origen estructural: deformaciones permanentes de la fundación</p>	<p>Estructura degradada no adecuada para fundación.</p>	<p>Evaluar aporte estructural de la calzada existente (reconstrucción o refuerzo). La deflexión no es representativa.....4°CASO</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...5°CASO.</p>

(Fuente: Manual del Conveval)

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

Deflexión Característica antes del refuerzo (1/100mm)	Espesor de refuerzo “h” (en cm)			
	5	10	15	20
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 AL TRAMO KM 74+000 – KM 79+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 4:1 y con un dial de precisión de 0.02 mm.

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

4.2 Procesamiento de datos.

El objetivo de esta evaluación es encontrar tramos homogéneos en función de las deflexiones, que nos permita dar una idea del comportamiento estructural de los pavimentos.

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 76+600, se tiene que la deflexión máxima es 24×10^{-2} mm, la deflexión inicial es cero y la deflexión a 25cm (D25) es 8.00×10^{-2} mm.:

$$D_0 = (24.00 - 0.00) = 24.00 \times 10^{-2} \text{ mm}$$

$$D_{25} = (24.00 - 8.00) = 16.00 \times 10^{-2} \text{ mm}$$

Paso 2.-

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

Para el ejemplo ilustrativo Prg 76+600 se tiene:

$$D_0 = (24.00) \times 4 = 96.00 \times 10^{-2} \text{ mm}$$

$$D_{25} = (16.00) \times 4 = 64.00 \times 10^{-2} \text{ mm}$$

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 76+600, se tiene una temperatura de 49°C y el espesor de la capa de rodadura es 1.50 cm:

$$D_{020} = 96.00 / (1 \times (49^\circ - 20^\circ) \times 1.50 + 1) = 92.00 \times 10^{-2} \text{ mm}$$

$$D_{2520} = 64.00 / (1 \times (49^\circ - 20^\circ) \times 1.50 + 1) = 61.30 \times 10^{-2} \text{ mm}$$

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 76+600, pertenece a la Región Yunga con un clima con sol dominante casi todo el año, descrito según el Cuadro N°03 Características del clima de la carretera, por lo cual de acuerdo al Cuadro N°08 corrección por estacionalidad se considera un factor de corrección de 1.1.

$$D_0 = 92.00 \times 1.1 = 101.20 \times 10^{-2} \text{ mm}$$

$$D_{25} = 61.30 \times 1.1 = 67.50 \times 10^{-2} \text{ mm}$$

Paso 5.-

Con estas deflexiones máximas corregidas (D_0) se procede a graficar el deflectograma (progresivas vs deflexiones máximas corregidas). Ver anexo N° 02.

Paso 6.-

El deflectograma puede ser sectorizado por varios criterios (ver anexo N°03), estos son:

Por tipo de tratamiento colocado.

Por tipo de suelo de fundación.

Por tipo de tráfico IMD's.

Por homogeneidad del deflectograma.

De las cuatro modalidades de sectorización identificadas, se escoge para el procesamiento estadístico de datos, el deflectograma por homogeneidad, ya que con este tipo de sectorización se tiene los IMD's tabulados en sectores muy parecidos al deflectograma por homogeneidad. Los IMD's son obtenidos del estudio de tráfico realizado por CGC realizado en Junio del 2008.

Aplicando la sectorización por homogeneidad del deflectograma se tiene:

SECTOR I: KM 59+300 – KM 60+300

SECTOR II: KM66+600 – KM 91+300

SECTOR III: KM 91+400 – KM 101.000

En cada uno de los sectores se calcula la deflexión característica, para ello se procesan las deflexiones máximas mediante análisis estadísticos.

Para el ejemplo ilustrativo Pgr. 76+600, se encuentra en el Sector II se tiene:

Cuadro N° 4.01: Cuadro de Deflexiones corregidas

Estaca (km)	RESULTADOS DEFLECTOMÉTRICOS	
	Deflexiones Corregidas	
	$D_{25} \times 10^{-2} \text{mm}$	$D_0 \times 10^{-2} \text{mm}$
66+600	102,31	136,41
66+700	25,96	51,93
66+800	25,54	42,57
66+900	33,59	75,57
67+000	25,80	51,59
71+500	25,83	51,66
71+600	42,97	77,34
71+700	60,12	94,47
71+800	25,98	51,96
71+900	52,05	86,75
76+600	67,47	101,20
76+700	68,48	102,72
76+800	34,38	51,56
76+900	41,51	74,72
77+000	41,86	75,34
80+100	50,50	75,75
80+200	76,98	111,20
80+300	84,65	126,97
80+400	76,18	110,04
80+500	84,83	135,72
84+600	50,90	76,34
84+700	17,05	34,10
84+800	33,70	58,98
84+900	50,19	83,65
85+000	33,42	66,84
91+100	51,23	93,93
91+200	59,44	93,41
91+300	68,81	103,22

(Fuente: Elaboración propia)

$$D_0 \text{ promedio} = 82.00 \times 10^{-2} \text{ mm}$$

$$\sigma = 27.64 \times 10^{-2} \text{ mm}$$

$$\rightarrow D_c = 82.00 + (1.645 \times 27.64) = 127.47 \times 10^{-2} \text{ mm}$$

Cuadro N° 4.02: Cuadro de Resumen de Deflexiones Promedio y característica

Tramo Total	Deflexiones x 10 ⁻² mm
Mínimo	34.10
Máximo	136.41
Promedio (Dprom)	82.00
Desviación	27.64
Coeficiente de Variación	0.34
Característico (Dc)	127.47

(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).

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

De acuerdo a la fórmula se considera:

- Los IMD's con los valores del cuadro N°1.06, proyectados al año 2009, aplicando las tasas de crecimiento enunciadas en el capítulo I.

Cuadro N° 4.03: Cuadro de cálculo de IMD's al 2009

Tipo de Vehículo	IMD 2008 (*)			Tasa de crecimiento i (%)	IMD 2009 (**)		
	Zúñiga 56+600 - P. Nuevo 66+580	P. Nuevo 66+580 - Capillucas 94+640	Capillucas 94+640 - Dv. Yauyos 127+000		Zúñiga 56+600 - P. Nuevo 66+580	P. Nuevo 66+580 - Capillucas 94+640	Capillucas 94+640 - Dv. Yauyos 127+000
Automóvil	6	3	1	2,6	6	3	1
Camioneta	194	289	20	2,6	199	297	21
Combi Rural	74	61	4	2,6	76	63	4
Micro	48	68	0	1,4	49	69	0
Ómnibus 2E	15	14	8	1,4	15	14	8
Ómnibus 3E	1	0	0	1,4	1	0	0
Camión 2 Ejes	47	42	9	4,6	49	44	9
Camión 3 Ejes	9	4	11	4,6	9	4	12
Camión 4 Ejes	1	2	0	4,6	1	2	0
Semitraylers	28	53	0	4,6	29	55	0
Traylers	38	33	0	4,6	40	35	0
TOTAL					475	585	55

(Fuente: Elaboración propia)

- Los FE's de la composición vehicular para el sector II (km 66+700 – km 91+300), 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°4.04 : Obtención de factores equivalente

Nro.	Tipo de vehículo	Factor de Equivalencia	IMD ₂₀₀₉	Tasa de crecimiento (i%)
1	Micro	4,504	69	1,4
2	Ómnibus 2E	4,504	14	1,4
3	Ómnibus 3E	3,285	0	1,4
4	Camión 2 Ejes	4,504	44	4,6
5	Camión 3 Ejes	3,285	4	4,6
6	Camión 4 Ejes	2,283	2	4,6
7	Semitraylers	6,523	55	4,6
8	Traylers	10,980	35	4,6

(Fuente elaboración propia)

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

Cuadro N°4.05: Obtención de EAL's y Dadmisible

Tramo.- P. Nuevo 66+580 - Chichicay 92+110													
Nr o.	Tipo de vehiculo	Factor de Carga	IMD ₂₀₀₉	Tasa de crecim (%)	Proyección								
					n (años)	EAL ₂₀₁₀	n (años)	EAL ₂₀₁₁	n (años)	EAL ₂₀₁₂	n (años)	EAL ₂₀₁₄	
1	Micro	4.504	69	1.4	1	113346	2	228278	3	344820	5	582820	
2	Ómnibus 2E	4.504	14	1.4	1	23336	2	46998	3	70992	5	119992	
3	Ómnibus 3E	3.285	0	1.4	1	0	2	0	3	0	5	0	
4	Camión 2 Ejes	4.504	44	4.6	1	72217	2	147756	3	226769	5	395868	
5	Camión 3 Ejes	3.285	4	4.6	1	5016	2	10263	3	15751	5	27496	
6	Camión 4 Ejes	2.283	2	4.6	1	1743	2	3567	3	5474	5	9556	
7	Semitraylers	6.523	55	4.6	1	131989	2	270050	3	414462	5	723520	
8	Traylers	10.980	35	4.6	1	138341	2	283045	3	434406	5	758335	
Nota: N ₁₈ , número total de ejes equivalentes a 18 klb o 8.2 ton (en millones)					EAL N ₁₈		4.86E+05		9.90E+05		1.51E+06		2.62E+06
					Da (x 10-2 mm)		0.243		0.495		0.756		1.309
							147.5		123.5		111.0		96.8

(Fuente elaboración propia)

Paso 8.-

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

Para el ejemplo ilustrativo Sector II se tiene:

Cuadro N°4.06: Obtención de los Radios de curvatura

Estaca (km)	Deflexiones corregidas		Radio Curvatura (m)
	$D_{25} \times 10^{-2}$ mm	$D_{MAX} \times 10^{-2}$ mm	
66+600	102.31	136.41	91.64
66+700	25.96	51.93	120.36
66+800	25.54	42.57	183.52
66+900	33.59	75.57	74.43
67+000	25.80	51.59	121.14
71+500	25.83	51.66	120.98
71+600	42.97	77.34	90.91
71+700	60.12	94.47	90.97
71+800	25.98	51.96	120.28
71+900	52.05	86.75	90.06
76+600	67.47	101.20	92.64
76+700	68.48	102.72	91.26
76+800	34.38	51.56	181.82
76+900	41.51	74.72	94.11
77+000	41.86	75.34	93.32
80+100	50.50	75.75	123.76
80+200	76.98	111.20	91.34
80+300	84.65	126.97	73.84
80+400	76.18	110.04	92.29
80+500	84.83	135.72	61.40
84+600	50.90	76.34	122.80
84+700	17.05	34.10	183.31
84+800	33.70	58.98	123.63
84+900	50.19	83.65	93.39
85+000	33.42	66.84	93.51
91+100	51.23	93.93	73.20
91+200	59.44	93.41	92.00
91+300	68.81	103.22	90.83

(Fuente elaboración propia)

$$R_c \text{ prom} = 106.17 \text{ m}$$

Paso 9.-

La deflexiones obtenidas en el paso 6 se grafican en el deflectograma. Los pasos del 6 al 9 se vuelven a repetir para los sectores I y III.

En los anexos se encuentran a detalle todos los cálculos por sectores de IMD's.

Paso 10.-

El tramo en estudio km74+000-km 79+000, ubicado en el sector II, se obtuvo el cuadro N°4.07 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 el segundo año es necesario calcular el refuerzo a la estructura aplicando el método de deflexiones del Dr. Ruíz.

Cuadro N°4.07: Resumen del cálculo de refuerzo por el método de deflexiones

Descripción	Unidad	Carretera Cañete - Yauyos - Chupaca Km. 74+000 - Km. 79+000				
		AÑO DE ANALISIS (n)	1 (2010)	2 (2011)	3 (2012)	5 (2014)
DEFLEX. CARACT. (Dc)	x 10 ⁻² mm		127.47	127.47	127.47	127.47
DEFLEX. ADMISIBLE (Dad)	x 10 ⁻² mm		147.50	123.50	111.00	96.80
RADIO DE CURVATURA (Rc)	m		106.17	106.17	106.17	106.17
ESPESOR DE REFUERZO	cm		-2.191	0.475	2.076	4.131

ESP. DE REFUERZO RECOMENDADO	mm	NR	5.0	20.0	50.0
------------------------------	----	----	-----	------	------

(Fuente elaboración propia)

CAPÍTULO V.- ANÁLISIS DE RESULTADOS

5.1 Gráficos de deflectograma.

Con los datos procesados se graficará el deflectograma, que está en función de la progresivas vs la deflexiones máximas a lo largo de la carretera del 53+000 km - 101+000km.

Obtenido el deflectograma, este se sectoriza de acuerdo a una determinada característica, de los análisis efectuados pueden existir cuatro modalidades de sectorización como son:

- Por tipo de tratamiento colocado.
- Por tipo de suelo de fundación.
- Por tipo de tráfico IMD's.
- Por homogeneidad del deflectograma

Concluida la sectorización se realiza el análisis estadístico calculando la deflexión promedio, desviación estándar y la deflexión característica, las que se graficarán en el deflectograma. Ver deflectogramas por modalidad de sectorización, en los anexos del presente informe.

5.2 Evaluación de la capacidad estructural.

La evaluación de la capacidad estructural, se desarrollará con la sectorización por homogeneidad, para lo cual se tiene que el tramo en estudio km 74+000-79+000 se encuentra dentro del Sector II, los resultados obtenidos del capítulo IV, fueron considerados para cuatro periodos de diseño T=1,2 ,3 y 5 años.

PERIODO DE DISEÑO DE 1 AÑO

Cuadro N°5.01: Resultado de Deflexiones t diseño=1 año

Para T diseño = 1 año				
Sectores	Unidad	Sector I (59+300 - 60+300)	Sector II (66+700 -80+100)	Sector III (80+200-101+000)
Deflexión Característica	x 10 -2mm	187.38	127.47	208.27
Deflexión admisible	x 10 -2mm	152.20	147.50	271.10
Radio de Curvatura	m	74.69	106.17	72.10

(Fuente elaboración propia)

- Sector II (km 66+700 – km 80+100), se tiene que la deflexión característica ($D_c = 127.47 \times 10^2$ mm) es menor que la deflexión admisible ($D_a = 147.50 \times 10^2$ mm) y $R_c = 106.17$ m, por lo tanto se considera que la capacidad estructural del pavimento tendrá un comportamiento adecuado durante este periodo de evaluación de 1 año.

PERIODO DE DISEÑO DE 2 AÑOS

Cuadro N°5.02: Resultado de Deflexiones t diseño=2 años

Para T diseño = 2 años				
Sectores	Unidad	Sector I (59+300 - 60+300)	Sector II (66+700 -80+100)	Sector III (80+200-101+000)
Deflexión Característica	$\times 10^{-2}$ mm	187.38	127.47	208.27
Deflexión admisible	$\times 10^{-2}$ mm	127.40	123.50	226.90
Radio de Curvatura	m	74.69	106.17	72.10

(Fuente elaboración propia)

- Sector II (km 66+700 – km 80+100), se tiene que la deflexión característica ($D_c = 127.47 \times 10^{-2}$ mm) es mayor que la deflexión admisible ($D_a = 123.50 \times 10^{-2}$ mm), con $R_c = 106.17$ m, requerirá para este año un refuerzo estructural para resistir el tránsito futuro. Se calculará el refuerzo por el método de deflexiones. Obteniéndose $h = 5$ mm.

PERIODO DE DISEÑO DE 3 AÑOS

Cuadro N°5.03: Resultado de Deflexiones t diseño=3 años

Para T diseño = 3 años				
Sectores	Unidad	Sector I (59+300 - 60+300)	Sector II (66+700 -80+100)	Sector III (80+200-101+000)
Deflexión Característica	$\times 10^{-2}$ mm	187.38	127.47	208.27
Deflexión admisible	$\times 10^{-2}$ mm	114.60	111.00	204.10
Radio de Curvatura	m	74.69	106.17	72.10

(Fuente elaboración propia)

- Sector II (km 66+700 – km 80+100), se tiene que la deflexión característica ($D_c = 127.47 \times 10^{-2}$ mm) es mayor que la deflexión admisible ($D_a = 111.00 \times 10^{-2}$ mm), con $R_c = 106.17$ m, requerirá para este año un refuerzo estructural

para resistir el tránsito futuro. Se calculará el refuerzo por el método de deflexiones.

5.3 Interacción con otros tramos.

La evaluación estructural de la carretera en estudio se ha evaluado integralmente, para lo cual se ha escogido para el análisis, la sectorización por homogeneidad del deflectograma.

Análisis de resultados para los sectores I y III para:

Tiempo de diseño de 1 año (ver cuadro N°5.01):

- Sector I (km 59+300 – km 60+300), se tiene que la deflexión característica ($D_c = 187.38 \times 10^{-2}$ mm) es mayor que la deflexión admisible ($D_a = 152.20 \times 10^{-2}$ mm) con $R_c = 74.69$ m (pequeño), por lo tanto existe una capa débil inmediatamente debajo de las superficie de rodadura que alteran la capacidad estructural del pavimento. Emplear método de diseño ASSHTO.
- Sector III (km 80+200 – km 101+000), se tiene que la deflexión característica ($D_c = 208.27 \times 10^{-2}$ mm) es menor que la deflexión admisible ($D_a = 271.10 \times 10^{-2}$ mm) y $R_c = 72.10$ m (pequeño), visualmente se aprecia que la superficie de rodadura degrada con la pérdida de finos, por lo que se realizará la reconstrucción o reforzamiento o refuerzo, empleando método de diseño ASSHTO.

Tiempo de diseño de 2 años (ver cuadro N°5.02):

- Sector I (km 59+300 – km 60+300), se tiene que la deflexión característica ($D_c = 187.38 \times 10^{-2}$ mm) es mayor que la deflexión admisible ($D_a = 127.40 \times 10^{-2}$ mm) con $R_c = 74.69$ m (pequeño), por lo tanto existe una capa débil inmediatamente debajo de la superficie de rodadura que alteran la capacidad estructural del pavimento. Emplear método de diseño ASSHTO.
- Sector III (km 80+200 – km 101+000), se tiene que la deflexión característica ($D_c = 208.27 \times 10^{-2}$ mm) es menor que la deflexión admisible ($D_a = 226.90 \times 10^{-2}$ mm) con $R_c = 72.10$ m (pequeño) y se tiene una estructura degrada con la pérdida de finos, por lo que se realizará la reconstrucción o reforzamiento o refuerzo, empleando método de diseño ASSHTO.

Tiempo de diseño de 3 años (ver cuadro 5.03):

- Sector I (km 59+300 – km 60+300), se tiene que la deflexión característica ($D_c = 187.38 \times 10^{-2}$ mm) es mayor que la deflexión admisible ($D_{ad} = 114.60 \times 10^{-2}$ mm), con $R_c = 74.69$ m (pequeño), por lo tanto existe una capa débil inmediatamente debajo de superficie de rodadura que alteran la capacidad estructural del pavimento. Emplear método de diseño ASSHTO.
- Sector III (km 80+200 – km 101+000), se tiene que la deflexión característica ($D_c = 208.27 \times 10^{-2}$ mm) es mayor que la deflexión admisible ($D_{ad} = 204.10 \times 10^{-2}$ mm), con $R_c = 72.10$ m (pequeño) por lo tanto existe una capa débil inmediatamente debajo de la superficie de rodadura que altera la capacidad estructural del pavimento, la cual se trata de neutralizar el efecto de la capa que falla, ya sea por reconstrucción parcial, o refuerzo, empleando método de diseño ASSHTO.

CONCLUSIONES

- El deflectógrafo 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 Slurry Seal en el tramo en estudio km 74+000 a km 79+000 perteneciente al Sector II por homogeneidad del deflectograma se ha obtenido los siguientes resultados:

Sector II (66+700 -80+100)	Unidad	T. diseño 1año	T. diseño 2años	T. diseño 3años	T. diseño 5años
Deflexión Característica	($\text{mm} \times 10^{-2}$)	127.47	127.47	127.47	127.47
Deflexión admisible	($\text{mm} \times 10^{-2}$)	147.50	123.50	111.00	96.80
Radio de Curvatura	M	106.17	106.17	106.17	106.17
Refuerzo h (mm)	mm	NR	5.0	20.0	50.0

A la fecha del estudio y hasta un tiempo de diseño de un año, se obtuvo $D_c = 127.47 \times 10^{-2} \text{ mm} < D_{ad} = 147.50 \times 10^{-2} \text{ mm}$ y $R_c = 106.17 \text{ m}$, concluyéndose que en el sector II, se tiene un adecuado comportamiento estructural.

En el 2do año, se obtuvo $D_c = 127.47 \times 10^{-2} \text{ mm} > D_{ad} = 123.50 \times 10^{-2} \text{ mm}$ y $R_c = 106.17 \text{ m}$, se concluye que en este año se requiere un refuerzo estructural, aplicando el método de deflexiones del Dr. Ruiz, obteniéndose un refuerzo de 5mm.

En el tercer y quinto año, se tiene $D_c = 127.47 \times 10^{-2} \text{ mm} > D_{ad} = 110 \times 10^{-2} \text{ mm}$ y $96.80 \text{ mm} \times 10^{-2} \text{ mm}$ se concluye que en estos años se necesita un refuerzo estructural, aplicando el método de deflexiones del Dr. Ruiz, obteniéndose un refuerzo de 20mm y 50mm respectivamente.

- En el caso del sector I por homogeneidad del deflectograma, se tiene los siguientes resultados:

Sector I (59+300 - 60+300)	Unidad	T. diseño 1 año	T. diseño 2 años	T. diseño 3 años	T. diseño 5 años
Deflexión Característica	($\text{mm} \times 10^{-2}$)	187.38	187.38	187.38	187.38
Deflexión admisible	($\text{mm} \times 10^{-2}$)	152.20	127.40	114.60	99.90
Radio de Curvatura	m	74.69	74.69	74.69	74.69
Refuerzo h (mm)	mm	El refuerzo deben ser analizados por metodo de Diseño de la AASHTO			

En todos los años de diseño el Slurry Seal, no va ha tener un comportamiento estructural adecuado en los primeros años, ya que el $D_c \gg D_{ad}$ y $R_c = 74.69$ m (pequeño), por lo que se puede concluir que existe una capa débil inmediatamente debajo de la superficie de rodadura. Se requiere realizar un tratamiento a esta capa y un posterior reforzamiento empleando métodos de diseño de la ASSHTO.

- En el caso del sector III por homogeneidad del deflectograma, se tiene los siguientes resultados:

Sector III (80+200-101+000)	Unidad	T.diseño 1 año	T.diseño 2 años	T.diseño 3 años	T.diseño 5 años
Deflexión Característica	($\text{mm} \times 10^{-2}$)	208.27	208.27	208.27	208.27
Deflexión admisible	($\text{mm} \times 10^{-2}$)	271.10	226.90	204.10	178.00
Radio de Curvatura	m	72.10	72.10	72.10	72.10
Refuerzo h (mm)	mm	El refuerzo deben ser analizados por metodo de Diseño de la AASHTO			

En los dos primeros años de diseño se obtienen $D_{ad} > D_c$, y $R_c = 72.10$ m (pequeño) y se tiene una estructura degradada con la pérdida de finos, por lo que se debe realizar la reconstrucción o refuerzo, empleando método de diseño ASSHTO.

- De acuerdo al Anexo N° 09 (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. De la carretera

evaluada 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.

- En zona de curvas, las deflexiones no pueden ser medidas debido a que la superficie de rodadura se encuentra afectada por el peralte de la carretera.

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 la sectorización escogida, sea la más representativa 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 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, esta al momento de su arranque podría aplastar la viga.
- En el sector I, donde se aprecia en el deflectograma una variación abrupta de la deflexión, se debe a la presencia de un canal de regadío y la cercanía al cauce del río, por lo que se recomienda mejorar el sistema de drenaje, ya que si no realizan estos trabajos, el agua seguirá deteriorando la estructura del pavimento y por consiguiente no tendrá un buen comportamiento para el

tránsito que la solicite. Realizar un ensayo destructivo (calicata) en la progresiva 60+300.

- En el sector III, se recomienda realizar ensayos destructivos puntuales (Calicatas) en las progresivas 91+400 y 97+800, 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 Gestión de Carreteras, Plan de Conservación Vial por niveles de servicio del la Carretera Cañete – Lunahuaná – Pacarán – Zúñiga - Dv. Yauyos-Ronchas-Chupaca, Junio 2008.
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 de Rehabilitación Vial, Estudio de Rehabilitación de Carreteras en el País, Perú, 1983.
4. Gutiérrez Lazares, José Wilfredo, Modelación Geotécnica de Pavimentos Flexibles con Fines de Análisis y Diseño en el Perú, Tesis de Maestría Lima – Perú, 2007
5. Gonzalo Rojas, Pablo, Evaluación Superficial no destructiva aplicando la Viga Benkelman, Tesis UNI FIC Lima 2005
6. Ministerio de Transporte y Comunicaciones, Manual para el Diseño de Caminos Pavimentados de Bajo Volumen de Tránsito, Perú, 2007
7. Manual de Carreteras. Diseño de pavimentos y mantenimiento de caminos. Honduras 1996.
8. Melchor Areche José, Evaluación de Integral del Pavimento, Experiencia Profesional, Perú 1999.
9. Montejo Fonseca Alonso, Ingeniería de Pavimentos para carreteras, Colombia 2002.

ANEXOS

	Pág.
ANEXO N°01: Medición de deflexiones con Viga Benkelman	59
ANEXO N°02: Procesamiento de datos de campo.	60
ANEXO N°03: Deflectograma con datos completos	61
ANEXO N°04: Sectorizaciones del Deflectograma	62
ANEXO N°05: Deflectograma sectorizado por tipo de tratamiento	63
ANEXO N°06: Deflectograma sectorizado por tipo de suelo	64
ANEXO N°07: Deflectograma sectorizado por homogeneidad e IMD's	65
ANEXO N°08: Cálculo de Ejes equivalentes N18 o EAL(8.2) y Deflexión Admisible.	66
ANEXO N°09: Análisis de ejes equivalentes vs deflexiones admisibles	69
ANEXO N°10 : Análisis de factores de ajuste por T(°C) vs T(°C)	70
ANEXO N°11 : Panel Fotográfico	71

ANEXO N° 01

MEDICION DE DEFLEXIONES CON VIGA BENKELMAN

MEJORAMIENTO DE LA CARRETERA CAÑETE - YAUYOS - CHUPACA

PROGRESIVA : Km 59+000- Km 101+000

OPERADOR : UNI

CARRIL : Derecho

RELACIÓN VP : 1:4

CAPA : MONOCAPA Y SLURRY SEAL

FECHA : 03/10/2009

Estaca (km)	Lecturas de Campo (10 ⁻² mm)				Espesor (m)	Ahuellamiento (mm)			Temp (°C)	Observ.
	L ₂₅	L ₄₀	L ₇₀	L _{max}		Ahue 1	Ahue 2	Prom		
59+300	6,00	12,00	16,00	28,00	0,010	3,0			29,0	SLURRY SEAL
59+400	8,00	14,00	16,00	18,00	0,007	4,0			38,0	
59+500	8,00	12,00	16,00	18,00	0,006	-			44,0	
59+600	8,00	10,00	16,00	20,00	0,008	-			44,0	
59+700	10,00	14,00	14,00	20,00	0,007	4,0			46,0	
59+800	12,00	20,00	22,00	26,00	0,007	3,0			48,0	
59+900	8,00	12,00	18,00	20,00	0,006	3,0			48,0	
60+000	12,00	16,00	24,00	26,00	0,009	2,0			49,0	
60+100	14,00	32,00	34,00	36,00	0,006	3,0			49,0	
60+200	14,00	34,00	36,00	38,00	0,006	4,0			48,0	
60+300	16,00	32,00	44,00	48,00	0,005	4,0			40,0	
66+600	8,00	14,00	26,00	32,00	0,014	6,0			43,0	
66+700	6,00	8,00	10,00	12,00	0,007	2,0			44,0	
66+800	4,00	6,00	8,00	10,00	0,014	3,0			44,0	
66+900	10,00	14,00	16,00	18,00	0,020	3,0			44,0	
67+000	6,00	8,00	10,00	12,00	0,009	3,0			46,0	
71+500	6,00	8,00	10,00	12,00	0,011	2,0			40,0	
71+600	8,00	14,00	16,00	18,00	0,012	2,0			40,0	
71+700	8,00	12,00	16,00	22,00	0,013	4,0			39,0	
71+800	6,00	8,00	10,00	12,00	0,007	3,0			43,0	
71+900	8,00	14,00	18,00	20,00	0,006	4,0			44,0	
76+600	8,00	16,00	22,00	24,00	0,015	4,0			49,0	
76+700	8,00	16,00	22,00	24,00	0,010	1,0			48,0	
76+800	4,00	8,00	10,00	12,00	0,008	3,0			50,0	
76+900	8,00	12,00	16,00	18,00	0,020	4,0			50,0	
77+000	8,00	12,00	16,00	18,00	0,016	2,0			52,0	
80+100	6,00	10,00	14,00	18,00	0,013	1,0			55,0	
80+200	8,00	12,00	20,00	26,00	0,009	2,0			52,0	
80+300	10,00	16,00	24,00	30,00	0,011	4,0			56,0	
80+400	8,00	18,00	24,00	26,00	0,011	3,0			56,0	
80+500	12,00	18,00	28,00	32,00	0,011	2,0			54,0	
84+600	6,00	12,00	14,00	18,00	0,011	3,0			54,0	
84+700	4,00	6,00	8,00	8,00	0,009	5,0			56,0	
84+800	6,00	8,00	14,00	14,00	0,012	1,0			57,0	
84+900	8,00	12,00	18,00	20,00	0,013	1,0			60,0	
85+000	8,00	10,00	14,00	16,00	0,013	3,0			61,0	
91+100	10,00	16,00	20,00	22,00	0,009	5,0			54,0	
91+200	8,00	14,00	20,00	22,00	0,011	3,0			53,0	
91+300	8,00	14,00	18,00	24,00	0,007	4,0			53,0	
91+400	12,00	16,00	20,00	48,00	0,009	-			54,0	
91+500	8,00	14,00	16,00	20,00	0,012	1,0			54,0	
97+800	20,00	28,00	40,00	50,00	0,004	1,0			52,0	
97+900	12,00	18,00	20,00	22,00	0,004	3,0			55,0	
98+000	8,00	12,00	14,00	16,00	0,004	1,0			57,0	
98+100	8,00	10,00	12,00	14,00	0,005	3,0			58,0	
98+200	14,00	24,00	28,00	30,00	0,005	3,0			50,0	
100+500	8,00	10,00	14,00	16,00	0,006	3,0			52,0	
100+600	12,00	14,00	20,00	22,00	0,007	-			53,0	
100+700	8,00	10,00	12,00	12,00	0,010	2,0			54,0	
100+800	12,00	14,00	32,00	44,00	0,007	10,0			54,0	
100+900	12,00	20,00	24,00	28,00	0,008	5,0			54,0	
101+000	8,00	20,00	28,00	30,00	0,010	7,0			52,0	

ANEXO N° 02

PROCESAMIENTO DE DATOS

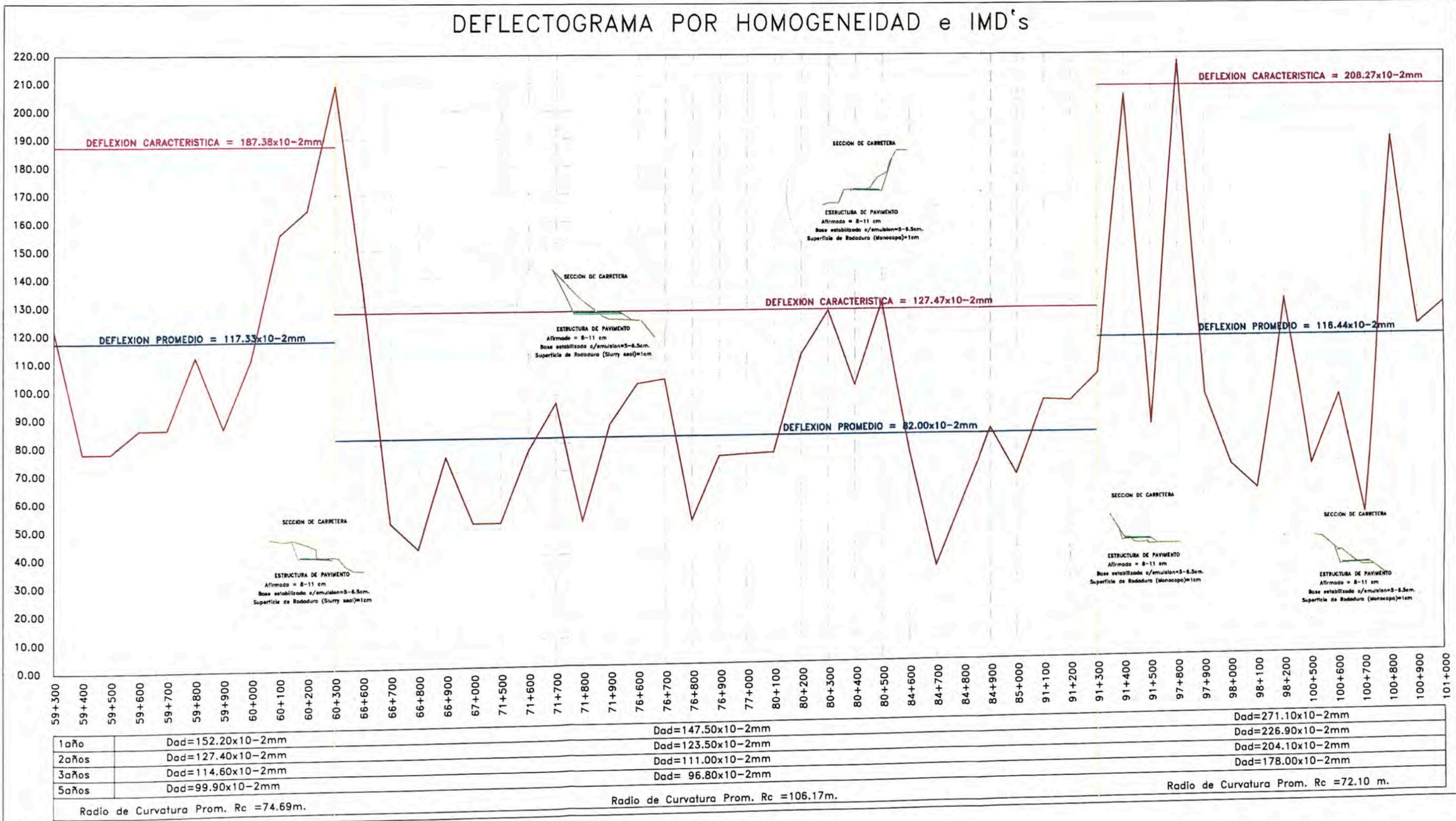
MEJORAMIENTO DE LA CARRETERA CAÑETE - YAUYOS - CHUPACA

PROGRESIVA : Km 059+000- Km 101+000 OPERADOR : UNI
CARRIL : Derecho RELACIÓN VP : 1:4

Estaca (km)	Lecturas de Campo (10 ⁻³ mm)				Espesor (m)	Ahuellamiento (mm)			Temp (°C)	Obs	RESULTADOS DEFLECTOMÉTRICOS		Radio Curvatura (m)
	L ₂₅	L ₄₀	L ₇₀	L _{max}		Ahue1	Ahue2	Prom			Deflexiones Corregidas		
											D ₂₅ x 10 ⁻³ mm	D _{MAX} x 10 ⁻³ mm	
59+300	6,00	12,00	16,00	28,00	0,010	3,0			29,0	SLURRY SEAL	95,94	122,10	119,44
59+400	8,00	14,00	16,00	18,00	0,007	4,0			38,0		43,45	78,21	89,90
59+500	8,00	12,00	16,00	18,00	0,006				44,0		43,38	78,08	90,06
59+600	8,00	10,00	16,00	20,00	0,008				44,0		51,81	86,34	90,48
59+700	10,00	14,00	14,00	20,00	0,007	4,0			46,0		43,21	86,43	72,32
59+800	12,00	20,00	22,00	26,00	0,007	3,0			48,0		60,42	112,20	60,35
59+900	8,00	12,00	18,00	20,00	0,006	3,0			48,0		51,93	86,55	90,27
60+000	12,00	16,00	24,00	26,00	0,009	2,0			49,0		60,03	111,49	60,73
60+100	14,00	32,00	34,00	36,00	0,006	3,0			49,0		95,14	155,69	51,61
60+200	14,00	34,00	36,00	38,00	0,006	4,0			48,0		103,86	164,44	51,58
60+300	16,00	32,00	44,00	48,00	0,005	4,0			40,0		139,41	209,11	44,83
66+600	8,00	14,00	26,00	32,00	0,014	6,0			43,0		102,31	136,41	91,64
66+700	6,00	8,00	10,00	12,00	0,007	2,0			44,0		25,96	51,93	120,36
66+800	4,00	6,00	8,00	10,00	0,014	3,0			44,0		25,54	42,57	183,52
66+900	10,00	14,00	16,00	18,00	0,020	3,0			44,0		33,59	75,57	74,43
67+000	6,00	8,00	10,00	12,00	0,009	3,0			46,0		25,80	51,59	121,14
71+500	6,00	8,00	10,00	12,00	0,011	2,0			40,0		25,83	51,66	120,98
71+600	8,00	14,00	16,00	18,00	0,012	2,0			40,0		42,97	77,34	90,91
71+700	8,00	12,00	16,00	22,00	0,013	4,0			39,0		60,12	94,47	90,97
71+800	6,00	8,00	10,00	12,00	0,007	3,0			43,0		25,98	51,96	120,28
71+900	8,00	14,00	18,00	20,00	0,006	4,0			44,0		52,05	86,75	90,06
76+600	8,00	16,00	22,00	24,00	0,015	4,0			49,0		67,47	101,20	92,64
76+700	8,00	16,00	22,00	24,00	0,010	1,0			48,0		68,48	102,72	91,26
76+800	4,00	8,00	10,00	12,00	0,008	3,0			50,0		34,38	51,56	181,82
76+900	8,00	12,00	16,00	18,00	0,020	4,0			50,0		41,51	74,72	94,11
77+000	8,00	12,00	16,00	18,00	0,016	2,0			52,0		41,86	75,34	93,32
80+100	6,00	10,00	14,00	18,00	0,013	1,0			55,0		50,50	75,75	123,76
80+200	8,00	12,00	20,00	26,00	0,009	2,0			52,0		76,98	111,20	91,34
80+300	10,00	16,00	24,00	30,00	0,011	4,0			56,0		84,65	126,97	73,84
80+400	8,00	18,00	24,00	26,00	0,011	3,0			56,0		76,18	110,04	92,29
80+500	12,00	18,00	28,00	32,00	0,011	2,0			54,0		84,83	135,72	61,40
84+600	6,00	12,00	14,00	18,00	0,011	3,0			54,0		50,90	76,34	122,80
84+700	4,00	6,00	8,00	8,00	0,009	5,0			56,0		17,05	34,10	183,31
84+800	6,00	8,00	14,00	14,00	0,012	1,0			57,0		33,70	58,98	123,63
84+900	8,00	12,00	18,00	20,00	0,013	1,0			60,0		50,19	83,65	93,39
85+000	8,00	10,00	14,00	16,00	0,013	3,0			61,0		33,42	66,84	93,51
91+100	10,00	16,00	20,00	22,00	0,009	5,0			54,0		51,23	93,93	73,20
91+200	8,00	14,00	20,00	22,00	0,011	3,0			53,0		59,44	93,41	92,00
91+300	8,00	14,00	18,00	24,00	0,007	4,0			53,0		68,81	103,22	90,83
91+400	12,00	16,00	20,00	48,00	0,009				54,0		153,70	204,93	61,00
91+500	8,00	14,00	16,00	20,00	0,012	1,0			54,0		50,73	84,55	92,40
97+800	20,00	28,00	40,00	50,00	0,004	1,0			52,0		130,33	217,22	35,97
97+900	12,00	18,00	20,00	22,00	0,004	3,0			55,0		43,39	95,46	60,01
98+000	8,00	12,00	14,00	16,00	0,004	1,0			57,0		34,69	69,37	90,09
98+100	8,00	10,00	12,00	14,00	0,005	3,0			58,0		25,91	60,45	90,47
98+200	14,00	24,00	28,00	30,00	0,005	3,0			50,0		69,36	130,05	51,49
100+500	8,00	10,00	14,00	16,00	0,006	3,0			52,0		34,54	69,07	90,48
100+600	12,00	14,00	20,00	22,00	0,007				53,0		43,01	94,61	60,55
100+700	8,00	10,00	12,00	12,00	0,010	2,0			54,0		17,02	51,06	91,80
100+800	12,00	14,00	32,00	44,00	0,007	10,0			54,0		137,53	189,10	60,59
100+900	12,00	20,00	24,00	28,00	0,008	5,0			54,0		68,54	119,94	60,80
101+000	8,00	20,00	28,00	30,00	0,010	7,0			52,0		93,80	127,91	91,62

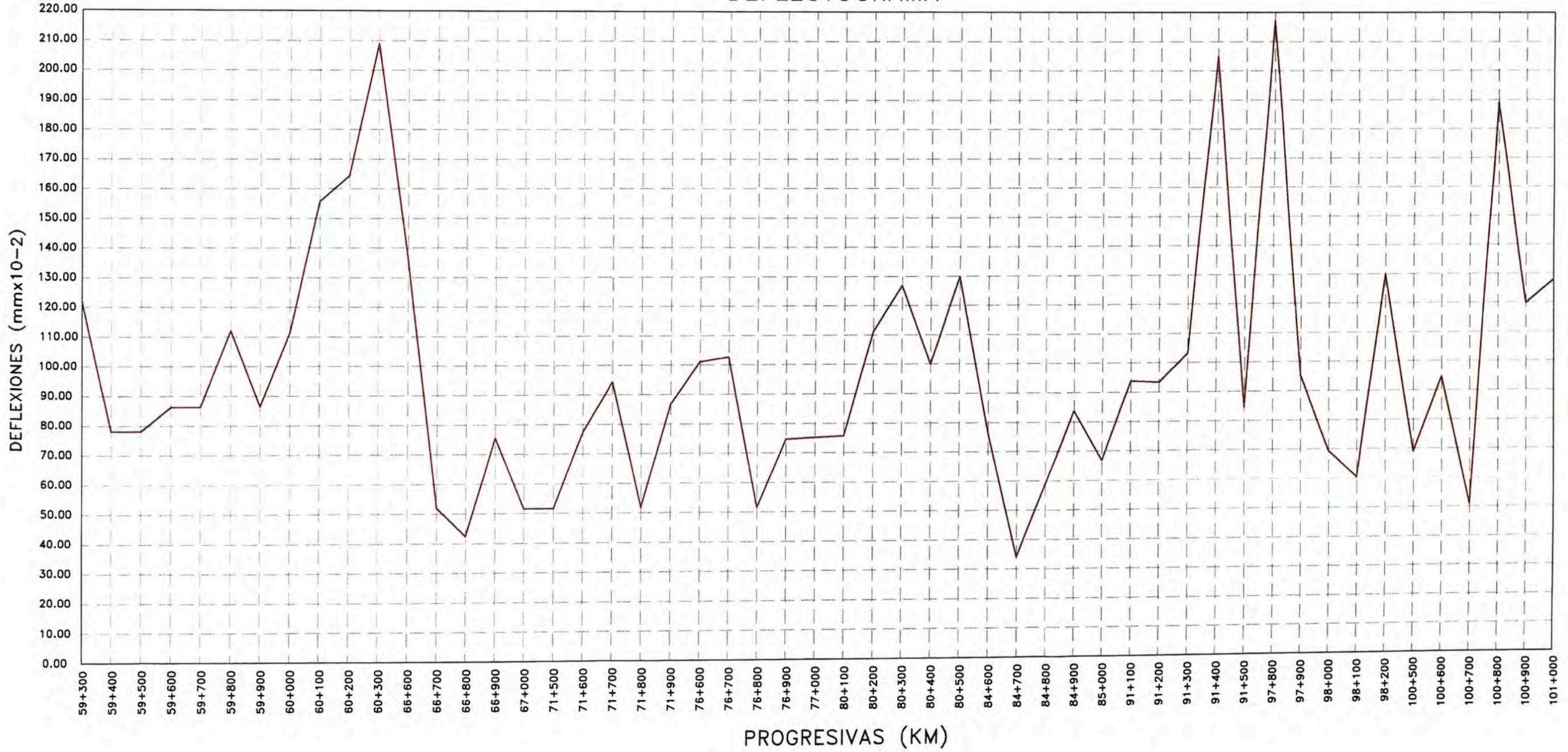
ANEXO N°07

DEFLECTOGRAMA POR HOMOGENEIDAD e IMD's



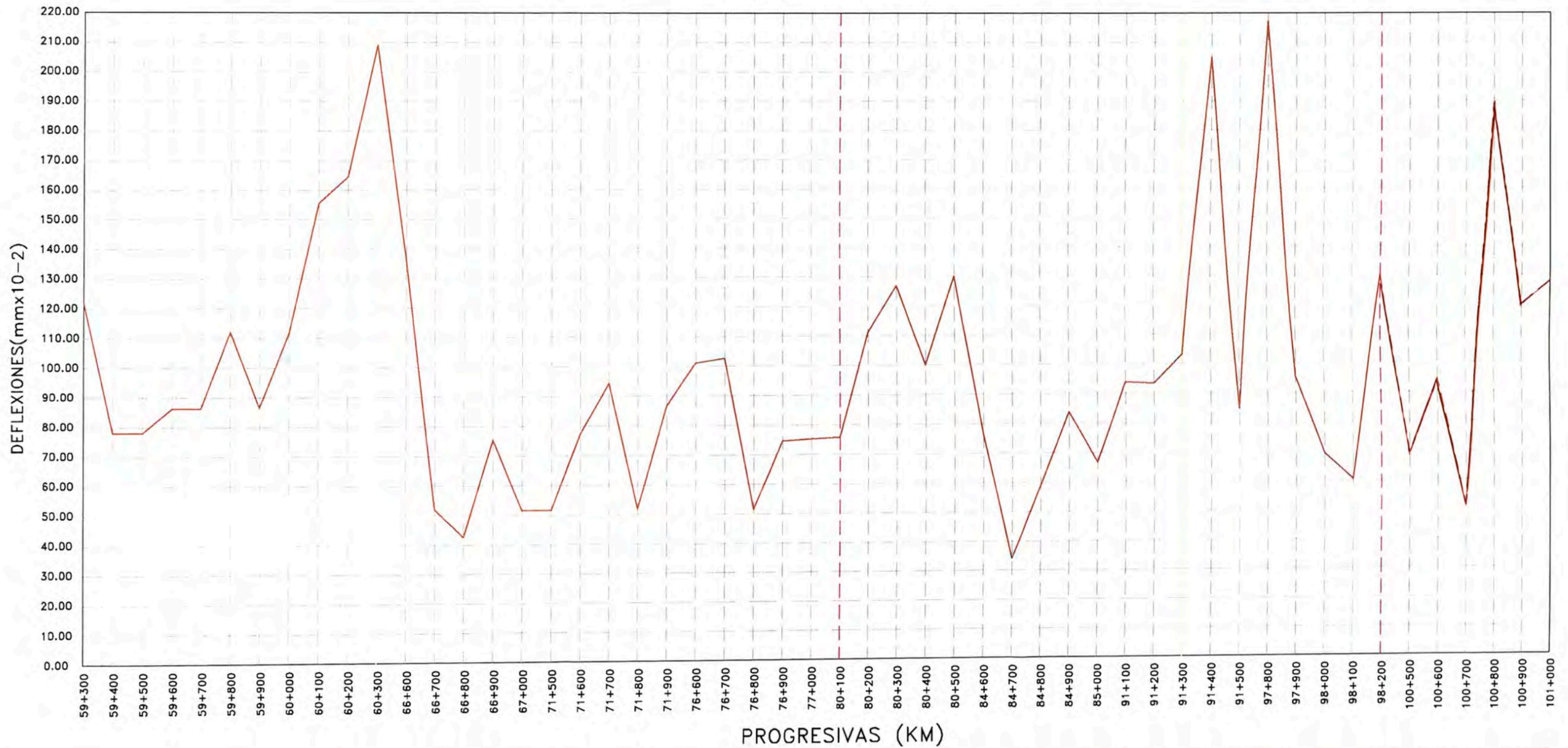
ANEXO N° 03

DEFLECTOGRAMA



ANEXO N°04

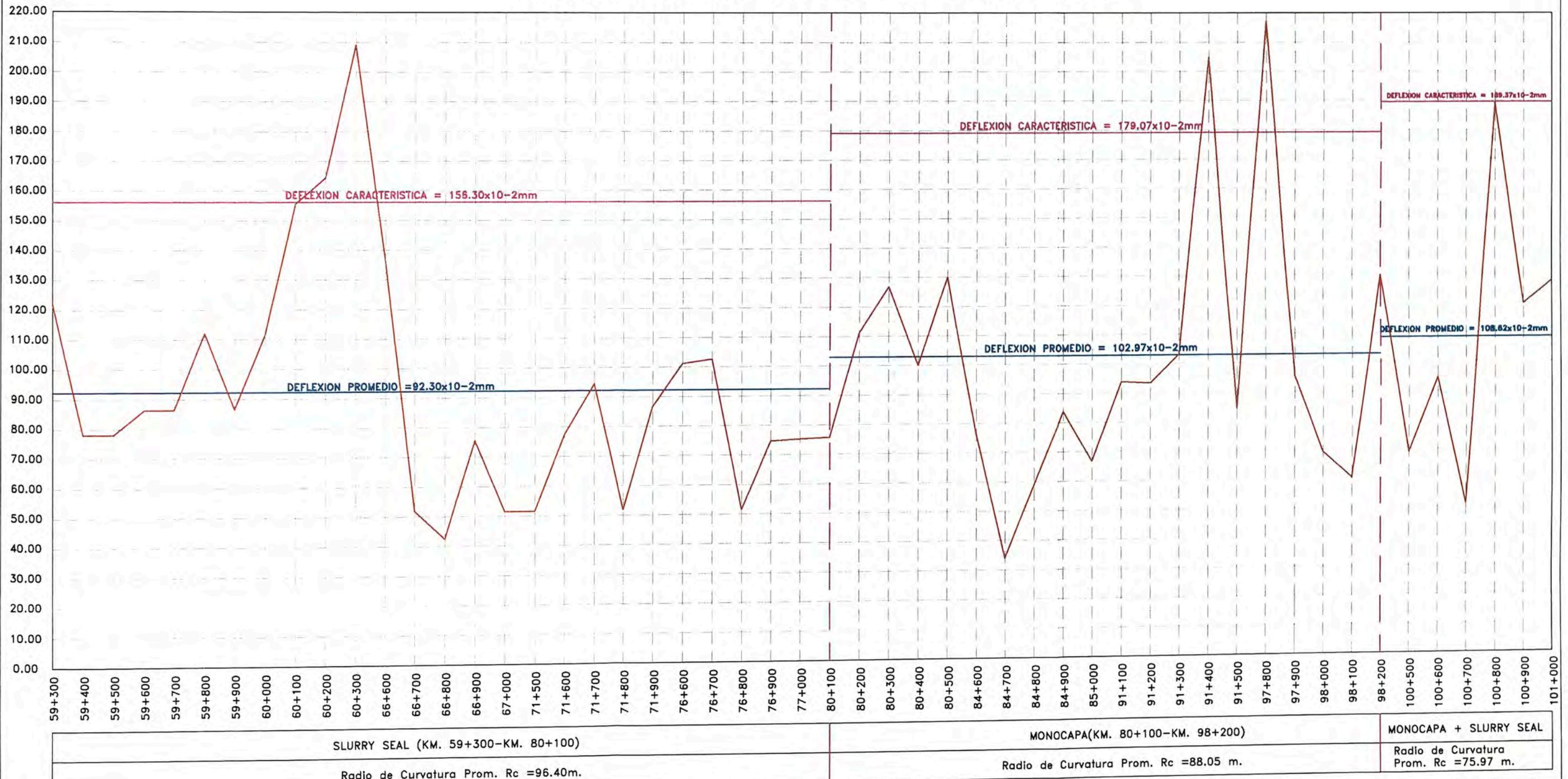
DEFLECTOGRAMA – SECTORIZACION



POR TRATAMIENTO	SLURRY SEAL (KM. 59+300–KM. 80+100)	MONOCAPA(KM. 80+100–KM. 98+200)	MONOCAPA+S.SEAL
POR SUELO	SC–SM(0.00–0.30m)ySC(0.30–1,50m)	SC–SM (0.00–1.50m)	
POR HOMOGENEIDAD GRAFICA e IMD's	(KM. 59+300–KM. 60+300)	(KM. 66+600–KM. 91+300)	(KM. 91+400–KM. 101+000)

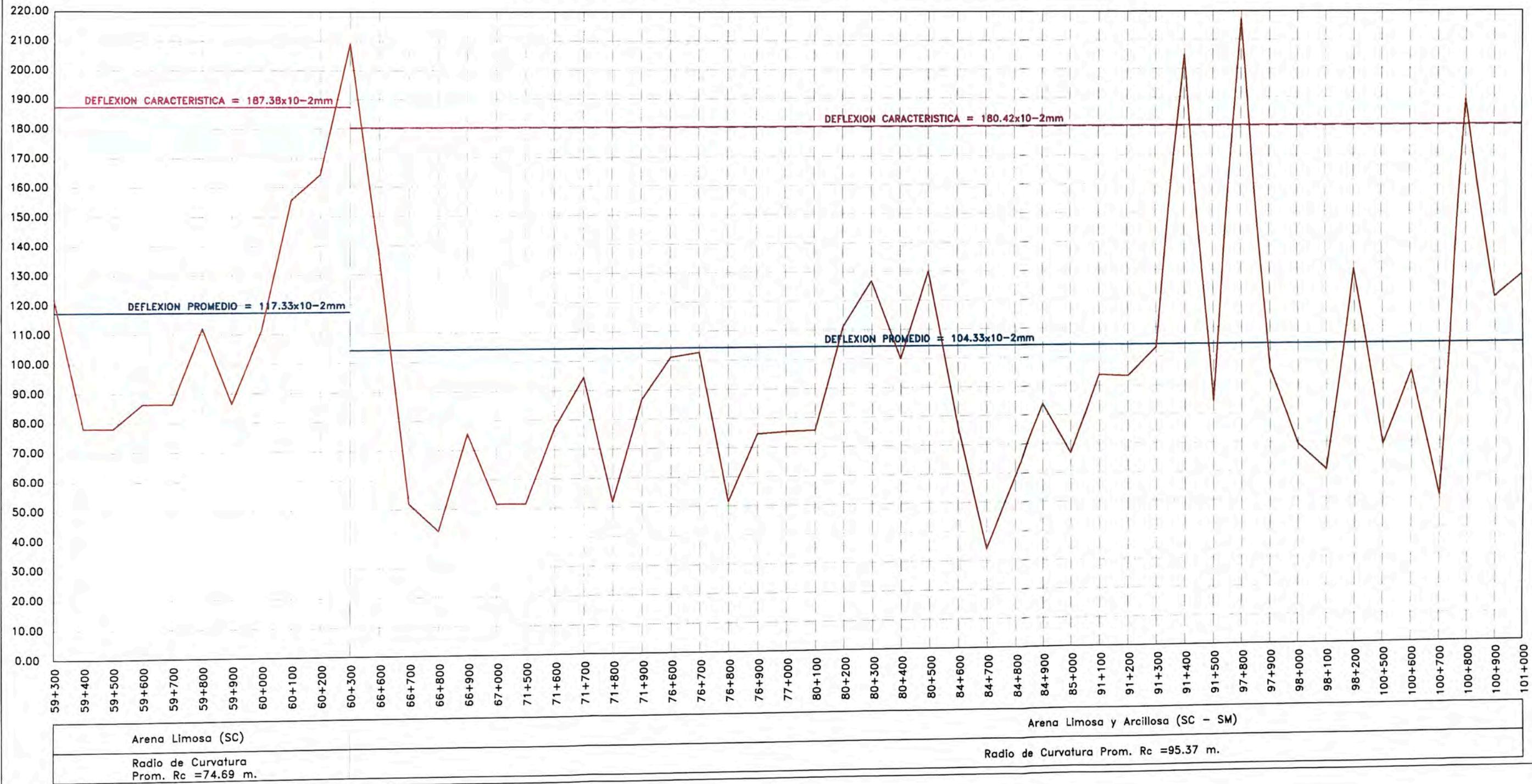
ANEXO N°05

DEFLECTOGRAMA POR TIPO DE TRATAMIENTO



ANEXO N°06

DEFLECTOGRAMA POR TIPO DE SUELO



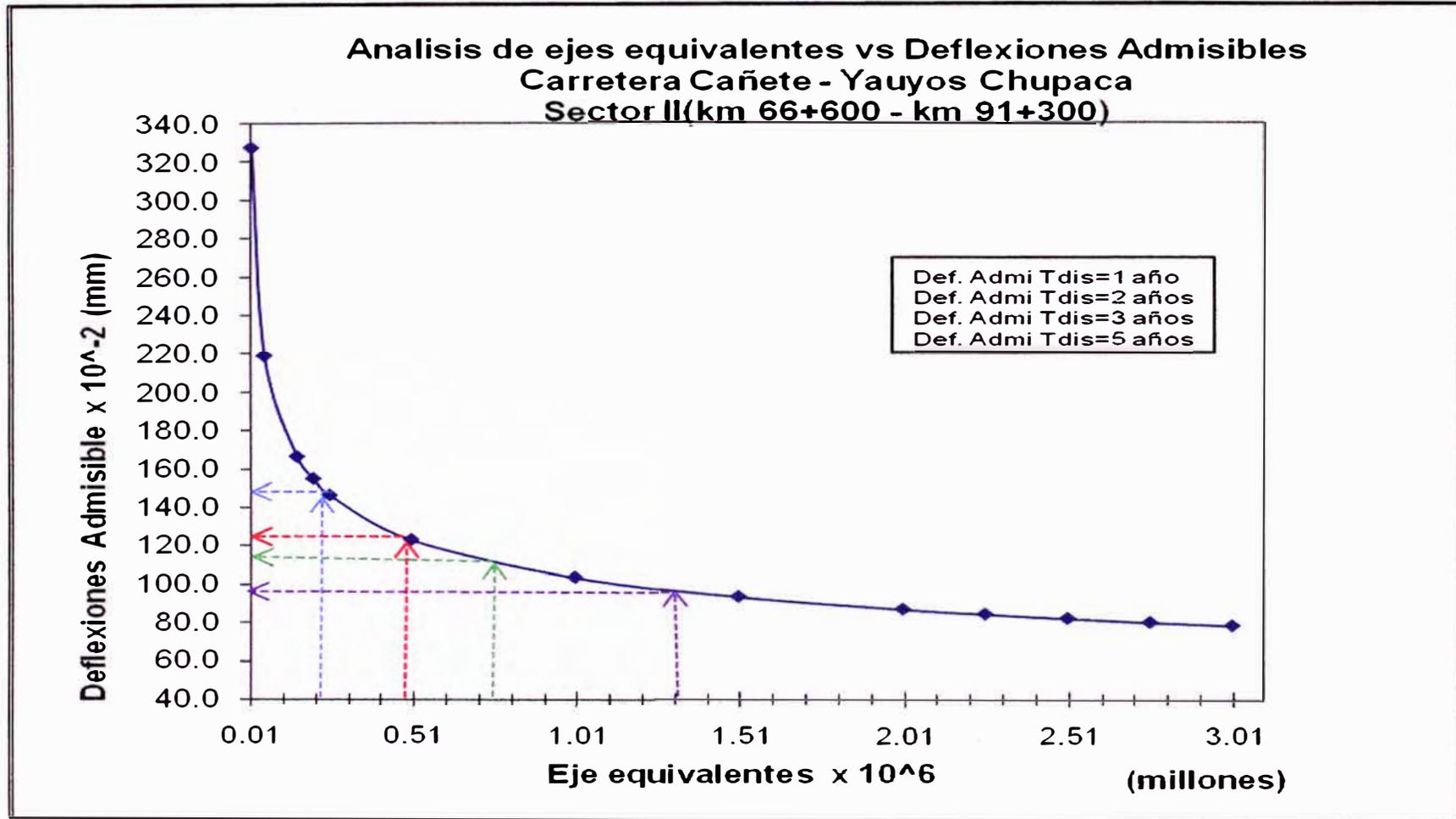
ANEXO 08 - CÁLCULO DE N18 Y DEFLEXION ADMISIBLE Dad

Tramo.- Zúñiga 56+600 - P. Nuevo 66+580												
Nro.	Tipo de vehículo	Factor de Carga	IMD ₂₀₀₉	Tasa de crecimiento (i%)	Proyección							
					n (años)	EAL ₂₀₁₀	n (años)	EAL ₂₀₁₁	n (años)	EAL ₂₀₁₂	n (años)	EAL ₂₀₁₄
1	Micro	4.504	49	1.4	1	80009	2	161137	3	243402	5	411402
2	Ómnibus 2E	4.504	15	1.4	1	25003	2	50355	3	76063	5	128563
3	Ómnibus 3E	3.285	1	1.4	1	1216	2	2448	3	3698	5	6251
4	Camión 2 Ejes	4.504	49	4.6	1	80814	2	165346	3	253766	5	442995
5	Camión 3 Ejes	3.285	9	4.6	1	11286	2	23092	3	35440	5	61867
6	Camión 4 Ejes	2.283	1	4.6	1	872	2	1783	3	2737	5	4778
7	Semitraylers	6.523	29	4.6	1	69730	2	142668	3	218961	5	382237
8	Traylers	10.980	40	4.6	1	159301	2	325931	3	500225	5	873234
Nota: N ₁₈ , numero total de ejes equivalentes a 18 klb o 8.2 ton (en millones) EAL N ₁₈ Dad (x 10-2 mm)					4.28E+05		8.73E+05		1.33E+06		2.31E+06	
					0.214		0.436		0.667		1.156	
					152.2		127.4		114.6		99.9	

Tramo.- P. Nuevo 66+580 - Chichicay 92+110												
Nro.	Tipo de vehículo	Factor de Carga	IMD ₂₀₀₉	Tasa de crecimiento (i%)	Proyección							
					n (años)	EAL ₂₀₁₀	n (años)	EAL ₂₀₁₁	n (años)	EAL ₂₀₁₂	n (años)	EAL ₂₀₁₄
1	Micro	4.504	69	1.4	1	113346	2	228278	3	344820	5	582820
2	Ómnibus 2E	4.504	14	1.4	1	23336	2	46998	3	70992	5	119992
3	Ómnibus 3E	3.285	0	1.4	1	0	2	0	3	0	5	0
4	Camión 2 Ejes	4.504	44	4.6	1	72217	2	147756	3	226769	5	395868
5	Camión 3 Ejes	3.285	4	4.6	1	5016	2	10263	3	15751	5	27496
6	Camión 4 Ejes	2.283	2	4.6	1	1743	2	3567	3	5474	5	9556
7	Semitraylers	6.523	55	4.6	1	131989	2	270050	3	414462	5	723520
8	Traylers	10.980	35	4.6	1	138341	2	283045	3	434406	5	758335
Nota: N ₁₈ , numero total de ejes equivalentes a 18 klb o 8.2 ton (en millones) EAL N ₁₈ Dad (x 10-2 mm)					4.86E+05		9.90E+05		1.51E+06		2.62E+06	
					0.243		0.495		0.756		1.309	
					147.5		123.5		111.0		96.8	

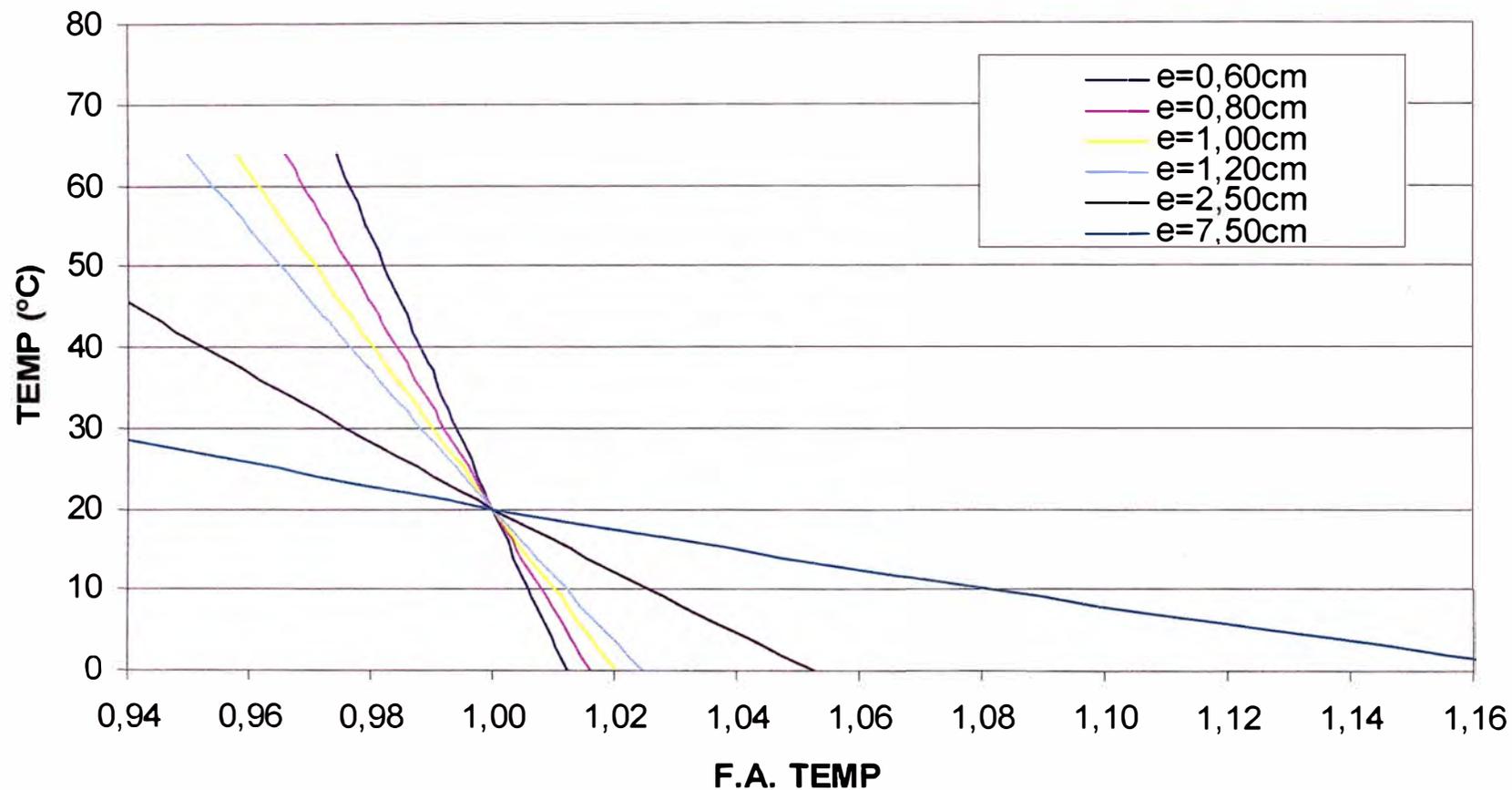
Tramo.- Capillucas 94+640 - Dv. Yauyos 127+000												
Nro.	Tipo de vehículo	Factor de Carga	IMD ₂₀₀₉	Tasa de crecimiento (i%)	Proyección							
					n (años)	EAL ₂₀₁₀	n (años)	EAL ₂₀₁₁	n (años)	EAL ₂₀₁₂	n (años)	EAL ₂₀₁₄
1	Micro	4.504	0	1.4	1	0	2	0	3	0	5	0
2	Ómnibus 2E	4.504	8	1.4	1	13335	2	26856	3	40567	5	68567
3	Ómnibus 3E	3.285	0	1.4	1	0	2	0	3	0	5	0
4	Camión 2 Ejes	4.504	9	4.6	1	15475	2	31662	3	48593	5	84829
5	Camión 3 Ejes	3.285	12	4.6	1	13794	2	28223	3	43315	5	75615
6	Camión 4 Ejes	2.283	0	4.6	1	0	2	0	3	0	5	0
7	Semitraylers	6.523	0	4.6	1	0	2	0	3	0	5	0
8	Traylers	10.980	0	4.6	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 Dad (x 10-2 mm)					4.26E+04		8.67E+04		1.32E+05		2.29E+05	
					0.021		0.043		0.066		0.115	
					271.1		226.9		204.1		178.0	

ANEXO N°09



ANEXO N°10

Analisis de F.A x Temp. vs Temp (°C)



ANEXO N°11 PANEL FOTOGRAFICO



Foto N°01: Preparación del equipo Viga Benkelman, para el inicio de las mediciones de deflexiones



Foto N°02: Posicionamiento de viga, por debajo de los ejes del camión cargado a 8.2 ton.



Foto N°03: Medición de la temperatura a la superficie de rodadura



Foto N°04: Medición del ahuellamiento



Foto N°05: Recopilación de datos de deflexiones con Viga Benkelman.



Foto N°06: Recopilación de espesor de la carpeta de rodadura.



Foto N°07: Tratamiento con monocapa km 80+100-km98+200

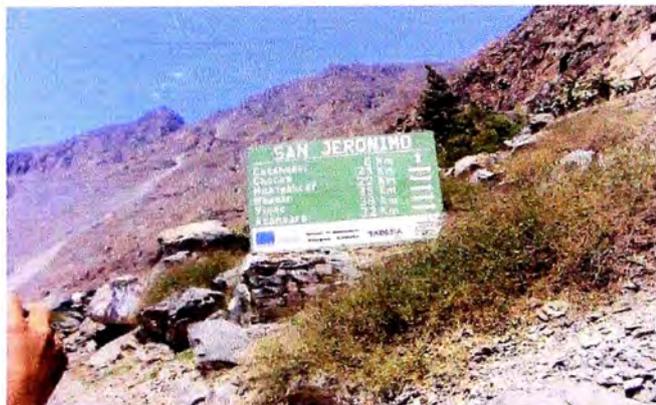


Foto N°08: Tratamiento con Slurry Seal km 59+300 -km80+100



Foto N°09: Tratamiento con Slurry Seal km 100+500 –km101+000

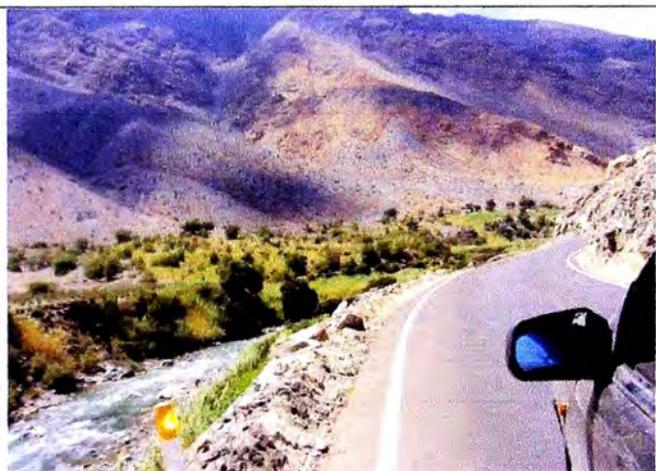
Características del tramo km 74+000-km 79+000



Inicio del tramo cerca al poblado de San Jerónimo



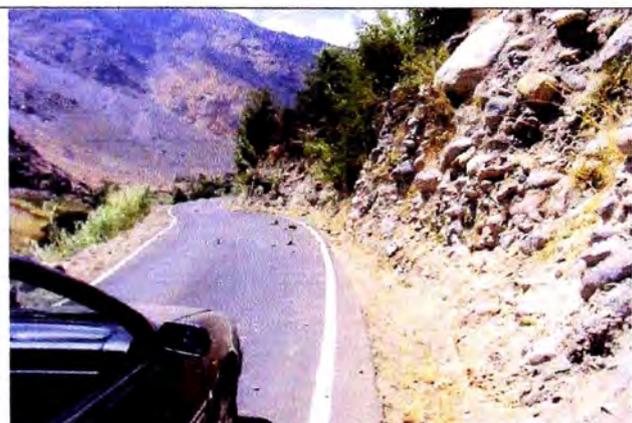
Existencia de señales informativa



Topografía ondulada



Topografía a media ladera



Desprendimiento de taludes



Desprendimiento de taludes