

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



**EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DE LA CARRETERA CAÑETE-
YAUYOS-CHUPACA CON VIGA BENKELMAN MÉTODO
EMPÍRICO TRAMO KM. 69+000 - KM. 74+000**

INFORME DE SUFICIENCIA

Para optar el Título Profesional de:

INGENIERO CIVIL

FERNANDO ALBERTO VARGAS MANRIQUE

Lima- Perú

2009

	Pág.
RESUMEN	03
LISTADO DE CUADROS	04
LISTADO DE FIGURAS	05
LISTADO DE SÍMBOLOS Y SIGLAS	06
INTRODUCCIÓN	07
CAPITULO I.- GENERALIDADES	
1.1 Antecedentes	09
1.2 Ubicación	11
1.3 Características de la carretera	11
1.3.1 Aspectos Demográficos	11
1.3.2 Aspectos Socio Económicos	12
1.3.3 Aspectos Geográficos	12
1.3.4 Aspectos Geológicos	13
1.3.5 Aspectos Geotécnicos	14
1.3.6 Tráfico Vehicular	14
1.4 Sub-tramo en estudio km. 69+000 –km. 74+000	15
1.5 Definición del problema	17
1.6 Objetivos	17
CAPITULO II.- ESTADO DEL ARTE	
2.1 Antecedentes de evaluación estructural con Viga Benkelman	18
2.1.1 Antecedente de la Viga Benkelman	18
2.1.2 Equipos utilizados para la medición de deflexiones del pavimento	20
CAPITULO III.- MARCO TEÓRICO	
3.1 Evaluación estructural del pavimento	25
3.2 Evaluación estructural no destructiva	25
3.3 Deflectometria método empírico	26
3.3.1 Fundamento teórico	26
3.3.2 Equipo requerido	29
3.3.3 Procedimiento de ensayo	30
3.3.4 Metodología de análisis	32
3.3.5 Cálculo de las deflexiones	34
3.3.6 Análisis de la capacidad estructural	35
3.3.7 Análisis estadístico de los resultados	37

3.4 Juicio sobre la capacidad estructural	40
3.4.1 Criterios adoptados	41
3.4.2 Casos típicos	41
3.4.3 Deflexiones tolerables	43
CAPITULO IV.- APLICACIÓN AL TRAMO KM 69+000 – KM 74+000	
4.1 Recopilación de datos	45
4.2 Procesamiento de datos	46
4.2.1 Cálculo de las deflexiones	46
4.2.2 Análisis de la capacidad estructural	47
4.2.3 Análisis estadístico de los resultados	49
CAPITULO V.- ANÁLISIS DE RESULTADOS	
5.1 Alternativas de solución	50
5.2 Interacción con otros tramos	51
CONCLUSIONES	55
RECOMENDACIONES	57
BIBLIOGRAFÍA	58
ANEXOS	59
ANEXO 1 POBLACION DIRECTAMENTE BENEFICIADA	59
ANEXO 2 CARACTERÍSTICAS DE LA POBLACIÓN	60
ANEXO 3 VALOR DE “T” Y PROBABILIDAD DE OCURRENCIA $D > D_c$	61
ANEXO 4 FORMATO PARA LA TOMA DE DATOS EN EL ENSAYO DE LA VIGA BENKELMA	62
ANEXO 5 CÁLCULO DEL EAL PARA 1, 3, 5 y 10 AÑOS	63
ANEXO 6 DEFLECTOGRAMA PARA UN EAL DE 1, 3, 5 y 10 AÑOS	67
ANEXO 7 ANÁLISIS COMBINADO DE LOS RESULTADOS DE EVALUACIÓN	71
ANEXO 8 PANEL FOTOGRÁFICO	72

RESUMEN.

Las obras viales tienden a deteriorarse desde el primer día de su puesta en servicio y se debe a diversos factores: tránsito vehicular que sobrepasa el diseño, aspectos climáticos, etc. Es por ello la necesidad de elaborar planes de evaluación estructural, el equipo deflectómetro tipo Viga Benkelman, permite evaluar de manera práctica, sencilla y económica el comportamiento estructural de un pavimento; con el fin de identificar y recomendar su mantenimiento o rehabilitación para que se encuentre en un estado que pueda brindar el servicio que requiere el usuario.

El presente Informe de Suficiencia comprende la evaluación estructural de la carretera Cañete – Yauyos – Chupaca tramo: Km. 69+000 al Km. 74+000. Haciendo mediciones de deflexiones con el equipo de la Viga Benkelman, procesando los datos por el método empírico para análisis e interpretar los datos como herramienta en la toma de decisiones con fines de rehabilitación con el objetivo de que permanezca siempre en servicio y evitar su deterioro ya que este conlleva a realizar mayores gastos en su rehabilitación y/o reconstrucción.

Cabe señalar que de acuerdo a estos criterios observados se distinguir que el tramo evaluado la estructura del pavimento se encuentra fatigada por lo cual requiere de un refuerzo estructural.

LISTA DE CUADROS.

	Pág.
Cuadro N°1.1.-Tráfico tipo de Vehículo	15
Cuadro N°3.1.- Determinación de puntos de ensayo	30
Cuadro N°3.2.- Valores para la Corrección de Deflexiones por Estacionalidad	35
Cuadro N°4.1.-Datos de Campo obtenidos del ensayo de Viga Benkelman	45
Cuadro N°4.2.-Cálculo de Deflexiones	46
Cuadro N°4.3.-Cálculo de Deflexiones Corregidas por Temperatura	46
Cuadro N°4.4.-Cálculo de Deflexiones Corregidas por temperatura y Estacionalidad	47
Cuadro N°4.5.-Cálculo del Radio de Curvatura	47
Cuadro N°4.6.-Cálculo de Deflexión Característica, Deflexión Promedio y Desviación Estándar	49
Cuadro N°4.7.-Cálculo de Deflexión Admisible	49
Cuadro N°5.1.- Verificación de Radios de Curvatura	50
Cuadro N°5.2.- Cálculo de las Deflexiones	52
Cuadro N°5.3.- Cálculo de Deflexión Característica, Deflexión Promedio y Desviación Estándar	53
Cuadro N°5.4.- Cálculo de Deflexión Admisible	53

LISTA DE GRÁFICOS.

	Pag.
Gráfico N° 1.1. Ubicación de la Zona del Proyecto	11
Gráfico N° 1.2. Ubicación Detallada del Tramo en Estudio	16
Gráfico N° 1.3. Estructura del Pavimento en Estudio	16
Gráfico N° 2.1.-Alvin Benkelman – Prueba de la Viga Benkelman	20
Gráfico N° 2.2. Viga Benkelman – Brazo Simple	21
Gráfico N° 2.3. Viga Benkelman – Brazo Doble	21
Gráfico N° 2.4.-Dispositivo Falling Weight Deflectometer (FWD)	22
Gráfico N° 2.5.-Deflectógrafo Tipo Lacroix	23
Gráfico N° 2.6.-Deflectometro de Impacto KUAB	24
Gráfico N° 3.1.-Posición original y la Deformada Producida por la Carga	26
Gráfico N° 3.2 (a). Esquema de Componente de la Viga Benkelman	28
Gráfico N° 3.2 (b). Esquema de Funcionamiento de la Viga Benkelman	28
Gráfico N° 3.3.-Esquema de Operación de la Viga Benkelman	29
Gráfico N° 3.4. Esquema de Equipo Requerido	30
Gráfico N° 3.5. Metodología de Análisis de Deflexiones	33
Gráfico N° 3.6. Determinación del Radio de Curvatura	36
Gráfico N° 4.1. Gráfico de Deflectograma	48
Gráfico N° 5.1. Deflectograma del tramo Km. 59+000 – Km.104+000	54

LISTA DE SÍMBOLOS.

MTC	: Ministerio de Transportes y Comunicaciones.
IRI	: Índice de Rugosidad Internacional.
AASHTO	: American Association of State Highway and Transportation Officials.
IMD	: Índice Medio Diario
END	: Evaluación Estructural no Destructiva
CONREVIAl	: Consorcio de Rehabilitación Vial
EAL	: Número de Ejes Equivalentes para un periodo de diseño
BIRF	: Banco Internacional de Reconstrucción y Fomento
FWD	: Dispositivo Falling Weight Deflectometer

INTRODUCCIÓN.

Existen diferentes métodos para evaluar la capacidad estructural de los pavimentos, utilizándose predominantemente métodos no destructivos, los cuales consisten en aplicar una carga bajo condiciones, estáticas, dinámicas, etc., cuyos resultados ayudan a determinar la estructura del pavimento, las deformaciones o deflexiones en cualquier momento de su vida de servicio, con respecto al tránsito que lo utiliza, para establecer y cuantificar las necesidades de rehabilitación, cuando el pavimento se acerca al fin de su vida.

A nivel mundial se cuenta con una gran cantidad de equipos para determinar deflexiones en campo, sin embargo, en el Perú el de mayor uso es el deflectómetro del tipo de Viga Benkelman.

Ante un problema de evaluación estructural la alternativa presentada en este estudio es "no destructiva" y se basa en la interpretación de las deflexiones medidas en la estructura de un pavimento. Las deflexiones en la superficie de un pavimento reflejan una respuesta global del sistema pavimento subrasante bajo una carga dada. Su medición es simple, rápida, económica, es decir, no se alteran el equilibrio ni la integridad del sistema.

Es necesario conocer lo anterior para poder realizar una interpretación adecuada de los resultados que de dichos modelos resulte, ya que se conoce que la elección de los espesores de las capas, contienen en sí misma una gran cantidad de criterio ingenieril.

El Informe de Suficiencia presenta en sus diversos capítulos los antecedentes y características de la carretera, el estado del arte del método del deflectómetro tipo Viga Benkelman, el marco teórico de la evaluación estructural del pavimento, así como también el procedimiento de medición, metodología del análisis. Dentro del capítulo IV y V se muestra la aplicación del método en la carretera de estudio, tramo km. 69+000 – km. 74+000, y el análisis e interpretación de datos como herramienta en la toma de decisiones con fines de rehabilitación.

En el capítulo I, se presenta los antecedentes, características de la carretera tal como; ubicación, aspectos geográficos, aspectos demográficos, aspectos socioeconómicos, etc.

En el capítulo II, se desarrolla el estado del arte del método que se aplica en la evaluación estructural de la vía, así como también los nuevos equipos que nos permiten realizar estos estudios.

En el capítulo III, se presenta el marco teórico utilizado para la aplicación del método de evaluación estructural no destructiva, como lo es el ensayo de la Viga Benkelman; se encontrara las fórmulas para calcular las deflexiones, radio de curvatura, deflexiones admisibles, etc.

En el capítulo IV, se realiza una aplicación al tramo de estudio km. 69+000 – km. 74+000 la toma de datos y su procesamiento usando el método empírico, para obtener los resultados buscados y proceder a tomar decisiones.

En el capítulo V, se desarrolla la aplicación de procesamiento de datos; en este capítulo se encuentra el análisis e interpretación de resultados, como herramienta en la toma de decisiones con fines de rehabilitación.

Finalmente se presentan las conclusiones y recomendaciones del presente Informe de Suficiencia.

CAPITULO I.- GENERALIDADES

1.1.- Antecedentes

El tramo de la carretera en estudio se encuentra ubicado en las provincias de Cañete y Chupaca en el departamento de Lima y Concepción en el departamento de Junín.

Esta carretera de penetración fue proyectada y ejecutada por etapas durante el gobierno de Sr. Augusto B. Leguía entre los años de 1920 y 1930, mediante la Ley decretada de la Conscripción Vial Territorial del Perú.

Por lado de la costa, durante el gobierno de Dr. Manuel Prado Ugarteche, entre los años 1940 y 1944, avanza los trabajos de la carretera desde Cañete llegando a Yauyos en abril de 1944, siendo inaugurado por el propio presidente en junio del mismo año.

En febrero de 1956, llega el contratista arequipeño Sr. Lesmer Málaga con experiencia en carretera para realizar el corte del cañón de Uchco.

En mayo de 1957, se cumplen varios puntos más de las metas, el corte, el puente Uchco y llegando hasta el pueblo de Alis; concluyendo con el trazo de la carretera, integrando la región costa con la sierra.

En 1958 se realizan trabajos de mantenimiento a la vía por las empresas Cementos Lima y ARPL Tecnología Industrial.

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 S.A.” 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, (Contrato de Estudios N° 0412-2003-MTC/20 del 28/11/2003) la formulación del estudio de pre inversión a nivel de perfil de la carretera Ruta 24, Tramo: Lunahuaná – Yauyos – Chupaca de 271.73 km de longitud aproximadamente.

Con el informe N° 838-2004-MTC/09.02 de 07 de septiembre de 2004, el Director de Inversiones de la Oficina General de Planificación y Presupuesto del Ministerio de Transportes y Comunicaciones, en su función de OPI MTC aprueba el estudio de pre inversión a nivel perfil del “Rehabilitación y Mejoramiento de la Carretera Lunahuaná - Dv Yauyos-Chupaca” identificado

con Código SNIP N° 9895 y autorizó la formulación del siguiente nivel de estudios.

Con oficio N° 513-2004-MTC/09.02 de 16 septiembre de 2004 el Director General de la OPI MTC solicita al Director General de Programación Multianual del Ministerio de Economía y Finanzas la exoneración del estudio de prefactibilidad y que se autorice la elaboración del estudio de factibilidad del precitado proyecto, en virtud que el perfil identificó claramente la alternativa seleccionada.

El Programa “Proyecto Perú” que fue creado por Resolución Ministerial N° 223-2007-MTC-02 y modificado por Resolución Ministerial N°408-2007-MTC/02 es parte del Proyecto Especial de Infraestructura de Transporte Nacional (PROVIAS NACIONAL) con la finalidad de establecer un sistema de contratación de las actividades de 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.

En el marco del precitado programa, PROVIAS NACIONAL suscribió el CONTRATO DE SERVICIOS N° 288–2007 MTC/20 de 27 de diciembre del 2007, con el CONSORCIO GESTIÓN DE CARRETERAS por un período de cinco años, a fin que este brinde el Servicio de Conservación Vial por Niveles de Servicio de la Carretera: Cañete – Lunahuaná – Pacarán - Chupaca y Rehabilitación del Tramo: Zúñiga – Dv. Yauyos – Ronchas.

Con el objetivo de mejorar los niveles de serviciabilidad y transitabilidad de las carreteras de bajo volumen de tránsito de la red vial nacional, el MTC a través de PROVIAS NACIONAL suscribió un convenio de cooperación interinstitucional con la Universidad Nacional De Ingeniería (UNI), convenio realizado en agosto del 2008 por un periodo de cinco años, denominado: “Acompañamiento y Monitoreo de los Trabajos del Servicio de Conservación Vial por Niveles de Servicio, del Corredor Vial N° 13: Cañete – Lunahuaná – Pacarán – Chupaca, (Rehabilitación del tramo: Zúñiga – desvío Yauyos - Ronchas)”.

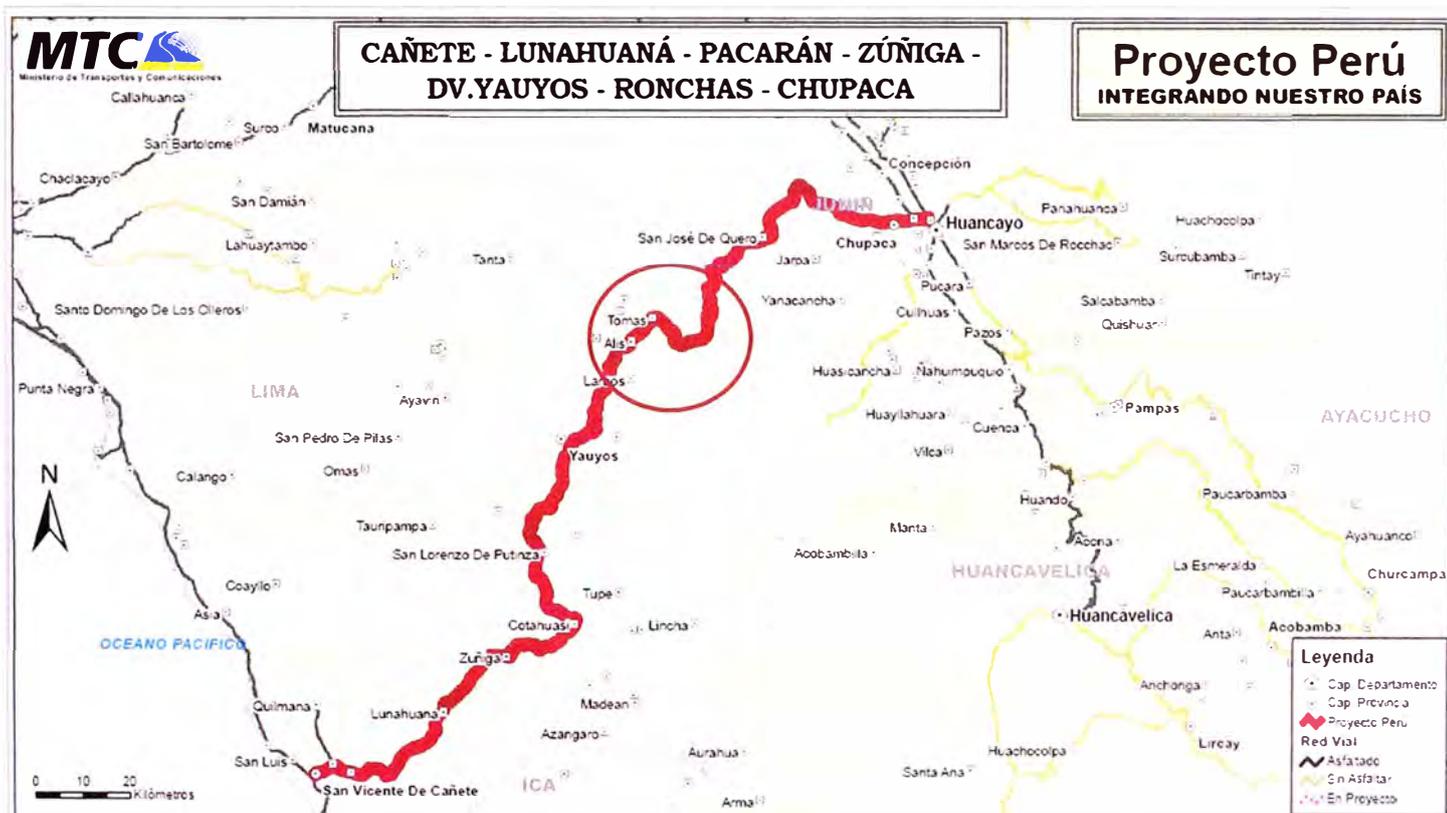
La carretera Cañete-Yauyos-Chupaca se proyecta como una ruta alterna, la cual ayudará a aligerar el tránsito vehicular de carga y pasajeros de la Carretera Central, disminuyendo el tiempo de viaje entre Lima (Cañete) y

Huancayo y permitiendo el transporte continuo de vehículos durante la temporada de máximas avenidas.

1.2.- Ubicación

La carretera Cañete - Yauyos - Chupaca, forma parte de la Ruta N° PE-24 de la Red Vial Nacional, está ubicado al oeste centro del país que conecta las regiones de Lima y Junín con sus diversas capitales provinciales, distritales y centros poblados localizados en el área de influencia directa de la vía. Su altitud varía desde los 710 m.s.n.m. hasta 4,600 m.s.n.m.

Figura N° 1.1
Ubicación de la Zona del Proyecto



(Fuente: Proyecto Perú - Ministerio de Transporte y Comunicaciones).

1.3.- Características de la Carretera

1.3.1 Aspectos Demográficos

Población.-

La población directamente beneficiada por el proyecto se estima en aproximadamente 307,705 habitantes, ubicados en las provincias de Cañete, Yauyos del departamento de Lima, Chupaca y Huancayo del departamento de Junín. (Ver anexo 01.- Población Directamente Beneficiada).

1.3.2 Aspectos Socioeconómicos

Actividad Económica

La población del ámbito de influencia del proyecto, tiene como base económica principal, la explotación de la actividad agropecuaria (de autoconsumo, principalmente), cuyas formas de producción son básicamente “tradicionales”, en relación a los sistemas de producción mecanizados y agroquímico, que se practican en la costa, en los grandes complejos agroindustriales, principalmente. En segundo término, de manera limitada y complementaria, la población de esta zona de influencia del proyecto se dedica a actividades como los Servicios, Comercio y Turismo (Lunahuaná). En los distritos de Alis, Tomas y Laraos, la actividad minera tiene mayor relevancia. La economía de la zona de influencia del proyecto, presenta un débil crecimiento con tendencia al estancamiento, donde los niveles de producción y productividad expresan bajos rendimientos.

Aspectos del Sistema de Transportes

La Infraestructura del sistema de transporte está enmarcada por la ruta nacional N° 24: Cañete – Yauyos – Chupaca, la que actualmente se encuentra en afirmado desde la salida de Lunahuaná hasta el empalme con la ruta longitudinal de la Sierra. El tramo desde el empalme con la longitudinal de la Costa (Cañete) hasta Lunahuaná se encuentra a nivel de asfaltado con diferentes estados de conservación desde regular a malo. En esta ruta se encuentra ubicada la estación de peaje Lunahuaná en el km 12+400.

1.3.3 Aspectos Geográficos

Geografía e Hidrología

Políticamente, la cuenca del río Cañete forma parte de las provincias de Cañete y Yauyos, pertenecientes ambas al departamento de Lima.

La cuenca del río Cañete tiene una extensión aproximada de 6192 km², de los cuales el 78.4% (4856 km²) corresponde a la cuenca húmeda.

La longitud del río Cañete, entre su nacimiento y desembocadura, es de aproximadamente 220 km., presentando una pendiente promedio de 2%; sin embargo, presenta sectores en donde la pendiente es mucho más pronunciada, especialmente en la parte alta, llegando hasta 8% en el tramo comprendido entre la localidad de Huancaya y la desembocadura del río Alis.

Las zonas generalmente afectadas por las lluvias están localizadas en las alturas de Matucana, Huarochirí Oyón, Lunahuaná, etc. En general todas las cuencas hidrográficas de Lima aumentan su caudal, poniendo en peligro a las poblaciones y originan desabastecimiento, por el bloqueo de carreteras.

Clima y Meteorología

La zona presenta un clima variado entre templado - frío y sub húmedo.

La temperatura media anual fluctúa entre 6 y 12°C. Las temperaturas medias mensuales no difieren más de 2°C de la media anual. Las temperaturas medias diarias tampoco difieren significativamente respecto a la temperatura media mensual, se mantienen más o menos uniformes durante las cuatro estaciones del año. Solo durante fines de otoño y durante todo el invierno se presentan temperaturas mínimas extremas por debajo de 0° C hasta -10° C.

El promedio de precipitación pluvial total por año varía entre 300 y 500 mm. que se distribuyen durante los doce meses del año, de acuerdo a las estaciones. En verano es la estación lluviosa donde se concentra el 65 a 70% del volumen total anual; en otoño disminuye hasta el 8 a 12%, en invierno casi no hay lluvia, solo unos días durante los dos últimos meses, que representan 12 y 15% del total; y finalmente en primavera se reinicia el período de lluvias, principalmente a partir de octubre, acumulando durante esta estación 20 a 25% del total anual.

Las lluvias en este tipo climático, más las lluvias de las partes altas, que sobrepasan los 500 mm afectan la conservación de la carretera, mediante avenidas y huaycos provocando desbordes e inundaciones.

1.3.4 Aspectos Geológicos

La zona Lunahuaná - Tinco Yauricocha, que se considera de media a alta vulnerabilidad ante los riesgos geológicos.

La geología del área presenta rocas ígneas y sedimentarias que van desde el Jurásico hasta el Terciario y los suelos están representados por depósitos de origen aluvial, proluvial, eluvial, deluvial, coluvial, fluvio-glaciario, entre otros.

Los factores geológico estructurales, geomorfológicos e hidrológicos juegan un rol importante en el comportamiento geodinámico de la cuenca del río Cañete, se han podido detectar eventos como deslizamientos, derrumbes, erosión fluvial, huaycos, erosión de laderas, entre otros que han modificado y modifican el relieve de la cuenca.

1.3.5 Aspectos Geotécnicos

Los estudios realizados por el Consorcio Gestión de Carreteras, correspondientes a los suelos y materiales de construcción, encontrándose entre los Km. 57+000 al Km. 130+000, predominante es la arena y grava limosa que en el sistema SUCS clasifican como GC-GM, 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, mientras que a partir de 0,40 aumenta su presencia a 50% y entre los Km. 130+000 al Km. 258+000 se encuentra con suelos del tipo 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).

1.3.6 Tráfico Vehicular

La información de estudio de tráfico corresponde al realizado por el Consorcio encargado del mantenimiento.

Se realizó los conteos de tráfico el día sábado 6, domingo 7 y lunes 8 de setiembre del 2008 en la estación E-1 ubicado en el Km 57+400 de la localidad de Zúñiga (mínimo 3 días las 24 horas).

Se debe tener en cuenta que los datos de tráfico diario obtenidos de los conteos de tráfico efectuado en campo, son solo representativos de los días en los que fueron realizados, además están influenciados por la construcción de la Central Hidroeléctrica el Platanal.

Cabe señalar que durante el año, el tráfico de una carretera varía constantemente dependiendo del ciclo de actividades y de producción de la zona de influencia del proyecto. Así el tráfico será mayor en estaciones de cosechas y festividades que en otros periodos del año. Por lo que es importante ajustar los resultados por un factor de estacionalidad.

Tráfico actual por tipo de vehículo, donde se puede observar que el actual IMD es de 227 Veh/día.

Cuadro N° 1.1
Tráfico Tipo De Vehículo

TRAMO	CLASIFICACIÓN	LIGEROS						PESADOS			TOTAL
	VEHÍCULOS	AUTOS	CAMIONETAS	RURAL	MICRO	OMNIBUS 2E	OMNIBUS 3E	CAMION 2E	CAMION 3E/4E	ARTICULADOS	
ZUNIGA DV. YAUYOS	IMD 2005 (*)	1	7	1	0	13	0	7	5	1	35
ZUNIGA DV. YAUYOS	IMD 2008 (**)	1	8	1	0	14	0	9	6	1	40
ZUNIGA DV. YAUYOS	IMD 2009 (***)	8	46	7	2	86	0	26	36	16	227

(*) Fuente: Estudio de Tráfico del Consorcio de Gestión de Carreteras del 2005

(**) Fuente: Estudio de Tráfico del consorcio de Gestión de Carreteras del 2008

(***) Fuente: Datos referenciales obtenidos de la elaboración del informe de suficiencia, estos datos fueron completados con los porcentajes de tráfico estimados de los estudios anteriores.

1.4.- Sub-tramo en estudio km. 69+000 –km. 74+000

Descripción del tramo en estudio

Nombre del tramo : Carretera Cañete – Yauyos - Chupaca,
Km. 69+000 - Km. 74+000.

Longitud del tramo : 5.00 km

Inicio : San Juan (928 m.s.n.m) - km. 69+000

Final : San Jerónimo (1019 m.s.n.m) - km. 74+000

Descripción Ingenieril del Tramo en Estudio

Topografía : Accidentada.

Geología : Meteorismo físico, Rocas primarias y secundarias.

Hidrología : Demarcada por el Río Cañete que corre paralela a la carretera.

Geodinámica : Huaycos, erosión de los taludes del rio

Infraestructura Vial :

- Carretera a media ladera con mejoramiento superficial ,
- Anchos variables (3.2 – 6.6m).
- Tratamiento Superficial – Slurry Seal.
- Diseño geométrico no estandarizado.

- Drenaje superficial escaso – cunetas de tierra – alcantarillas artesanales.
- Moderada vegetación – áreas de cultivo en terrazas.
- Escasa protección de talud, considerando el recorrido del río Cañete.

Características de Diseño

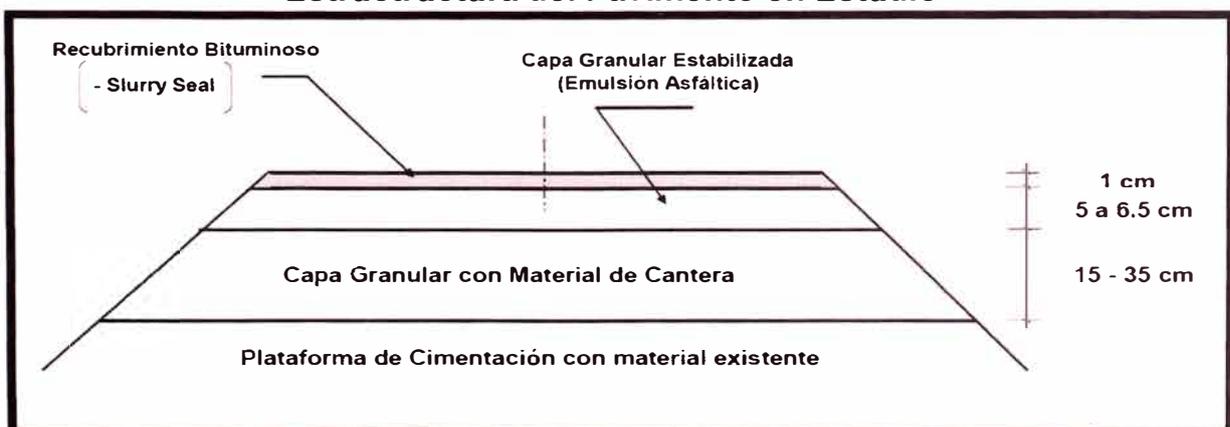
- **Años de Servicio** : Mas de 50 años
- **CBR** : 19 – 21
- **Ejes Proyectos** : $W18 = 1.69 * 10^6$

Figura N° 1.2
Ubicación detallada del tramo en estudio



(Fuente: adaptación propia)

Figura N° 1.3
Estructura del Pavimento en Estudio



(Fuente: Adaptación Ing. Jesús Velarde).

Como se observa en la figura la estructura del pavimento consta de una subrasante, subbase granular, base granular y un tratamiento superficial tipo Slurry (ligante asfáltico y arena).

1.5.- Definición del problema

a) Planteamiento del Problema

Los pavimentos durante su transitabilidad presentan diferentes deterioros en su estructura, provocando un comportamiento estructural deficiente, esto debido a una serie de problemas o causas, por lo cual se requiere de una metodología con la finalidad de tomar una medida correctiva.

b) Justificación

El equipo deflectómetro tipo Viga Benkelman método empírico, nos permite evaluar de manera sencilla, práctica y económica el comportamiento estructural de un pavimento.

1.6.- Objetivos

I. Objetivo General

- Evaluación estructural de la carretera mediante la medición de deflexiones.

II. Objetivos Específicos

- Evaluar estructuralmente el pavimento tomando medición de deflexiones con el equipo de la Viga Benkelman.
- Procesamiento de datos usando el método empírico.
- Análisis e interpretación de datos como herramienta en la toma de decisiones con fines de rehabilitación.

CAPITULO II ESTADO DEL ARTE

2.1.- Antecedentes de Evaluación Estructural con Viga Benkelman

2.1.1.- Antecedentes de la Viga Benkelman

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

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

En 1964 el profesor Dr. C. Ruíz propuso una fórmula analítica para el cálculo de refuerzos, basada en la deflexión del pavimento, que fue verificada con algunas experiencias. Simultáneamente, y basados exclusivamente en observaciones experimentales los franceses Lasalle y Languiner, llegaron a una ecuación equivalente. Posteriormente, en 1972 el Dr. Ruíz redactó el “Manual para el Proyecto de Obras de Mejoramiento de Pavimento Flexibles”, adoptado por la Dirección Nacional de Vialidad de Argentina.

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

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

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

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

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

El método de CONREVIAL, describe los procedimientos planteados y seguidos por los consultores para la evaluación de condición de pavimentos de tipo bituminoso, y para la elaboración de los diseños preliminares correspondientes a la rehabilitación de diversos tramos de la Red Básica Nacional; que comprende aproximadamente 800 kilómetros de estudio y que se hallan distribuidos en tres regiones naturales del país.

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

Figura N° 2.1

Alvin Benkelman - Prueba de la Viga Benkelman



(Fuente: Alvin Benkelman, 1962)

2.1.2 Equipos utilizados para la medición de deflexiones del pavimento

El análisis de las características estructurales del pavimento y el conocimiento de las propiedades resistentes de cada una de las capas en servicio, es la información relevante que proporciona estos equipos de evaluación mediante ensayo de carretera.

Viga Benkelman simple

- Determinación estática de la deflexión elástica recuperada del pavimento.
- Determinación de la deformada originada por la carga con relación al punto de medida fijo.

Figura N° 2.2
Viga Benkelman- Brazo simple



(Fuente: Adaptación Ing. José Melchor A.)

Viga Benkelman doble

La Viga doble permite registrar deflexiones simultáneas bajo el eje cargado y a 25 cm. El camión para la prueba debe transmitir 8.2 Tn. En el eje trasero.

Figura N° 2.3
Viga Benkelman - Brazo Doble



(Fuente: Adaptación Ing. Luisa Shuan.)

Refractómetro de impacto Dispositivo Falling Weight Deflectometer (FWD)

Mide deflexiones en el pavimento mediante la interpretación de las líneas de deformación de la estructura vial determina adecuadamente los módulos de elasticidad de las distintas capas del pavimento.

Figura N° 2.4

Dispositivo Falling Weight Deflectometer (FWD)



(Fuente: Adaptación Ing. José Melchor A.)

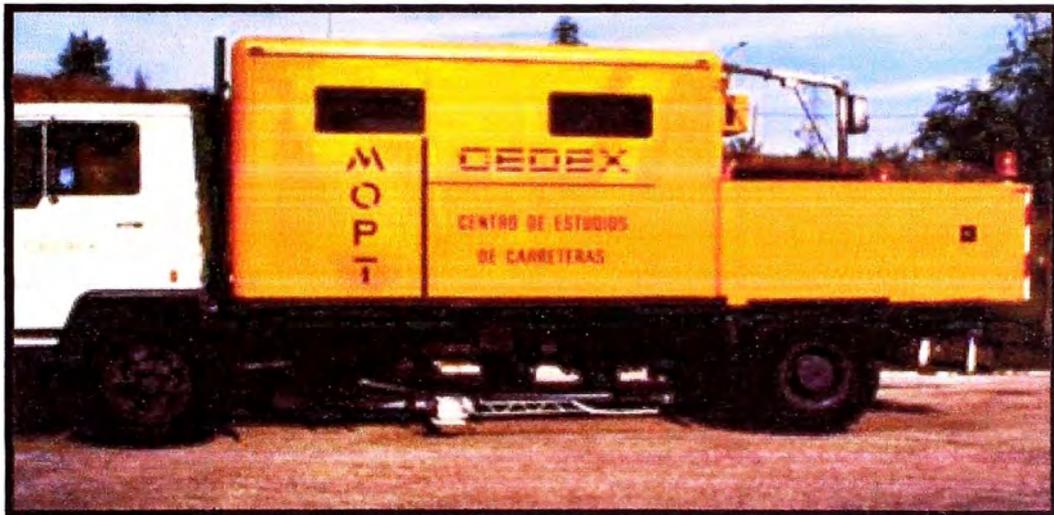
El tipo de equipo de medida más utilizado internacionalmente es el denominado Deflectómetro de Impacto o FWD (de sus siglas en inglés Falling Weight Deflectometer) que permite determinar no solo la deformación bajo el punto de carga o impacto, sino también en una serie de 9 puntos secuencialmente separados del punto inicial de ensayo a distancias de 21, 30, 60, 90, 120, 150, 180 y 210 milímetros. Con estas medidas se obtiene lo que se denomina "Cuenco de Deflexiones" o línea de influencia deformada. Esta información es mucho más precisa y útil que la obtenida por aparatos adicionales como Viga Benkelman, Deflectógrafos o Curviómetros.

Deflectógrafo tipo Lacroix

Medida y registro de las deflexiones de un pavimento de forma casi continua bajo la carga de un eje tipo de camión.

Obtención de la línea de influencia de la deflexión en cada punto de medida.

Figura N° 2.5
Deflectógrafo Tipo Lacroix,



(Fuente: Adaptación Ing. Wilfredo Gutiérrez Lázares.)

Deflectómetro de Impacto KUAB

- Evalúa la capacidad estructural de pavimento flexible, semirígido y rígido.
- Evalúa de la transferencia de cargas en juntas de pavimentos rígidos.
- Control de ejecución de coronación de explanada y capas granulares.

Figura N° 2.6
Deflectómetro de Impacto KUAB,



(Fuente: Adaptación Ing. Wilfredo Gutiérrez Lázares.)

CAPITULO III MARCO TEÓRICO

3.1.- Evaluación Estructural del Pavimento

La evaluación estructural de un pavimento comprende un complejo estudio analítico, cualitativo y cuantitativo, sobre su comportamiento en servicio, tanto en su aspecto superficial como el estructural, tiende a determinar no solo la naturaleza y alcance de las alteraciones de la superficie del pavimento, sino también los factores y causas que las producen y en qué medida ellos inciden en el origen de tales deficiencias.

Los factores y causas combinadas, solicitan al pavimento, que, como toda estructura, da respuestas cuya evaluación puede realizarse en base a los siguientes parámetros:

- Comodidad de manejo (rugosidad).
- Deterioro del pavimento (fallas).
- Seguridad (resistencia al deslizamiento).
- Capacidad estructural (deformabilidad).

La evaluación estructural consiste, básicamente, en la determinación de la capacidad portante del sistema pavimento sub rasante, 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.

3.2.- Evaluación Estructural no Destructiva

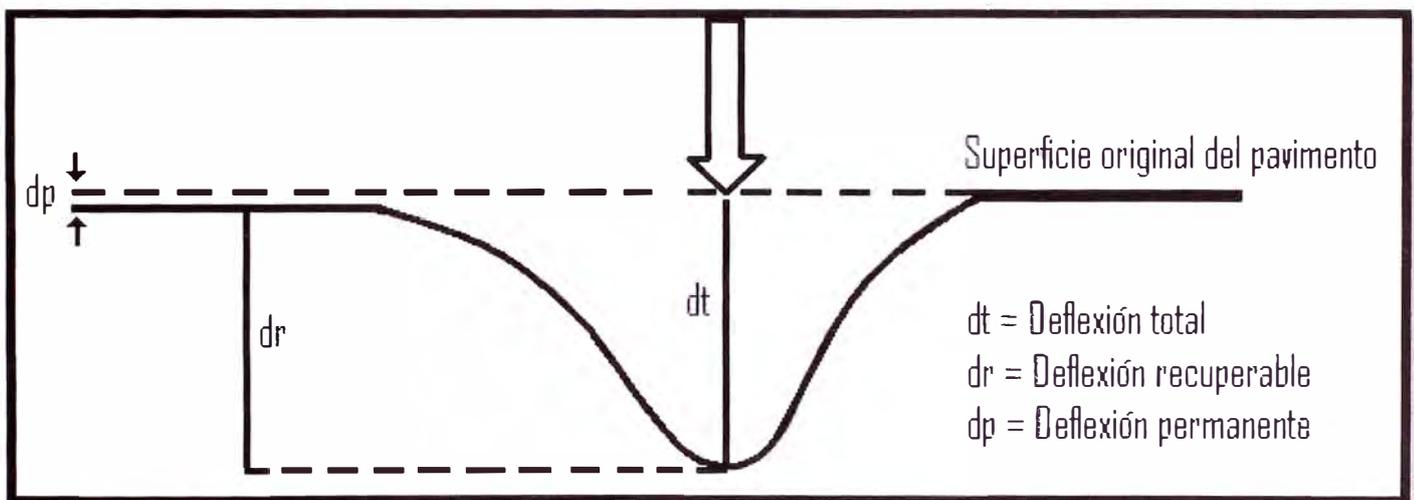
La alternativa presentada en este estudio es “no destructiva” y se basa en la interpretación de las deflexiones medidas en la superficie de un pavimento. Las deflexiones en la superficie de un pavimento reflejan una respuesta global del sistema pavimento subrasante bajo una carga dada. Su medición es simple, rápida, económica y no destructiva, es decir no se altera el equilibrio ni la integridad del sistema.

La metodología no destructiva es fundamentada en que la forma y dimensión de la curva de deflexión encierran una valiosa información acerca de la estructura del pavimento y su subrasante.

3.3.- Deflectometría método empírico

Los trabajos de rehabilitación de carreteras, demandan evaluaciones del tipo no destructivo (END), las mismas que durante los últimos años se han desarrollado mediante el empleo de la Viga Benkelman. Se debe tener en cuenta aspectos de suma importancia como la relación de brazos de palanca de los aguilones y a la aproximación de lecturas de los diales empleados.

Figura N° 3.1
Posición Original y la Deformada Producida por la Carga



(Fuente: Consorcio de Rehabilitación Vial CONREVIAL)

3.3.1 Fundamento Teórico

La Viga Benkelman mide la deflexión de un pavimento flexible bajo una carga dada. El dial indicador de lectura directa elimina la necesidad de las tablas de conversión o de efectuar cálculos en terreno.

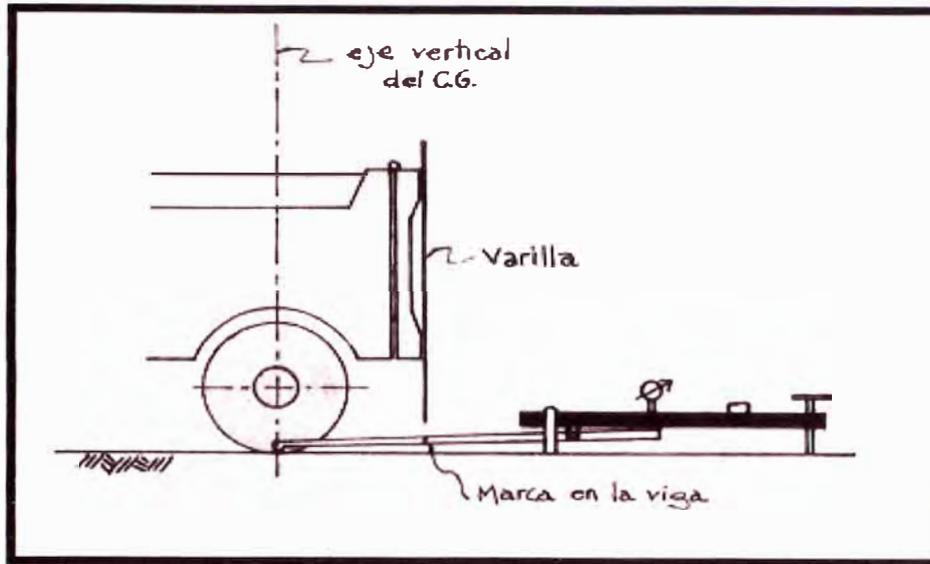
Para efectuar la medición de deflexiones a nivel de superficie de rodadura se emplea la Viga Benkelman bajo la carga de un eje posterior simple de llanta doble del orden de las 8.2 ton y presión de inflado de 80 PSI. La Viga Benkelman, que funciona como una palanca que rota alrededor de un eje fijo, fue usada para medir las deflexiones a varias distancias del eje de la carga (25, 40, 70 y Máxima) a fin de definir la curva de deflexiones. El esquema y principio de operación de la Viga Benkelman se muestra continuación:

a.- Esquema y principio de operación de la Viga Benkelman

El deflectómetro tipo Viga Benkelman funciona según el principio de la palanca. Es un instrumento completamente mecánico y de diseño simple. Según se esquematiza en la figura 3.2 (a), la Viga Benkelman consta esencialmente de dos partes: un cuerpo de sostén que se sitúa directamente sobre el terreno mediante tres apoyos (dos delanteros fijos "A" y uno trasero regulable "B") y un brazo móvil acoplado al cuerpo fijo mediante una articulación de giro o pivote "C", uno de cuyos extremos apoya sobre el terreno (punto "D") y el otro se encuentra en contacto sensible con el vástago de un extensómetro de movimiento vertical (punto "E"). Adicionalmente el equipo posee un vibrador incorporado que al ser accionado, durante la realización de los ensayos, evita que el indicador del dial se trabe y/o que cualquier interferencia exterior afecte las lecturas, como se verá más adelante.

La punta de la Viga Benkelman es colocada entre una de las llantas dobles del eje trasero de un camión cargado; por el peso aplicado se produce una deformación de la estructura del pavimento, consecuencia de lo cual la punta de la Viga Benkelman se desplaza una cierta cantidad, con respecto al nivel descargado de la superficie. Como efecto de dicha acción el brazo DE gira en torno al punto fijo "C", con respecto al cuerpo AB, determinando que el extremo "E" produzca un movimiento vertical en el vástago del extensómetro apoyado en él, generando así una lectura en el dial indicador. Si se retiran luego las llantas cargadas, del punto de prueba se recupera la estructura del pavimento en lo que a deformación elástica se refiere y por el mismo mecanismo anterior se genera otra lectura en el dial del extensómetro. La operación expuesta representa el "principio de medición" con la Viga Benkelman. Lo que se hace después son sólo cálculos en base a los datos recogidos. Así, con las dos lecturas obtenidas es posible determinar cuanto deflectó el pavimento en el lugar subyacente al punto "D" de la Viga, durante el procedimiento descrito. Es de anotar que en realidad lo que se mide es la recuperación de la deformada al remover la carga (rebote elástico) y no la deformación al colocar ésta. Para calcular la deflexión deberá considerarse la geometría de la Viga, toda vez que los valores dados por el extensómetro no están en escala real sino que dependen de la relación de brazos existentes (figura 3.2 b).

Figura N° 3.3
Esquema de operación de la Viga Benkelman



(Fuente: Adaptación Ing. José Melchor A.)

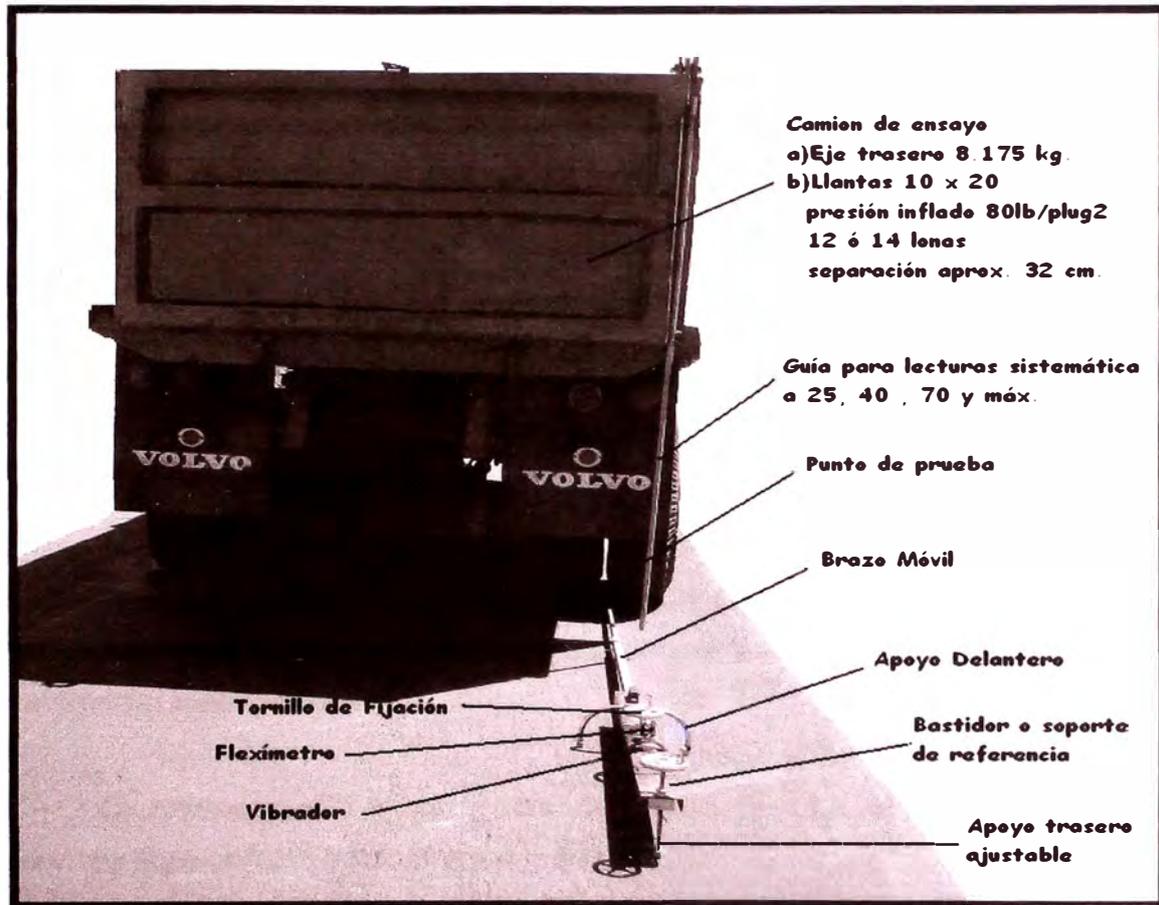
3.3.2 Equipo Requerido

- Una Viga Benkelman

Componentes principales: apoyo trasero ajustable, apoyo delantero, bastidor o soporte de referencia, vibrador, tornillo de fijación, extensómetro y brazo móvil.

- Un camión de eje simple para ensayo con las siguientes características.
El eje trasero pesará en la balanza 8.175 kilogramos, igualmente distribuidos en sus ruedas duales y estará equipado con llantas de caucho y cámaras neumáticas. Las llantas deberán ser 10" x 20"; 12 lonas e infladas a $5,6 \text{ kg/cm}^2$ (80 libras por pulgada cuadrada). La distancia entre los puntos medios de la banda de rodamiento de ambas llantas de cada rueda dual deber ser de 32 cm.
- Un medidor de presión de inflado.
- Un termómetro de 0 a 100 °C con divisiones cada grado.
- Un barreno para ejecutar orificios en el pavimento de 4 a 5 cm de profundidad y 10 a 15 mm de diámetro.
- Una Wincha de acero de 2 m.
- Un cronómetro.
- Una cinta métrica de acero de 2 m. y otra de 25 m.

Figura N° 3.4
Esquema de Equipo Requerido



(Fuente: adecuación propia)

3.3.3 Procedimiento del Ensayo

El procedimiento seguido durante la ejecución del ensayo es el siguiente:

- a. El punto del pavimento a ser ensayado deberá ser marcado convenientemente con una línea transversal al camino. Sobre dicha línea será localizado el punto de ensayo a una distancia prefijada del borde. Según cuadro N° 3.1.

Cuadro N° 3.1
Determinación de punto de ensayo

Ancho del carril	Distancia del punto de ensayo desde el borde del pavimento
2,70 m	0,45 m
3,00 m	0,60 m
3,30 m	0,75 m
3,60 m o más	0.90 m

(Fuente: Consorcio de Rehabilitación Vial CONREVIAL)

b. Las ruedas dual externas del camión volquete fueron colocadas sobre el punto seleccionado.

c. Para una correcta ubicación de la rueda dual se colocó en la parte trasera externa del camión una guía vertical en correspondencia con el eje de carga; desplazando suavemente el camión se hace coincidir la guía vertical con la línea transversal indicada en el punto anterior, de modo que simultáneamente el punto quede entre ambas cubiertas de la rueda dual.

d. Se coloca la Viga Benkelman sobre el pavimento, detrás del camión perpendicularmente al eje de carga de modo que la punta de prueba coincida con el punto de ensayo y la Viga no roce contra las cubiertas de la rueda dual.

e. Se retira la traba de la Viga Benkelman y la base se ajusta por medio del tornillo trasero de modo tal que el brazo de medición quede en contacto con el vástago del dial.

f. El extensómetro o se ajusta de modo tal que el vástago tenga un recorrido libre comprendido entre 4 y 6 mm.

Se gira la esfera del extensómetro hasta que la aguja quede en cero y se verifica la lectura golpeando suavemente con un lápiz y poniendo en marcha el vibrador de la regla. Girar la esfera si es necesario y repetir la operación hasta obtener la posición "0" (cero). El ensayo comenzará cuando se compruebe que dicha lectura permanece constante, asegurando el equilibrio del pavimento bajo carga. Las divisiones para medición que se especifican en el dial son de 0.01mm con un límite máximo de lectura de 25 mm.

g. Establecida la lectura inicial en cero, se hace avanzar suave y lentamente el camión hasta una distancia de 4 m. aproximadamente.

h. Con el objeto de recopilar información para la utilización del modelo de Hogg, se toman lecturas intermedias a fin de obtener la distancia a la cual la relación $DR/DO = 0.5$, en donde DO es la deflexión máxima y DR la deflexión medida a la distancia R. Puesto que el valor de la deflexión máxima no es conocido desde un inicio, con la finalidad de automatizar la obtención de DR se

realizan lecturas sistemáticas a 25, 40, 70 y Max. hasta que la lectura en el dial se estabilice. Al efectuar el ensayo de deflectometría, la recuperación del pavimento se lee en el dial mediante el giro de la aguja en sentido antihorario.

i. En todos los puntos de lectura del ensayo se tomaron los cuidados respectivos para que el dial se encuentre colocado y ajustado en forma correcta a la Viga Benkelman.

j. Se tomaron las medidas de seguridad respectivas para el traslado de la Viga Benkelman entre los puntos de evaluación, sobre todo para no dañar el dial; el cual fue retirado del equipo al concluir cada ensayo.

k. Con el fin de medir la temperatura del pavimento se practica un orificio (antes de comenzar el ensayo y simultáneamente con las tareas antes indicadas), con dimensiones promedio de 4 a 6 cm de profundidad emplazado sobre la línea demarcada.

l. Se llena con agua el orificio y, una vez pasado el tiempo necesario para permitir que el líquido adquiera la temperatura del pavimento, se inserta el termómetro y se lee la temperatura.

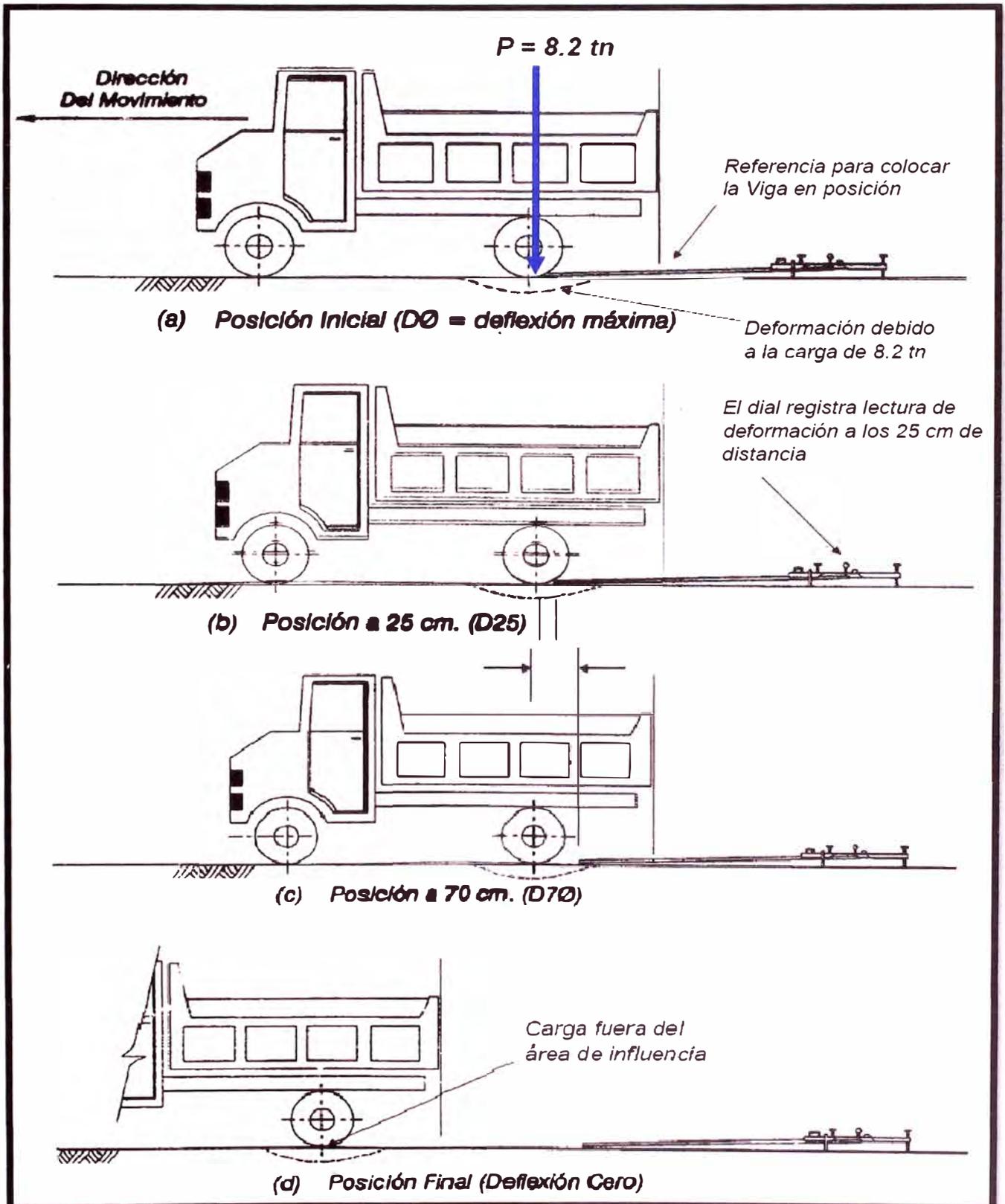
m. Se apaga el vibrador y traba la Viga, dando por finalizada la determinación de la deflexión recuperable.

3.3.4 Metodología de Análisis

La evaluación estructural del pavimento permite calcular la deformabilidad del paquete estructural mediante ensayos de deflexión, a partir de lo cual se establece la capacidad estructural del mismo. El sistema pavimento suelo de subrasante se deforma asumiendo una curva denominada curva de deflexión. En este caso tales medidas han sido tomadas con una Viga Benkelman de brazo simple.

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

Figura Nº 3.5
Metodología de Análisis de Deflexiones



(Fuente: Adaptación Ing. Ing. Wilfredo Gutiérrez Lázares)

3.3.5 Cálculo de las Deflexiones

El procedimiento para el cálculo de las deflexiones es simple. Para el caso de la deflexión máxima, se debe calcular la diferencia entre la lectura inicial y la lectura final. Para el caso de la deflexión a 25 cm, se debe encontrar la diferencia entre la lectura a 25 cm y la lectura final.

Las diferencias se multiplican por 4, debido a que la relación de brazos de la Viga Benkelman empleada es 1: 4.

a.- Corrección de las Deflexiones por efecto de la Temperatura

Para un pavimento dado, la magnitud de las deflexiones aumenta con un incremento en la temperatura de la carpeta, atribuido a una menor rigidez de la mezcla. Para corregir la deflexión por efecto de la temperatura, se aplica la siguiente fórmula:

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

Donde:

D_{20} : Deflexión corregida, a la temperatura estándar de 20° C (1/100 mm).

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

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

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

e : Espesor de la carpeta asfáltica (cm).

El rango de temperatura de trabajo, en el que se pueden llevar a cabo las mediciones, queda definido en la siguiente forma:

Límite inferior : 5° C

Límite superior :

- Concreto asfáltico que presenta la superficie libre de deformaciones, sellados, u otros tratamientos superficiales: 30 °C.
- Mezclas de baja estabilidad o no convencionales, o concretos asfálticos no incluidos en el caso anterior: máxima temperatura para la cual no se detecta deformación plástica entre ambas cubiertas de la rueda dual, menor o igual a 30 °C.
- Tratamientos superficiales bituminosos: 38 °C.

b.- Corrección de las Deflexiones 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° 3.2

Valores para la Corrección de Deflexiones por Estacionalidad

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

(Fuente: Consorcio de Rehabilitación Vial CONREVIAL)

3.3.6 Análisis de la Capacidad Estructural

a .-Determinación del Radio de Curvatura

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

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

$$R_c = \frac{3125}{(D_0 - D_{25})}$$

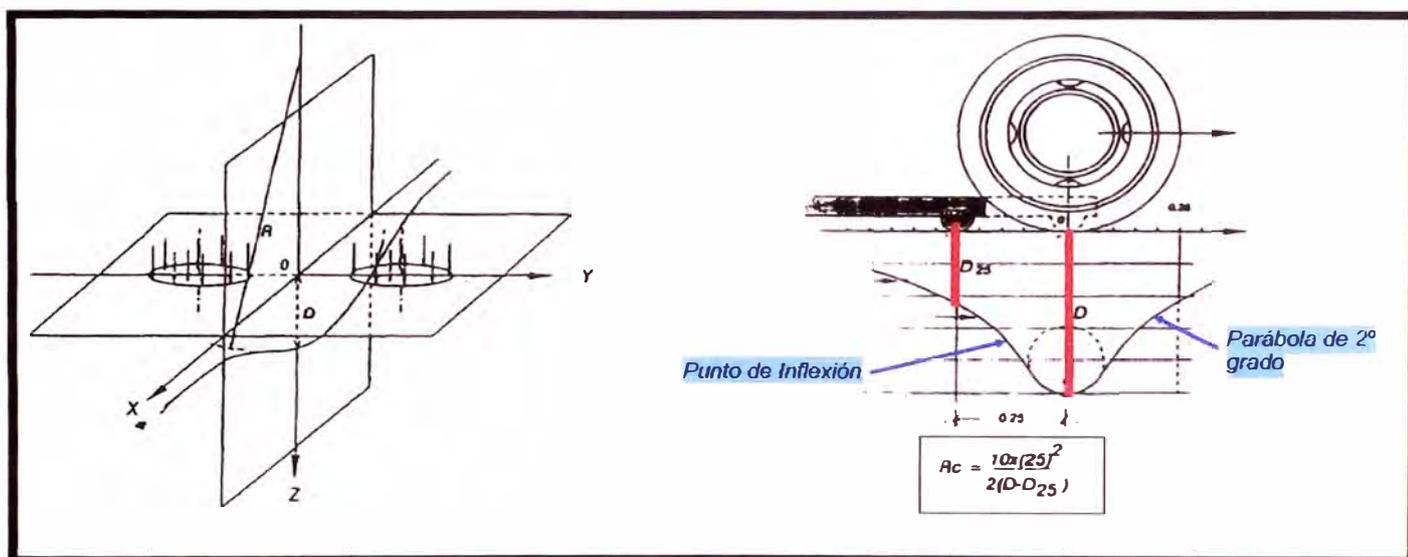
Donde:

R_c = Radio de curvatura en metros.

D_0 = Deflexión recuperable en el eje vertical de la carga, en centésimas de milímetros.

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

Figura N° 3.6
Determinación del Radio de Curvatura



(Fuente: Consorcio de Rehabilitación Vial CONREVIAl)

b.- Deflectograma

La introducción y generalización de las medidas de deflexiones a permitido un aporte de interés en el campo de la mecánica de calzadas al revelar la desuniformidad de su capacidad estructural, aún en aquellas consideradas como correctamente proyectadas y construidas, lo que obliga a su estudio con criterio probabilístico.

Una primera desuniformidad, en el sentido transversal se revela en muchos casos por las mayores deflexiones de la huella externa con respecto a la interna de un mismo carril, atribuidas principalmente a una reducción del confinamiento lateral asociada a la terminación del pavimento, y a condiciones más adversas de suelo, principalmente en lo que hace a su contenido de humedad y grado de densificación.

Por este motivo, la determinación se ha conducido en la huella externa del carril considerado crítico a una distancia del borde variable en función del ancho de la calzada, según las recomendaciones indicadas en la norma de ensayo.

La desuniformidad en el sentido longitudinal se revela en la gran dispersión de valores individuales, aún para determinaciones muy próximas entre sí, debido a la variabilidad de las propiedades de los materiales y del proceso constructivo.

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

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

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

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

- ✓ Diferenciar secciones de distinta capacidad estructural y/o comportamiento considerando deflexiones, fallas observadas y estructura del pavimento, las que son posteriormente procesadas estadísticamente.
- ✓ Eliminar valores extremos aislados, no representativos y que distorsionan los resultados.
- ✓ Obtenidos los parámetros estadísticos, ubicar las perforaciones requeridas para interpretar los resultados, en zonas representativas de mal comportamiento
- ✓ Delimitar secciones en las que se requiere intensificar los estudios o realizar estudios especiales.
- ✓ El deflectograma es empleado para juzgar la capacidad portante del pavimento, cuando se dispone de los resultados de todos los estudios llevados a cabo.

3.3.7 Análisis Estadístico de los Resultados

Los estudios de deflexiones recuperables han demostrado que las deflexiones medidas en una sección de pavimento, presentan una distribución de frecuencias que se asemejan a una distribución normal.

Por ende, a partir de las deflexiones individuales, asumiendo que se hallan distribuidas de acuerdo a la ley de Gauss se han determinado la deflexión media (\bar{D}), el desvío cuadrático medio o desviación estándar (σ) y el coeficiente de variación (C_v), usando las siguientes expresiones; donde “n” es el número de determinaciones:

$$\bar{D} = \frac{\sum_{i=1}^n D_i}{n} \qquad \sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (D_i - \bar{D})^2}{(n-1)^*}} \qquad C_v = \frac{\sigma}{\bar{D}} \times 100$$

(* n para n > 30)

Dado que la desviación estándar aumenta con un incremento de las deflexiones, y mayores deflexiones están asociadas a pavimentos más débiles, puede concluirse que estos son en general más variables, y que la deflexión de diseño, cuando se utiliza en algún método para el cálculo del refuerzo, debe basarse tanto en la deflexión media como en la dispersión.

Para diseño se emplea la deflexión característica, valor que representa mejor a una determinada sección; siguiendo el criterio adoptado normalmente en análisis estadístico, se puede establecer como deflexión característica el valor:

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

Donde:

D_c = Deflexión Característica.

\bar{D} = Deflexión promedio de los valores individuales de D_o , corregidos por temperatura y estacionalidad.

t = Coeficiente que representa al porcentaje del área total con probabilidad de presentar deflexiones superiores a la deflexión característica D_c (anexo N° 04).

σ = Desviación estándar.

Considerando que cada deflexión media representa una cierta extensión o área de pavimento, cada valor de “t” corresponderá a un porcentaje del área total con probabilidad de presentar deflexiones superiores a las características D_c correspondiente.

En el caso del diseño de un refuerzo, el espesor deberá ser tal que solo una pequeña área resulte infradiseñada. La elección del valor de t es una decisión técnico económica que dependerá del número de determinaciones, del grado de confiabilidad, de la relación entre costos de mantenimiento y de rehabilitación, de

la variabilidad de capacidad estructural o constructiva, del tráfico, ubicación e importancia de la carretera, etc.

El método CONREVIAl adopta un valor de D_c igual a $(D+1.645\sigma)$ que corresponde al 95% de probabilidad de diseño, superada sólo por el 5% de las determinaciones efectuadas.

Otro valor importante es la deflexión admisible (D_{adm}). Esta deflexión corresponde a aquella que alcanzará el pavimento al final del tiempo de diseño. Por lo tanto esta deflexión se calcula considerando la sollicitación de cargas para ese tiempo de diseño, representado en el valor "N" de ejes equivalentes acumulados hasta el último día de servicio. Luego la expresión será:

$$D_{adm} = \sqrt[4]{\frac{1.15}{N}}$$

Donde:

N: Número de ejes estándares equivalentes de 8,2 toneladas acumuladas en el período de diseño.

D_{adm} : Deflexión característica admisible (inicial) en mm.

Los valores de N resultan del estudio de tránsito, lo cual integra conteos de vehículos, campaña de pesaje de los vehículos pesados para la determinación del coeficiente de agresividad o factores destructivos y varias tasas de crecimiento anual del tránsito.

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, 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).

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

D_h : Deflexión característica luego del refuerzo (1/100mm); (D_{adm} de diseño)

R : Coeficiente con dimensiones de un espesor.

Estos espesores se determinarán con la fórmula ya mencionada, utilizando 18 como valor del coeficiente R recomendado por CONREVIAl.

3.4.- Juicio sobre la Capacidad Estructural

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

Como resultado de este análisis, se llega a:

- ✓ Establecer la necesidad y tipo de rehabilitación requerida, distinguiéndose tres situaciones representativas que pueden resumirse en:
 - Estructura adecuada : requiere mejora superficial.
 - Estructura fatigada : requiere un refuerzo estructural.
 - Estructura deficiente : requiere reconstrucción parcial o total.
- ✓ Establecer el parámetro predominante y/o método que se empleara para el diseño de las obras de rehabilitación.
- ✓ La estimación de la vida útil remanente o residual de la estructura del pavimento.

En relación a los criterios a emplear para llegar a tal Juicio se pueden distinguir tres tipos de análisis.

- ✓ Comparación empírica entre una medida de comportamiento o respuesta y un criterio admisible calculado, usualmente determinado del análisis de capas elásticas y generalmente en términos de deflexión o esfuerzos.
- ✓ Consideración de la información observada a través de un método de diseño de pavimentos nuevos, para estimar la vida útil o la capacidad estructural remanente.
- ✓ Combinación de métodos, usando ensayos de materiales que proveen los datos para un análisis teórico de fatiga, de las medidas de comportamiento obtenidos y para poder establecer un criterio de limitación.

3.4.1- Criterios Adoptados

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

- ✓ La apariencia de la superficie en relación a la observación de fallas (particularmente de carácter estructural) de acuerdo a los resultados de inspección visual.
- ✓ La deflexión recuperable del pavimento, como parámetro indicativo de la respuesta mecánica del mismo, complementando con el radio de curvatura de la deflexión.
- ✓ La estructura del pavimento, determinada en base a los sondeos y antecedentes disponibles, que implica una compleja relación entre espesores y calidad de las capas del pavimento, calidad del suelo de la subrasante, drenaje, etc., y que se resume en si la misma responde a un diseño estructural adecuado o no.

El análisis es llevado a cabo para las secciones homogéneas (homogéneas según los factores indicados) que se han diferenciado en un tramo; para cada una de ellas se determinará una solución.

3.4.2- Casos Típicos

Básicamente, la diferenciación de casos típicos según dicho procedimiento puede llevarse a cabo relacionando las respuestas a las siguientes preguntas:

1. ¿La deflexión característica de diseño resulta superior, igual ó inferior a la admisible para el tránsito previsto?
2. ¿Hay fallas de origen estructurales o se limitan a fallas superficiales? ¿de qué tipo?
3. ¿Existe una capa débil inmediatamente debajo de las capas asfálticas?

a.- Primer Caso.-

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

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

b.- Segundo Caso.-

La característica que lo diferencia del primer caso, es la generalización del desarrollo de fallas estructurales, la deflexión característica es superior a la admisible y los radios de curvatura son pequeños.

Es un caso donde no se han tomado a tiempo las medidas necesarias y las deflexiones son empleadas para el cálculo de refuerzo. Sin embargo para valores altos ($D > D_{adm}$) pueden objetarse su utilización en razón de que:

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

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

c.- Tercer Caso.-

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

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

d.- Cuarto Caso.-

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

e.- Quinto Caso.-

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

3.4.3- Deflexiones Tolerables

De las consideraciones expuestas se deduce la importancia de determinar un rango de deflexiones permisibles o tolerables que garanticen un comportamiento satisfactorio del pavimento, en relación con el tráfico que debe soportar.

En cierta medida la vinculación no depende solo de la intensidad del tránsito sino de otros factores como tipo de estructura, características y espesores de los materiales, condiciones ambientales y del criterio adoptado para definir la condición de falla o servicio insatisfactorio.

La relación deflexión - tránsito constituye la base de las metodologías empíricas de gran difusión por su simplicidad, y las observaciones expuestas no alcanzan a desmerecer su aplicación sino que señala la necesidad de un análisis previo cuando se trata de trasponer experiencias propias de otras regiones.

Un análisis de la literatura existente indica que la vida de servicio de un pavimento, hasta que alcanza un comportamiento crítico, es inversamente proporcional a la deflexión del mismo, verificándose una relación que puede definirse a través de la siguiente ecuación.

$$N = \frac{k_1}{D^{k_2}}$$

Donde:

N = Representa el numero de ejes equivalentes.

D = Deflexión del pavimento, y

K1, k2 = Coeficientes, que de acuerdo a investigaciones para el método del Dr. Ruíz los valores de K1= 1.15, K2 = 4.

El comportamiento actual del pavimento se podrá calificar como satisfactorio, si se cumple que:

- a. Los valores de radio de curvatura calculados son mayores de 100 m (Rci > 100 m).
- b. El radio de curvatura promedio está comprendido entre 300 - 500 m (300 < Rc < 500).

CAPITULO IV .- APLICACIÓN AL TRAMO KM. 69+000 – KM. 74+000

4.1- Recopilación de Datos

a. Información básica de área de estudio

Fecha	: 03 de octubre del 2009
Tramo evaluado	: km. 69+000 – km. 74+000
Tramo representativo	: km. 71+500 – km. 71+900
Carril	: Izquierdo
Capa	: Recubrimiento superficial Slurry Seal
Relación de Brazos	: 1:4
Ancho de carril	: Variable 3.80 m – 10.00 m (un solo carril).
Estacionalidad	: Estación Seca

b.- Datos de ensayo de campo

La recopilación de datos se realizó de acuerdo al procedimiento descrito para la ejecución del ensayo del tipo Viga Benkelman.

Cuadro N° 4.1

Datos de campo obtenidos del ensayo de Viga Benkelman

Estaca (km)	Lecturas de Campo (10 ⁻³ pulg)				Espesor (m)	Temp (°C)
	L ₂₅	L ₄₀	L ₇₀	L _{max}		
71+500	6.00	8.00	10.00	12.00	0.011	40.0
71+600	8.00	14.00	16.00	18.00	0.012	40.0
71+700	8.00	12.00	16.00	22.00	0.013	39.0
71+800	6.00	8.00	10.00	12.00	0.007	43.0
71+900	8.00	14.00	18.00	20.00	0.006	44.0

(Fuente: Trabajo de campo elaborado para el Informe de Suficiencia)

4.2- Procesamiento de Datos

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. Las diferencias se multiplican la relación de brazos de la Viga Benkelman.

4.2.1 Cálculo de las Deflexiones

Cuadro N° 4.2
Cálculo de Deflexiones

MEDICIÓN DE DEFLEXIONES CON VIGA BENKELMAN											
TRAMO		: Km		Km		OPERADOR		: F. VARGAS M.			
		069+000		- 074+000		CARRIL		: Derecho			
CAPA		: Recubrimiento Superfical		Slurry Seal		RELACIÓN VP		: 4:1			
						FECHA		: 03/10/2009			
Estaca (km)	Lecturas de Campo (10 ⁻³ pulg)				Espesor (m)	Ahuellamiento (mm)			Temp (°C)	RESULTADOS DEFLECTOMÉTRICOS	
	L ₂₅	L ₄₀	L ₇₀	L _{max}		Ahue 1	Ahue 2	Prom		Deflexiones Corregidas	
										D ₂₅ x 10 ⁻² mm	D _{MAX} x 10 ⁻² mm
71+500	6	8	10	12					24.0	48.0	
71+600	8	14	16	18					40.0	72.0	
71+700	8	12	16	22					56.0	88.0	
71+800	6	8	10	12					24.0	48.0	
71+900	8	14	18	20					48.0	80.0	

(Fuente: Cálculos desarrollados para el Informe de Suficiencia)

a.- Corrección de las Deflexiones por efecto de la Temperatura

Cuadro N° 4.3
Cálculo de deflexiones corregido por temperatura

MEDICIÓN DE DEFLEXIONES CON VIGA BENKELMAN											
TRAMO		: Km		Km		OPERADOR		: F. VARGAS M.			
		069+000		- 074+000		CARRIL		: Derecho			
CAPA		: Recubrimiento Superfical		Slurry Seal		RELACIÓN VP		: 4:1			
						FECHA		: 03/10/2009			
Estaca (km)	Lecturas de Campo (10 ⁻³ pulg)				Espesor (m)	Ahuellamiento (mm)			Temp (°C)	RESULTADOS DEFLECTOMÉTRICOS	
	L ₂₅	L ₄₀	L ₇₀	L _{max}		Ahue 1	Ahue 2	Prom		Deflexiones Corregidas	
										D ₂₅ x 10 ⁻² mm	D _{MAX} x 10 ⁻² mm
71+500	6	8	10	12	0.011			40	23.5	47.0	
71+600	8	14	16	18	0.012			40	39.1	70.3	
71+700	8	12	16	22	0.013			39	54.7	85.9	
71+800	6	8	10	12	0.007			43	23.6	47.2	
71+900	8	14	18	20	0.006			44	47.3	78.9	

(Fuente: Cálculos desarrollados para el Informe de Suficiencia)

b.- Corrección de las Deflexiones por Estacionalidad

Factor de estacionalidad 1.2

Cuadro N° 4.4

Cálculo de Deflexiones Corregido por Temperatura Y Estacionalidad

MEDICIÓN DE DEFLEXIONES CON VIGA BENKELMAN												
TRAMO	: Km		Km						OPERADOR	: F. VARGAS M.		
CARRIL	: Derecho								RELACIÓN VP	: 4:1		
CAPA	: Recubrimiento Superficial Slurry Seal								FECHA	: 03/10/2009		
Estaca (km)	Lecturas de Campo (10 ⁻³ pulg)				Espesor (m)	Ahuellamiento (mm)			Temp (°C)	RESULTADOS DEFLECTOMÉTRICOS		
	L ₂₅	L ₄₀	L ₇₀	L _{max}		Ahue 1	Ahue 2	Prom		Deflexiones Corregidas		
										D ₂₅ x 10 ⁻² mm	D _{MAX} x 10 ⁻² mm	
71+500	6	8	10	12	0.011				40	28.2	56.4	
71+600	8	14	16	18	0.012				40	46.9	84.4	
71+700	8	12	16	22	0.013				39	65.6	103.1	
71+800	6	8	10	12	0.007				43	28.3	56.7	
71+900	8	14	18	20	0.006				44	56.8	94.6	

(Fuente: Cálculos desarrollados para el Informe de Suficiencia)

4.2.2 Análisis de la Capacidad Estructural

Se procede a determinar los radios de curvatura para realizar los análisis de la capacidad estructural.

a .-Determinación del Radio de Curvatura

Cuadro N° 4.5

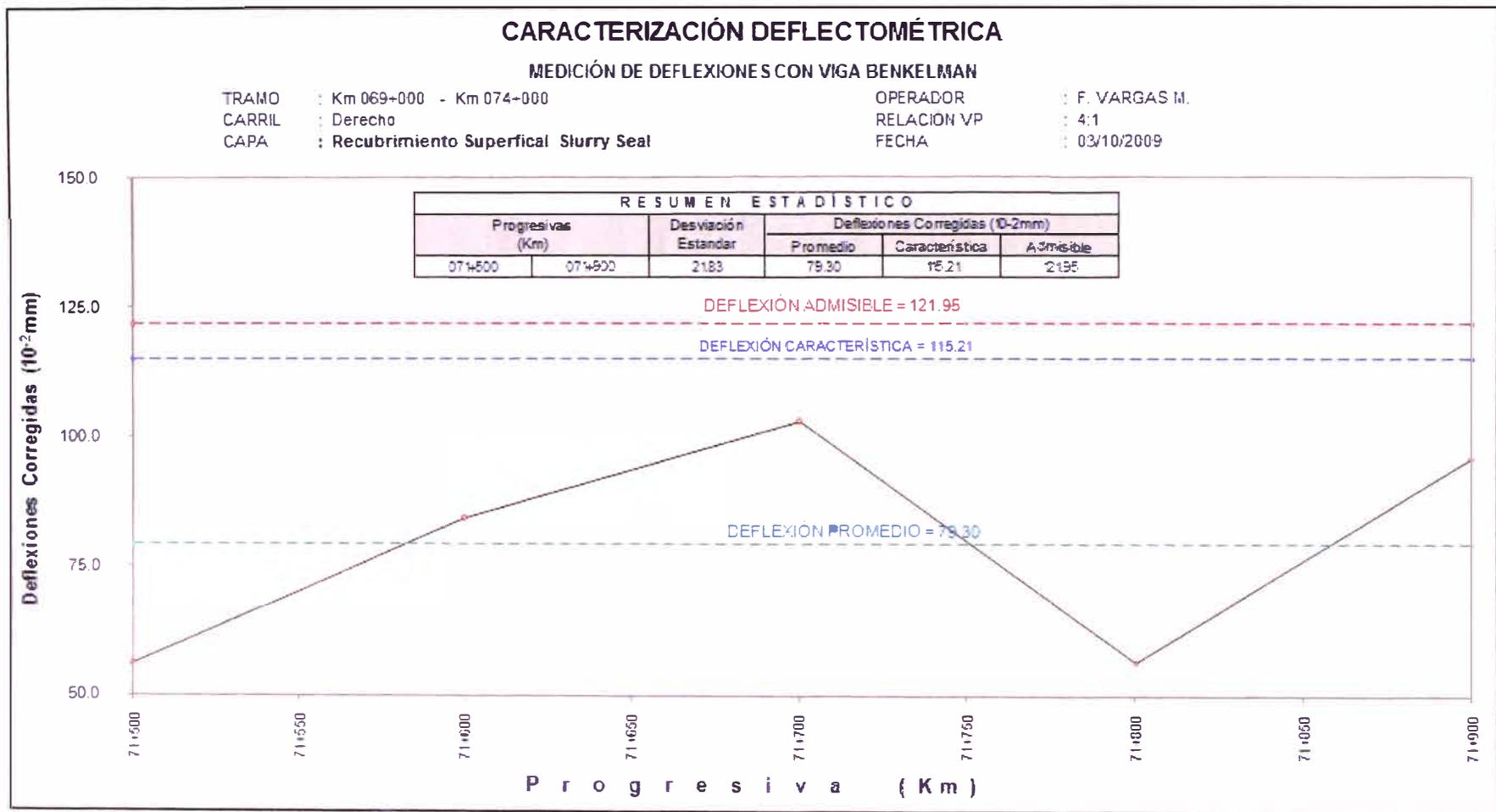
Cálculo de Radio de Curvatura

MEDICIÓN DE DEFLEXIONES CON VIGA BENKELMAN												
TRAMO	: Km		Km						OPERADOR	: F. VARGAS M.		
CARRIL	: Derecho								RELACIÓN VP	: 4:1		
CAPA	: Recubrimiento Superficial Slurry Seal								FECHA	: 03/10/2009		
Estaca (km)	Lecturas de Campo (10 ⁻³ pulg)				Espesor (m)	Ahuellamiento (mm)			Temp (°C)	RESULTADOS DEFLECTOMÉTRICOS		Radio Curvatura (m)
	L ₂₅	L ₄₀	L ₇₀	L _{max}		Ahue	Ahue	Prom		Deflexiones Corregidas		
										D ₂₅ x 10 ⁻² mm	D _{MAX} x 10 ⁻² mm	
71+500	6	8	10	12	0.011				40.0	28.18	56.4	110.9
71+600	8	14	16	18	0.012				40.0	46.88	84.4	83.3
71+700	8	12	16	22	0.013				39.0	65.58	103.1	83.4
71+800	6	8	10	12	0.007				43.0	28.34	56.7	110.3
71+900	8	14	18	20	0.006				44.0	56.78	94.6	82.6

(Fuente: Cálculos desarrollados para el Informe de Suficiencia)

b.- Deflectograma

Figura N° 4.1
Gráfico de Deflectograma



4.2.3 Análisis Estadístico de los Resultados

Cálculo de la deflexión característica, deflexión promedio y desviación estándar periodo de diseño de 5 años

Cuadro N° 4.6
Cálculo de la Deflexión Característica, Deflexión Promedio y Desviación Estándar

Tramo Total	Deflexiones
Deflexión Mínimo	56.36
Deflexión Máximo	103.05
Deflexión Promedio \bar{D}	79.30
Desviación Estándar σ	21.83
Desviación Característico D_0	115.21

(Fuente: Cálculos desarrollados para el Informe de Suficiencia)

Cálculo de la deflexión admisible

De acuerdo al estudio realizado por el Consorcio de Gestion de Carreteras , el valor de los Ejes Proyectados : $W18 = 1.1 * 10^6$

Cálculo de la deflexión admisible

Cuadro N° 4.7
Cálculo de la Deflexión admisible

RESUMEN ESTADÍSTICO					
Progresivas (Km)		Desviación Estándar	Deflexiones Corregidas (10^{-2} mm)		
			Deflexión Promedio	Deflexión Característica	Deflexión Admisible
071+500	071+900	21.83	79.30	115.21	121.95

(Fuente: Cálculos desarrollados para el Informe de Suficiencia).

CAPITULO V.- ANÁLISIS DE RESULTADOS

5.1.- Alternativas de solución

Para determinar las alternativas de solución se procede primero a un análisis del comportamiento de la capacidad estructural.

De acuerdo a este análisis de la información obtenida y de sintetizar los resultados, llegamos a ubicar en el tercer caso típico, donde la deflexión característica es menor que la deflexión admisible, la cual indica que existe falla de origen estructural por fatiga.

Se podrá calificar como satisfactorio, si se cumple que:

- a) Los valores de radio de curvatura calculados son mayores de 100 m ($R_{ci} > 100$ m).

Cuadro N° 5.1
Verificación de radios de curvatura

Radio Curvatura (m) Calculado	Valores de Radios de curvatura $R_{ci} > 100$ m
110.9	Cumple
83.3	No Cumple
83.4	No Cumple
110.3	Cumple
82.6	No cumple

(Fuente: Cálculos desarrollados para el Informe de Suficiencia)

- b. El radio de curvatura promedio está comprendido entre 300-500 m ($300 < R_c < 500$).

El radio de curvatura promedio es igual a $R_c = 93.85$ el cual no se encuentra dentro del rango establecido.

Posibles actividades a proponer

Debe prestarse atención de que no exista inmediatamente debajo del recubrimiento superficial de Slurry Seal un espesor de capa de base degradada y/o con elevado contenido de humedad.

De acuerdo a los cálculos realizados se observa que en el hito km. 71+700, el radio de curvatura es menor que la deflexión originada el efecto de la capa débil, para lo cual se recomienda una reconstrucción o un refuerzo estructural.

Empleamos el método de cálculo del espesor de refuerzo, formulado por el Dr. Ruiz (Argentina).

Para los valores de:

$R = 18$ (valor recomendado por CONREVIAl)

$D_c = 115.21$ (1/100mm)

$D_{adm} = 101.12$ (1/100mm)

Reemplazando los valores podemos obtener el valor de $h =$ espesor de refuerzo.

$$h = \frac{18}{0.434} \log \left(\frac{115.21}{101.12} \right)$$

$h = 2.35$ cm altura de refuerzo (1").

En este contexto, se interpreta que aquellas secciones que indican una vida remanente de 2 a 5 años demandan una rehabilitación, con riesgo, en caso de ser postergada por el cambio de estación (época de lluvia).

5.2.- Interacción con otros tramos

a. Información básica de área de estudio

Fecha	: 03 de octubre del 2009
Tramo evaluado	: km. 59+000 – km. 104+000
Carril	: Izquierdo
Capa	: Recubrimiento superficial Slurry Seal
	: Recubrimiento superficial Monocapa
Relación de Brazos	: 1:4

5.2.1 Cálculo de las Deflexiones

Cuadro N° 5.2
Cálculo de las Deflexión

MEDICIÓN DE DEFLEXIONES CON VIGA BENKELMAN										
TRAMO Km. 59+000 km. 104+000					OPERADOR					
CARRIL : Derecho					RELACIÓN VP : 1.4					
CAPA : Recubrimiento Superficial Slurry Seal y Monocapa					FECHA : 03/10/2009					
Estaca (km)	Lecturas de Campo (10 ⁻³ pulg)				Espesor (m)	Sector	Temp (°C)	RESULTADOS DEFLECTOMÉTRICOS		Radio Curvatura (m)
	L ₂₅	L ₄₀	L ₇₀	L _{max}				Deflexiones Corregidas		
								D ₂₅ x 10 ⁻² mm	D _{MAX} x 10 ⁻² mm	
59+300	6	12	16	28	0.010	SLURRY SEAL	29.0	104.7	133.2	109.5
59+400	8	14	16	18	0.007		38.0	47.4	85.3	82.4
59+500	8	12	16	18	0.006		44.0	47.3	85.2	82.6
59+600	8	10	16	20	0.008		44.0	56.5	94.2	82.9
59+700	10	14	14	20	0.007		46.0	47.1	94.3	66.3
59+800	12	20	22	26	0.007		48.0	65.9	122.4	55.3
59+900	8	12	18	20	0.006		48.0	56.6	94.4	82.7
60+000	12	16	24	26	0.009		49.0	65.5	121.6	55.7
60+100	14	32	34	36	0.006		49.0	103.8	169.8	47.3
60+200	14	34	36	38	0.006		48.0	113.3	179.4	47.3
60+300	16	32	44	48	0.005		40.0	152.1	228.1	41.1
66+600	8	14	26	32	0.014		43.0	111.6	148.8	84.0
66+700	6	8	10	12	0.007		44.0	28.3	56.6	110.3
66+800	4	6	8	10	0.014		44.0	27.9	46.4	168.2
66+900	10	14	16	18	0.020		44.0	36.6	82.4	68.2
67+000	6	8	10	12	0.009		46.0	28.1	56.3	111.0
71+500	6	8	10	12	0.011		40.0	28.2	56.4	110.9
71+600	8	14	16	18	0.012		40.0	46.9	84.4	83.3
71+700	8	12	16	22	0.013		39.0	65.6	103.1	83.4
71+800	6	8	10	12	0.007		43.0	28.3	56.7	110.3
71+900	8	14	18	20	0.006		44.0	56.8	94.6	82.6
76+600	8	16	22	24	0.015		49.0	73.6	110.4	84.9
76+700	8	16	22	24	0.010		48.0	74.7	112.1	83.7
76+800	4	8	10	12	0.008		50.0	37.5	56.3	166.7
76+900	8	12	16	18	0.020		50.0	45.3	81.5	86.3
77+000	8	12	16	18	0.016		52.0	45.7	82.2	85.5
80+100	6	10	14	18	0.013		55.0	55.1	82.6	113.4
80+200	8	12	20	26	0.009		52.0	84.0	121.3	83.7
80+300	10	16	24	30	0.011	56.0	92.3	138.5	67.7	
80+400	8	18	24	26	0.011	56.0	83.1	120.0	84.6	
80+500	12	18	28	32	0.011	54.0	92.5	148.1	56.3	
84+600	6	12	14	18	0.011	54.0	55.5	83.3	112.6	
84+700	4	6	8	8	0.009	56.0	18.6	37.2	168.0	
84+800	6	8	14	14	0.012	57.0	36.8	64.3	113.3	
84+900	8	12	18	20	0.013	60.0	54.8	91.3	85.6	
85+000	8	10	14	16	0.013	61.0	36.5	72.9	85.7	
91+100	10	16	20	22	0.009	54.0	55.9	102.5	67.1	
91+200	8	14	20	22	0.011	53.0	64.8	101.9	84.3	
91+300	8	14	18	24	0.007	53.0	75.1	112.6	83.3	
91+400	12	16	20	48	0.009	54.0	167.7	223.6	55.9	
91+500	8	14	16	20	0.012	54.0	55.3	92.2	84.7	
97+800	20	28	40	50	0.004	52.0	142.2	237.0	33.0	
97+900	12	18	20	22	0.004	55.0	47.3	104.1	55.0	
98+000	8	12	14	16	0.004	57.0	37.8	75.7	82.6	
98+100	8	10	12	14	0.005	58.0	28.3	65.9	82.9	
98+200	14	24	28	30	0.005	50.0	75.7	141.9	47.2	
100+500	8	10	14	16	0.006	52.0	37.7	75.4	82.9	
100+600	12	14	20	22	0.007	53.0	46.9	103.2	55.5	
100+700	8	10	12	12	0.010	54.0	18.6	55.7	84.1	
100+800	12	14	32	44	0.007	54.0	150.0	206.3	55.5	
100+900	12	20	24	28	0.008	54.0	74.8	130.8	55.7	
101+000	8	20	28	30	0.010	52.0	102.3	139.5	84.0	

(Fuente: Cálculos desarrollados para el Informe de Suficiencia)

5.2.2.- Análisis Estadístico de los Resultados

Cuadro N° 5.3

Cálculo de la Deflexión Promedio, Deflexión Característica y Desviación Estándar.

Tramo Total	Deflexiones (10 ⁻² mm)		
	Slurry Seal	Monocapa	Monocapa + Slurry Seal
Mínimo	46.44	37.19	55.71
Máximo	228.12	236.97	206.29
Promedio	102.16	110.85	113.81
Desviación	43.08	49.57	53.55
Coefi Variación	0.42	0.45	0.47
Característico	173.02	192.38	201.91

(Fuente: Cálculos desarrollados para el Informe de Suficiencia)

De acuerdo al estudio realizado por el Consorcio de Gestión de Carreteras, el valor de los Ejes Proyectados : $W18 = 1.1 * 10^6$

Cálculo de la deflexión admisible

Cuadro N° 5.4

Calculo de la Deflexión admisible

RESUMEN ESTADÍSTICO						
Sector	Progresivas (Km)		Desviación Estándar	Deflexiones Corregidas (10-2mm)		
				Promedio	Característica	Admisible
Slurry Seal	059+300	077+000	43.08	102.16	173.02	90.82
Monocapa	080+100	098+200	49.57	110.85	192.38	90.82
Monocapa + Slurry Seal	100+500	101+000	53.55	113.81	201.91	90.82

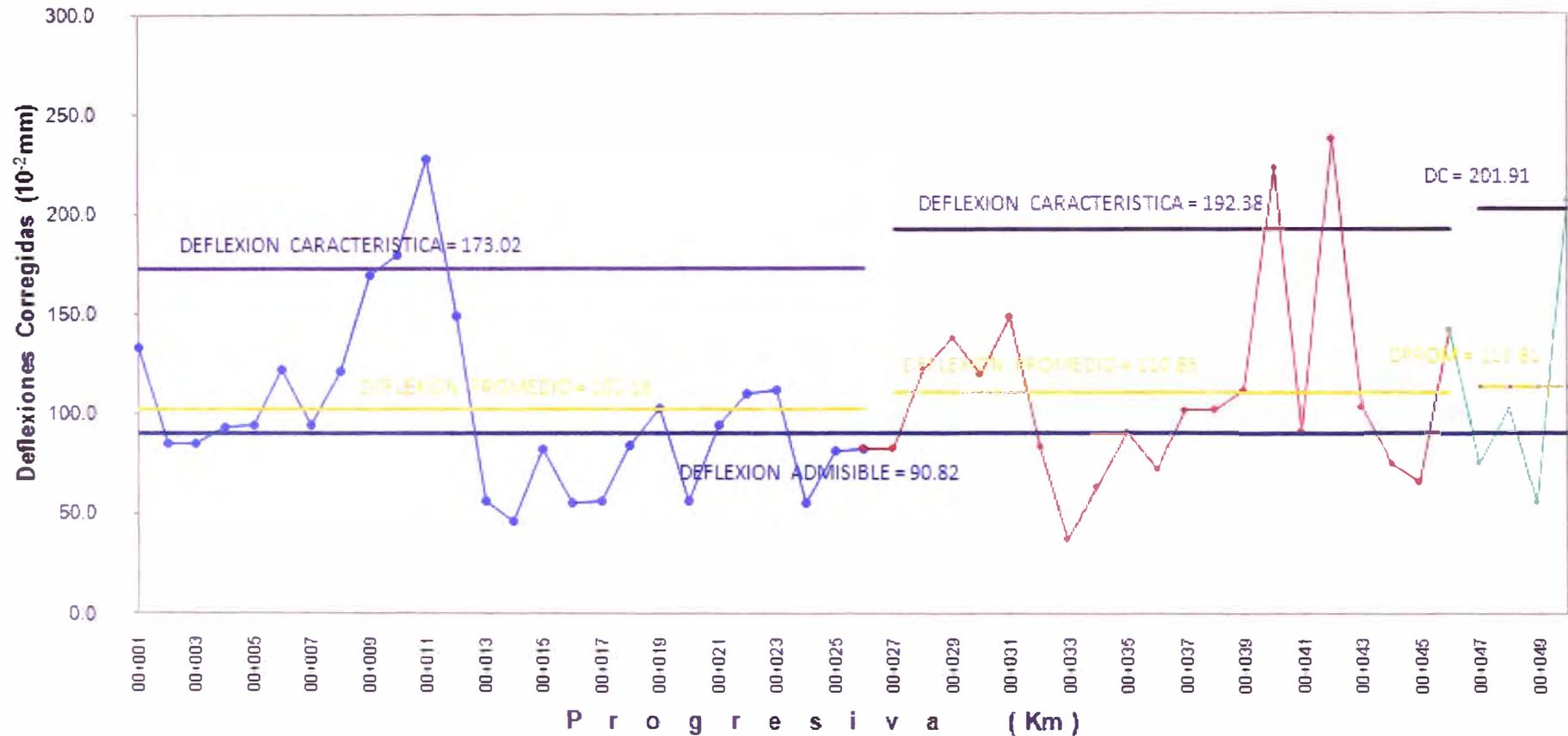
(Fuente: Cálculos desarrollados para el Informe de Suficiencia)

Figura N° 5.1
Deflectograma del tramo Km. 59+000 – Km. 104+000

CARACTERIZACIÓN DEFLECTOMÉTRICA

MEDICIÓN DE DEFLEXIONES CON VIGA BENKELMAN

TRAMO	Km. 59+000	km. 104+000	OPERADOR	...
CARRIL	: Derecho		RELACIÓN VP	█ 1.4
CAPA	: Recubrimiento Superficial Slurry Seal y Monoc		FECHA	: 03/10/2009



CONCLUSIONES

- ✓ En lo concerniente a la recopilación de datos de campo se destaca que el proceso de medición se realizó sobre una estructura de pavimento; conformado por una capa de base estabilizada y un tratamiento superficial de Slurry Seal, con un espesor aproximado de 1 cm.
- ✓ Respecto a la evaluación del tramo km. 69+000 al km. 74+000 se concluye que debido a la falta de un buen sistema de drenaje y un tráfico no previsto, se encuentra afectada la capacidad estructural del pavimento.
- ✓ De acuerdo a los cálculos realizados para el radio de curvatura (R_c) y el radio de curvatura promedio; se concluye que el pavimento no se puede calificar como satisfactorio.

Radio Curvatura (m) Calculado	Valores de Radios de curvatura $R_{ci} > 100$ m
110.9	Cumple
83.3	No Cumple
83.4	No Cumple
110.3	Cumple
82.6	No cumple

- ✓ Con relación a la capacidad estructural del pavimento se concluye que se encuentra fatigada y requiere de un refuerzo estructural, que de acuerdo al método racional de Dr. Ruiz, considerado dentro del estudio elaborado por MTC (CONREVIAl), la altura del refuerzo estructural sería de $e = 1''$, dicho refuerzo puede ser un recubrimiento bituminoso bicapa.
- ✓ De acuerdo con el método del CONREVIAl no se debe efectuarse el ensayo fuera del rango de temperaturas. (tratamientos superficiales bituminosos: límite inferior = 5°C , límite superior = 38°C).

RECOMENDACIONES

Las lecturas de deflectograma son muy sensibles al procedimiento de medición por lo cual debe tomarse mucho cuidado en seguirlo en forma cuidadosa y de contar con un personal debidamente capacitado. El error en las lecturas puede llevar a un juicio equivocado de la capacidad estructural del pavimento, distorsionando las conclusiones sobre el aporte real de la estructura.

- ✓ Se recomienda realizar el ensayo de deflectometría con la Viga Benkelman, en épocas de lluvia (enero a marzo), debido que el comportamiento estructural del pavimento es crítico en esta época del año.

Al interaccionar el sub tramo Km. 69+000 – Km. 74+000 con el total del tramo Km. 59+000 – Km. 104+000, se observa en el gráfico del deflectograma que existen deflexiones mayores que la deflexión admisible en una gran porcentaje, por lo cual se recomienda, evaluar los puntos donde se presentan estos valores altos mediante calicatas y la toma de muestras.

De acuerdo a los cálculos realizados en el presente estudio se recomienda realizar una rehabilitación de la vía, mediante un refuerzo estructural; para incrementar su vida remante.

El criterio de la deflexión admisible debe tomarse con sumo cuidado, puesto que utilizan fórmulas empíricas muy sensibles y que depende de las condiciones zonales para las cuales fueron desarrolladas.

- ✓ El método del CONREVIAl recomienda que no debe efectuarse el ensayo fuera del rango de temperaturas.(tratamientos superficiales bituminosos: límite inferior = 5°C , límite superior = 38°C).

BIBLIOGRAFÍA

1. **CONREVIAl (1983)**, "*Estudio de Rehabilitación de Carreteras en el País Capítulo VI: Aspectos de Evaluación de Pavimentos*", Volumen C, Lima, Perú., MTC.
2. **CONSORCIO MONTALVO, (2003)**," *Estudios Definitivos Para E Mantenimiento Periódico De La Carretera Panamericana Sur, Tramo Puente Santa Rosa – Puente Montalvo*", Lima Perú.
3. **CONSORCIO AYESA – ALPHACONSULT (2005)**; "*Estudio De Pre inversión a Nivel de Factibilidad del Proyecto: "Rehabilitación y Mejoramiento de la Carretera Ruta 24 Tramo: Lunahuaná – Chupaca"*"; Lima, Perú.
4. **CUPE CURE, CARLOS EUGENIO, (2009)**; "*Informe de Suficiencia: Ampliación y Mejoramiento de la Carretera Cañete – Yauyos – Huancayo, Km 165+900 al Km 166+200, Plan de Conservación Vial*"; UNI – FIC, Lima – Perú.
5. **JOSÉ WILFREDO GUTIÉRREZ LÁZARES, (2007)**,"*Modelación Geotécnica de Pavimentos Flexibles con Fines de Análisis y Diseño en el Perú*", Lima, Perú.
6. **MARIO S. HOFFMAN, PABLO M. DEL ÁGUILA, (1985)**; "*Estudios De Evaluación Estructural De Pavimentos Basados En La Interpretación De Curvas De Deflexiones (Ensayos No Destructivos)*", Lima, Perú.

ANEXOS

Anexo N°1
Población Directamente Beneficiada

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

Fuente: Del número de Habitantes INEI Censo 2007

Anexo N°2 Características de la Población

Distrito	Características principales												
	Vivi. sin agua potable (%)	Vivienda sin desagüe (%)	Vivienda sin electricidad (%)	Viviendas precarias (%)	Tasa de Analfabetismo	Hogares hacinados (%)	Tasa de mort. infantil c/1000	Tasa de desocupación	Densidad pobl. (hab/km2)	Población Rural	Superficie (km2)	Población	Categoría pobreza
Lunahuaná	75.22	89.47	42.30	94.07	5.70	9.0	27.0	25.44	8.06	71.80	494.85	4036	Pobre
Pacarán	56.96	57.73	44.33	94.07	7.80	21.1	47.9	23.68	5.47	47.8	254.5	1409	Muy Pobre
Zúñiga	79.62	99.37	57.37	84.33	9.20	34.1	20.2	26.25	6.35	70.8	194.13	1254	Muy Pobre
San José	76.88	97.45	44.24	13.94	15.5	5.4	72.5	46.30	21.5	68.4	314.14	6898	Pobre
Chambara	84.20	98.87	47.25	9.73	18.7	15.6	55.45	55.75	18.97	80.7	99.6	1775	Pobre
Ahuac	62.52	88.94	40.17	2.75	15.7	10.7	45.6	49.60	115.4	57.1	72.25	8690	Pobre
Chupaca	63.81	88.08	26.32	0.88	9.90	14.9	52.7	33.45	925.1	52.1	22.74	21993	Pobre

Fuente: Del número de Poblaciones INEI Censo 2007

Anexo N°3

Valor de “t” y probabilidad de ocurrencia de $D > D_c$

Valor diseño	D_c	Área $D > D_c$ %
50	\bar{D}	50
75	$\bar{D} + 0.674\sigma$	25
85	$\bar{D} + \sigma$	15
90	$\bar{D} + 1.3\sigma$	10
95	$\bar{D} + 1.645\sigma$	5
98	$\bar{D} + 2\sigma$	2
99	$\bar{D} + 2.33\sigma$	1
99.9	$\bar{D} + 3\sigma$	0.1

(Fuente: Tesis de Maestría. Ing. Wilfredo Gutiérrez Lazares)

Anexo N°5
Cálculo del EAL para 1, 3, 5, 10 años

SENTIDO Y TRAMO MÁS CRÍTICO				
ESTIMADO DEL FLUJO VEHICULAR				
	Auto y Camioneta (auxiliar)	COMBI	MICRO	OMNIBUS, CAMION
Conteo Efectua durante 9 Horas	54.00	7.00	2.00	164.00
Proyección a las 24 Horas	73.00	9.00	3.00	222.00
Corrección por Estacionalidad	75.00	9.00	3.00	229.00
Proyección Anual (Año Cero)	24.180.00	2.901.60	967.20	73.829.60

CANTIDAD DE EJES EQUIVALENTES PARA 1 AÑOS							
VEHICULO	Flujo Total Año 0	Ejes s/Vehiculo					
		0.5 Ton.	1 Ton.	3 Ton.	4.14 Ton.	7.7 - 8.0 Ton.	10.26 Ton.
Auto y Camioneta (2 ejes de 0.5 Tons)	24,180.00	48,360.00					
Combi (1Eje 1Ton. Y Eje 3 Ton.)	2,901.60		2,901.60	2,901.60			
Micro (1Eje 3 Ton. Y 1 Eje 4.14 Ton.)	967.20			967.20	967.20		
Bus (3 Modulos)	73,829.60						
Mercedes Benz (1 Eje 4.14T-1Eje7.7 T:33.3%)	24,609.87				24,609.87	24,609.87	
Volvo (1 Eje 8.0T+1Eje 10.26 T:33.3%)	24,609.87					24,609.87	24,609.87
Modasa (1 Eje 4.14T-1Eje7.7 T:33.3%)	24,609.87				24,609.87	24,609.87	
Total EJES		48,360.00	2,901.60	3,868.80	50,186.93	73,829.60	24,609.87
Factor de Equivalente a 8.2 Tons		0.00002	0.00022	0.015	0.046	0.49	2.3
Equivalencia con Ejes de 8.2 Tons.		1.00	1.00	58.00	2,309.00	36,177.00	56,603.00
T total de Ejes Equivalente en Año 0		95,149.00					
Factor para 10 años y 4% de crecim.	1						
Total de Ejes Equivalentes en 1 Años	9.5E+04	95,149.00					
ITN y DTN (Metodo del Instituto de Asfalto)	ITN =	261	DTN =		13		

Fuente: Elaboración Propia

SENTIDO Y TRAMO MÁS CRÍTICO				
ESTIMADO DEL FLUJO VEHICULAR				
	Auto y Camioneta	COMBI	MICRO	OMNIBUS, CAMION
Conteo Efectua durante 9 Horas	54.00	7.00	2.00	164.00
Proyección a las 24 Horas	73.00	9.00	3.00	222.00
Corrección por Estacionalidad	75.00	9.00	3.00	229.00
Proyección Anual (Año Cero)	24,180.00	2,901.60	967.20	73,829.60

CANTIDAD DE EJES EQUIVALENTES PARA 3 AÑOS								
VEHICULO	Flujo Total Año 0	Ejes s/Vehiculo						
		0.5 Ton.	1 Ton.	3 Ton.	4.14 Ton.	7.7 - 8.0 Ton.	10.26 Ton.	
Auto y Camioneta (2 ejes de 0.5 Tons)	24,180.00	48,360.00						
Combi (1Eje 1Ton. Y Eje 3 Ton.)	2,901.60		2,901.60	2,901.60				
Micro (1Eje 3 Ton. Y 1 Eje 4.14 Ton.)	967.20			967.20	967.20			
Bus (3 Modulos)	73,829.60							
Mercedes Benz (1 Eje 4.14T+1Eje7.7 T:33.3%)	24,609.87				24,609.87	24,609.87		
Volvo (1 Eje 8.0T+1Eje 10.26 T:33.3%)	24,609.87					24,609.87	24,609.87	
Modasa (1 Eje 4.14T+1Eje7.7 T:33.3%)	24,609.87				24,609.87	24,609.87		
Total EJES		48,360.00	2,901.60	3,868.80	50,186.93	73,829.60	24,609.87	
Factor de Equivalente a 8.2 Tons		0.00002	0.00022	0.015	0.046	0.49	2.3	
Equivalencia con Ejes de 8.2 Tons.		1.00	1.00	58.00	2,309.00	36,177.00	56,603.00	
T total de Ejes Equivalente en Año 0		95,149.00						
Factor para 3 años y 4% de crecim.	3.1216							
Total de Ejes Equivalentes en 3 Años	3.0E+05	297,017.12						
ITN y DTN (Metodo del Instituto de Asfalto)	ITN =	261	DTN =	41				

Fuente: Elaboración Propia

SENTIDO Y TRAMO MÁS CRÍTICO				
ESTIMADO DEL FLUJO VEHICULAR				
	Auto y Camioneta (auxiliar)	COMBI	MICRO	OMNIBUS, CAMION
Conteo Efectua durante 9 Horas	54.00	7.00	2.00	164.00
Proyección a las 24 Horas	73.00	9.00	3.00	222.00
Corrección por Estacionalidad	75.00	9.00	3.00	229.00
Proyección Anual (Año Cero)	24,180.00	2,901.60	967.20	73,829.60

CANTIDAD DE EJES EQUIVALENTES PARA 5 AÑOS								
VEHICULO	Flujo Total Año 0	Ejes s/Vehiculo						
		0.5 Ton.	1 Ton.	3 Ton.	4.14 Ton.	7.7 - 8.0 Ton.	10.26 Ton.	
Auto y Camioneta (2 ejes de 0.5 Tons)	24,180.00	48,360.00						
Combi (1Eje 1Ton. Y Eje 3 Ton.)	2,901.60		2,901.60	2,901.60				
Micro (1Eje 3 Ton. Y 1 Eje 4.14 Ton.)	967.20			967.20	967.20			
Bus (3 Modulos)	73,829.60							
Mercedes Benz (1 Eje 4.14T+1Eje7.7 T:33.3%)	24,609.87				24,609.87	24,609.87		
Volvo (1 Eje 8.0T+1Eje 10.26 T:33.3%)	24,609.87					24,609.87	24,609.87	
Modasa (1 Eje 4.14T+1Eje7.7 T:33.3%)	24,609.87				24,609.87	24,609.87		
Total EJES		48,360.00	2,901.60	3,868.80	50,186.93	73,829.60	24,609.87	
Factor de Equivalente a 8.2 Tons		0.00002	0.00022	0.015	0.046	0.49	2.3	
Equivalencia con Ejes de 8.2 Tons.		1.00	1.00	58.00	2,309.00	36,177.00	56,603.00	
T total de Ejes Equivalente en Año 0		95,149.00						
Factor para 3 años y 4% de crecim.	5.41632256							
Total de Ejes Equivalentes en 5 Años	5.2E+05	515,357.68						
ITN y DTN (Metodo del Instituto de Asfalto)	ITN =	261		DTN =	71			

Fuente: Elaboración Propia

SENTIDO Y TRAMO MÁS CRÍTICO				
ESTIMADO DEL FLUJO VEHICULAR				
	Auto y Camioneta (auxiliar)	COMBI	MICRO	OMNIBUS, CAMION
Conteo Efectua durante 9 Horas	54.00	7.00	2.00	164.00
Proyección a las 24 Horas	73.00	9.00	3.00	222.00
Corrección por Estacionalidad	75.00	9.00	3.00	229.00
Proyección Anual (Año Cero)	24,180.00	2,901.60	967.20	73,829.60

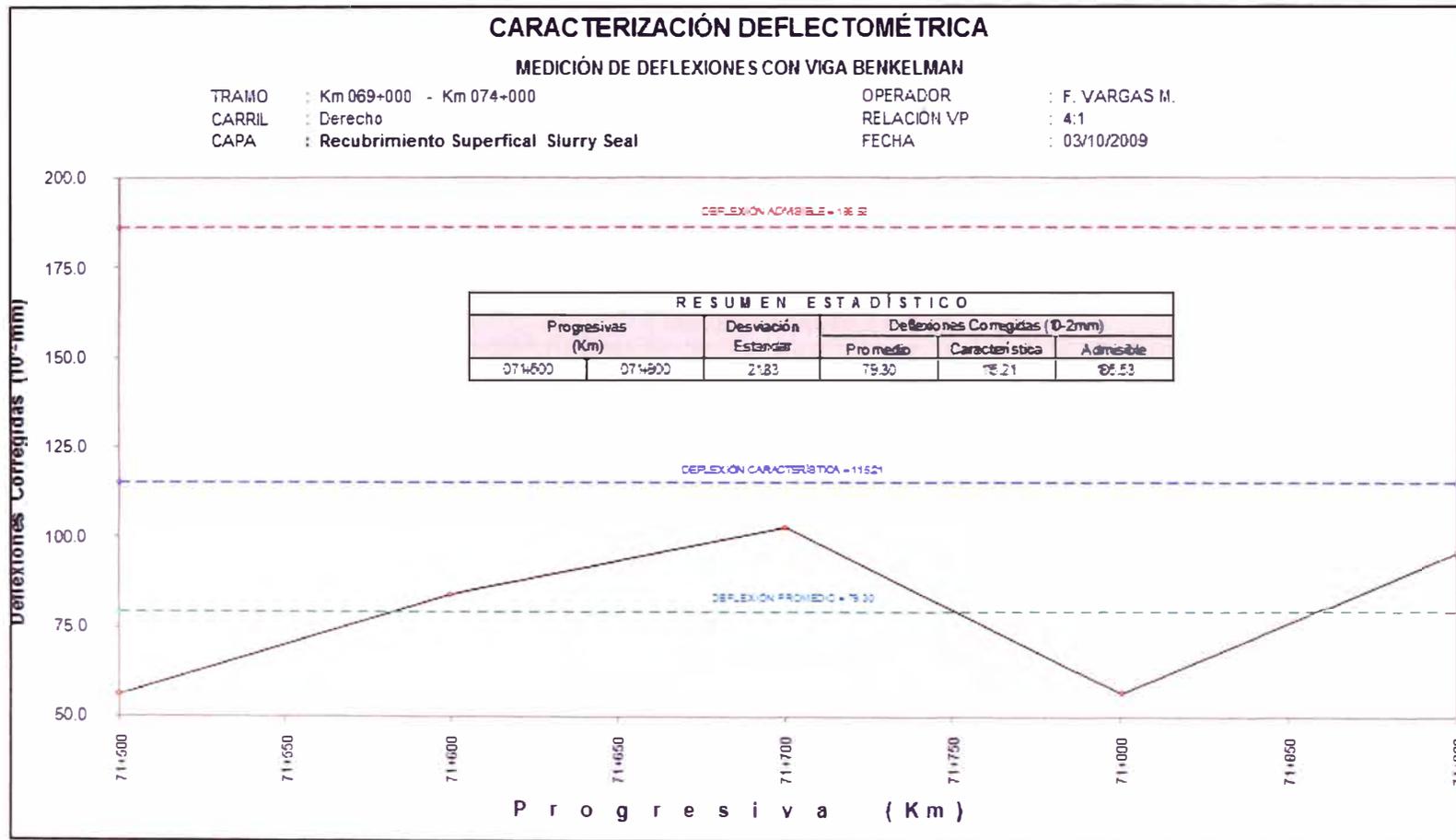
CANTIDAD DE EJES EQUIVALENTES PARA 10 AÑOS							
VEHICULO	Flujo Total Año 0	Ejes s/Vehiculo					
		0.5 Ton.	1 Ton.	3 Ton.	4.14 Ton.	7.7 - 8.0 Ton.	10.26 Ton.
Auto y Camioneta (2 ejes de 0.5 Tons)	24,180.00	48,360.00					
Combi (1Eje 1Ton. Y Eje 3 Ton.)	2,901.60		2,901.60	2,901.60			
Micro (1Eje 3 Ton. Y 1 Eje 4.14 Ton.)	967.20			967.20	967.20		
Bus (3 Modulos)	73,829.60						
Mercedes Benz (1 Eje 4.14T+1Eje7.7 T:33.3%)	24,609.87				24,609.87	24,609.87	
Volvo (1 Eje 8.0T+1Eje 10.26 T:33.3%)	24,609.87					24,609.87	24,609.87
Modasa (1 Eje 4.14T+1Eje7.7 T:33.3%)	24,609.87				24,609.87	24,609.87	
Total EJES		48,360.00	2,901.60	3,868.80	50,186.93	73,829.60	24,609.87
Factor de Equivalente a 8.2 Tons		0.00002	0.00022	0.015	0.046	0.49	2.3
Equivalencia con Ejes de 8.2 Tons.		1.00	1.00	58.00	2,309.00	36,177.00	56,603.00
T total de Ejes Equivalente en Año 0		95,149.00					
Factor para 10 años y 4% de crecim.	12.00610712						
Total de Ejes Equivalentes en 10 Años	1.1E+06	1,142,369.09					
ITN y DTN (Metodo del Instituto de Asfalto)	ITN =	261	DTN =	156			

Fuente: Elaboración Propia

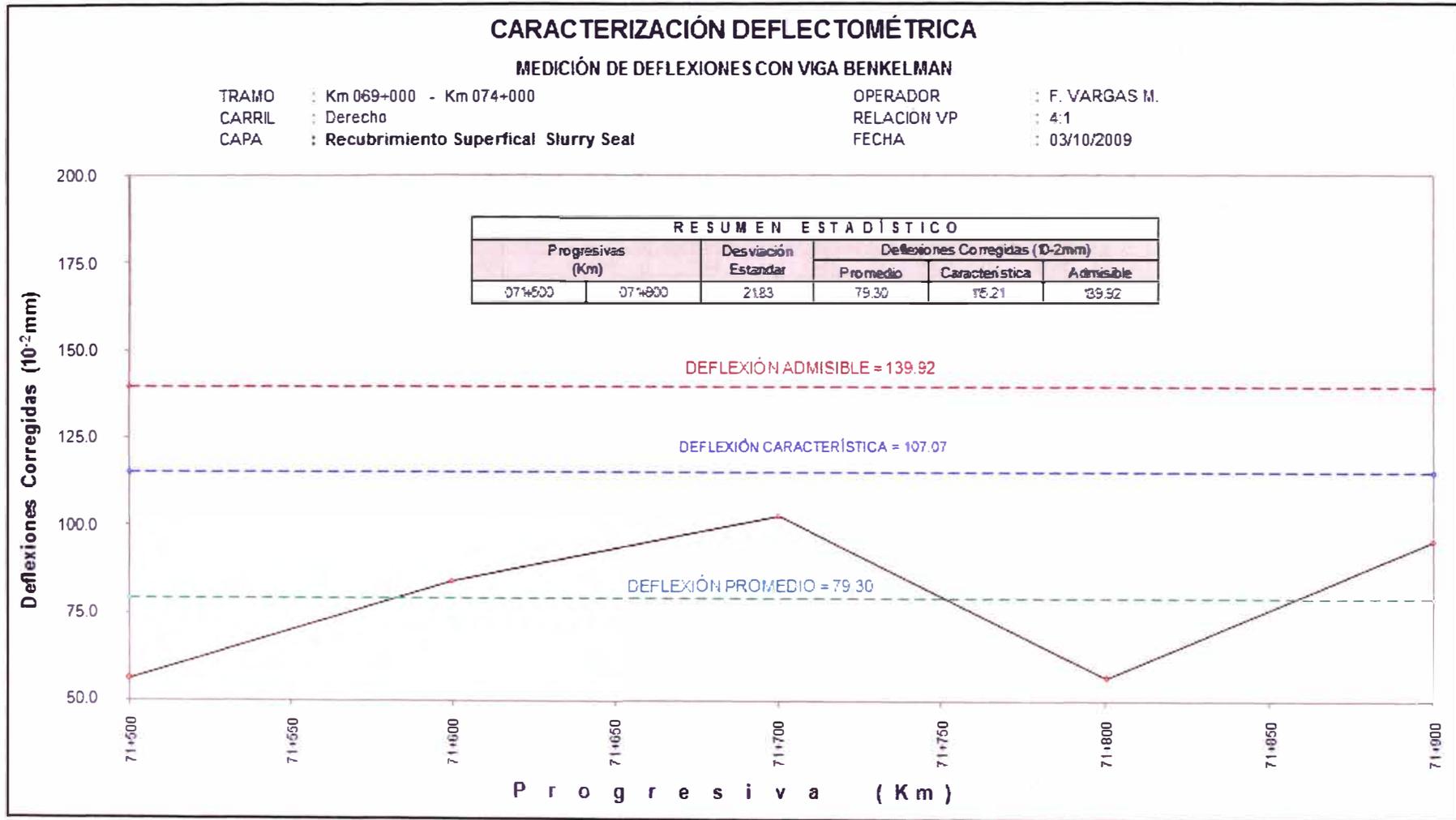
Anexo N°6

Deflectograma Para un EAL de 1, 3, 5 y 10 años

Cálculo realizado para 1 años



Cálculo realizado para 3 años



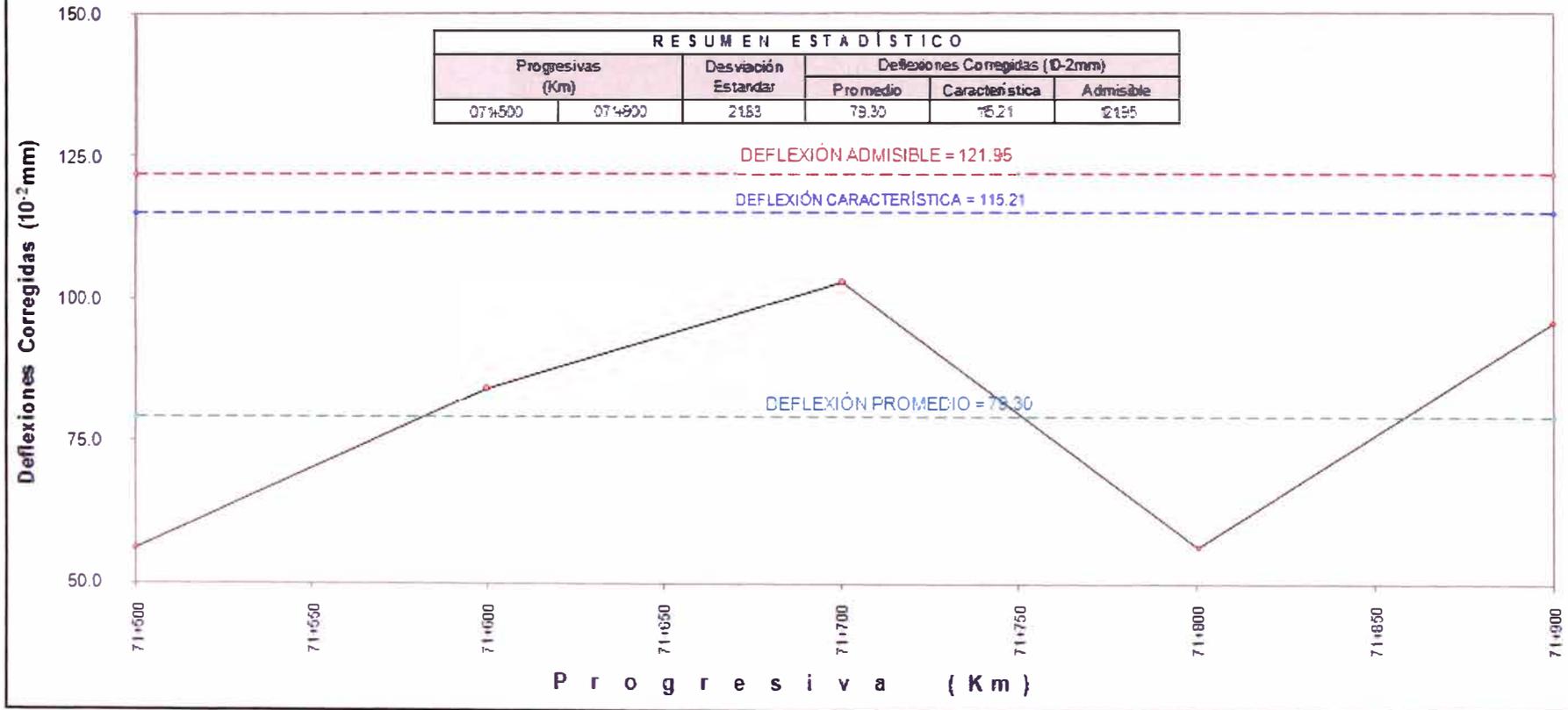
Fuente: Formato elaborado por el MTC

Cálculo realizado para 5 años

CARACTERIZACIÓN DEFLECTOMÉTRICA

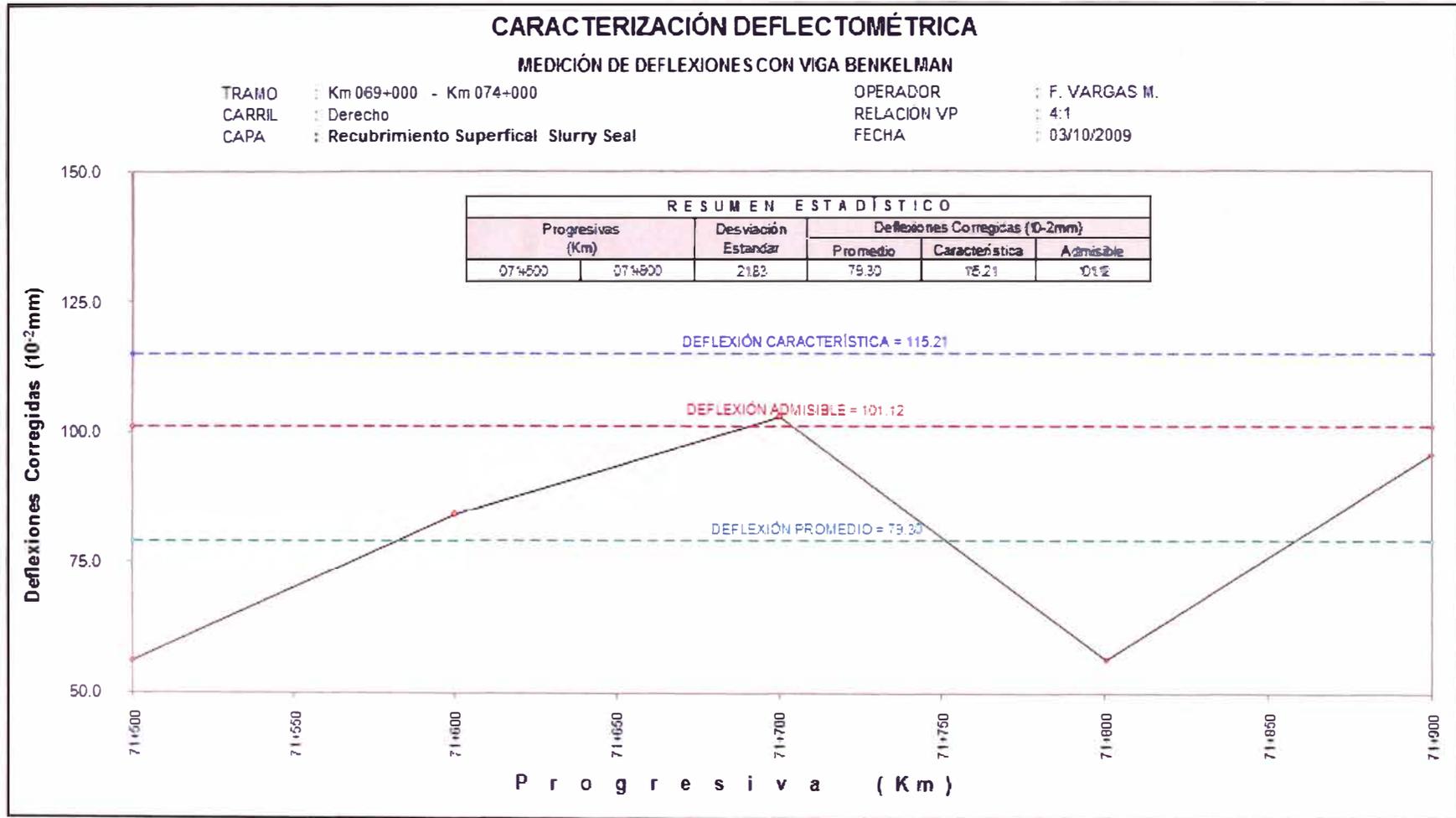
MEDICIÓN DE DEFLEXIONES CON VIGA BENKELMAN

TRAMO : Km 069+000 - Km 074+000 OPERADOR : F. VARGAS M.
 CARRIL : Derecho RELACION VP : 4:1
 CAPA : Recubrimiento Superficial Slurry Seal FECHA : 03/10/2009



Fuente: Formato elaborado por el MTC

Cálculo realizado para 10 años



Fuente: Formato elaborado por el MTC

Anexo N°7

Análisis combinado de los resultados de evaluación

DEFLECTOMETRIA	ESTADO VISUAL	ESTADO ESTRUCTURA	RECOMENDACIÓN
La deflexión característica es superior a la admisible. Los radios de curvatura son elevados o aceptables (en relación a la estructura). $D_c > D_{adm} + R_c$	No hay fallas de origen estructural.	Estructura infradiseñada, pero la capacidad portante de las capas decrece en profundidad. (No existe capa débil inmediatamente)	Examinar fecha y tipo de las últimas obras ejecutadas, para justificar estado del pavimento. 1º CASO
La deflexión característica es superior a la admisible. Los radios de curvatura son pequeños (aún para deflexiones reducidas). $D_c > D_a - R_c$	Hay fallas de origen estructural generalizadas		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. 2º CASO
		Existe una capa débil inmediatamente debajo de las capas asfálticas (Relación entre módulos de elasticidad < 1).	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. 3º 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. 3º CASO
La deflexión característica es inferior a la admisible. $D_c < D_a$	Hay fallas de origen estructural: deformaciones permanentes de la	Estructura degradada no adecuada para la fundación.	Evaluar aporte estructural de la calzada existente (reconstrucción o refuerzo). La deflexión no es representativa. 4º 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. 5º CASO

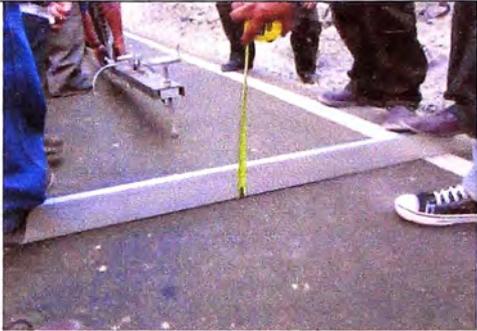
(Fuente: Tesis de Maestría. Ing. Wilfredo Gutiérrez Lazares)

Anexo N°8
Panel Fotográfico

LISTADO DE FIGURAS DE LAS PROGRESIVAS DONDE SE REALIZÓ EL ENSAYO DE LA VIGA BENKELMAN

PROGRESIVA	DESCRIPCIÓN	EVIDENCIA
71+800	Preparación de la viga Benkelman en campo – calibración	
71+800	Ubicación del camión de prueba en el hito establecido, para proceder al ensayo de deflexión.	
71+800	Ejecución del ensayo de la viga Benkelman en la progresiva en mención.	

<p>71+800</p>	<p>Calibración del equipo deflectografo para su ejecución.</p>	
<p>71+800</p>	<p>Se tomaron las medidas a las distancias establecidas por el método.</p>	
<p>71+800</p>	<p>Toma de lectura de la temperatura del pavimento.</p>	
<p>71+800</p>	<p>Toma de muestra del pavimento, para medir su espesor.</p>	

<p>71+800</p>	<p>Toma de de datos de ahuellamiento.</p>	
<p>71+900</p>	<p>Ubicación de un nuevo punto – hito establecido para la evaluación de la estructura del pavimento.</p>	