

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL



**EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DE LA CARRETERA CAÑETE – YAUYOS –
CHUPACA CON VIGA BENKELMAN – MÉTODO EMPÍRICO
TRAMO KM. 84+000 – KM. 89+000**

INFORME DE SUFICIENCIA

PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO CIVIL

EFRAIN CHURA VILCA

Lima – Perú

AÑO 2009

Dedico la presente Informe de Suficiencia a los seres que más quiero: mis padres Ruperto y Secundina, mi hermana Anita , mi sobrino André, por ser la fuente de mi inspiración y motivación para superarme cada día más y así poder luchar para que la vida nos depare un futuro mejor.

INDICE

RESUMEN	3
LISTA DE CUADROS	4
LISTA DE SÍMBOLOS Y DE SIGLAS	6
INTRODUCCIÓN	7
CAPITULO I.- GENERALIDADES	
1.1 ANTECEDENTES.....	9
1.2 UBICACIÓN DE LA CARRETERA.....	10
1.3 CARACTERÍSTICAS DE LA CARRETERA	11
1.4 TRAMO EN ESTUDIO KM 84+000 – KM 89+000.....	15
CAPITULO II.- ESTADO DEL ARTE	
2.1 ESTADO DEL ARTE DEL METODO	18
CAPITULO III.- MARCO TEÓRICO	
3.1 EVALUACIÓN ESTRUCTURAL	20
3.2 DEFLECTOMETRÍA MÉTODO EMPÍRICO CONREVIAL.....	20
3.2.1 Deflexiones.....	20
3.2.2 Medición de deflexiones	21
3.2.3 Cálculo de deflexiones recuperables	25
3.2.4 Corrección por temperatura.....	25
3.2.5 Corrección por estacionalidad.....	26
3.2.6 Cálculo del radio de curvatura	27
3.2.7 Deflexión característica.....	28
3.2.8 Deflexión admisible.....	29
3.2.9 Deflectogramas	30
3.2.10 Juicio de la capacidad estructural del pavimento	30
3.2.11 Espesor de refuerzo	32

CAPITULO IV.- APLICACIÓN AL TRAMO KM 84+000 – KM 89+000

4.1 RECOPIACIÓN DE DATOS 34

4.2 PROCESAMIENTO DE DATOS 34

CAPITULO V.- ANÁLISIS DE RESULTADOS

5.1 GRÁFICOS DE DEFLECTOGRAMA 39

5.2 EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD ESTRUCTURAL..... 40

5.3 INTERACCIÓN CON OTROS TRAMOS 41

CONCLUSIONES..... 43

RECOMENDACIONES 45

BIBLIOGRAFÍA..... 47

ANEXOS 47

RESUMEN

El presente Informe de Suficiencia, contiene estudios para evaluar el comportamiento estructural del pavimento, de la carretera Cañete – Yauyos – Chupaca del tramo KM. 84+000 – KM. 89+000. La evaluación estructural del pavimento se ha llevado a cabo mediante Ensayos No Destructivos (END), empleando la medición de deflexiones con el deflectógrafo conocido como Viga Benkelman, siendo un instrumento portátil, que 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. El procesamiento de datos de medición de deflexiones y el análisis de los resultados de estas, será interpretado mediante el método empírico del estudio CONREVIAl, con esta metodología se determinan la deflexión característica, la deflexión admisible y el radio de curvatura, con los cuales es posible evaluar el debilitamiento progresivo de la estructura del pavimento debido a las sollicitaciones del tránsito que lo utiliza.

Se espera que al realizar la evaluación estructural en la vía en estudio, se encuentre en aceptable comportamiento, ya que en el tramo en estudio se han realizado los trabajos de mantenimiento y conservación Vial (capa base estabilizada y carpeta asfáltica monocapa), entre febrero y marzo del 2009.

LISTA DE CUADROS

CUADRO N° 1.01.	
TRAMOS Y LONGITUDES DE LA CARRETERA EN ESTUDIO	11
CUADRO N° 1.02.	
CLASIFICACION DEL CLIMA DE LA CARRETERA	13
CUADRO N° 1.03.	
TASA DE CRECIMIENTO ANUAL PARA EL TRÁFICO	15
CUADRO N° 1.04.	
CUADRO N° 1.04. TRÁFICO VEHICULAR	15
CUADRO N° 3.01.	
FACTORES DE CORRECCION POR ESTACIONALIDAD	27
CUADRO N° 3.02.	
ANALISIS COMBINADO DE LOS RESULTADOS DE EVALUACIÓN	31
CUADRO N° 3.03.	
VALORES RECOMENDADOS PARA R.....	33
CUADRO N° 4.01.	
DEFLEXIONES ADMISIBLES DEL TRAMO EN ESTUDIO	38
CUADRO N° 5.01.	
RESUMEN DE RESULTADOS DEL TRAMO EN ESTUDIO.....	40
CUADRO N° 5.02.	
INTERACCION CON OTROS SECTORES	42

LISTA DE FIGURAS

FIGURA N° 1.01.	
MAPA DE UBICACIÓN.....	10
FIGURA N° 1.02.	
PLANO CLAVE DE LA RUTA 22.....	12
FIGURA N° 1.03.	
TRAMO EVALUADO KM. 84+000 – KM. 89+000.....	16
FIGURA N° 1.04.	
PERFIL ESTRATIGRAFICO DEL TRAMO EN ESTUDIO.....	17
FIGURA N° 1.05.	
SECCIÓN TÍPICA DEL TRAMO EN ESTUDIO	17
FIGURA N° 2.01.	
PRUEBAS CON VIGA BENKELMAN (1952).....	18
FIGURA N° 3.01.	
TIPOS DE DEFLEXIONES.....	21
FIGURA N° 3.02.	
ESQUEMA Y PRINCIPIO DE OPERACIÓN DE LA VIGA BENKELMAN.....	23
FIGURA N° 3.03.	
CONFIGURACIÓN GEOMÉTRICA DEL SISTEMA DE CARGA EN ENSAYOS CON VIGA BENKELMAN.....	23
FIGURA N° 3.04.	
ESQUEMATIZACIÓN DEL PROCESO DE MEDICIÓN CON LA VIGA BENKELMAN.....	25
FIGURA N° 3.05.	
ESQUEMA CONCEPTUAL DEL RADIO DE CURVATURA	27
FIGURA N° 4.01.	
FORMATO DE HOJAS PARA LA RECOPIACIÓN DE DATOS DE MEDIDAS DE DEFLEXIONES EN CAMPO.....	34
FIGURA N° 4.02.	
FORMATO DE HOJAS PARA EL PROCESAMIENTO DE DATOS.....	35

LISTA DE SÍMBOLOS Y DE SIGLAS

CONREVIAl	Consortio de Rehabilitación Vial
AASHO	American Association of State Highways Officials
WASHO	Western Association of State Highways Officials
AASHTO	American Association of State Highway and Transportation Officials
MTC	Ministerio de Transporte y Comunicaciones
CGC	Consortio Gestión de Carreteras
FWD	Falling Weight Deflectometer
CBR	California Bearing Ratio
M.D.S.	Máxima Densidad Seca
S.U.C.S.	Sistema Unificado de Clasificación de Suelos
Dc	Deflexión característica
Da	Deflexión admisible
Rc	Radio de Curvatura
N18	Numero de ejes equivalente a 8.2 ton
IMD	Índice Medio Diario

INTRODUCCIÓN

El desarrollo del presente Informe tiene por objetivo principal, evaluar la condición de la capacidad estructural del pavimento, mediante la medición de deflexiones usando el deflectógrafo conocido como Viga Benkelman.

Para lograr el objetivo principal, es necesario cumplir con tres objetivos específicos como; Recopilar datos de medición de deflexiones en campo, empleando la metodología del deflectógrafo conocido como Viga Benkelman; Procesar los datos de medición de deflexiones en gabinete, empleando el método empírico según el estudio CONREVIAL (Consortio de Rehabilitación Vial); Evaluar y analizar los resultados, para así poder determinar la condición estructural en que se encuentra el pavimento.

La elección de la Evaluación Estructural de un pavimento mediante la Viga Benkelman 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. Mediante ella y usando métodos empíricos para interpretar los resultados, es posible evaluar el debilitamiento progresivo de la estructura del pavimento, debido a que los pavimentos durante la serviciabilidad y transitabilidad, presentan deterioros en su estructura, por a una serie de causas que contribuyen en su deterioro.

Lo que se describe en este informe, es una muestra de cómo se puede evaluar la condición de la capacidad estructural de un pavimento, usando una metodología sencilla, práctica, económica y no destructiva. Para lo cual este informe se ha dividido en cinco capítulos.

El capítulo I se describe las generalidades de la carretera y el tramo en estudio, con respecto a la carretera Cañete – Yauyos – Chupaca, en estudio se describe el estado del arte, su ubicación y las características más importantes y del tramo en estudio KM. 84+000 – KM. 89+000 se describe las características más relevantes. En el capítulo II se comenta sobre el estado del arte de la metodología a emplearse para realizar la evaluación estructural.

En el capítulo III se explica todos los conceptos relacionados a la evaluación estructural con Viga Benkelman mediante el método empírico, como son la deflexión característica, deflexión admisible, radio de curvatura, etc. Basados en el estudio CONREVIAl.

El capítulo IV se describe todo lo referente a la recopilación y procesamiento de datos de las medidas de deflexiones. Por último en el capítulo V se realiza el análisis para el tramo en estudio, mediante los gráficos de deflectograma, comparación entre las deflexiones (D_c y D_a), criterio del Radio de Curvatura, y se realiza un análisis la interacción con otros tramos de la carretera en estudio.

CAPITULO I.- GENERALIDADES

1.1 ANTECEDENTES

La carretera Cañete-Yauyos-Huancayo, fue proyectada y ejecutada por partes durante el gobierno del Sr. Augusto B. Leguía entre la década de 1920 a 1930, mediante la ley de la Conscripción Vial Territorial del Perú. Sin embargo debido a hechos lamentables durante la construcción y coincidiendo con la caída del gobierno de Leguía, quedan paralizados todos los trabajos hasta los años 1954. En los años 1940- 1944 durante el Gobierno del Dr. Manuel Prado Ugarteche, se avanzan con los trabajos por el lado de la Costa desde Cañete hasta Yauyos, llegando a Yauyos en abril de 1944, quedando postergado los trabajos de construcción vial entre Yauyos a Huancayo. Entre los años 1956 y 1957 se prosiguen con los trabajos de la carretera en los tramos faltantes, terminándose los trabajos de la carretera y puesta en servicio en mayo de 1957.

En el año 1998 la Comisión de Promoción de Concesiones Privadas adjudicó la buena Pro al Consorcio AYESA – ALPHA CONSULT para realizar el Servicio de Consultoría a Nivel de Estudio Definitivo de la Carretera Lunahuana - Huancayo. En el año 2003, el 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. Y 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.

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

conservación de la infraestructura vial, mediante contratos en los que las prestaciones se controlen por niveles de servicio y por plazos iguales o superiores a tres años, que implican el concepto de “transferencia de riesgo” al Contratista.

Mediante el Contrato: N° 288-2007-MTC/20, del 27 de Diciembre del 2,007 celebrado con el PROVIAS NACIONAL, el Consorcio Gestión de Carreteras asume la responsabilidad de efectuar el servicio de Conservación del Corredor Vial Cañete – Lunahuaná – Pacarán – Dv. Yauyos – Ronchas – Chupaca (271 km) y el Mejoramiento del Tramo Zúñiga – Dv. Yauyos – Ronchas a nivel de solución básica.

1.2 UBICACIÓN DE LA CARRETERA

La carretera de penetración y enlace entre Cañete-Yauyos-Chupaca, pertenece a la Red Vial Nacional ruta N° 22, de 271.73 Km. de longitud, con origen en Cañete km 1+805 (71 msnm) y destino en Chupaca Km 273+531 (3270 msnm), esta carretera se encuentra ubicada en:

Departamento : Lima-Junín

Provincia : Cañete -Yauyos – Chupaca



FIGURA N° 1.01. MAPA DE UBICACIÓN

(Fuente: MTC - Provias Nacional – Proyecto Perú)

1.3 CARACTERÍSTICAS DE LA CARRETERA

La carretera Cañete - Yauyos - Chupaca es una carretera de tercer orden, que atraviesa diferentes poblados y regiones del Perú, siendo entre los poblados principales, los que se puede observar en la FIGURA N° 2.1.

Topografía; La carretera tiene una topografía bastante sinuosa transformándose en agreste en la medida que se interna en la cordillera de los andes; mientras que se vuelve a ampliar, ya en la cima de la cordillera. La calzada presenta anchos variables entre 3m y 8m, pendientes variables de 2% en zonas bajas y 8% en las zonas altas.

Tramificación; La carretera se encuentra dividida en seis tramos, de los cuales dos se encuentran pavimentadas con una infraestructura vial apropiada, y los otros 4 tramos se encuentran con tratamiento superficial y nivel afirmado que cuenta con una infraestructura vial insuficiente e inadecuada, esta tramificación se describe en el siguiente CUADRO N° 1.1 antes y después de la intervención de los trabajos de mantenimiento.

CUADRO N° 1.01. TRAMOS Y LONGITUDES DE LA CARRETERA EN ESTUDIO

Tramo	Longitud (Km)	Tipo de superficie de rodadura (antes)	Tipo de superficie de rodadura (actual)
Cañete - Lunahuaná	40.950	Carpeta Asfáltica	Carpeta Asfáltica
Lunahuaná - Pacarán	11.907	Tratamiento Superficial	Tratamiento Superficial
Pacarán - Zúñiga	3.743	Afirmado	Slurry Seal
Zúñiga - Dv. Yauyos	70.400	Afirmado	Monocapa
Dv. Yauyos - Roncha	128.185	Afirmado	Monocapa (33 Km.) - Afirmado (91.185 Km.)
Roncha - Chupaca	16.541	Afirmado	Afirmado

(Fuente: Elaboración Propia)

Clima; la carretera en estudio presenta un clima variable, pues el área comprometida en el estudio se ubica en diferentes regiones del Perú, según la clasificación del Dr. Javier Pulgar Vidal (expuesta en su “Geografía del Perú”). En el siguiente CUADRO N° 1.3 se señalan las temperaturas típicas y precipitaciones que se dan en estas regiones.

CUADRO N° 1.02. CLASIFICACION DEL CLIMA DE LA CARRETERA

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

(Fuente: Recopilación del informe del cambio estándar y estudios de pre inversión a nivel de perfil para el rehabilitación y mejoramiento de la carretera - CGC)

Geología; de la zona en estudio, se encuentra conformada sobre las unidades sedimentarias volcánicas y metamórficas, en cuanto a las formaciones geológicas de la ruta se encuentran las formaciones de Cañete, Cerro Negro, Torán, Cocachacra y Pariatambo. Los procesos geodinámicos (derrumbes, desprendimientos y desplomes) son mínimos y en relación a los problemas geotécnicos se aprecia pequeños hundimientos de la plataforma por encharcamientos, debido a las aguas superficiales, asentamientos y ahuellamientos aislados.

Hidrología; esta carretera en estudio, está constituida por dos cuencas principales: la cuenca del río Cañete y la cuenca del río Cunas.

La cuenca del río Cañete tiene una longitud de 155Km, el cual es integrada por los tributarios principales como, río Alis, río Yauyos, río Huangasar y numerosas quebraras y en la parte baja se halla contaminada por aguas servidas que provienen de los poblados aledaños.

La Cuenca del río Cunas, comprende unos 52 km. de longitud siendo su divisoria de aguas respecto a la cuenca del río Cañete, este río Cuenca cambia de nombre a río Chupaca al pasar por Chupaca.

Estudio de Suelos; Según los estudio realizados por el Consorcio Gestión de Carreteras a una profundidad de 1.50 m, correspondientes a los suelos y materiales de construcción en el tramo de la carretera en estudio, presenta una capa superior de 30 cm. en el cual predomina la arena y grava 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-1-a(0), con presencia de bolonerías comprendido entre 3% y 10% con tamaño máximo de 7", y debajo de estos 30 cm. se encuentra un material arenas limosas cuya clasificación en el sistema SUCS como SC, SC-SM y en el AASHTO, A-2-4(0), este estrato también presenta bolonerías comprendido entre 2% y 8% con tamaño máximo de 6".

Tráfico Vehicular; La demanda del proyecto está dada por el flujo vehicular existente en la actualidad, la misma que se muestra a través del cálculo del IMD (Índice Medio Diario).

Según los estudios realizados por el Consorcio Gestión de Carreteras, en relación al conteo de vehículos en el año 2008, se actualizaron los datos al año 2009, considerando las tasas de proyección del tráfico que fueron determinadas en función de parámetros socioeconómicos de las regiones Lima y Junín, obteniéndose los siguientes resultados; 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%, para el tráfico de transporte público (micro, ómnibus) será similar a la del crecimiento anual de población, la cual es de 1.4% y para el tráfico de transporte de Carga (camiones) será similar a la del crecimiento de PBI, la cual es de 4.6 %

CUADRO N° 1.03. TASA DE CRECIMIENTO ANUAL PARA EL TRÁFICO

	Autos, Camionetas		Micro, ómnibus		Camiones	
	Crecimiento anual de Ingreso per cápita		Crecimiento anual de población		Crecimiento de PBI	
OBS	JUNIN	LIMA	JUNIN	LIMA	JUNIN	LIMA
2003	2.66 %	2.95 %	1.10 %	1.70 %	5.40 %	5.30 %
2004	2.66 %	2.95 %	1.10 %	1.70 %	5.30 %	5.20 %
2005	2.66 %	2.95 %	1.10 %	1.70 %	4.30 %	4.10 %
2006	2.21 %	2.58 %	1.10 %	1.70 %	4.40 %	4.20 %
2007	2.21 %	2.58 %	1.10 %	1.70 %	4.40 %	4.30 %
2008	2.21 %	2.58 %	1.10 %	1.70 %	4.40 %	4.30 %
2009	2.21 %	2.58 %	1.10 %	1.70 %	4.40 %	4.20 %

(Fuente: Elaboración Propia, recopilados según tasas de crecimiento de Lima y Junín)

CUADRO N° 1.04. TRÁFICO VEHICULAR

Tipo de Vehículo	IMD 2008 (*)			Tasa de crecimiento i (%)	IMD 2009		
	Zuñiga 56+600 - P. Nuevo 66+580	P. Nuevo 66+580 - Chichicay 92+110	Chichicay 92+110 - Dv. Yauyos 127+000		Zuñiga 56+600 - P. Nuevo 66+580	P. Nuevo 66+580 - Chichicay 92+110	Chichicay 92+110 - Dv. Yauyos 127+000
Automovil	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
Omnibus 2E	15	14	8	1.4	15	14	8
Omnibus 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, recopilada del Estudio de Trafico del consorcio de Gestión de Carreteras del 2008

1.4 TRAMO EN ESTUDIO KM 84+000 – KM 89+000

El tramo en estudio de la carretera Cañete-Yauyos-Chupaca Km. 84+000 – Km. 89+000, presenta las siguientes características que a continuación se describen.

Este tramo de la carretera en estudio se encuentra referenciada entre los poblados de Canchan ubicado en el Km. 83+345 a una altitud de 1228 msnm y

Chichicay ubicado en el Km 92+110 a una altitud de 1392 msnm , ambos poblados pertenecen a la región Yunga.

Como ya se ha mencionado en el CUADRO N° 1.3 este tramo presenta un clima 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.

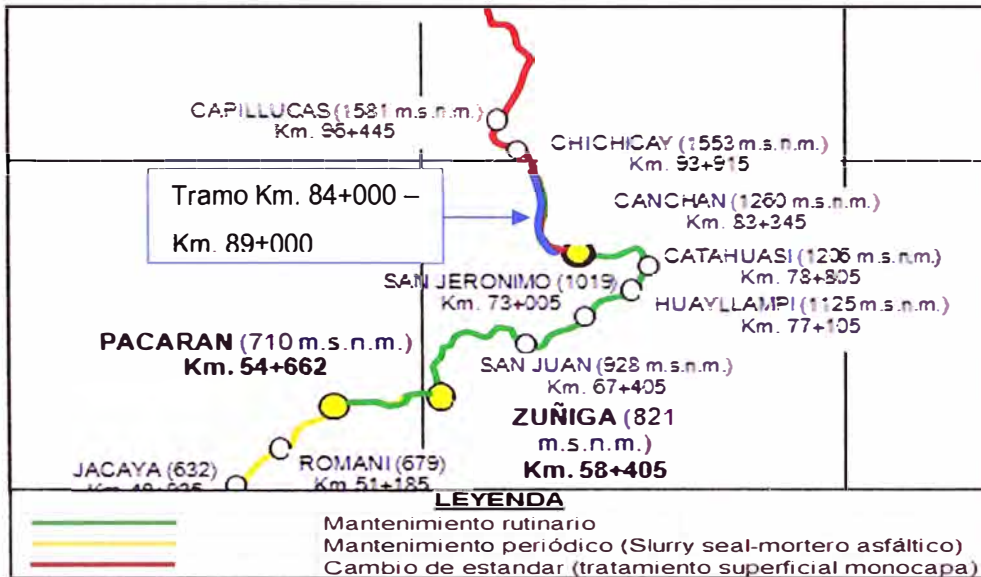


FIGURA N° 1.03. TRAMO EVALUADO KM. 84+000 – KM. 89+000
(Fuente: MTC - Provias Nacional – Proyecto Perú)

La topografía en este tramo se desarrolla sobre media ladera y terrenos deleznable, cuya plataforma consta de una calzada con un solo carril de dos sentidos de circulación y con un ancho que varía de 3.5 a 5.0m, y pendientes en el rango de 7 % a 10 %.

Este tramo se encuentra geológicamente en la quebrada del río Cañete, conformado por material aluvional, terrazas de depósitos fluviales y cortes en rocas macizas.

El tipo de suelo de fundación se clasifican en el Sistema SUCS como SC-SM (Arenas arcillosas, mezclas de arena y arcilla y Arenas limosas, mezclas de arena y limo) principalmente, ver FIGURA 1.3.

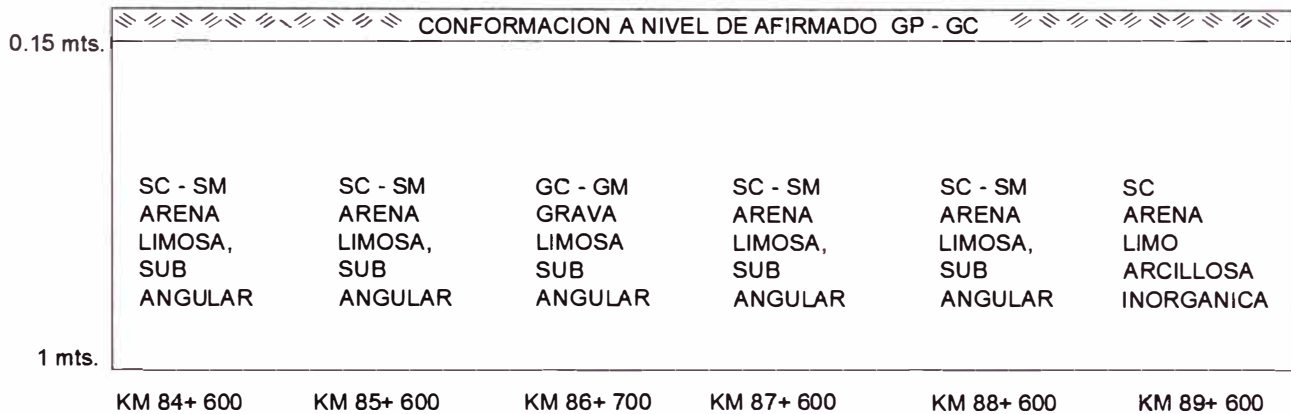


FIGURA N° 1.04. PERFIL ESTRATIGRAFICO DEL TRAMO EN ESTUDIO

(Fuente: MTC - Provias Nacional – Proyecto Perú)

El sistema de drenaje en este tramo se presenta en forma inadecuada, con presencia de tramos críticos debido a huaycos. En la actualidad En el tramo en estudio de la carretera Cañete-Yauyos-Chupaca Km. 84+000 – Km. 89+000, se han realizado los trabajos de mantenimiento y conservación Vial (capa base estabilizada con emulsión asfáltica y recubrimiento bituminoso monocapa con RC - 250), estos trabajos fueron ejecutados entre febrero y marzo del 2009 por la concesionaria CGC.

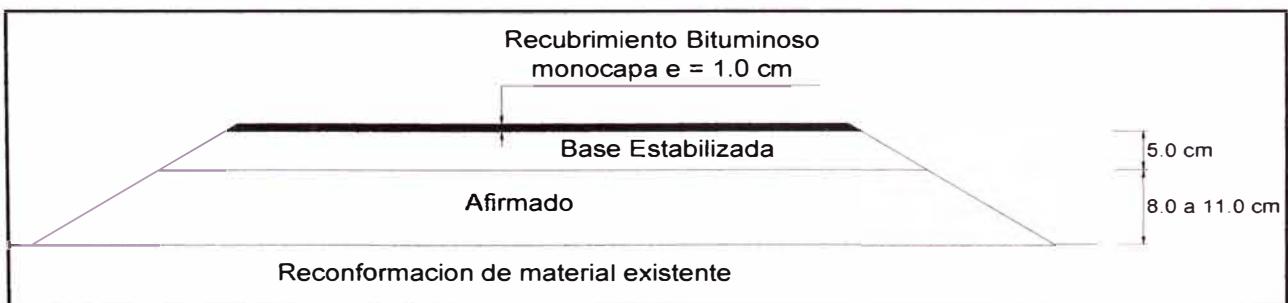


FIGURA N° 1.05. SECCIÓN TÍPICA DEL TRAMO EN ESTUDIO

(Fuente: MTC - Provias Nacional – Proyecto Perú)

Como otros datos importantes de puede mencionar, que de acuerdo al estudio técnico para el Cambio estándar de afirmado a solución básica de la concesionaria CGC proyectado para el periodo del 2009 al 2013 son:

EAL (Número de ejes equivalentes a 8.2tn) = 1.69 E+06.

IMDA = 53 veh/día

Tasa de Crecimiento = 3.6%

CBR (al 95% del MDS) = 20% Buena capacidad portante del terreno.

Coefficiente de Drenaje (CD) = 1.

CAPITULO II.- ESTADO DEL ARTE

2.1 ESTADO DEL ARTE DEL METODO

Las mediciones de deformación para evaluar la integridad estructural de los pavimentos se remonta al año 1938, cuando la División de carreteras de California utilizaba medidores eléctricos implantados en las carreteras para medir desplazamientos inducidos por cargas de los camiones.

En 1940 se introdujo la Viga Benkelman, el cual fue desarrollado por Alvin Carlton BenKelman, Ingeniero Civil conocido por sus estudios, en la investigación de pavimentos en American Association of State Highway Officials (AASHO) que posteriormente se convirtió en AASHTO. Las pruebas con la Viga Benkelman se desarrollaron inicialmente en los Estados Unidos en la Asociación occidental de las organizaciones de la carretera estatal (WASHO) en pruebas de carretera en 1952.



FIGURA N° 2.01. PRUEBAS CON VIGA BENKELMAN (1952)

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

Durante los últimos 40 años los dispositivos de ensayos no destructivos para la evaluación estructural del pavimento, se han desarrollado significativamente pasando de ser dispositivos bajo la acción de carga estática a dispositivos de desviación de carga dinámica, el cual se introdujo por primera vez a principios de 1960.

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

En el año 2000 se realizó los trabajos para la evaluación estructural de la Carretera Piura - Sullana - Macará, la toma de datos se realizó 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 deflectómetro 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.

CAPITULO III.- MARCO TEÓRICO

3.1 EVALUACIÓN ESTRUCTURAL

La evaluación estructural de pavimentos consiste, básicamente, en la determinación de estudiar el comportamiento estructural 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.

Para el logro de este objetivo se empleó el procedimiento de la deflectometría, dado que involucra las medidas de deflexiones de pavimentos y su análisis con respecto al tráfico, este procedimiento tiene la ventaja de medir directamente las respuestas de la estructura del pavimento para cargas de tráfico.

3.2 DEFLECTOMETRÍA MÉTODO EMPÍRICO CONREVAL

3.2.1 Deflexiones

La deflexión es una medida 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.
- 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.

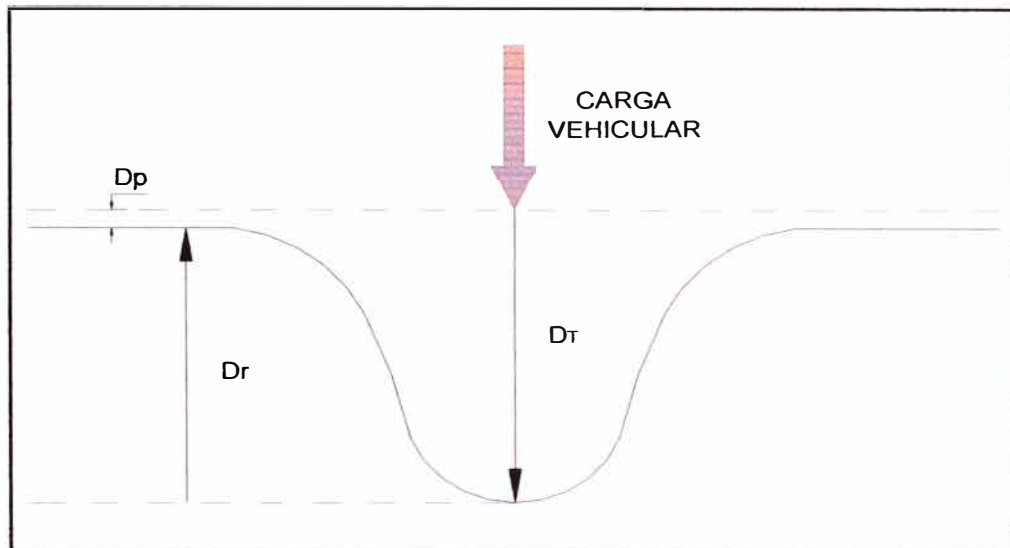


FIGURA N° 3.01. TIPOS DE DEFLEXIONES

(Fuente: Estudio CONREVIAl)

3.2.2 Medición de deflexiones

Las mediciones de deflexión en la superficie del pavimento, se pueden realizar con el equipo portátil denominado Viga Benkelman, cuya evaluación permite conocer los diferentes estados y propiedades del pavimento, de gran utilidad para el diseño, construcción y conservación de su estructura.

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.

a. Relación de Equipos

- Camión volquete de 8-12 m³ de capacidad, llantas 12-20 (11-20) de 16 lonas en óptimo estado, presión de inflado de llantas de 80 psi, eje trasero cargado 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.

- Herramientas para medir el espesor del asfalto (cincel y combo de 10 libras)
- Tablero de campo con formatos para toma de datos.
- Juego de herramientas básicas (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 fosforescente y dos ó tres banderolas de tela color roja).
- Tope de madera para trabar llanta de camión en subidas.

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 medición en campo

La Viga Benkelman es un instrumento que funciona según el principio de una palanca, uno de cuyos extremos se apoya en el pavimento deformado ante la aplicación de una carga, mientras que el otro está en contacto sensible con un deformímetro de precisión, con dial de lecturas graduado en centésimas de mm. Dependiendo de la relación de brazos del equipo y de la factibilidad que el dial proporcione la verdadera magnitud de las medidas, en forma automática, se establece si es necesario corregir o no las lecturas. La carga de ensayo es del orden de 8.2 Ton, que la proporciona el eje posterior simple de llanta doble de un camión. La presión de inflado de las llantas debe verificarse en 80 psi. Eventualmente la carga usada en los ensayos puede tener una variación en el orden de $\pm 1\%$.

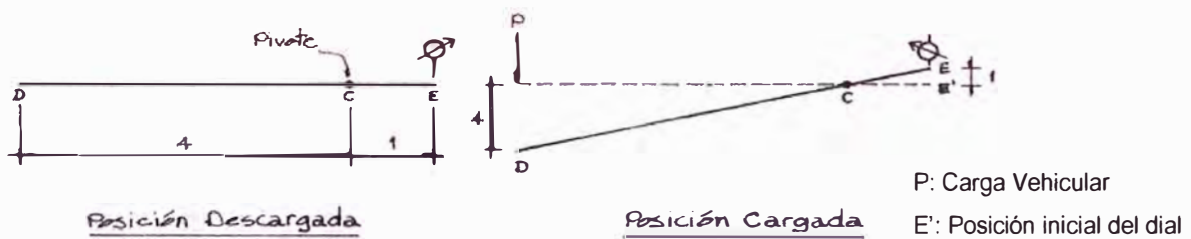
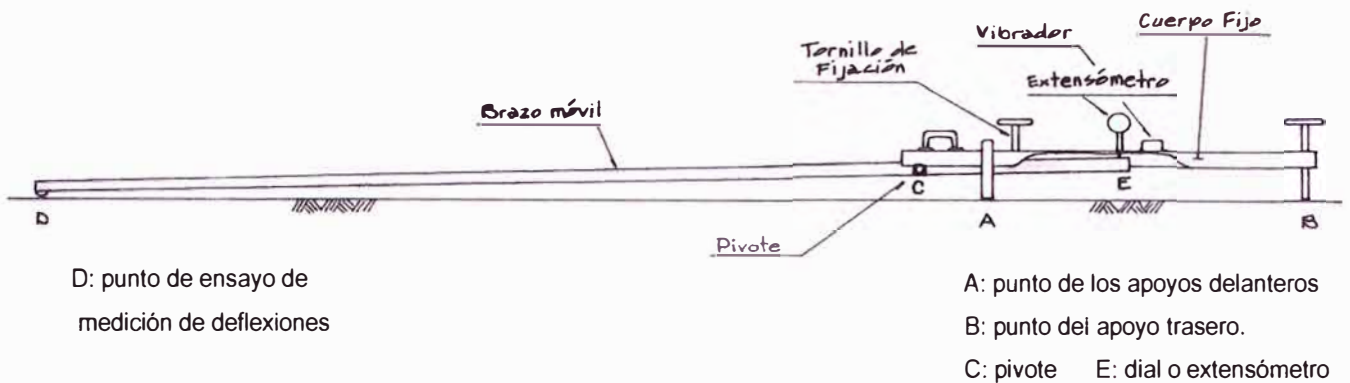


FIGURA N° 3.02. ESQUEMA Y PRINCIPIO DE OPERACIÓN DE LA VIGA BENKELMAN

(Fuente: Estudio CONREVIAL)

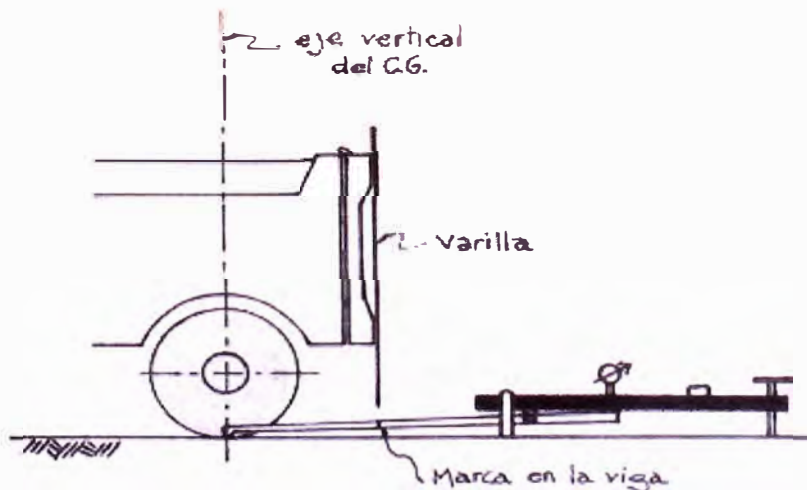


FIGURA N° 3.03. CONFIGURACIÓN GEOMÉTRICA DEL SISTEMA DE CARGA EN ENSAYOS CON VIGA BENKELMAN.

(Fuente: Estudio CONREVIAL)

La Viga Benkelman, de acuerdo a procedimientos estandarizados, no mide la deformación elástica del pavimento en un proceso de carga directa sino que, partiendo de un estado inicial en que el pavimento se encuentra cargado, mide la recuperación que éste experimenta al ser descargado progresivamente.

Para ello se coloca la punta del instrumento, en un punto "D" seleccionado, 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. En esa posición se gradúa el dial en "cero", que sería la lectura inicial.

Luego, el camión avanza a una velocidad muy baja (1 a 3 Km/h), como consecuencia el punto "D" 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 "D" seguirá todavía parcialmente deformado; en esa posición se tomará una segunda lectura.

Finalmente, la llanta del camión se aleja completamente del punto "D" dejándolo completamente liberado de la influencia de su carga, y, en consecuencia, el pavimento en dicho punto se recuperará casi completamente del estado inicial de deformación, condición en la cual se toma una última lectura en el dial del deflectómetro.

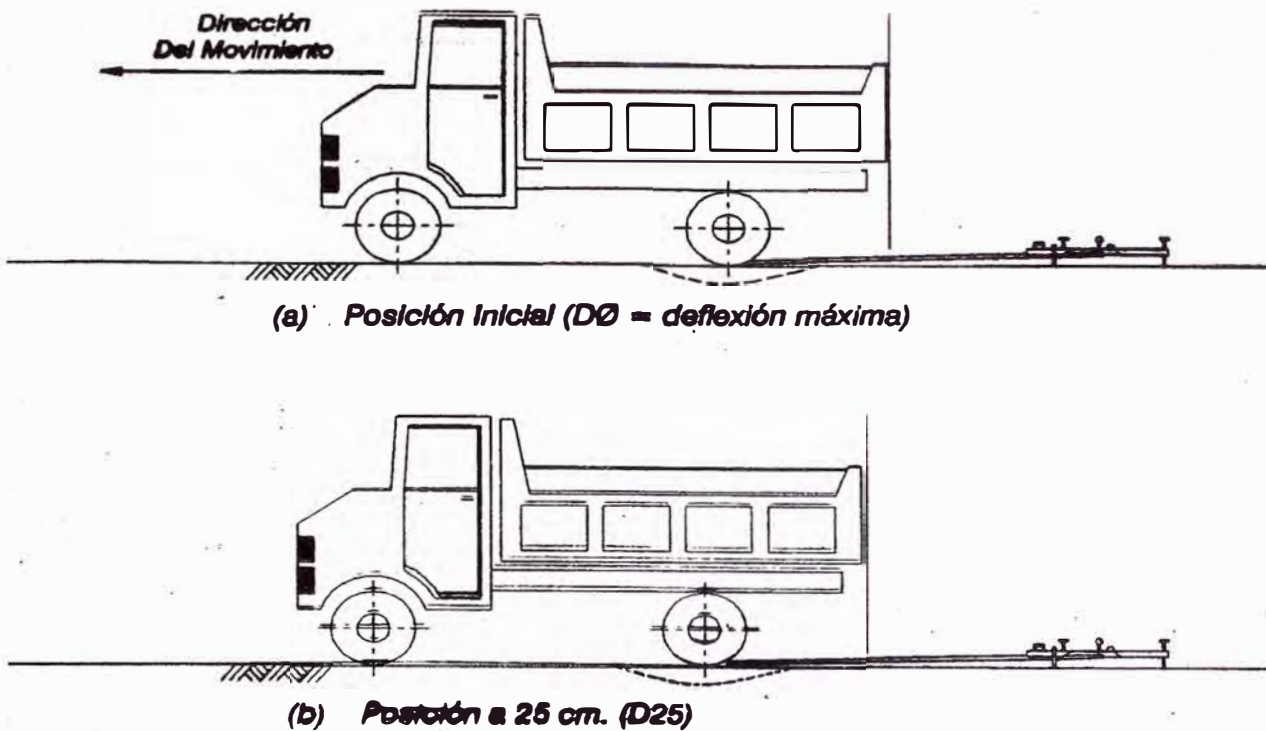


FIGURA N° 3.04. ESQUEMATIZACIÓN DEL PROCESO DE MEDICIÓN CON LA VIGA BENKELMAN.

(Fuente: Estudio CONREVIAL)

3.2.3 Cálculo de deflexiones recuperables

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

3.2.4 Corrección por temperatura

La temperatura de la capa asfáltica de rodadura, afecta al valor de la magnitud de la deflexión, esto se debe a una disminución de rigidez de las mezclas bituminosas, por lo que el efecto dependerá del espesor de dichas capas y de la rigidez de las capas subyacentes. Por lo cual las deflexiones medidas sobre la superficie de un pavimento asfáltico deben ser corregidas en función a una temperatura estándar.

Si las carpetas asfálticas son de espesor grueso, se especifica que el rango de temperatura para la ejecución de los ensayos, esté entre 5 a 30 °C, con la finalidad de que no se produzcan deformaciones plásticas considerables; y para el caso de tratamiento superficiales bituminosos dicho rango se ha ampliado hasta 38 °C, y en virtud al escaso aporte estructural de los mismos, CONREVIAl considera no necesario efectuar corrección por temperatura.

A fin de referir todas las deflexiones a una temperatura estándar de 20°C, se emplea la siguiente expresión según la Metodología de la División Nacional Vial (DNI – Argentina):

$$D_{(20^{\circ}\text{C})} = \frac{D_t}{K \times (t - 20^{\circ}\text{C}) \times e + 1}$$

Donde:

$D_{(20^{\circ}\text{C})}$: Deflexión recuperable a la temperatura standard 20°C (0.01 mm).

D_t : Deflexión recuperable a la temperatura “t” (0.01 mm).

K : 1×10^{-3} ; constante para capas granulares (1/ cm x°C).

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

e : Espesor de la carpeta asfáltica (cm).

3.2.5 Corrección por estacionalidad

La capacidad de deformación de los suelos está influenciada por el grado de saturación que experimentan, por lo tanto, es deseable realizar las mediciones de deflexiones en el periodo más crítico del año, en relación a los factores ambientales predominantes en la zona en estudio, pero debido a la dificultad que existe en realizar las pruebas en situaciones ambientales críticas, se debe efectuar la corrección de las medidas de deflexiones a fin de tomar en cuenta dicho aspecto.

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

CUADRO N° 3.01. FACTORES DE CORRECCION 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 CONREVIAL)

ANALISIS DE LA CAPACIDAD ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO MEDIANTE EL MÉTODO EMPÍRICO (CONREVIAL)

3.2.6 Cálculo del 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 transito. El método para determinar el radio de curvatura, se basa en la hipótesis de que la línea de deflexiones de la distancia hasta el eje de carga, se aproxima a una parábola hasta una distancia superior a 25 cm, sufriendo luego una inflexión para tender asintóticamente hacia la horizontal. La curvatura de la parábola queda entonces definida por su parámetro, el cual en la zona de máxima curvatura, se confunde con el radio del arco oscular en dicho punto, o sea exactamente bajo el centro del eje de la rueda cargada. El radio de curvatura según la metodología francesa se expresa mediante la siguiente fórmula:

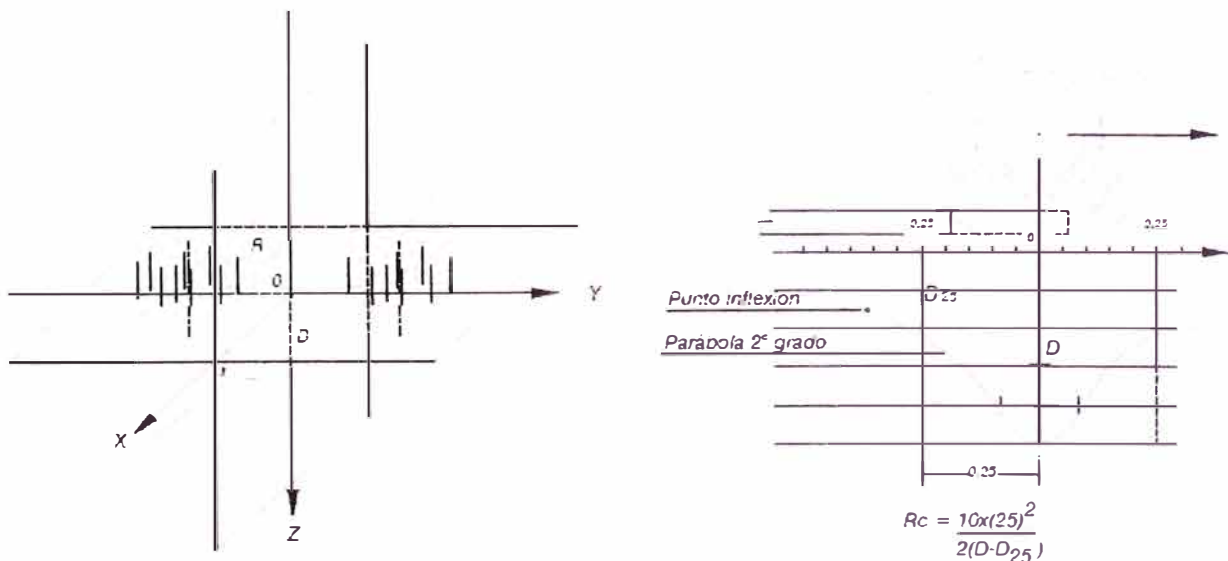


FIGURA N° 3.05. ESQUEMA CONCEPTUAL DEL RADIO DE CURVATURA

(Fuente: Estudio CONREVIAL)

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

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.

3.2.7 Deflexión característica

La deflexión característica, es un parámetro estadístico, empleado para la caracterización representativa de la magnitud de deformación de los pavimentos. Para su determinación, es necesario contar con una base de datos de deflexiones recuperables máximas (D_0), del tramo que se requiere evaluar, y establecer los parámetros estadísticos de dichos datos.

La deflexión característica (D_c), se define con conceptos de la estadística clásica, el cual se representa mediante siguiente expresión:

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

Donde:

D_c : deflexión característica

\bar{D} : deflexión promedio de los valores individuales de D_0 corregidos por temperatura y estacionalidad

σ : desviación estándar

t : coeficiente 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 .

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

a. Deflexión media

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

D_i : Valor individual de un ensayo

n : numero de ensayos individuales

b. Desviación estándar

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

c. Coeficiente de variación

$$Cv = \frac{\sigma}{\bar{D}} \times 100 \quad (Cv \text{ varía entre } 10\% \text{ a } 40\%)$$

3.2.8 Deflexión admisible

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

$$Da = \left(\frac{1.15}{N_{18}} \right)^{1/4}$$

Donde:

D_a = deflexión admisible inicial (en mm)

N_{18} = Numero esperado de repeticiones de ejes equivalentes a 8.2 ton en el periodo de diseño (en millones).

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

3.2.9 Deflectogramas

El deflectograma constituye un elemento fundamental para el análisis de la variabilidad de la capacidad estructural, donde se podrá diferenciar secciones de distinta capacidad estructural en un mismo tramo. Con el deflectograma se identifica; secciones de diferente capacidad estructural y/o comportamiento, las que posteriormente serán procesadas estadísticamente; valores extremos aislados, que luego se eliminan ya que distorsionan los resultados, y también nos permite identificar los sectores donde se realizarán las perforaciones representativas de buen y mal comportamiento estructural (calicatas).

3.2.10 Juicio de la capacidad estructural del pavimento

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

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

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

CUADRO N° 3.02. ANALISIS COMBINADO DE LOS RESULTADOS DE EVALUACIÓN

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

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

3.2.11 Espesor de refuerzo

Sabiendo que para la determinación de los espesores de refuerzo, se utiliza el método de reducción de las deflexiones con varias fórmulas que propone el documento CONREVIAl, se puede indicar que este método se basa sobre la reducción de la elongación vertical sobre la subrasante provista por una capa adicional de carpeta asfáltica de espesor "h". Ella sola es utilizable, si esta elongación es representativa del modo de ruptura del pavimento y de su daño, es decir, solamente en el caso de pavimentos flexibles con pocos espesores de carpeta asfáltica que continúan flexibles después del refuerzo. Es el caso de la mayoría de las carreteras en su primera rehabilitación. Para el cálculo del espesor de refuerzo, en los casos 1° y 2°, se emplea la Fórmula de Ruiz (Argentina), cuya expresión es:

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

Donde:

h : Espesor de refuerzo (cm).

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

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

R : Coeficiente con dimensiones de un espesor.

El coeficiente R, según el estudio CONREVIAl, menciona que, para el empleo de mezclas asfálticas de tipo superior como material de refuerzo, recomienda considerar el valor de "R" mostrado en el CUADRO 3.02.

El valor de "R", expresa la capacidad del material de refuerzo para reducir la deflexión del pavimento subyacente. Depende del material de refuerzo y de la rigidez relativa entre pavimento existente – refuerzo.

CUADRO N° 3.03. VALORES RECOMENDADOS PARA R

Deflexion Característica antes del refuerzo en (0.01mm)	Espesor de refuerzo "h"			
	5	10	15	20
50	20	21.5	(23)	(24.5)
70	18	19.5	21	22.5
90	17	18	19.5	21
120	15	16.5	18	19.5
150	13.5	15	16.5	18
170	13	14.5	16	17.5
200	12	13.5	15	16.5

(Fuente: Estudio CONREVIAL)

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

CAPITULO IV.- APLICACIÓN AL TRAMO KM 84+000 – KM 89+000

4.1 RECOPIACIÓN DE DATOS

En la visita efectuada en campo a la carretera en estudio, 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. Adicionalmente se midió la temperatura, espesor de la carpeta de rodadura y el ahuellamiento en cada estación de ensayo. Esta recopilación de datos se realizó en hojas cuyo formato se detalla a continuación:

MEDICIÓN DE DEFLEXIONES CON VIGA BENKELMAN

SECTOR : CARRETERA CAÑETE - YAUYOS - CHUPACA
 TRAMO : Km 59+000 - Km 104+000
 FECHA : 03/10/2009 RESPONSABLE : UNI
 CARRIL : Derecho OPERADOR : UNI

SUPERFICIE : Carpeta Asf.
 CARGA EJE : 8200 KG
 PRESIÓN : 80 PSI
 R. BRAZOS : 1 a 4

Progresiva (km)	Lecturas de Campo (10 ⁻² mm)				Espesor Asfalto (m)	Ahuellamiento (mm)			Temperatura Asfalto (°C)	Observaciones
	L ₂₅	L ₄₀	L ₇₀	L _{max}		Ahue 1	Ahue 2	Prom		

FIGURA Nº 4.01. FORMATO DE HOJAS PARA LA RECOPIACIÓN DE DATOS DE MEDIDAS DE DEFLEXIONES EN CAMPO

(Fuente: Elaboración Propia)

La base de datos de la recopilación de medidas de deflexiones en campo, se detalla en el ANEXO 04 del presente informe.

4.2 PROCESAMIENTO DE DATOS

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

PROCESAMIENTO DE DATOS DE DEFLEXIONES

SECTOR : CARRETERA CAÑETE - YAUYOS - CHUPACA CARRIL : Derecho
 TRAMO : Km 59+000 - Km 104+000 SUPERFICIE : Carpeta Asf.
 FECHA : 03/10/2009 R. BRAZOS : 1 a 4

Est.	Progresiva (km)	Lecturas de Campo (10 ⁻³ mm)			Espesor (m)	Temp. C.A. (°C)	Factor Corrección		Deflexiones Corregidas		Radio Curvatura R _c (m)
		L _{inicial}	L ₂₅	L _{final}			Factor Temp.	Factor Estac.	D ₀ (x 10 ⁻² mm)	D ₂₅ (x 10 ⁻² mm)	

FIGURA N° 4.02. FORMATO DE HOJAS PARA EL PROCESAMIENTO DE DATOS

(Fuente: Elaboración Propia)

Los datos procesados, se detallan en el ANEXO 05 del presente informe.

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

Para una mayor comprensión se cita a continuación un ejemplo completo del procesamiento de datos de medición de deflexiones recuperables, particularmente en el tramo en estudio.

Paso 1.-

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

Para el tramo en estudio en la Prg 84+600, se tiene que la deflexión máxima es 18 x 10⁻² mm, la deflexión inicial (D₀) es cero y la deflexión a 25cm (D₂₅) es 6.00 x 10⁻² mm.

$$D_0 = (18.00 - 0.00) = 18.00 \times 10^{-2} \text{ mm}$$

$$D_{25} = (18.00 - 6.00) = 12.00 \times 10^{-2} \text{ mm}$$

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 tramo en estudio en la Prg 84+600 se tiene:

$$D_o = (18.00) \times 4 = 72.00 \times 10^{-2} \text{ mm}$$

$$D_{25} = (12.00) \times 4 = 48.00 \times 10^{-2} \text{ mm}$$

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. Adicionalmente se realizó una grafica Temperatura vs. Factor de corrección por Temperatura, el cual se muestra en el ANEXO 09 del presente informe.

Para el tramo en estudio en la Prg 84+600, se tiene una temperatura de 54°C y el espesor de la carpeta es 1.10 cm.

$$D_o^{(20)} = 72.00 \times [1 / (1 \times (54 - 20) \times 1.10 + 1)]$$

$$D_o^{(20)} = 72.00 \times 0.9639 = 69.40 \times 10^{-2} \text{ mm}$$

$$D_{25}^{(20)} = 48.00 \times [1 / (1 \times (54 - 20) \times 1.10 + 1)]$$

$$D_{25}^{(20)} = 48.00 \times 0.9639 = 46.30 \times 10^{-2} \text{ mm}$$

Paso 4.-

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

Para el tramo en estudio la Prg 84+600, pertenece a la región Yunga con un clima con sol dominante casi todo el año, descrito según el CUADRO N° 1.02. Clasificación del clima de la carretera, por lo cual de acuerdo al los valores de corrección por estacionalidad se considera un factor de corrección de 1.1.

$$D_o = 69.40 \times 1.1 = 76.34 \times 10^{-2} \text{ mm}$$

$$D_{25} = 46.30 \times 1.1 = 50.90 \times 10^{-2} \text{ mm}$$

Paso 5.-

Construcción de gráficos de deflectogramas.

Se grafica el deflectograma (Ver ANEXO 07) con los datos de Estaciones vs. Deflexiones corregidas (Do), para luego analizar y sectorizar en tramos según la homogeneidad (Ver ANEXO 08).

Paso 6.-

Una vez definidas la sectorización por homogeneidad, se calcula la deflexión característica para cada sector, para ello se procesaran mediante análisis estadísticos.

Para el tramo en estudio Km. 84+000 a km. 89+000, que se encuentra dentro del comportamiento homogéneo que pertenece al sector II (Ver ANEXO 06), se obtuvo los siguientes resultados.

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

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

$$C_v = 0.34$$

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

Paso 7.-

Se calcula la deflexión admisible, en función del tráfico proyectado. Para ello se calcula, el Número esperado de repeticiones de ejes equivalentes a 8.2 ton en el periodo de diseño (N_{18}).

Para los tramos sectorizados según la homogeneidad, se usara los IMD del 2009, calculados a partir de los datos de IMD del 2008, obtenidos de los Estudios Técnicos para el cambio de estándar de afirmado a solución básica carretera: Cañete - Lunahuaná - Pacarán - dv. Yauyos - Ronchas - Chupaca tramo: Zúñiga - Dv. Yauyos - Ronchas.

Los cálculos de los N_{18} y la deflexión admisible se detallan en los ANEXO 02 y ANEXO 03.

$$\text{Para: } n = 1 \text{ año, } D_a = (1.15 / 0.243)^{1/4} = 147.5 \times 10^{-2} \text{ mm}$$

CUADRO N° 4.01. DEFLEXIONES ADMISIBLES DEL TRAMO EN ESTUDIO

n (años)	EAL	N18 (en millones)	Da (x 10 ⁻² mm)
1	4.86E+05	0.243	147.5
2	9.90E+05	0.495	123.5
3	1.51E+06	0.756	111.0
5	2.62E+06	1.309	96.8

(Fuente: Elaboración propia)

Paso 8.-

Cálculo de Radio de curvatura con la expresión: $R_c = 6250 / 2 \times (D_o - D_{25})$

Se calcula el radio de curvatura para cada estación de todo el tramo evaluado y luego se calcula el radio de curvatura promedio (R_{cp}) para cada sector, ver ANEXO 05 y ANEXO 06.

$$R_{cp} = 106.2 \text{ m}$$

El desarrollo completo paso a paso del procesamiento de datos, para la evaluación estructural se presenta en los ANEXOS. Todos estos pasos se simplifican empleando una hoja de cálculo en Excel, en la cual se ingresan los datos tomados en campo los cuales deben ser verificados e interpretados para considerarlos como validos.

CAPITULO V.- ANÁLISIS DE RESULTADOS

5.1 GRÁFICOS DE DEFLECTOGRAMA

Los datos procesados en el ANEXO 05, permite graficar el deflectograma, el cual está en función de estaciones vs las deflexiones recuperables máximas (ver ANEXO 07).

Obtenido el deflectograma, este se sectoriza de acuerdo a una determinada caracterización. De los análisis realizados al gráfico de deflectograma, se ha observado cuatro tipos de sectorización (ver ANEXO 08), los cuales se describen a continuación:

Sectorización por homogeneidad de deflexiones, de acuerdo a los valores de deflexiones observadas en el gráfico del deflectograma sectorizada, se distinguen tres sectores con caracterización homogénea.

Sectorización por tráfico vehicular IMD, de acuerdo al gráfico del deflectograma sectorizada, a su vez según estudios realizados por el CGC, en relación al tráfico vehicular, se diferencian sectores con tráficos distintos, por consiguiente se debe tomar en cuenta este análisis para una adecuada sectorización.

Sectorización por tipo de tratamiento superficial, se observa del deflectograma sectorizada, que para un mismo tipo de tratamiento, existen zonas con diferente comportamiento, por lo tanto el tratamiento superficial (Slurry Seal y monocapa) no contribuye estructuralmente al paquete de la estructura del pavimento.

Sectorización por estratigrafía; apoyados de acuerdo al estudio realizado por CGC con respecto a la estratigrafía de la vía en estudio, se observa en el gráfico del deflectograma sectorizada, que el tipo de suelo no influye para decidir sectores de adecuado o inadecuado comportamiento estructural,

esto se debe a que la deflectometría analiza como paquete la estructura del pavimento.

Definida la sectorización, se procede a realizar el análisis estadístico, para determinar la deflexión promedio y la deflexión característica, los cuales se grafican en el deflectograma sectorizado.

5.2 EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD ESTRUCTURAL

La evaluación de la capacidad estructural del pavimento, se desarrollará con la sectorización definida por homogeneidad, tal es así que el tramo en estudio Km. 84+000 – Km. 89+000, se encuentra incluida en el Sector II (Ver ANEXO 08). Para este sector se calcularon la deflexión característica y el radio de curvatura promedio (ver ANEXO 06) y también se determinó la deflexión admisible para cuatro periodos de diseño. Estos valores se resumen en el CUADRO N° 5.01.

Por otra parte, de acuerdo a una inspección visual realizada al tramo en estudio Km. 84+000 – Km. 89+000, se observó en mayor porcentaje una exudación del asfalto de nivel bajo, esto se debe a que entre febrero y marzo del 2009, se han realizado los trabajos de mantenimiento y conservación Vial, por lo tanto se acuerdo al CUADRO N° 3.02 referente al juicio de la capacidad estructural del pavimento, el tramo en estudio se ve representada en el 1° y 2° CASO.

CUADRO N° 5.01. RESUMEN DE RESULTADOS DEL TRAMO EN ESTUDIO

Descripción	Unidad	Carretera Cañete - Yauyos - Chupaca Km. 84+000 - Km. 89+000			
		1	2	3	5
AÑO DE ANALISIS (n)	años	1	2	3	5
DEFLEX. CARACT. (Dc)	$\times 10^{-2}$ mm	127.5	127.5	127.5	127.5
DEFLEX. ADMISIBLE (Da)	$\times 10^{-2}$ mm	147.5	123.5	111.1	96.8
RADIO DE CURVATURA (Rc)	m	106.2	106.2	106.2	106.2
ESPESOR DE REFUERZO	cm	-2.483	0.475	2.063	4.131
ESP. DE REFUERZO RECOMENDADO	mm	NR	5.0	25.0	50.0

(Fuente: Elaboración propia)

De acuerdo al cuadro anterior, se describe a continuación con respecto a la evaluación del comportamiento estructural del pavimento:

Para un periodo de diseño de 1 año; Se observa que la deflexión característica ($D_c = 127.5 \times 10^{-2}$ mm), es menor que la deflexión admisible ($D_a = 147.5 \times 10^{-2}$ mm) y el radio de curvatura ($R_c = 106.2$ m) es aceptable, por lo tanto se considera que la capacidad estructural del pavimento en el tramo en estudio, tendrá un comportamiento adecuado.

Para un periodo de diseño de 2 años; se tiene que la deflexión característica ($D_c = 127.5 \times 10^{-2}$ mm), es ligeramente mayor que la deflexión admisible ($D_a = 123.5 \times 10^{-2}$ mm) y el radio de curvatura ($R_c = 106.2$ m) es aceptable, por lo tanto se considera que la capacidad estructural del pavimento, a partir de este periodo tendrá un comportamiento inadecuado, por lo que en este periodo requerirá de un refuerzo estructural de espesor 5.0mm, para extender el tiempo de servicio.

Para un periodo de diseño de 3 años, se determinó que la deflexión característica ($D_c = 127.5 \times 10^{-2}$ mm) es mayor que la deflexión admisible ($D_a = 111.0 \times 10^{-2}$ mm) y el radio de curvatura ($R_c = 106.2$ m) es aceptable, por lo tanto se considera que la capacidad estructural del pavimento tendrá un comportamiento inadecuado. Por lo que en este periodo de diseño requerirá de un refuerzo estructural de espesor 25.0mm, para resistir el tránsito futuro.

Para un periodo de diseño de 5 años, la deflexión característica ($D_c = 127.5 \times 10^{-2}$ mm) es mucho mayor que la deflexión admisible ($D_a = 96.8 \times 10^{-2}$ mm), por lo tanto el comportamiento estructural del pavimento será deficiente, en esta etapa se debe realizar una evaluación integral del pavimento, debido a que el espesor de refuerzo obtenido es 50.0mm.

5.3 INTERACCIÓN CON OTROS TRAMOS

De acuerdo al análisis estadístico realizado en el gráfico del deflectograma sectorizado, se determinó la deflexión característica y el radio de curvatura para cada sector definida, por otra parte también se determinó las deflexiones admisibles para diferentes periodos de diseño, para cada sector del análisis. Estos valores se encuentran resumidos en el CUADRO N° 5.02.

CUADRO N° 5.02. INTERACCION CON OTROS SECTORES

Descripción	n (años)	Carretera Cañete - Yauyos - Chupaca Km. 59+000 - Km. 104+000		
		I	II	III
SECTOR				
PROGRESIVA INICIAL		59+300	66+600	91+400
PROGRESIVA FINAL		60+300	91+300	101+000
DEFLEX. CARACT. x 10⁻²		187.4	127.5	208.3
DEFLEX. ADMISIBLE x 10⁻²	1	152.2	147.5	271.1
	2	127.4	123.5	226.9
	3	114.6	111.1	204.1
	5	99.9	96.8	178.0
RADIO DE CURVATURA Rc (m)		74.7	106.2	72.1

(Fuente: Elaboración propia)

De acuerdo al cuadro anterior, se realiza los análisis de la evaluación del comportamiento estructural del pavimento del tramo en estudio que pertenece al Sector II, con respecto a los Sectores I y III:

El valor de la deflexión característica del Sector II ($D_c = 127.5 \times 10^{-2}$ mm), es menor que la magnitud de la deflexión característica del Sector I ($D_c = 187.4 \times 10^{-2}$ mm) y del Sector III ($D_c = 208.3 \times 10^{-2}$ mm).

La magnitud de la deflexión admisible en el Sector II ($D_a = 147.5 \times 10^{-2}$ mm), es crítica con respecto a la magnitud de la deflexión admisible del Sector I ($D_a = 152.2 \times 10^{-2}$ mm) y Sector III ($D_a = 271.1 \times 10^{-2}$ mm), para cada año de diseño.

Además el radio de curvatura promedio en el sector II ($R_c = 106.2$ m), es alto con respecto al Sector I ($R_c = 74.7$ m) y del Sector III ($R_c = 72.1$ m).

Por lo tanto, de acuerdo a las comparaciones realizadas del Sector II con respecto al Sector I y del Sector III, se determina que el Sector II tiene un mejor comportamiento estructural que los otros dos sectores.

CONCLUSIONES

Con respecto a la recopilación de datos tomados en campo, se obtuvo medidas muy altas de temperatura de la carpeta de rodadura, por lo cual al procesar los datos y hallar los valores del factor de corrección por temperatura (ver ANEXO 05), se observa que estos se aproximan a uno; además al realizar un análisis mediante una grafica de temperatura vs factor de corrección por temperatura (ver ANEXO 09), se concluye que la temperatura tiene una influencia mínima, para espesores de carpeta de rodadura con tratamiento superficial (Slurry Seal, Monocapa).

Sobre las magnitudes de las deflexiones procesadas en el ANEXO 05 y a su vez analizadas en el gráfico del deflectograma sectorizada (ver ANEXO 08), se observa que en el tramo (Km. 59+300 – Km. 60+600), presenta deflexiones elevadas con respecto a los hallados en los otros sectores, por lo cual se concluye que esto se debe, a que este tramo presenta problema de drenaje, pues se aprecia un canal de tierra existente a un lado de la calzada, en desnivel con el rio Cañete, que por infiltración le restan capacidad a la estructura del pavimento.

En referencia al gráfico del deflectograma sectorizada (ver ANEXO 08), se observa que las magnitudes de deflexiones varían, en un mismo sector con tratamiento superficial Slurry Seal y/o Monocapa, por lo cual se concluye que la mejora con un tipo de tratamiento superficial, no tiene influencia estructural.

En cuanto a la sectorización del tramo en estudio Km. 84+000 – Km.89+000, se deduce, que este se encuentra incluida en el Sector II, ya que presenta un comportamiento estructural homogéneo, que se inicia desde el Km. 66+700 y continua hasta el Km. 91+300.

Se concluye que los radios de curvatura de cada estación del tramo en estudio son elevados(ver ANEXO 05), lo que indica un adecuado comportamiento del pavimento y en el sector II a la cual pertenece el tramo

evaluado el radio de curvatura promedio ($R_c=106.2m$) indica un adecuado comportamiento.

En lo concerniente al tramo en estudio que pertenece al Sector II, para el primer año de análisis, la deflexión característica ($D_c= 127.5 \times 10^{-2} \text{ mm}$), es menor que la deflexión admisible ($D_a= 147.5 \times 10^{-2} \text{ mm}$) y el radio de curvatura ($R_c=106.2m$) es aceptable, se concluye que la capacidad estructural del pavimento tiene un adecuado comportamiento.

En cuanto para el segundo año de análisis, se tiene que la deflexión característica ($D_c= 127.5 \times 10^{-2} \text{ mm}$), es ligeramente mayor que la deflexión admisible ($D_a= 123.5 \times 10^{-2} \text{ mm}$) y el radio de curvatura ($R_c=106.2m$) es aceptable, por lo tanto se concluye, que la capacidad estructural del pavimento, a partir de este periodo tendrá un comportamiento inadecuado, por lo que en este periodo requerirá de un refuerzo estructural de espesor 5.0mm.

En cuanto para un periodo de diseño de 3 y 5 años, la magnitud de la deflexión característica es mucho mayor que la deflexión admisible, además el espesor de refuerzo calculado es del orden de 25 a 50mm. (ver CUADRO 5.01), por lo cual se concluye, que el comportamiento estructural del pavimento será deficiente.

En referencia a la interacción con otros sectores según el CUADRO N° 5.02, El valor de la deflexión característica del Sector II, es menor que la deflexión característica del Sector I y del Sector III, además el radio de curvatura promedio en el sector II es mayor con respecto al radio de curvatura promedio del Sector I y del Sector III; a su vez el valor de la deflexión admisible en el Sector II es crítica con respecto a las del Sector I y Sector III para diferentes años de diseño, Por lo tanto se concluye, que el Sector II tiene un mejor comportamiento estructural que los otros dos sectores.

RECOMENDACIONES

Del análisis realizado, a la temperatura de la carpeta de rodadura, se recomienda no realizar la corrección por temperatura, si los pavimentos están compuestos de tratamiento superficial o mezclas asfálticas delgadas, ya que su módulo de rigidez es sensible a los cambios de temperatura.

Se recomienda, que en el sector definido entre el Km. 59+300 al Km. 60+300, el cual pertenece al primer sector homogéneo, se mejore el sistema de drenaje del canal de tierra, ya sea con la construcción de un canal de concreto o mampostería, apoyada y definida mediante estudios de hidrología y así dar solución al problema de infiltración del agua a la estructura del pavimento.

Debido a que la mejora con el tipo de tratamiento superficial (Slurry Seal y Monocapa), no tiene influencia estructural al comportamiento del pavimento, se recomienda incrementar el espesor de la base estabilizada con emulsión asfáltica, apoyados con mejoras en el diseño del pavimento, especialmente en el Sector I y Sector II, ya que estos soportan un tráfico vehicular pesado y elevado, debido a la construcción de la central hidroeléctrica El Platanal.

Antes de llegar a los dos años de servicio en tramo de evaluación, se recomienda reforzar estructuralmente el pavimento, con un espesor mínimo de refuerzo de 5.0 mm, por el cual según el estudio CONREVIAl, en relación a mejoras superficiales, indica un tratamiento con Lechadas asfálticas ó Slurry Seal, cuyos espesores con este tipo de mezcla delgada puede variar de 5 a 10mm, y de esta manera proporcionar una superficie de mejores características y brinde un confort aceptable.

En cuanto para un periodo de 3 y 5 años, se recomienda realizar una evaluación integral del pavimento del tramo en estudio, pues los espesores de refuerzo obtenidos en el CUADRO N° 5.01, son muy elevados y resultaría antieconómico reforzar esta vía que pertenece al de tercer orden.

Para homogenizar los tres sectores, se recomienda identificar y realizar ensayos destructivos puntuales (Calicatas), para analizar mediante resultados de laboratorio las características de la capas del pavimento del suelo, de esta manera mejorar con soluciones adecuadas, en cuanto a los trabajos de rehabilitación, para así mantener la vía en adecuado transitabilidad y serviciabilidad, para el trafico proyectado, pues esta vía esta proyectada como una alternativa de conexión entre Lima y Huancayo, con respecto a la congestionada Carretera Central.

BIBLIOGRAFÍA

1. Auris Córtez Carlos Manuel, Evaluación y rehabilitación del pavimento empleando el método de la deflectometría en el aeropuerto de Huamanga – Ayacucho, Informe de Ingeniería, Perú, 2002.
2. Consorcio de Rehabilitación Vial, Estudio de Rehabilitación de Carreteras en el País, Perú, 1982.
3. Consorcio Gestión de Carreteras, Plan de Conservación Vial de la Carretera Cañete – Lunahuaná – Pacarán – Zúñiga - Dv. Yauyos-Ronchas-Chupaca, Perú, Junio 2008.
4. Consorcio Gestión de Carreteras, Estudios Técnicos para el cambio estándar de afirmado a solución básica Carretera Cañete – Lunahuaná Pacarán – Zúñiga - Dv Yauyos-Ronchas-Chupaca, Perú, Setiembre 2008.
5. Gutiérrez Lázares, José Wilfredo , Modelación Geotécnica de Pavimentos Flexibles con Fines de Análisis y Diseño en el Perú, Tesis para optar el Grado de Magíster en Ciencias con Mención en Ingeniería Geotécnica, Perú, 2007.
6. Melchor Areche José Ygnacio, Evaluación Integral del Pavimento, Experiencia Profesional, Perú, 1999.
7. Ministerio de Transportes y Comunicaciones, Manual para el Diseño de Caminos Pavimentados de Bajo Volumen de Tránsito, Perú, 2007.
8. Montejo Fonseca Alfonso, Ingeniería de Pavimentos, Evaluación estructural obras de mejoramiento y nuevas tecnologías, Colombia, 2006.
9. <http://strongfamilytree.org>
10. <http://www.cetanz.org.nz>
11. <http://books.google.com.pe>
12. www.camineros.com
13. www.proviasnac.gob.pe

ANEXOS

ANEXO 01	
DETERMINACIÓN DEL NÚMERO DE EJES EQUIVALENTES	49
ANEXO 02	
ESTUDIO DE TRÁFICO Y CARGAS	52
ANEXO 03	
CÁLCULO DE N18 Y DEFLEXIÓN ADMISIBLE.....	53
ANEXO 04	
MEDICIÓN DE DEFLEXIONES CON VIGA BENKELMAN.....	54
ANEXO 05	
PROCESAMIENTO DE DATOS DE DEFLEXIONES.....	55
ANEXO 06	
DEFLEXIÓN CARACTERISTICA Y RADIO DE CURVATURA.....	56
ANEXO 07	
DEFLECTOGRAMA.....	57
ANEXO 08	
DEFLECTOGRAMA SECTORIZADA	58
ANEXO 09	
GRÁFICAS TEMPERATURA VS F.C.T.	59
ANEXO 10	
PANEL FOTOGRÁFICO	60

ANEXO 01

DETERMINACIÓN DEL NÚMERO DE EJES EQUIVALENTES

Análisis de Tránsito - Eje Equivalente

En el funcionamiento estructural de las capas de la estructura del pavimento influye el tipo de suelo de la subrasante, el número total de los vehículos pesados por día o durante el periodo de diseño, incluido las cargas por eje y la presión de los neumáticos. La demanda o volumen de tráfico, requiere ser expresado en términos de Ejes Equivalentes acumulados para el periodo de diseño. El concepto de eje equivalente se basa en la posibilidad de evaluar el daño que produce determinada carga y compararla con otra de referencia.

Factores de Equivalencia de Carga




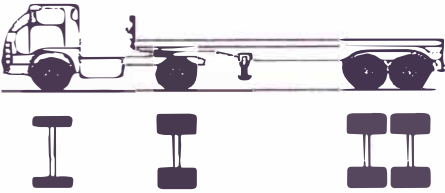
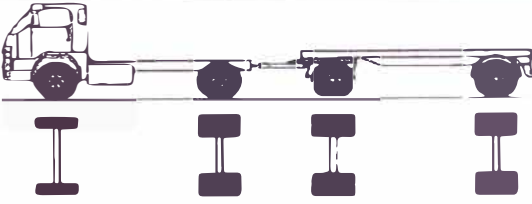

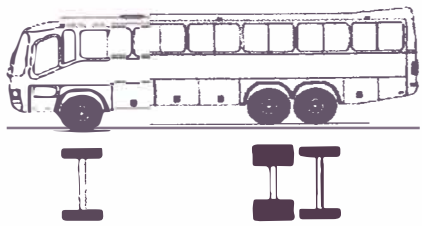
De los estudios experimentales desarrollados, se han obtenido ecuaciones crecientes, de relación exponencial del orden de 4, entre la carga real y la del eje referencial. Estas experiencias ampliamente difundidas, dan lugar a establecer factores de equivalencia de carga, tanto para cada tipo de composición vehicular, que permiten cuantificar el tremendo efecto destructivo de los vehículos más pesados.

El eje estándar de adoptado es un eje simple de 8.2 ton, se puede tomar el criterio simplificado de la metodología AASHTO, aplicando las siguientes relaciones para vehículos pesados, buses y camiones:

Tipo de eje	Eje equivalente ($EE_{8.2 \text{ TN}}$)
Eje Simple de ruedas simples	$EE_{S1} = [P / 6.6]^4$
Eje Simple de ruedas dobles	$EE_{S2} = [P / 8.2]^4$
Eje Tandem de ruedas dobles	$EE_{TA} = [P / 15.1]^4$
Ejes Tridem de ruedas dobles	$EE_{TR} = [P / 22.9]^4$
P = peso real por eje en toneladas	

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

La determinación del EE por tipo de vehículo pesado, camiones y buses, resulta de la suma de EE por tipo de eje, para cada vehículo específico; para lo cual se ha tomado en cuenta los pesos de vehículos máximas permitidas.

TABLA DE PESOS Y MEDIDAS								
Configuración vehicular	Descripción gráfica de los vehículos	Long. Máx. (m)	Eje Delant	Peso máximo (t)				Peso bruto máx. (t)
				Conjunto de ejes posteriores				
				1°	2°	3°	4°	
C2		12,30	7	11	—	—	—	18
C3		13,20	7	18	—	—	—	25
C4		13,20	7	23 ⁽¹⁾	—	—	—	30
T2S2		20,50	7	11	18	—	—	36
C2R2		23,00	7	11	11	11	—	40
B2		13,20	7	11	—	—	—	18
B3-1		14,00	7	16	—	—	—	23

Fuente: Pesos y Medidas máximas permitidas – Reglamento Nacional de Vehículos

Determinación del número de repeticiones del eje estándar de 8.2 ton

Para el cálculo del Número esperado de repeticiones de ejes equivalentes a 8.2 ton (N_{18}), se debe considerar principalmente a los vehículos que tenga un alto factor equivalente de carga en el pavimento como vehículos pesados (tráiler y semi-trailer), camiones y buses, se desprecia los vehículos ligeros (autos, camionetas, etc.). Así también se debe considerar el año que fue determinado el IMD y las tasas de crecimiento.

Para la guía AASHTO corresponde al EAL afectado por coeficientes que representan el sentido y el número de carriles que tendrá la vía.

$$N_{18} = FD \times FC \times EAL_{(8.2T)}$$

$$EAL_{(8.2T)} = 365 \times \left(\sum IMD_v \times FEC_v \right) \times \left[\frac{(1+i)^n - 1}{i} \right]$$

Donde:

- N_{18} : Número esperado de repeticiones de ejes equivalentes a 8.2 ton en el periodo de diseño.
- FD: 0.5, corresponde a caminos de dos direcciones por calzada (recomendable).
- FC: 1.0, corresponde a un carril por dirección o sentido.
- $EAL_{(8.2T)}$: Número de ejes equivalentes a 8.2 ton en el periodo de diseño.
- 365: Número de días del año.
- IMD_v : Índice Medio Diario de cada tipo de vehículo correspondiente al año base.
- FEC_v : Factor equivalente de carga 8.2 ton por cada tipo de vehículo
- i: Tasa de crecimiento de los vehículos.
- n: Periodo de Diseño.

ANEXO 02

ESTUDIO DE TRÁFICO Y CARGAS

CUADRO N° 1: DETERMINACION DEL TRÁFICO ACTUAL

Tipo de Vehículo	IMD 2008 (*)			Tasa de crecimiento f (%)	IMD 2009		
	Zuñiga 56+600 - P. Nuevo 66+580	P. Nuevo 66+580 - Chichicay 92+110	Chichicay 92+110 - Dv. Yauyos 127+000		Zuñiga 56+600 - P. Nuevo 66+580	P. Nuevo 66+580 - Chichicay 92+110	Chichicay 92+110 - Dv. Yauyos 127+000
Automovil	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
Omnibus 2E	15	14	8	1.4	15	14	8
Omnibus 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: Conservación Vial Por Niveles de Servicio de la Carretera Cañete - Lunahuaná - Pacarán - Chupaca y Rehabilitación del Tramo Zúñiga - Dv. Yauyos - Ronchas

CUADRO N° 2: DETERMINACION DE LOS FACTORES DE EQUIVALENCIA DE CARGA

Tipo de vehículo	Descripción	Eje delantero	Ejes posteriores			EE _{e,2} TN
			1er eje	2do eje	3er eje	
Omnibus 2E	Carga (Tn)	7	11			18
	F.E.C.	1.265	3.238			4.504
Omnibus 3E	Carga (Tn)	7	18			25
	F.E.C.	1.265	2.019			3.285
Camión 2E-L	Carga (Tn)	7	7			14
	F.E.C.	1.265	1.265			2.531
Camión 2E-P	Carga (Tn)	7	11			18
	F.E.C.	1.265	3.238			4.504
Camión 3E	Carga (Tn)	7	18			25
	F.E.C.	1.265	2.019			3.285
Camión 4E	Carga (Tn)	7	23			30
	F.E.C.	1.265	1.018			2.283
Semitrayler 2S2	Carga (Tn)	7	11	18		36
	F.E.C.	1.265	3.238	2.019		6.523
Semitrayler 2S3	Carga (Tn)	7	11	25		43
	F.E.C.	1.265	3.238	1.420		5.924
Semitrayler 3S1	Carga (Tn)	7	18	11		36
	F.E.C.	1.265	2.019	3.238		6.523
Semitrayler >= 3	Carga (Tn)	7	18	25		50
	F.E.C.	1.265	2.019	1.420		4.705
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

ANEXO 03

CÁLCULO DE N18 Y DEFLEXIÓN ADMISIBLE

CUADRO N° 1: Tramo Zúñiga 56+600 - P. Nuevo 68+680													
Tipo de vehículo	Factor de Carga	IMD ₂₀₀₉	Tasa de crecimiento (%)	Proyección									
				n (años)	EAL ₂₀₁₀	n (años)	EAL ₂₀₁₁	n (años)	EAL ₂₀₁₂	n (años)	EAL ₂₀₁₅		
Micro	4.504	49	1.4	1	80009	2	161137	3	243402	5	411402		
Omnibus 2E	4.504	15	1.4	1	25003	2	50355	3	76063	5	128563		
Omnibus 3E	3.285	1	1.4	1	1216	2	2448	3	3698	5	6251		
Camión 2 Ejes	4.504	49	4.6	1	80814	2	165346	3	253766	5	442995		
Camión 3 Ejes	3.285	9	4.6	1	11286	2	23092	3	35440	5	61867		
Camión 4 Ejes	2.283	1	4.6	1	872	2	1783	3	2737	5	4778		
Semitraylers	6.523	29	4.6	1	69730	2	142668	3	218961	5	382237		
Traylers	10.980	40	4.6	1	159301	2	325931	3	500225	5	873234		
Nota: N ₁₈ , número total de ejes equivalentes a 18 klb o 8.2 ton (en millones)				EAL N ₁₈		4.28E+05		8.73E+05		1.33E+06		2.31E+06	
				Da (x 10-2 mm)		0.214		0.436		0.667		1.156	
						152.2		127.4		114.6		99.9	

CUADRO N° 2: Tramo P. Nuevo 66+680 - Chichicay 92+110													
Tipo de vehículo	Factor de Carga	IMD ₂₀₀₉	Tasa de crecimiento (%)	Proyección									
				n (años)	EAL ₂₀₁₀	n (años)	EAL ₂₀₁₁	n (años)	EAL ₂₀₁₂	n (años)	EAL ₂₀₁₅		
Micro	4.504	69	1.4	1	113346	2	228278	3	344820	5	582820		
Omnibus 2E	4.504	14	1.4	1	23336	2	46998	3	70992	5	119992		
Omnibus 3E	3.285	0	1.4	1	0	2	0	3	0	5	0		
Camión 2 Ejes	4.504	44	4.6	1	72217	2	147756	3	226769	5	395868		
Camión 3 Ejes	3.285	4	4.6	1	5016	2	10263	3	15751	5	27496		
Camión 4 Ejes	2.283	2	4.6	1	1743	2	3567	3	5474	5	9556		
Semitraylers	6.523	55	4.6	1	131989	2	270050	3	414462	5	723520		
Traylers	10.980	35	4.6	1	138341	2	283045	3	434406	5	758335		
Nota: N 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	

CUADRO N° 3: Tramo Chichicay 92+110 - Dv. Yauyos 127+000													
Tipo de vehículo	Factor de Carga	IMD ₂₀₀₉	Tasa de crecimiento (%)	Proyección									
				n (años)	EAL ₂₀₁₀	n (años)	EAL ₂₀₁₁	n (años)	EAL ₂₀₁₂	n (años)	EAL ₂₀₁₅		
Micro	4.504	0	1.4	1	0	2	0	3	0	5	0		
Omnibus 2E	4.504	8	1.4	1	13335	2	26856	3	40567	5	68567		
Omnibus 3E	3.285	0	1.4	1	0	2	0	3	0	5	0		
Camión 2 Ejes	4.504	9	4.6	1	15475	2	31662	3	48593	5	84829		
Camión 3 Ejes	3.285	12	4.6	1	13794	2	28223	3	43315	5	75615		
Camión 4 Ejes	2.283	0	4.6	1	0	2	0	3	0	5	0		
Semitraylers	6.523	0	4.6	1	0	2	0	3	0	5	0		
Traylers	10.980	0	4.6	1	0	2	0	3	0	5	0		
Nota: N ₁₈ , número total de ejes equivalentes a 18 klb o 8.2 ton (en millones)				EAL N ₁₈		4.26E+04		8.67E+04		1.32E+05		2.29E+05	
				Da (x 10-2 mm)		0.021		0.043		0.066		0.115	
						271.1		226.9		204.1		178.0	

ANEXO 04

MEDICIÓN DE DEFLEXIONES CON VIGA BENKELMAN

SECTOR : CARRETERA CAÑETE - YAUYOS - CHUPACA
TRAMO : Km 59+000 - Km 104+000
FECHA : 03/10/2009 RESPONSABLE : UNI
CARRIL : Derecho OPERADOR : UNI

SUPERFICIE : Carpet aAsf.
CARGA EJE : 8200 KG
PRESIÓN : 80 PSI
R BRAZOS : 1 a 4

Progresiva (km)	Lecturas de Campo (10 ⁻² mm)				Espesor Asfalto (m)	Ahueamiento (mm)			Temperatura Asfalto (°C)	Observaciones
	L ₂₅	L ₄₀	L ₇₀	L _{max}		Ahue 1	Ahue 2	From		
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	

SLURRY SEAL

MONOCAPA

SLURRY SEAL

ANEXO 05

PROCESAMIENTO DE DATOS DE DEFLEXIONES

SECTOR : CARRETERA CAÑETE - YAUYOS - CHUPACA
 TRAMO : Km. 59+000 - Km. 104+000
 FECHA : 03/10/2009

CARRIL : Derecho
 SUPERFICIE : Carpeta Asf.
 R. BRAZOS : 1 a 4

Est.	Progresiva (km)	Lecturas de Campo (10 ⁻³ mm)			Espesor (m)	Temp. C.A. (°C)	Factor Corrección		Deflexiones Corregidas		Radio Curvatura R _c (m)
		L _{inicial}	L ₂₅	L _{final}			Factor Temp.	Factor Estac.	D ₀ (x 10 ⁻³ mm)	D ₂₅ (x 10 ⁻³ mm)	
1	59+300	0.00	6.00	28.00	0.010	29.0	0.9911	1.1	122.10	95.94	119.44
2	59+400	0.00	8.00	18.00	0.007	38.0	0.9876	1.1	78.21	43.45	89.90
3	59+500	0.00	8.00	18.00	0.006	44.0	0.9858	1.1	78.08	43.38	90.06
4	59+600	0.00	8.00	20.00	0.008	44.0	0.9812	1.1	86.34	51.81	90.48
5	59+700	0.00	10.00	20.00	0.007	46.0	0.9821	1.1	86.43	43.21	72.32
6	59+800	0.00	12.00	26.00	0.007	48.0	0.9808	1.1	112.20	60.42	60.35
7	59+900	0.00	8.00	20.00	0.006	48.0	0.9835	1.1	86.55	51.93	90.27
8	60+000	0.00	12.00	26.00	0.009	49.0	0.9746	1.1	111.49	60.03	60.73
9	60+100	0.00	14.00	36.00	0.006	49.0	0.9829	1.1	155.69	95.14	51.61
10	60+200	0.00	14.00	38.00	0.006	48.0	0.9835	1.1	164.44	103.86	51.58
11	60+300	0.00	16.00	48.00	0.005	40.0	0.9901	1.1	209.11	139.41	44.83
12	66+600	0.00	8.00	32.00	0.014	43.0	0.9688	1.1	136.41	102.31	91.64
13	66+700	0.00	6.00	12.00	0.007	44.0	0.9835	1.1	51.93	25.96	120.36
14	66+800	0.00	4.00	10.00	0.014	44.0	0.9675	1.1	42.57	25.54	183.52
15	66+900	0.00	10.00	18.00	0.020	44.0	0.9542	1.1	75.57	33.59	74.43
16	67+000	0.00	6.00	12.00	0.009	46.0	0.9771	1.1	51.59	25.80	121.14
17	71+500	0.00	6.00	12.00	0.011	40.0	0.9785	1.1	51.66	25.83	120.98
18	71+600	0.00	8.00	18.00	0.012	40.0	0.9766	1.1	77.34	42.97	90.91
19	71+700	0.00	8.00	22.00	0.013	39.0	0.9759	1.1	94.47	60.12	90.97
20	71+800	0.00	6.00	12.00	0.007	43.0	0.9842	1.1	51.96	25.98	120.28
21	71+900	0.00	8.00	20.00	0.006	44.0	0.9858	1.1	86.75	52.05	90.06
22	76+600	0.00	8.00	24.00	0.015	49.0	0.9583	1.1	101.20	67.47	92.64
23	76+700	0.00	8.00	24.00	0.010	48.0	0.9728	1.1	102.72	68.48	91.26
24	76+800	0.00	4.00	12.00	0.008	50.0	0.9766	1.1	51.56	34.38	181.82
25	76+900	0.00	8.00	18.00	0.020	50.0	0.9434	1.1	74.72	41.51	94.11
26	77+000	0.00	8.00	18.00	0.016	52.0	0.9513	1.1	75.34	41.86	93.32
27	80+100	0.00	6.00	18.00	0.013	55.0	0.9565	1.1	75.75	50.50	123.76
28	80+200	0.00	8.00	26.00	0.009	52.0	0.9720	1.1	111.20	76.98	91.34
29	80+300	0.00	10.00	30.00	0.011	56.0	0.9619	1.1	126.97	84.65	73.84
30	80+400	0.00	8.00	26.00	0.011	56.0	0.9619	1.1	110.04	76.18	92.29
31	80+500	0.00	12.00	32.00	0.011	54.0	0.9639	1.1	135.72	84.83	61.40
32	84+600	0.00	6.00	18.00	0.011	54.0	0.9639	1.1	76.34	50.90	122.80
33	84+700	0.00	4.00	8.00	0.009	56.0	0.9686	1.1	34.10	17.05	183.31
34	84+800	0.00	6.00	14.00	0.012	57.0	0.9575	1.1	58.98	33.70	123.63
35	84+900	0.00	8.00	20.00	0.013	60.0	0.9506	1.1	83.65	50.19	93.39
36	85+000	0.00	8.00	16.00	0.013	61.0	0.9494	1.1	66.84	33.42	93.51
37	91+100	0.00	10.00	22.00	0.009	54.0	0.9703	1.1	93.93	51.23	73.20
38	91+200	0.00	8.00	22.00	0.011	53.0	0.9650	1.1	93.41	59.44	92.00
39	91+300	0.00	8.00	24.00	0.007	53.0	0.9774	1.1	103.22	68.81	90.83
40	91+400	0.00	12.00	48.00	0.009	54.0	0.9703	1.1	204.93	153.70	61.00
41	91+500	0.00	8.00	20.00	0.012	54.0	0.9608	1.1	84.55	50.73	92.40
42	97+800	0.00	20.00	50.00	0.004	52.0	0.9874	1.1	217.22	130.33	35.97
43	97+900	0.00	12.00	22.00	0.004	55.0	0.9862	1.1	95.46	43.39	60.01
44	98+000	0.00	8.00	16.00	0.004	57.0	0.9854	1.1	69.37	34.69	90.09
45	98+100	0.00	8.00	14.00	0.005	58.0	0.9814	1.1	60.45	25.91	90.47
46	98+200	0.00	14.00	30.00	0.005	50.0	0.9852	1.1	130.05	69.36	51.49
47	100+500	0.00	8.00	16.00	0.006	52.0	0.9812	1.1	69.07	34.54	90.48
48	100+600	0.00	12.00	22.00	0.007	53.0	0.9774	1.1	94.61	43.01	60.55
49	100+700	0.00	8.00	12.00	0.010	54.0	0.9671	1.1	51.06	17.02	91.80
50	100+800	0.00	12.00	44.00	0.007	54.0	0.9768	1.1	189.10	137.53	60.59
51	100+900	0.00	12.00	28.00	0.008	54.0	0.9735	1.1	119.94	68.54	60.80
52	101+000	0.00	8.00	30.00	0.010	52.0	0.9690	1.1	127.91	93.80	91.62

ANEXO 06

DEFLEXIÓN CARACTERÍSTICA Y RADIO DE CURVATURA

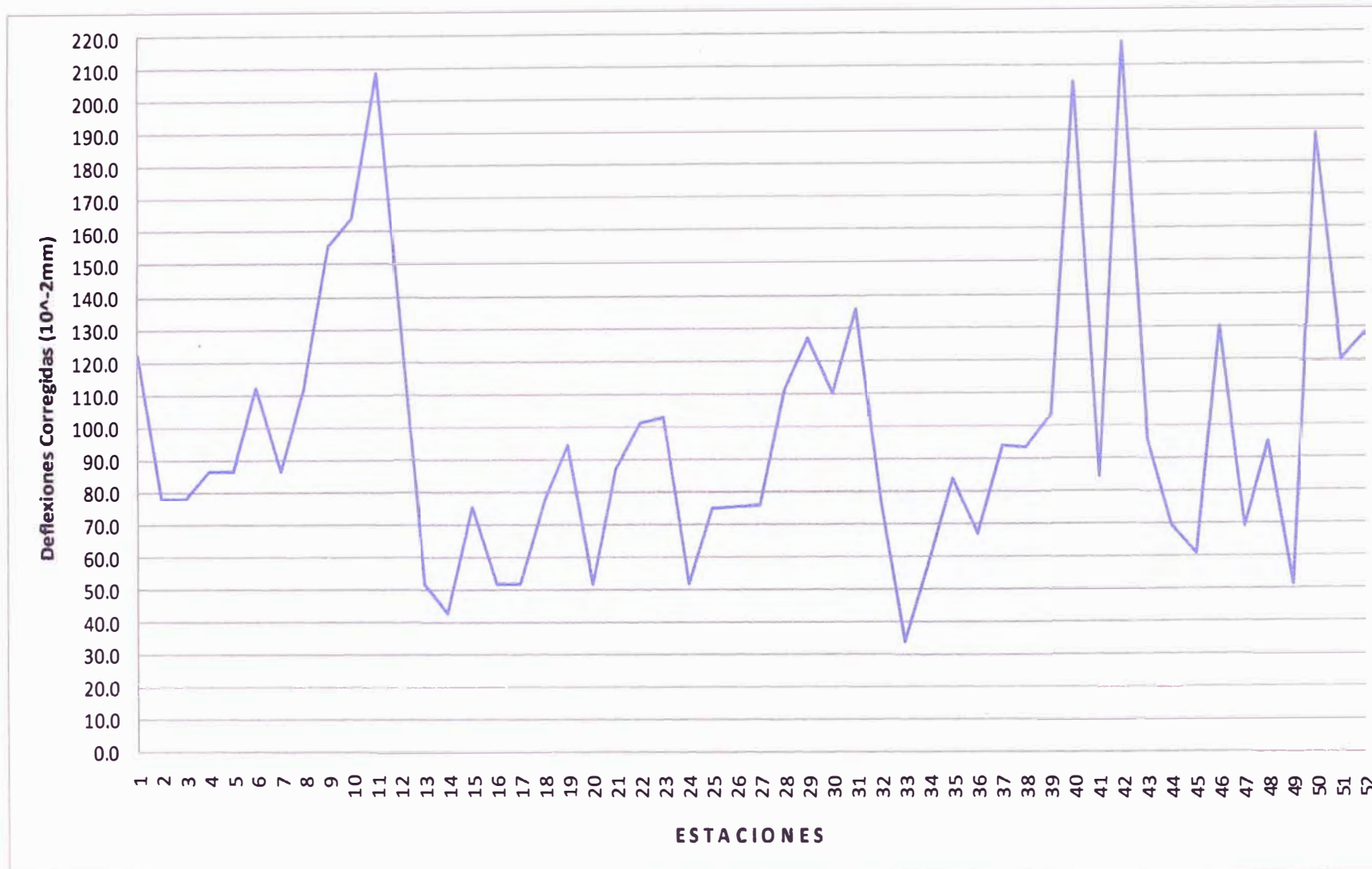
TRAMO TOTAL (Km. 59+300 - Km. 101+000)			
Descripción	Deflexiones		Radio de Curvatura
Minimo	34.10	(x 10 ⁻² mm)	35.97 (m)
Maximo	217.22	(x 10 ⁻² mm)	181.82 (m)
Promedio	98.08	(x 10 ⁻² mm)	90.99 (m)
Desviación Estandar	42.44		39.81
Coefficiente de Variación	0.43		0.44
Caracteristico	167.90	(x 10 ⁻² mm)	156.48 (m)

SECTOR I (Km. 59+300 - Km. 60+300)			
Descripción	Deflexiones		Radio de Curvatura
Minimo	78.08	(x 10 ⁻² mm)	44.83 (m)
Maximo	209.11	(x 10 ⁻² mm)	119.44 (m)
Promedio	117.33	(x 10 ⁻² mm)	74.69 (m)
Desviación Estandar	42.58		23.08
Coefficiente de Variación	0.36		0.31
Caracteristico	187.38	(x 10 ⁻² mm)	112.65 (m)

SECTOR II (Km. 66+600 - Km. 91+300)			
Descripción	Deflexiones		Radio de Curvatura
Minimo	34.10	(x 10 ⁻² mm)	61.40 (m)
Maximo	136.41	(x 10 ⁻² mm)	183.52 (m)
Promedio	82.00	(x 10 ⁻² mm)	106.17 (m)
Desviación Estandar	27.64		31.83
Coefficiente de Variación	0.34		0.30
Caracteristico	127.47	(x 10 ⁻² mm)	158.53 (m)

SECTOR III (Km. 91+400 - Km. 101+000)			
Descripción	Deflexiones		Radio de Curvatura
Minimo	51.06	(x 10 ⁻² mm)	35.97 (m)
Maximo	217.22	(x 10 ⁻² mm)	92.40 (m)
Promedio	116.44	(x 10 ⁻² mm)	72.10 (m)
Desviación Estandar	55.82		19.52
Coefficiente de Variación	0.48		0.27
Caracteristico	208.27	(x 10 ⁻² mm)	104.21 (m)

ANEXO 07 DEFLECTOGRAMA



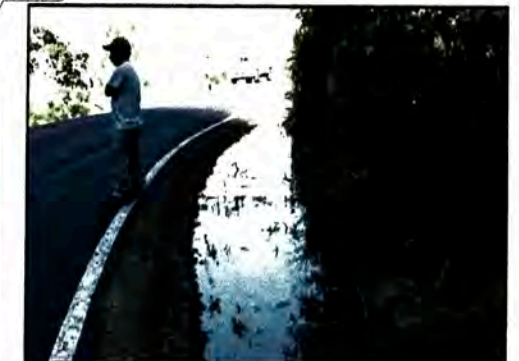
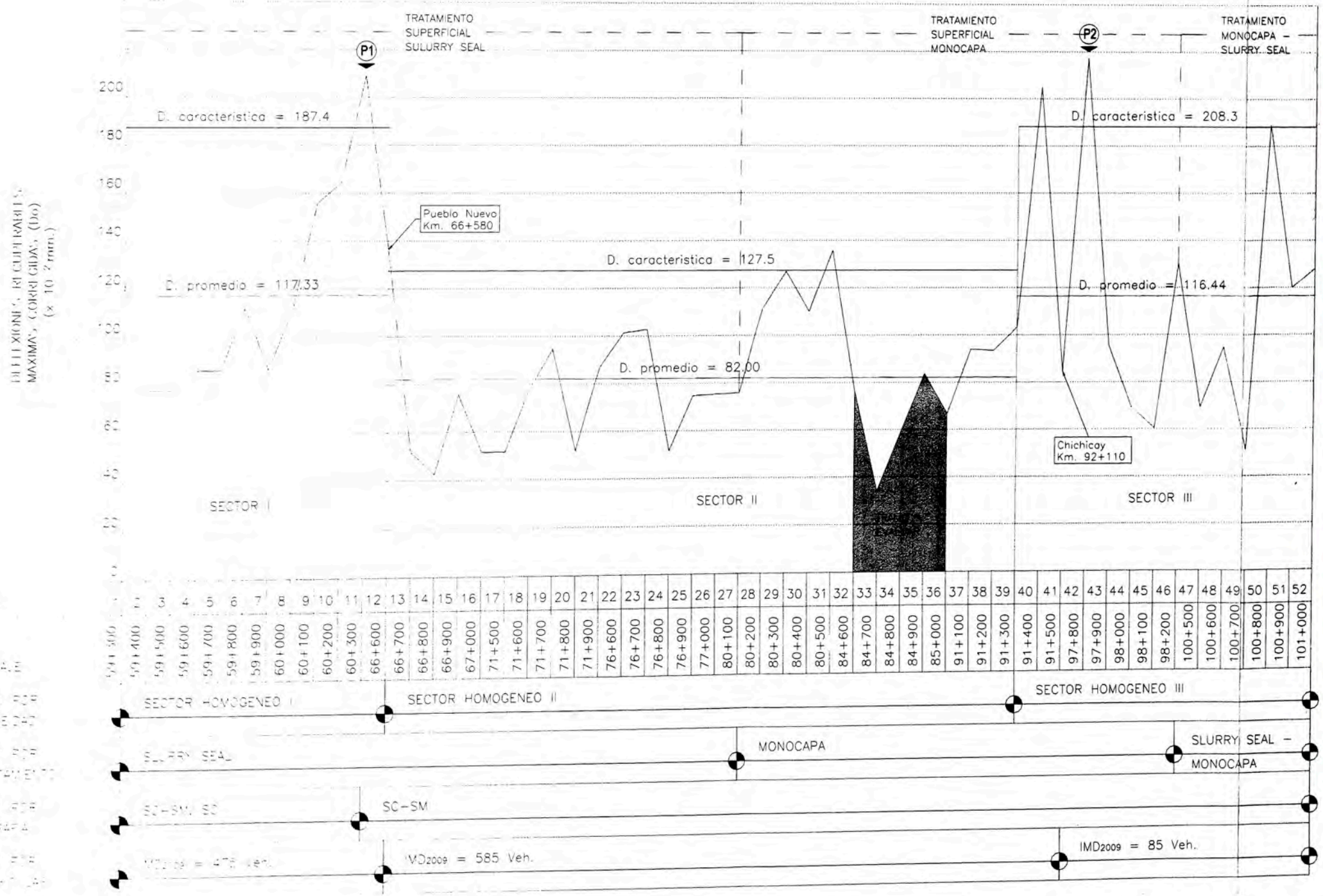
ANEXO 08

DEFLECTOGRAMA SECTORIZADA
(Tramo de la Carretera Cañete - Yauyos - Chupaca)

INICIO DEL EVALUACIÓN
Km.59+300

FIN DE LA EVALUACIÓN
Km.101+000

PROBLEMAS ENCONTRADOS

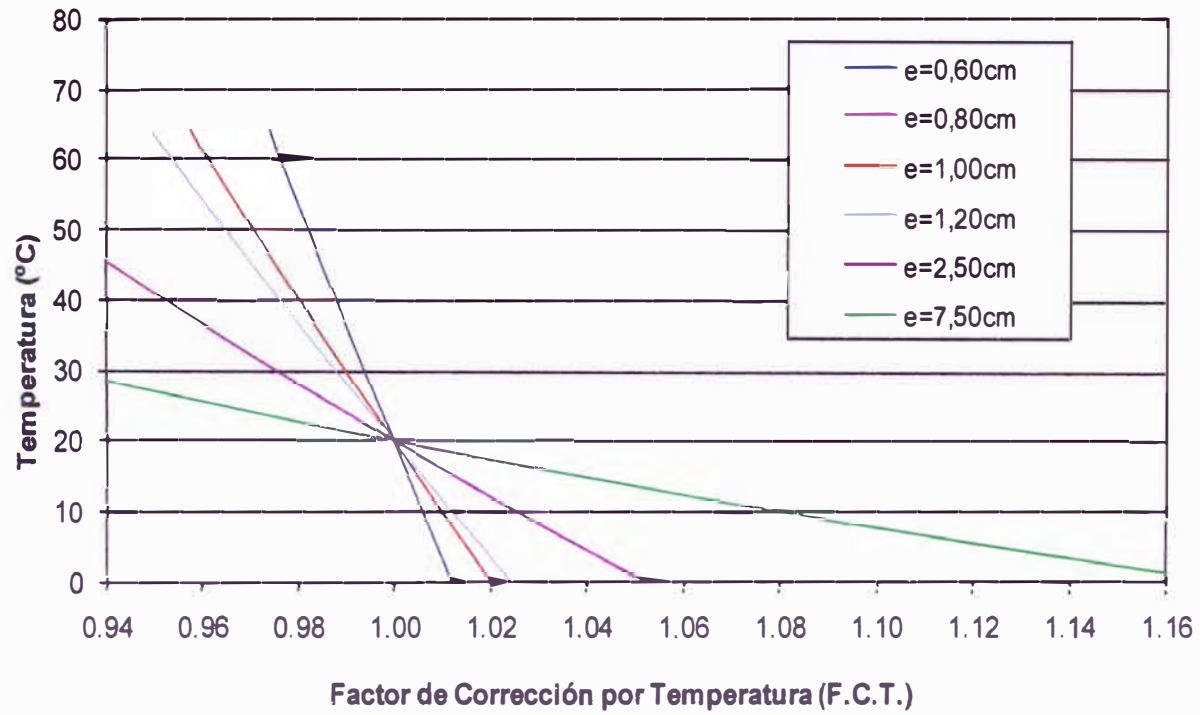


P1: Problema de drenaje, en la foto superior se observa el canal existente y en la inferior el valle Cañete, que por infiltración por diferencia de nivel, le resta capacidad estructural al pavimento.



P2: Problema de erosión del río Cañete a la vía, se observa en la foto, ancho estrecho de la vía, presentado elevadas deflexiones.

ANEXO 09 GRÁFICAS TEMPERATURA VS F.C.T.



ANEXO 10 PANEL FOTOGRÁFICO



Foto 1: Poste de kilometraje Km. 85+000 donde se realizará la medición de deflexiones en la carretera en estudio.



Foto 2: Preparación de la Viga Benkelman en el punto de ensayo para realizar las mediciones.

ANEXO 10 PANEL FOTOGRÁFICO



Foto 3: Calibración de la Viga Benkelman en el punto de ensayo, previo a realizar las mediciones de deflexiones.



Foto 4: Proceso de medición de lecturas en el dial de deformación, en el Km. 84+800 de la carretera en estudio.

ANEXO 10 PANEL FOTOGRÁFICO



Foto 5: Medición de la temperatura de la carpeta de rodadura en el punto de ensayo, con termómetro digital.



Foto 6: Medición del ahuellamiento en el punto de ensayo, con wincha y una regla de aluminio de 3m de longitud.

ANEXO 10 PANEL FOTOGRÁFICO



Foto 7: Extracción de una muestra de la carpeta de rodadura, con comba y cincel para medir su espesor.



Foto 8: Medición del espesor de la carpeta de rodadura en el punto de ensayo, con wincha.