

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



**EVALUACIÓN NO DESTRUCTIVA CON VIGA
BENKELMAN
MONITOREO DE CONSERVACIÓN CARRETERA
CAÑETE – HUANCAYO Km. 114+000 AL Km. 116+000**

INFORME DE SUFICIENCIA

Para optar el Título Profesional de:

INGENIERO CIVIL

RAÚL OMMAR ALIAGA ZAMORA

Lima- Perú

2010

El presente trabajo lo dedico con todo mi amor y cariño:

- En memoria de mi querida madre, por sus enseñanzas y amor.
- A mi padre, hermanas por su constante apoyo y comprensión y quienes valoran mi esfuerzo y en especial a mi querida esposa Ysabel por su paciencia y apoyo en mi vida.

	PAG.
RESUMEN	03
LISTADO DE CUADROS	04
LISTADO DE FIGURAS	05
LISTADO DE SÍMBOLOS	06
INTRODUCCIÓN	07
CAPÍTULO I.- GENERALIDADES	
1.1 Antecedentes	08
1.2 Ubicación de la Carretera	09
1.3 Características de la Carretera	10
1.3.1 División de la Carretera	11
1.3.2 Clima	12
1.3.3 Geología y Geomorfología	12
1.3.4 Hidrología y Hidrografía	15
1.3.5 Tráfico Vehicular	16
1.3.6 Sub Tramo en Estudio Km 114+000 al Km 116+000	17
CAPÍTULO II.- DESCRIPCIÓN DE LA METODOLOGIA	
2.1 Reseña Histórica de la Viga Benkelman	19
2.2 Medición de deflexiones con Viga Benkelman	21
CAPÍTULO III.- MARCO TEÓRICO	
3.1 Evaluación estructural	26
3.2 Evaluación estructural por Deflectometría	27
3.3 Deflectometría método empírico CONREVIAl	29
3.3.1 Definición de deflexión	29
3.3.2 Medición de deflexiones	31
3.3.3 Determinación del radio de curvatura	31
3.3.4 Corrección de las deflexiones por efecto de la temperatura	32
3.3.5 Corrección por estacionalidad	33
3.3.6 Análisis estadístico de las deflexiones	34
3.3.7 Deflexiones Admisibles	35
3.3.8 Variabilidad de la capacidad Estructural: Deflectograma	38
3.3.9 Juicio de la capacidad estructural del pavimento	38

3.3.10 Cálculo del espesor de refuerzo	40
--	----

CAPÍTULO IV.- APLICACIÓN AL TRAMO Km 114+000 al Km 116+000

4.1 Recopilación de datos	41
4.2 Procesamiento de datos	41

CAPÍTULO V.- ANÁLISIS DE RESULTADOS

5.1 Gráficos de deflectograma	43
5.2 Evaluación de la capacidad estructural	44

CONCLUSIONES	45
--------------	----

RECOMENDACIONES	46
-----------------	----

BIBLIOGRAFÍA	47
--------------	----

ANEXOS	48
--------	----

ANEXOS N°1: DATOS DE CAMPO	49
----------------------------	----

ANEXOS N°2: RESULTADO DE DATOS	51
--------------------------------	----

ANEXOS N°3: PANEL FOTOGRÁFICO	53
-------------------------------	----

RESUMEN

El presente Informe de Suficiencia, contiene un análisis sucinto para evaluar el comportamiento estructural del pavimento de la carretera Cañete-Huancayo en el tramo Km 114+000 al Km 116+000, mediante el ensayo no destructivo con Viga Benkelman; instrumento que permite medir de una manera sencilla, práctica y económica las deformaciones elásticas que sufre un pavimento ante una carga aplicada sobre la superficie del mismo en diversos puntos ubicados a distintas distancias de la carga.

Con esta metodología se puede determinar la deflexión característica, la deflexión admisible y el radio de curvatura del pavimento, debido a las sollicitaciones de tránsito que lo utiliza.

La interpretación de los datos recopilados se procesara por el método empírico del estudio CONREVIAL (Consortio de Rehabilitación Vial), el cual permitió evaluar el debilitamiento progresivo de la estructura del pavimento. El método anteriormente mencionado ha adoptado el procedimiento Canadiense, que coincide con el que usa el Instituto del Asfalto.

El tramo en estudio de la carretera Cañete – Huancayo Km 114+000 al Km 116+000, está ubicado entre Capillucas y el Desvío a Yauyos, el cual se encuentra mejorada con la aplicación de un tratamiento monocapa, colocado sobre una base estabilizada, labor que fue ejecutada por el consorcio CGC.

LISTADO DE CUADROS

	PAG.
Cuadro N°1.01: Características principales de la vía	11
Cuadro N°1.02: Tipos de clima según altitud en nuestro país	12
Cuadro N°1.03: Determinación del tráfico 2008	16
Cuadro N°1.04: Determinación del tráfico 2010	17
Cuadro N°3.01: Corrección por estacionalidad	33
Cuadro N°3.02: Valores de coeficientes de variación t	34
Cuadro N°3.03: Criterio para el cálculo del número de repeticiones de ejes equivalentes	36
Cuadro N°3.04: Determinación de los factores de equivalencia de carga	37
Cuadro N°3.05: Casos típicos de análisis combinando resultado de evaluación	39
Cuadro N°3.06: Valores recomendados para R	40
Cuadro N°4.01: Cuadro resumen de deflexiones	41
Cuadro N°4.02: Cuadro de IMD proyectado	41
Cuadro N°4.03: Cuadro de obtención de EAL y Dadmisible	42
Cuadro N°5.01: Resultado de deflexiones	44

LISTADO DE FIGURAS

	PAG.
Figura N°1.01: Plano de ubicación del proyecto	9
Figura N°1.02: Corredor Vial cañete – Lunahuaná –Yauyos – Chupaca	10
Figura N°1.03: Estructura del pavimento tramo en estudio Km 114+000 Al Km 116+000	18
Figura N°2.01: Viga Benkelman 1962	19
Figura N°2.02: Viga Benkelman	22
Figura N°2.03: Esquematización del proceso de deflexiones I	24
Figura N°2.04: Esquematización del proceso de deflexiones II	25
Figura N°3.01: Tipo de deflexiones	29
Figura N°3.02: Determinación de la deflexión recuperable	30
Figura N°3.03: Radio de Curvatura	32
Figura N°3.04: Significado cualitativo de los diferentes tipos de curvas De deflexiones	33
Figura N°5.01: Deflectograma del 2011	43
Figura N°5.02: Deflectograma del 2012	43
Figura N°5.03: Deflectograma del 2013	44

LISTADO DE SÍMBOLOS

MTC	: Ministerio de Transportes y Comunicaciones
PE-24	: Ruta de Penetración 24
Dv.	: Desvió
CGC	: Consorcio General de Contratistas
IMD	: Índice Medio diario
PBI	: Producto Bruto Interno
Km.	: Kilometro
CONREVIAl	: Consorcio de rehabilitación Vial
EE	: Eje Equivalente

INTRODUCCIÓN

El desarrollo del presente Informe tiene por objeto principal, evaluar la condición de la capacidad estructural del pavimento, mediante la medición de deflexiones usando el equipo deflectómetro, Viga Benkelman y dar propuestas de gestión para la conservación y mejoramiento de la vía con ensayos no destructivos.

El objetivo es saber cómo se va comportar la superficie de rodadura en el tiempo de conservación de 3 años que falta pero solo se ha analizado para los kilómetros comprendidos en Km 114+000 al Km 116+000.

El Capítulo I, se abocará a todo lo relacionado a la carretera Cañete – Huancayo, para lo cual se identificará: ubicación de la carretera, clima, geología, topografía y tráfico.

El Capítulo II, consiste en una descripción histórica del uso de la viga Benkelman

El Capítulo III, refiere al marco teórico de los conceptos relacionados con deflexiones totales, recuperables o elásticas, remanentes, características, admisible, promedio, efecto del tráfico, efecto del clima, radio de curvatura y juicio para evaluar estructuralmente el pavimento por método empírico basado por el CONREVAL

En el Capítulo IV, describe todo lo referente a la recopilación y procesamiento de datos deflexiones elásticas obtenidas en el tramo en estudio.

En el Capítulo V, presenta mediante deflectogramas las curvas de deflexiones, deflexión admisible y deflexión característica de cada año de servicio, para evaluar la capacidad estructural del pavimento y comparar las deflexiones (entre $D_{\text{característico}}$ y D_{adm}) durante los periodos de diseño.

CAPÍTULO I.- GENERALIDADES

1.1 Antecedentes.

La Carretera Cañete – Yauyos – Chupaca, ubicada en los departamentos de Lima y Junín, fue proyectada y ejecutada por partes durante el gobierno del Sr. Augusto B. Leguía entre la década de 1920 a 1930, mediante la Ley decretada de Conscripción Vial Territorial del Perú.

Entre los años 1940 y 1944, por el lado de la costa durante el gobierno del Dr. Manuel Prado Ugarteche y la gestión laboriosa del diputado por Yauyos, Dr. Carlos Ayulo Laos y del Dr. Aubri, avanzan los trabajos de la carretera desde Cañete, hasta Yauyos en abril de 1944, siendo inaugurado por el propio Presidente en aquel entonces el Dr. Manuel Prado Ugarteche, en junio del mismo año.

En 1954 se gestiona ayuda ante el Ministerio de Fomento, solicitando una delegación de Ingenieros para realizar la construcción de la vía. Dicho trabajo queda concluido en 1957 y es allí donde se integra la región costa y sierra.

En la Oficina de PROINVERSION existe el “Estudio de Ingeniería e Impacto Ambiental para la Ampliación, Construcción y Conservación de la Carretera Lunahuaná – Huancayo (Progresiva 42+480 – 285+900), elaborado por el Consultor AYESA – ALPHA CONSULT en el año 1998 y consta de 13 tomos. El Estudio fue contratado por PROMCEPRI (Comisión de Promoción de Concesiones Privadas).

A nivel de estudio definitivo se cuenta con el que elaboró el consorcio AYESA – ALPHA CONSULT en el año 1998 mediante contrato con PROMCEPRI (Comisión de Promoción de Concesiones Privadas).

Según el Sub Programa Rehabilitación de Carreteras la ubicación del proyecto dentro del sistema de presupuesto público nacional es el No 2029342 “Rehabilitación y mejoramiento de la carretera Lunahuaná – Yauyos – Chupaca” financiado por recursos ordinarios.

Como antecedentes a nivel de pre inversión, se cuenta con el perfil elaborado por el Ing. Floriano Palacios León en el año 2003. Según el Informe N° 838-2004-MTC/09.02 de fecha 07.09.2004, del Director de Inversiones de la Oficina

General de Planificación y Presupuesto, dicho perfil satisface las exigencias de contenidos mínimos para un estudio a nivel de perfil establecidos por el Sistema Nacional de Inversión Pública.

Con oficio N° 1411-2004-EF/68.01 de fecha 06.10.2004 el Director General de Programación Multianual del Sector Público del MEF autoriza la elaboración del Estudio de Factibilidad del Proyecto Rehabilitación y Mejoramiento de la Carretera Ruta 22, Tramo: Lunahuaná – Yauyos – Chupaca.

1.2 Ubicación de la Carretera.

La Carretera Cañete-Yauyos-Huancayo se encuentra entre los departamentos de Lima y Junín, la cual comunica las provincias de Cañete y Huancayo. Según el clasificador de rutas del Sistema Nacional de Carreteras, aprobado mediante DS. No 044-2008-MTC, la ruta Cañete-Yauyos-Huancayo pertenece a red departamental Ruta PE-24.

Su altitud varía desde los 165 m.s.n.m. (Cañete) hasta 3249 (Huancayo) m.s.n.m., su punto más alto se encuentra en el Abra Chaucha ubicada en el Km 195+135 con una altitud de 4751 msnm, y su longitud total es de 284.531Km aproximadamente.

Figura N°1.01: Plano de ubicación del Proyecto

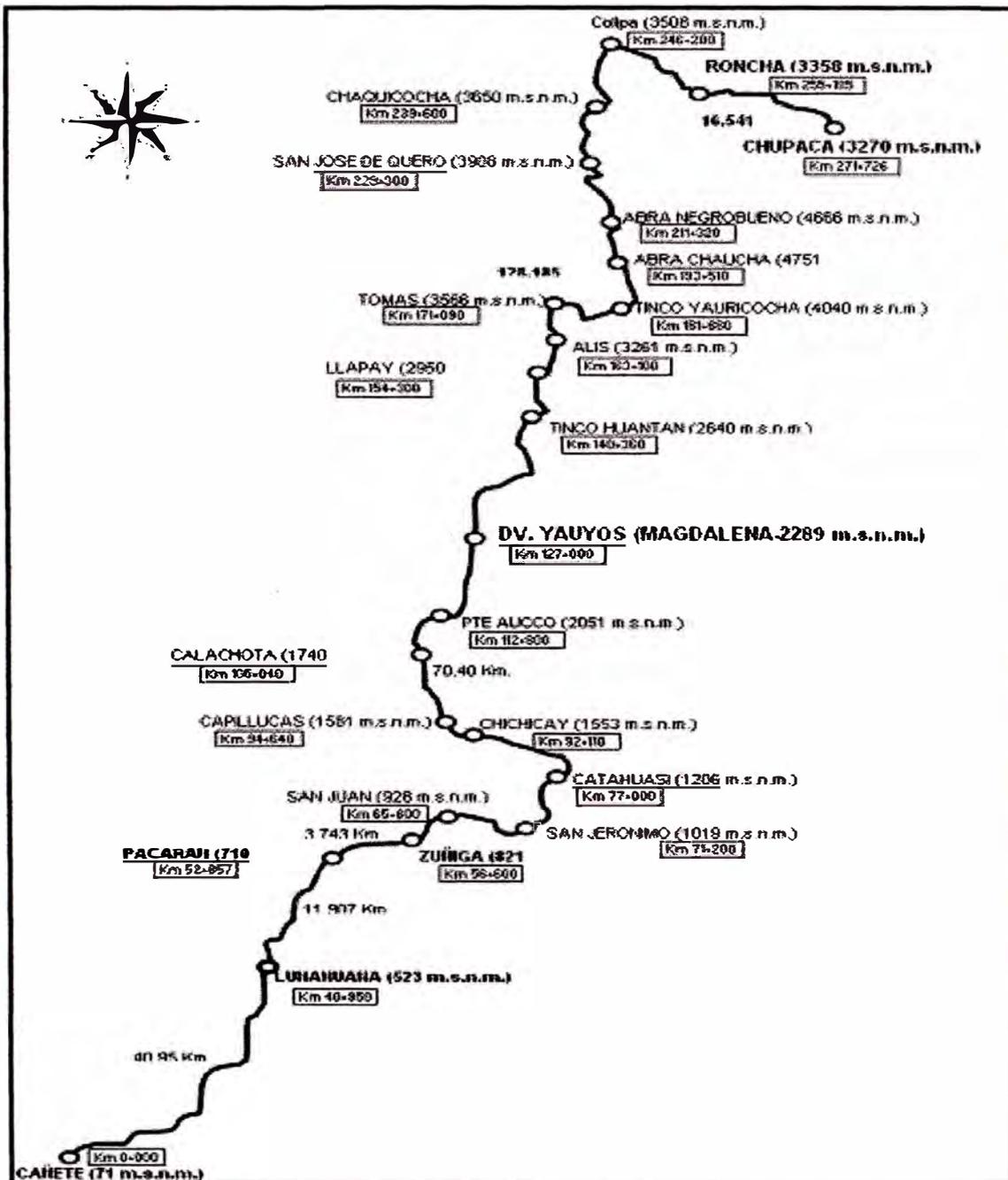


(FUENTE: OFICINA GENERAL DE DE PLANEAMIENTO Y PRESUPUESTO MTC)

1.3 Características de la carretera

La carretera en estudio perteneciente al Corredor Vial N° 13 Cañete-Lunahuaná-Chupaca-Huancayo, forma parte de la Ruta Nacional N° 22, con una longitud total de 281.73 km, a la cual se le brinda el servicio de Conservación Vial.

Figura N°1.02: Plano Clave
CORREDOR VIAL: CAÑETE-LUNAHUANA-YAUYOS-CHUPACA



(Fuente: Escuela Profesional de Ing. Civil)

1.3.1 División de la carretera

La carretera Cañete - Dv. Yauyos-Chupaca tiene un nivel bajo de transitabilidad, principalmente debido a que el usuario encuentra altos costos de transporte y mantenimiento vehicular, altos tiempos de viaje, y las condiciones de seguridad no son las adecuadas. El bajo nivel de transitabilidad está conformado principalmente por los pobladores de zonas cercanas a la vía, y por una muy baja la cantidad de vehículos que utiliza la carretera con fines turísticos o laborales.

La vía se desarrolla sobre una topografía accidentada recorriendo por la margen derecha del Río Cañete.

- En el tramo de Cañete - Zúñiga la estructura del pavimento se encuentra a nivel de carpeta asfáltica con anchos de 7m.
- En el tramo de Zúñiga - Catahuasi el pavimento presenta un tratamiento con Slurry Seal con ancho de pista de 4 a 3.20m.
- En el tramo Catahuasi-Dv. Yauyos-Tinco Yauricocha presenta un tratamiento superficial monocapa con un ancho de pista variable de 2.60 a 5.2m con ausencia de plazoletas de cruce, presenta curvas ciegas que no permiten la visibilidad de la vía debido a las curvas cerradas con peligro de deslizamiento de rocas y derrumbes de talud.
- Entre Tinco - Roncha la topografía es ondulada y se encuentra sobre los 4000 msnm cuyo tramo se encuentra en plena aplicación del tratamiento monocapa, con un ancho de pista de 3.5 a 6.0m.
- Entre el tramo de Roncha-Chupaca se encuentra a nivel de carpeta asfáltica cuyo ancho de pista está entre 7.0m.

Cuadro N°1.01: Características principales de la vía

Tramo Inicial	Tramo Final	Long. Tramo (m)	Cota Inicial	Cota Fin	Dpto	Región	Topografía	IMD
Lunahuaná	Pacarán	15270	523	710	Lima	Costa	ondulada	323
Pacarán	Zúñiga	4150	710	821	Lima	Costa	ondulada	266
Zúñiga	Dv. Yauyos	72600	821	2289	Lima	Sierra	accidentada	35
Dv. Yauyos	Ronchas	135130	2289	3458	Lima-Junín	Sierra	accidentada	21
Ronchas	Chupaca	16600	3458	3270	Junín	Sierra	accidentada	344

(Fuente: Elaboración propia)

1.3.2 Clima

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

En los pavimentos de bajo volumen de tránsito, tanto las temperaturas altas como extremadamente bajas, afectan a los materiales asfálticos de la superficie de rodadura. En el caso de temperatura extremadamente baja puede producir hinchamiento cuando se construye sobre suelos heladizos. En el caso de climas muy lluviosos o en sectores bajos expuestos a inundaciones, puede derivar en una falla prematura de la estructura del pavimento debido a la disminución de la resistencia mecánica de las capas granulares y eventualmente de la subrasante, por efecto de saturación.

En la siguiente tabla se ve algunos climas de los cuales se ve afectado nuestra carretera.

Cuadro: 1.02: Tipos de clima según altitud en nuestro país

	Clima	Altura (m.s.n.m)	Precipitación (mm)	Temperatura (°)
1	Muy Seco y Semicálido	1,300 a 2,000	26.6 a 29.2	16.3 a 23.6
2	Seco y Templado	2,000 a 2,500	200 a 450	14 a 23
3	Templado Cálido - Subhúmedo	2,500 a 3,000	450 a 600	12 a 14
4	Templado Frío - Subhúmedo	3,000 a 3,900	300 a 500	6 a 12
5	Frío per - Húmedo	3,900 a 4,500	600 a 700	3 a 6
6	Muy Frío - Muy Húmedo	4,500 a 5,000	500 a 800	1.5 a 3
7	Frígido - Semisaturado	5, 000 a Máx.	700 a Máx.	Min a 1.5

(FUENTE: SENAMHI)

1.3.3 Geología y Geomorfología

Los rasgos geomorfológicos que presenta el área de estudio, son el resultado de procesos geotectónicos y plutónicos, sobre impuestos por los procesos de geodinámica que han modelado el rasgo estructural de la región.

Así mismo, la erosión, la incisión por drenaje y la acumulación de arena eólica sobre grandes extensiones de la zona, han dado la configuración del actual relieve; el mismo que va desde el nivel medio del mar en el borde litoral hasta 3600 m. de altura, sobresaliendo rasgos geomorfológicos clasificados como unidades, las cuales son:

- **Estribaciones Andinas**, comprendida entre los 400 a 1,000 m.s.n.m., tiene una topografía intermedia, con pendientes hasta los 45°, mayormente. Son zonas relativamente inestables, produciéndose fenómenos de erosión fluvial en épocas de crecidas, huaycos y fuerte meteorización, facilitando por su notable aridez;
- **Flanco disectado Andino**, está comprendida dentro de la región de la Cordillera Occidental de los Andes y se define entre los 1,000 a 4,000 m.s.n.m., esta zona está delimitada por las estribaciones andinas y el borde del altiplano. Muestra una topografía abrupta con pendientes que llegan hasta los 60° mayormente.
- **Altiplano**, se localiza entre los 4,000 a 4,800 m.s.n.m., la topografía presenta un relieve suave a moderado, caracterizado también por una morfología de típico modelado glaciar y fluvio-glaciar; como son los valles en "U". **Divisoria Continental**, es un rasgo geomorfológico importante, pues como su nombre lo indica divide las aguas de la vertiente del Pacífico de las del Atlántico, se desarrolla sobre los 4,800 m.s.n.m. **Depresión de Huancayo**, se le menciona por ser un rasgo importante, es una depresión alargada, su altitud varía entre los 3160 y 3350 m.s.n.m.

La determinación del recurso geológico de la zona, permite conocer la disponibilidad de materiales aptos para la construcción de la carretera, indicando los lugares recomendables a ser utilizados como canteras, así como los sitios que servirán de depósitos de materiales excedentes, sin que esto signifique causar grandes daños al entorno.

Estratigráficamente está constituida por:

- **Intrusivo-Tiabaya**, son rocas intrusivas, tonalitas y dioritas; de tono leucócrata a gris mesócrata, se encuentran intensivamente diaclasadas, fracturadas;
- **Intrusivo – Catahuasi**, son rocas intrusivas, granodioritas y tonalitas de color blanco grisáceo, faneríticas, moderadamente meteorizadas a poco meteorizadas;
- **Formación Asia - Morro Solar**, son rocas lutitas con intercalaciones de areniscas finas y cuarcitas, lutitas pizarrosa y areniscas con algunos estratos de calizas.

- Formación Tantará, está constituida por rocas volcánicas, andesitas, dacitas, brechas y tobas entre otros; conforman depósitos residuales, arenosos y areno limosos, son de color gris verdoso a gris azulado, porfíricos, poco meteorizada;
- Formaciones Oyon - Chimú, están compuestas por areniscas, areniscas cuarcíticas, cuarcitas y lutitas algo cuarzosas, son de color gris negruzco, blancos grisáceos, beige marrón, negros; poco a moderadamente meteorizada;
- Formaciones Santa – Carhuaz, están constituidas por bancos delgados de dolomías arenosas, calizas y lutitas arenosas y areniscas calcáreas pasando progresivamente a areniscas arcólicas de color gris y verdoso;
- Formación Goyarisquizga y Pariahuanca, están compuestas de areniscas, cuarcitas, lutitas y algunas calizas, esta formación se encuentra totalmente plegada y fallada;
- Formación Jumasha, son calizas en capas delgadas a medianas, de más de 300 m de potencia total, alternando con calizas nodulares ocasionalmente brechosos y capas margosas mayormente son de color negro, poco meteorizada;
- Formaciones Chulec - Pariahuanca – Pariatambo, compuestas de calizas en capas delgadas y con horizontes de caliza nodular, intercaladas con margas, lutitas y chert;
- Formación Celendín, son rocas lutitas, calizas y ocasionalmente margas, tienen poca resistencia a la erosión, mayormente conformando una topografía moderada, de color gris verdoso, moderadamente meteorizada; Grupo Pucará, son de color gris negruzco, moderadamente meteorizada, con procesos de disolución, pendiente favorable al corte, estratificada en bancos de hasta 60 cm. de grosor, fracturadas;
- Formación Casapalca, es una secuencia de areniscas, limolitas rojizas, areniscas guijarrosas y conglomerados calcáreos y cuarcíticos, calizas lacustres, yeso y rocas volcánicas pueden intercalarse. Se encuentra intensamente plegada y en la mayoría de los sectores la roca se presenta bastante alterada o muy meteorizada;
- Formación Ingahuasi, consisten de travertinos muy resistente a la erosión, aparecen en bloques inmensos, en donde los antiguos peruanos han construido una especie de chullpas.

- Formación Matahula, consisten de capas lacustres blancas a amarillentas, arenas y areniscas poco consolidadas, conglomerados fluviales, poco densos.

1.3.4 Hidrología y Hidrografía

La carretera Lunahuaná – Dv. Yauyos - Chupaca, va a interceptar en su recorrido los cursos de aguas de los ríos Cañete y Mantaro que pertenecen a la vertiente del Pacífico y del Atlántico respectivamente. Estos ríos tienen características diferentes en lo que respecta a volumen de sus aguas, régimen, pendientes de sus lechos.

- **Hidrología de la cuenca del Río Cañete**

La cuenca del río Cañete tiene una extensión aproximada de 6,192 Km², nace en la laguna Ticllacocha, ubicada al pie de las cordilleras de Ticlla y Pichahuarco. La longitud del río Cañete es de aproximadamente 220 Km., con una pendiente promedio de 2%. Presenta un régimen irregular y de carácter torrencioso, con marcadas diferencias entre sus parámetros extremos, así, la descarga máxima ha sido de 689 m³/seg y la mínima de 5.63 m³/seg, con una media anual de 54 m³/seg, equivalente a un volumen medio anual de 1'708,778 m³.

- **Cuenca media del Río Cañete**

El cual está conformado por suelos un tanto profundos de textura media, generalmente de naturaleza calcárea. Los litosoles dominan las superficies muy empinadas y de escasa cubierta edáfica.

La actividad agrícola se desarrolla medianamente al fondo del valle, en áreas conformadas por terrazas aluviales y pequeñas zonas de cultivo. Los cultivos que se producen son:

Frutales (manzanos, palta, mango, lima dulce, tomate)

Tubérculos (vainita, frijol nemer) y en las partes más altas maíz, alfalfa, papa, habas, arveja.

1.3.5 Tráfico Vehicular

Del Estudio de tráfico realizado en el mes de Junio del 2008 a cargo de CGC, se muestran los IMD's y las tasas de crecimiento por cada tipo de vehículo, para el cálculo de IMD's para próximos años, ver cuadro 1.03.

Las tasas de crecimiento para tráfico liviano, transporte público y transporte de carga dependen respectivamente del crecimiento anual de Ingreso per cápita (2.6% para los departamentos de Lima y Junín), crecimiento anual población 1.4% para la misma zona y crecimiento del PBI 4.6%.

Cuadro: 1.03: Determinación del tráfico 2008

Tipo de Vehículo	IMD 2008				Tasa de Crecimiento i (%)
	Zúñiga 56+600 - P. Nuevo 66+580	P.Nuevo 66+580 - Chichicay 92+110	Chichicay 92+110 - Capillucas 94+640	Capillucas 94+640 - Dv. Yauyos 127+000	
Automóvil	6	3	2	1	2.6
Camioneta	194	289	58	20	2.6
Combi rural	74	61	18	4	2.4
Micro	48	68	8	0	1.4
Ómnibus 2E	15	14	13	8	1.4
Ómnibus 3E	1	0	1	0	1.4
Camión 2 Ejes	47	42	30	9	4.6
Camión 3 Ejes	9	4	2	11	4.6
Camión 4 Ejes	1	2	2	0	4.6
Semitraylers	28	53	98	0	4.6
Traylers	38	33	0	0	4.6

(FUENTE: Conservación Vial por Niveles de servicio de la carretera Cañete – Lunahuaná – Pacarán – Chupaca y Rehabilitación del tramo Zúñiga – D.V. Yauyos - Ronchas)

Por lo tanto para este año 2010 será:

Cuadro: 1.04: Determinación del tráfico 2010

Tipo de Vehículo	IMD 2010			
	Zúñiga 56+600 - P. Nuevo 66+580	P.Nuevo 66+580 - Chichicay 92+110	Chichicay 92+110 - Capillucas 94+640	Capillucas 94+640 - Dv. Yauyos 127+000
Automóvil	6	3	2	1
Camioneta	204	304	61	21
Combi rural	78	64	19	4
Micro	51	72	8	0
Ómnibus 2E	16	15	14	8
Ómnibus 3E	1	0	1	0
Camión 2 Ejes	49	44	32	9
Camión 3 Ejes	9	4	2	12
Camión 4 Ejes	1	2	2	0
Semitraylers	29	56	103	0
Traylers	40	35	0	0

(FUENTE: Elaboración propia)

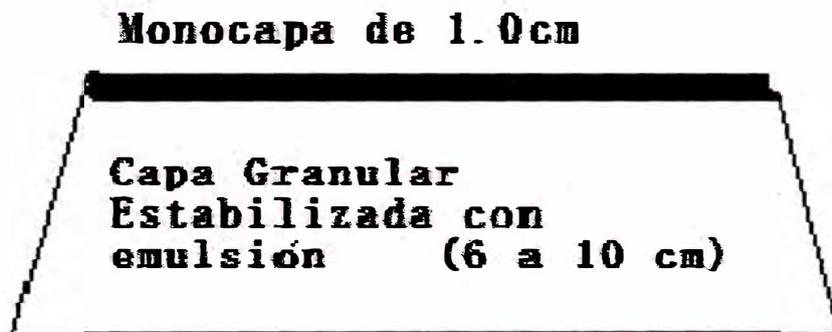
1.3.6 Sub – Tramo en estudio Km 114+000 al Km 116+000

El sub – tramo de la carretera en estudio inicia en el Km. 114+000, 650 m antes del poblado de Puente Auco que se encuentra 2051 m.s.n.m. y termina en el Km. 116+000, dicho sub – tramo pertenece a la región Yunga.

- **Clima:** Su clima es seco y templado. Temperatura varía entre los 14°C y 23°C.
- **Topografía:** Su topografía es ondulada a media ladera. Presente una plataforma con una calzada con un solo carril y tiene un ancho útil que varía de 3.5m a 6.5m.
- **Geología:** La carretera se encuentra en la quebrada del río cañete, formado por material aluvional, terrazas de depósitos fluviales y cortes en rocas macizas la formación es el Batolito Costanero.
- **Capa de rodadura:** El cambio estándar para el tramo en estudio, el Consorcio ha considerado la colocación de un tratamiento asfáltico Monocapa sobre una base estabilizada, para lo cual se ha tenido que evaluar la naturaleza y condición del pavimento existente, tipo y volumen de tráfico y las condiciones climáticas en el área. Este tratamiento extenderá la

vida del pavimento existente, protegiéndola por los efectos al desgaste causado por el tiempo, clima y tráfico.

**Figura N°1.03: Estructura del pavimento tramo en estudio
km 114+000 al km 116+000**



(Fuente: Elaboración propia)

CAPÍTULO II.- DESCRIPCIÓN DE LA METODOLOGÍA

2.1 Reseña Histórica de la Viga Benkelman

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

Figura N°2.01: Viga Benkelman 1962



(Fuente: strongfamilytree.org/showmedia.php?medialD=791)

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

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

estática, movimientos de la base granular, humedad y temperatura bajo la superficie del camino.

Posteriormente en los años 1958 – 1960, se realizó el ensayo vial AASHO Road Test, carretera ubicada cerca a Ottawa, Illinois al Suroeste de Chicago, donde el suelo de esta zona es uniforme y representativo de las que se encuentra en los Estados Unidos.

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

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

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

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

En el año 1990, los trabajos convocados por el MTC con los primeros préstamos efectuados por el Banco Interamericano de Desarrollo, propicio la formación de

una oficina administradora del préstamo, llamada Unidad Ejecutora de Proyecto (UEP). El asesor de la UEP por varios años fue la empresa Peruana Barriga Dall'Orto, la misma que formó parte de Consorcio CONREVIAl, con Argentinos y Canadienses. Por esta razón los términos de referencia respaldaron las evaluaciones deflectométricas mediante la metodología desarrollada por el consorcio CONREVIAl, dejando de lado la posible evaluación complementaria con métodos matemáticos.

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

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

2.2 Medición de deflexiones con Viga Benkelman.

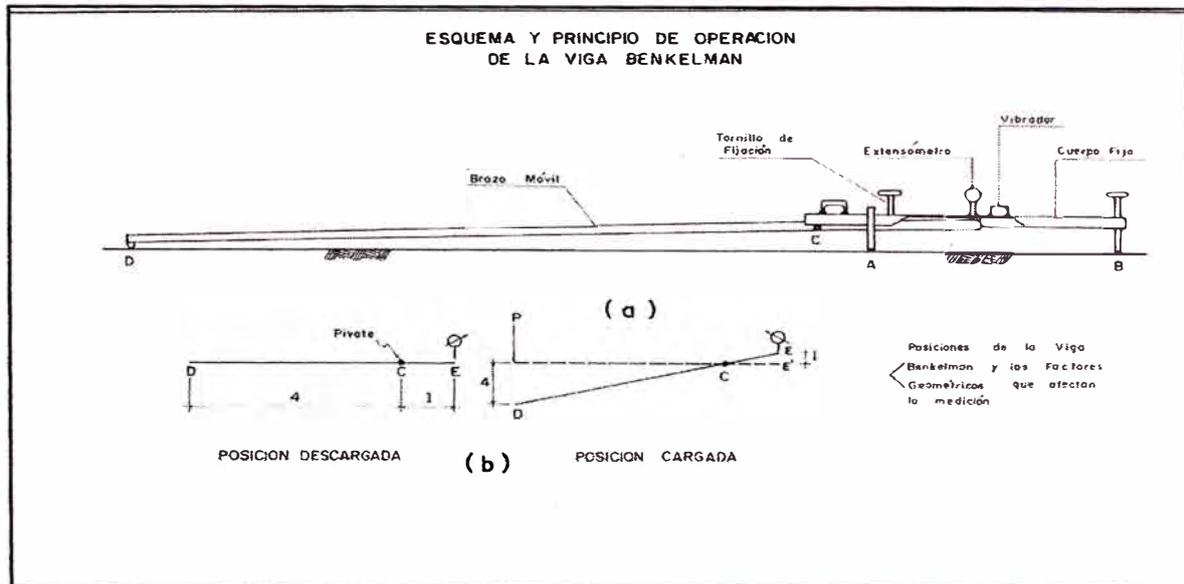
La deflexión con Viga Benkelman, se determinan bajo la acción de una carga rodante estándar en el eje trasero de camión de 18000 libras (8.2 ton), que constituye la de más amplia difusión y experiencia. Las llantas de la rueda dual especificadas fueron 10 x 20, infladas a una presión de 80 lb/plg² (5.6 Kg/cm²).

La deflexión depende de un conjunto de variables (espesores de las capas estructurales, rigidez de la subrasante y fundación, rigidez relativa de cada capa con respecto a la subyacente, historia previa de la estructura) y corresponde a la deformación del pavimento y su apoyo hasta profundidades que superan el metro, siendo en la subrasante donde ocurre la mayor parte de la misma.

La Viga Benkelman está constituida por una palanca de gran longitud, que pivota alrededor de un eje de rotación horizontal, situado en un punto fijo, que divide la palanca en dos brazos desiguales, que ente caso tenían la relación de 4:1. En uno de los extremos de la palanca, que corresponde al brazo de mayor longitud, se encuentra la punta de prueba, diseñada para situarse entre las llantas de la

rueda dual. En el otro extremo se sitúa el palpador de un dial o flexímetro, soportado por un bastidor independiente de la palanca.

Figura N°2.02: Viga Benkelman



(Fuente: Estudio del CONREVAL)

Los desplazamientos de los extremos de la palanca son registrados a través del dial guardando lógicamente la misma relación que los brazos de la misma.

La viga apoya en dos patas delanteras y en una trasera de posición regulable. Un pequeño vibrador asegura un estrecho y continuo contacto entre dial y palanca. Un volante permite trabar la palanca, para el traslado de la viga.

En nuestro caso la viga contaba con dos palancas en un mismo bastidor. Se trata de dos vigas desplazadas 0.25m. una de otra, de manera que cuando la punta de prueba de la viga 1, o principal, se sitúa entre las llantas de rueda dual, la correspondiente a la viga 2 queda ubicada a 25 cm de aquella.

La ventaja radica en que permite la determinación simultánea de la deflexión bajo carga y a 25 cm de la misma, de utilidad para una mejor caracterización del pavimento. Por este motivo, todos los componentes relativos al funcionamiento de las palancas, se hallan duplicados.

La Viga Benkelman se basa en las siguientes normas:

- AASHTO T 256 Standard Method of Test for Pavement Deflection Measurements.

- ASTM D 4695 Standard Guide for General Pavement Deflection Measurements.
- MTC E 1002 – 2000

a) **Equipos.** - Los Equipos y materiales utilizados fueron:

- Una Viga Benkelman con las siguientes características:
Viga de doble Brazo (Fabricada en Aluminio y Acero inoxidable) según las especificaciones establecidas en la Norma el Ensayo MTCE 1002.
Relación de Brazos 1:4
- 02 diales o extensómetros, aproximación 0.01 (mm), recorrido máximo 25.00 (mm)
- 1 camión volquete, calibrado, con una carga de 18 mil libras (8.2Tn) en el eje simple posterior de 2 ruedas y con presión de inflado de 80psi, las cuales tienen una cubierta de 10 x 20" y una distancia entre los puntos medios de las bandas de rodamiento igual a 32cm.
- 1 Camioneta Doble Cabina, para movilización del personal, y equipos.
- 1 medidor de presión de inflado
- 1 termómetro de 0 a 100°C con divisiones cada grado
- 1 barreno para ejecutar orificios en el pavimento de 4 cm de profundidad y 10mm de diámetro
- 1 Regla de 1.20m para medición de los ahuellamientos.
- 1 wincha de acero de 5m
- 1 Tablero portátil
- Formatos para la evaluación
- 1 Cámara fotográfica

b) **Personal.**- La brigada estuvo conformada por:

- Ingeniero de Campo.
- Técnico de laboratorio para ejecución de lecturas.
- Técnico de laboratorio para anotación de datos de ensayos.
- Auxiliar de laboratorio para medición de temperatura
- Ayudante para transporte y colocación de Viga Benkelman.
- Chofer de volquete

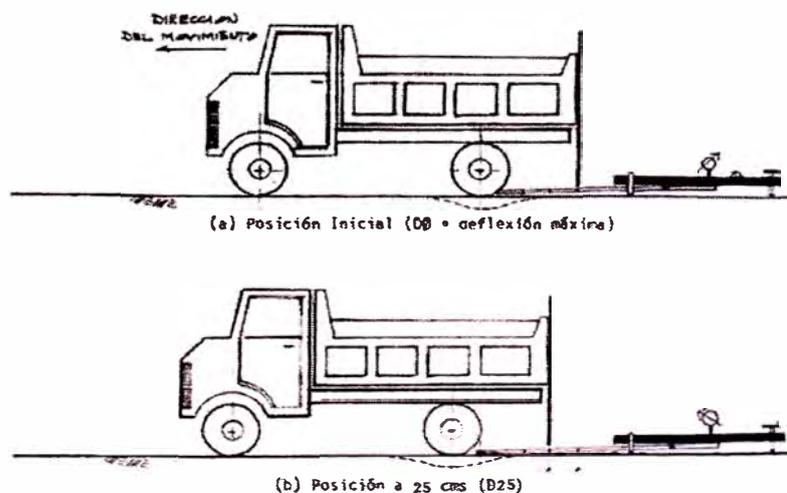
- Chofer de camioneta
- Ayudante de seguridad (2)

c) **Procedimiento de Campo.-** Se deben marcar con anticipación los puntos de medición en el pavimento a ser ensayado de manera que permita agilizar el proceso. Antes de empezar a medir se colocará en la parte trasera del camión una regla de metal que sirva de plomada para realizar las lecturas.

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

El pavimento, en consecuencia, por efecto del peso aplicado por las llantas experimenta una deformación elástica como en la figura N°3.04. En esa posición se gradúa el dial en "cero". Una vez anotada la primera lectura que corresponde al inicio del ensayo, se procede a mover el camión a una velocidad constante de 1cm/seg, como consecuencia el punto del pavimento, donde está apoyada la punta de la Viga Benkelman, es liberado progresivamente de la carga a la que inicialmente estaba sometido, y por lo tanto, el pavimento en ese punto empieza igualmente a recuperarse del estado de deformación en que se encontraba. Cuando el camión avanza 25cm, el pavimento en el punto seguirá todavía parcialmente deformado; en esa posición se tomará una lectura.

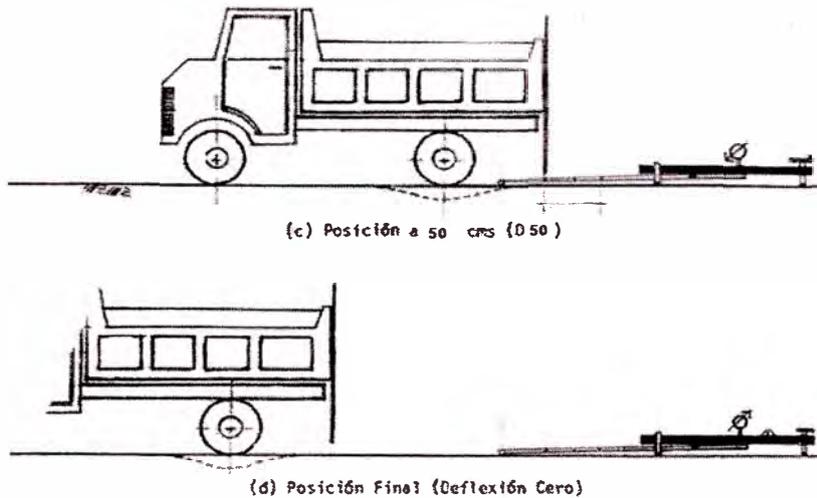
Figura N°2.03: Esquematización del proceso de deflexiones I



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

Finalmente, la llanta del camión se aleja completamente del punto dejándolo completamente liberado de la influencia de su carga, y, en consecuencia, el pavimento en dicho punto se recuperará completamente del estado inicial de deformación, condición en la cual se toma una última lectura en el dial, como se ve en la figura N°3.05.

Figura N°2.04: Esquemmatización del proceso de deflexiones II



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

CAPÍTULO III.- MARCO TEÓRICO

3.1 Evaluación Estructural.

Existen diferentes métodos de evaluación estructural del pavimento. En muchos casos los resultados de varios ensayos pueden compararse entre sí con el objeto de confirmar las razones del deterioro o de la falla y, de esta manera, entender mejor el comportamiento del mismo.

Los métodos de evaluación estructural se dividen en dos grupos, los **Ensayos Destructivos** y los **Ensayos No Destructivos**. Entre los ensayos destructivos más conocidos están las calicatas que nos permiten obtener una visualización de las capas de la estructura expuesta, a través de las paredes de ésta y realizar ensayos de densidad "in situ".

Estas determinaciones permiten obtener el estado actual del perfil a través de las propiedades reales de los materiales que lo componen.

Las calicatas facilitan además la toma de muestras en cantidad, para su posterior clasificación en el laboratorio, de cuyos resultados se puede establecer el uso más efectivo, al momento de realizarse las tareas de rehabilitación. Los trabajos suministran información adicional como:

- Los espesores de las capas conformantes.
- Los contenidos de humedad.
- La posible causa del deterioro de la capa (agrietamientos)
- La densidad de cada capa
- La capacidad de soporte en el material de sub - rasante.

Por otro lado se pueden efectuar ensayos mediante perforaciones con la ayuda de equipos de calado, barrenos, saca muestras, etc. Esta metodología, en comparación con las calicatas es más sencilla, menos costosa, más rápida y provoca menores interrupciones en el tránsito. Como desventaja, no se puede realizar determinaciones de densidad "in situ" por cuestiones de espacio. Sólo puede registrar potencia de cada capa.

En cuanto a los ensayos no destructivos, éstos se pueden llevar a cabo mediante medidas de las deflexiones que son una herramienta importante en el

análisis no destructivo de los pavimentos. La magnitud de la deflexión deformada producida por la carga, son útiles para investigar las propiedades “in situ” del pavimento. Se trata de aplicar una sollicitación tipo y medir la respuesta de la estructura.

El sistema quizás más difundido de medición de deflexiones es mediante el empleo de la Viga Benkelman. Este dispositivo se lo utiliza para realizar mediciones en sectores en los que se observan fallas visibles y en los que no se observan fallas, de esta forma es posible acotar las propiedades actuales del pavimento “in situ”, e integrar sus resultados para una interpretación global.

Otro equipo con el que se pueden realizar mediciones es con un deflectómetro de Impacto. Éste es un método no destructivo, que sirve para la evaluación estructural de pavimentos y conocimiento detallado de su estado. Esta técnica es de alto rendimiento, sin mayores interferencias al tránsito de las vías y además es utilizado de forma rápida y precisa.

Asimismo se puede utilizar para evaluar un pavimento, principalmente en su etapa receptiva, el perfilómetro láser. Éste proporciona información sobre la rugosidad del pavimento. La rugosidad son alteraciones del perfil del camino (a nivel de rasante), que provocan vibraciones en los vehículos y cuya información permite estimar la serviciabilidad presente del pavimento.

3.2 Evaluación Estructural por Deflectometría.

La deflectometría es el estudio de las deformaciones verticales de la superficie de una calzada, a consecuencia de la acción de una determinada carga dada.

Las fallas estructurales fundamentales dependen de la magnitud y frecuencia de las deformaciones recuperables y de la acumulación de las deformaciones permanentes en las estructuras, bajo la acción de las cargas móviles y/o estáticas. En consecuencia, es lógico que el criterio dominante para valorar la capacidad estructural se base en la deformabilidad de las calzadas bajo cargas normalizadas.

La deflexión es una medida de la respuesta del conjunto “pavimento–subrasante” frente a una carga dada. Su medición es simple, rápida, económica y “no destructiva”, es decir, no se alteran el equilibrio ni la integridad del sistema.

La metodología no destructiva se fundamenta en que la forma y dimensión de la curva de deflexiones encierran una valiosa información acerca de las características estructurales del pavimento y su subrasante. Para interpretar esta información en forma cuantitativa, se compara al pavimento-subrasante reales con un modelo matemático utilizando las deflexiones medidas para determinar los parámetros estructurales del sistema. Una vez determinados, estos parámetros estructurales, puede usarse como insumo para establecer las necesidades de refuerzo. Podría decirse entonces que la metodología de evaluación estructural, por métodos no destructivos, es un proceso de diseño inverso ya que utiliza la respuesta del sistema para establecer sus características estructurales, lo cual es generalmente opuesto a un proceso de diseño.

Otra característica de la metodología de evaluación no destructiva, es que por constituir la "muestra de ensayo" el pavimento mismo, esta representa el fiel reflejo de la compleja interacción entre sus componentes (capas de materiales y subrasante), y además esta "muestra" puede ser ensayada en cualquier momento de su vida sin disturbarla ni destruirla.

El desarrollo de soluciones para modelos matemáticos de pavimentos, la simpleza, rapidez y economía de las mediciones de deflexiones y, el carácter no destructivo de los ensayos, han contribuido al auge de las metodologías de evaluación estructural de pavimentos en los últimos 20 años.

El campo de aplicación de estas mediciones es muy amplio empleándose principalmente para:

- Determinar la vida útil remanente de un pavimento.
- Evaluar estructuralmente el pavimento.
- Evaluar los métodos de diseño de pavimentos y control de ejecución de obras.
- Determinar la condición de un pavimento con miras a su conservación.
- Facilitar la identificación de zonas débiles o deterioradas.

3.3 Deflectometría método empírico CONREVIAL.

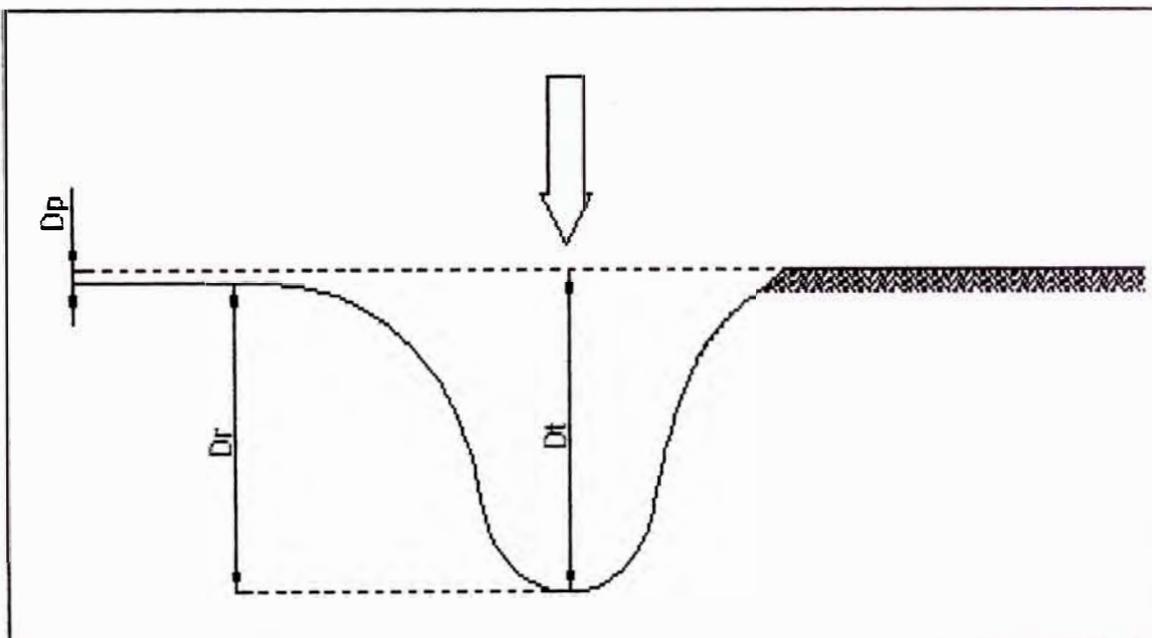
Los métodos empíricos en deflexiones, convenientemente procesadas, se relaciona con los valores admisibles.

3.3.1 Definición de deflexión.

La deflexión es de carácter elástico, pero también intervienen esfuerzos plásticos. Los primeros desaparecen en cuanto se renueve la carga y los segundos son permanentes, y su acumulación a través de las reiteraciones de las cargas produce las distorsiones o ahuellamientos en la superficie del pavimento. Por este motivo, se distinguen 3 clases de deflexiones:

1. **Deflexión Total (D_t):** Es la deformación vertical de la superficie producida por la acción de la carga.
2. **Deflexión recuperable o elástica (D_r):** Es la recuperación elástica de la superficie que se produce al retirar la carga. Esta se utiliza para el cálculo de refuerzo del pavimento.
3. **Deflexión permanente o residual (D_p):** Es la diferencia entre la posición original de la superficie antes de aplicar la carga y después de retirarla

Figura N°3.01: Tipos de deflexiones



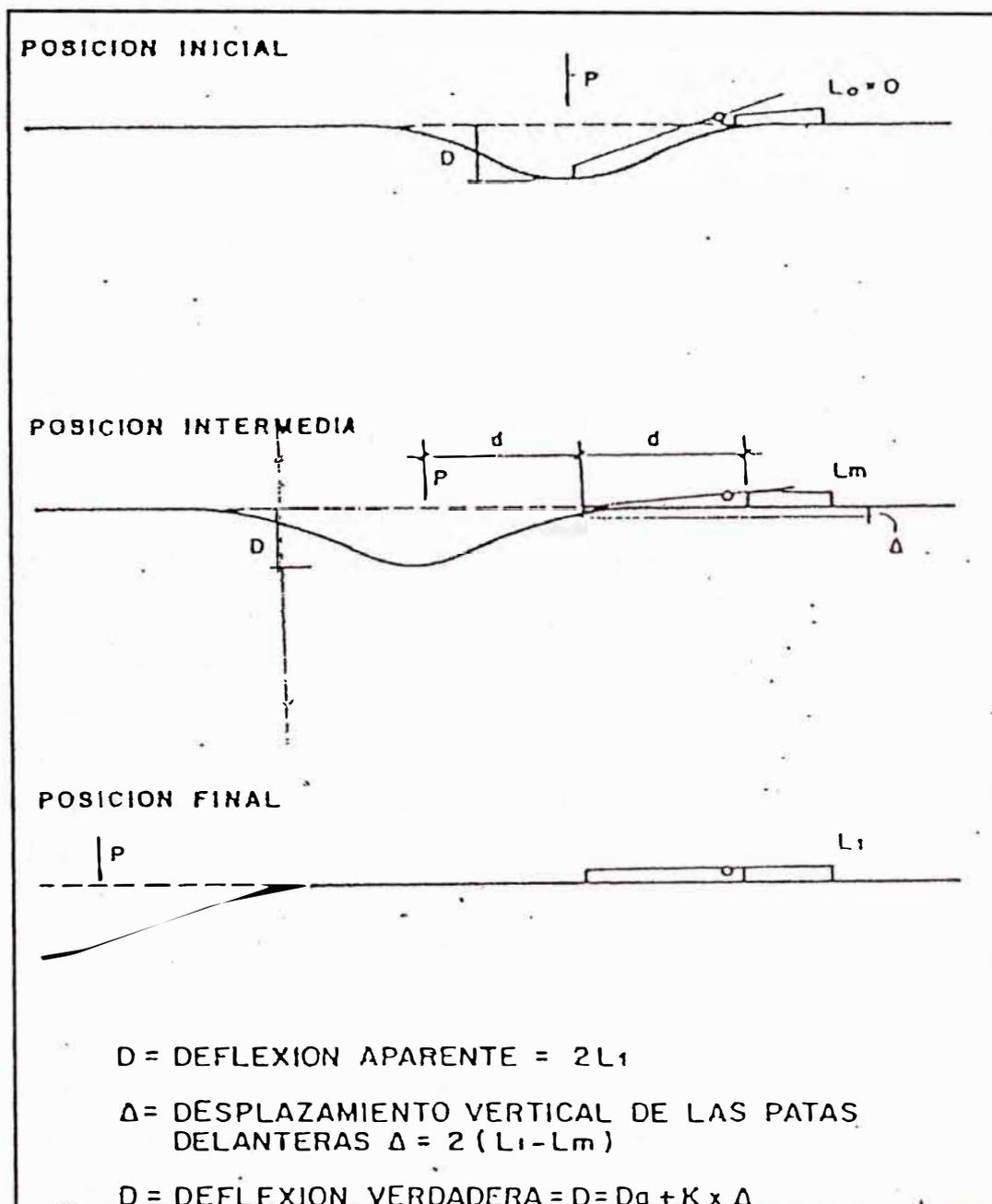
(Fuente: Estudio del CONREVIAL)

En general, se va a concentrar la atención en las medidas de las deflexiones recuperables, o sea en la deformabilidad de las estructuras por elasticidad

instantánea y retardada. Ello se debe a la mejor reproducibilidad de los resultados, la más fácil interpretación de los resultados y su correlación con la performance de las estructuras puesta en evidencia por los resultados del A.A.S.H.O. Road Test.

En el estudio se adoptará el procedimiento canadiense – coincidente con el del instituto del Asfalto – que determina la deflexión recuperable del pavimento, según es práctica usual.

Figura N°3.02: Determinación de la deflexión recuperable



(Fuente: Estudio del CONREVIAl)

3.3.2 Medición de deflexiones.

Existe una gran variedad de equipos destinados a medir las deflexiones de un pavimento, encontrándose desde los más simples y versátiles como es la Viga Benkelman hasta los más sofisticados y costosos, pero de gran rendimiento operacional Deflectógrafo Lacroix y FWD Falling Weight Deflectometer, etc., cada uno de ellos mide la deflexión bajo una carga que puede ser estática, o baja velocidad, o carga dinámica.

3.3.3 Determinación del radio de curvatura.

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

Las primeras tentativas para expresar numéricamente la curvatura se basaron en relacionar la Deflexión máxima con el diámetro del área superficial deformada (índice de curvatura), lo que resulta algo aleatorio por las dificultades para fijar el punto donde la línea de Deflexión es tangencial a la horizontal. Un análisis de los diversos procedimientos de medición permite comprobar que uno del más simple es el que está basado en la comprobación experimental; así la línea de Deflexión se aproxima a una parábola hasta una distancia algo mayor de 25 cm. Del eje de carga, para sufrir luego una inflexión y tender asintóticamente hacia la horizontal, la curvatura de la parábola queda definida por su parámetro, que en la zona de máxima curvatura se confunde practicante con el radio del círculo osculador en dicho punto. El radio de curvatura queda definido por la siguiente relación:

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

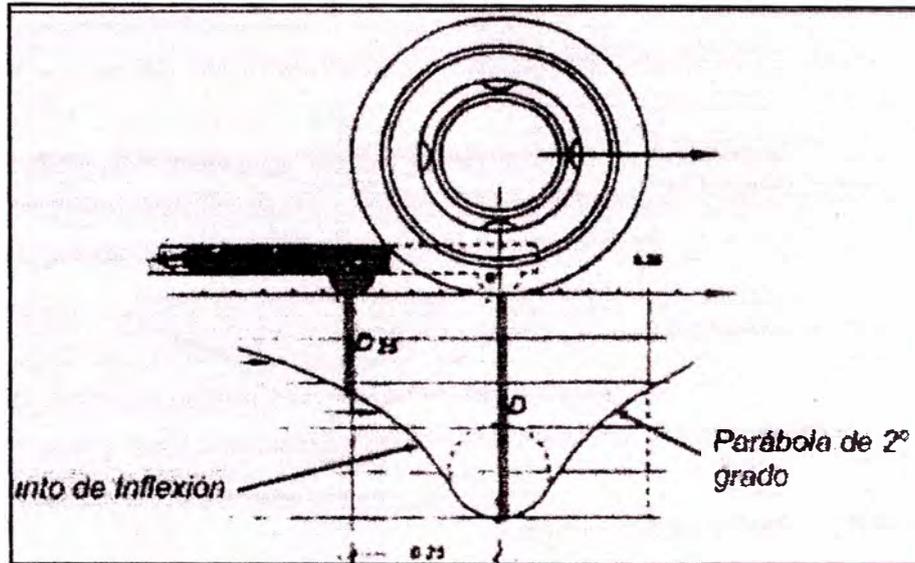
Donde:

R = Radio de Curvatura en metros

D₀ = Deflexión recuperable en el eje vertical de la carga, en centésimas de Milímetros.

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

Figura N°3.03: Radio de Curvatura



(Fuente: Estudio CONREVIAL)

3.3.4 Corrección de las deflexiones por efecto de la temperatura.

Se sabe que la temperatura del pavimento afecta las deflexiones recuperables, de forma tal que las dos mediciones realizadas en el mismo punto pero a distinta temperatura, indicaran resultados diferentes.

Para un pavimento dado, la magnitud de la deflexión aumenta con un incremento en la temperatura de las capas asfálticas. Esto es atribuido a una disminución de la rigidez de las mezclas bituminosas, por lo que el efecto dependerá del espesor de dichas capas y de la rigidez de las capas subyacentes.

Existen procedimientos para evaluar tal corrección y llevar las determinaciones a una temperatura standard (20°C) de referencia.

Para corregir las deflexiones por efecto de la temperatura se ha aplicado la siguiente fórmula:

$$D_{20} = \frac{D_t}{1 \times 10^{-3} \frac{1}{\text{cm}^\circ} e (t - 20^\circ\text{C}) + 1}$$

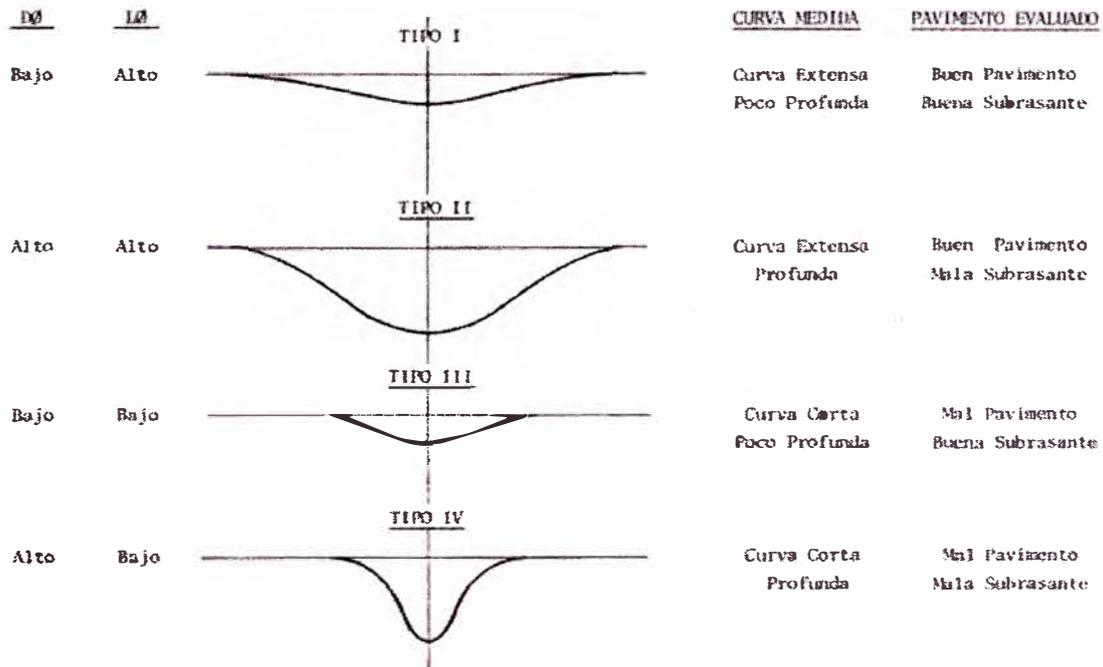
Donde:

D_t = deflexión recuperable, medida a la temperatura "t" °C en centésimas de mm.

D_{20} = deflexión recuperable a la temperatura estándar (20°C)

e = espesor de mezclas asfálticas en cm. medido en el borde del pavimento.

Figura N°3.04: Significado Cualitativo de los diferentes tipos de curvas de deflexiones



(Fuente: Estudio CONREVIAl)

3.3.5 Corrección por estacionalidad.

La capacidad de deformación de los suelos está influenciada por el grado de saturación que experimentan, por lo tanto, es deseable 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°3.01: Corrección por estacionalidad

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

(Fuente: Estudio CONREVIAl)

3.3.6 Análisis estadístico de las deflexiones

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.

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

Se define mediante la siguiente expresión:

$$D_c = D_{prom} + t\delta$$

Donde:

D_c = Deflexión característica

D_{prom} = Deflexión promedio de los valores individuales de D_0 corregido por temperatura y estacionalidad

σ = Desviación estándar

t = coeficiente de variación, que representa al porcentaje del área total con probabilidad de presentar deflexiones superiores a la deflexión características D_c .

En el cuadro N3.02 se indican los valores de t más frecuentes:

Cuadro N°3.02: Valores de Coeficientes de Variación t

Valor de diseño (%)	Deflexión Características D_c	Extensión del pavimento con $D > D_c$ (%)
50	D_p	50
75	$D_p + 0.674\sigma$	25
85	$D_p + \sigma$	15
90	$D_p + 1.30\sigma$	10
95	$D_p + 1.645\sigma$	5
98	$D_p + 2\sigma$	2
99	$D_p + 2.33\sigma$	1
99.9	$D_p + 3\sigma$	0.1

(Fuente: Estudio CONREVIAL)

3.3.7 Deflexión admisible

La deflexión admisible es un parámetro definido en función al tráfico de diseño, que establece un límite para la deflexión característica por encima del cual no se garantiza un comportamiento satisfactorio de la estructura durante el periodo considerado, se encuentra íntimamente relacionada al Número de Ejes Standard Equivalentes Acumulados de 8.2 Tn. La fórmula ampliamente difundida por el CONREVIAl, es la que se muestra a continuación:

$$D_{admisible} = \left(\frac{1.15}{N} \right)^{0.25}$$

Donde:

$D_{admisible}$ = Deflexión admisible en mm

N = Número total de eje equivalente a 8.2 Ton. en millones.

La estimación de la vida remanente se establece a través de la expresión dada en donde la deflexión admisible es igual a deflexión característica

a) Análisis de Transito – Eje Equivalente

De los estudios experimentales del efecto destructivo para las distintas cargas obteniéndose las ecuaciones crecientes, de relación exponencial de orden de 4, entre la carga real y la del eje de referencia adoptado. Estas experiencias, ampliamente difundidas, dan lugar a establecer factores de equivalencia de carga, tanto para ejes simples como tarden, los mismos que permitirán cuantificar el tremendo efecto destructivo de los vehículos pesados, así como la importancia de conocer el espectro real de las cargas, para poder evaluar la performance de los pavimentos.

Dichos coeficientes de equivalencia dependen esencialmente del criterio empleado para la evaluación del daño (fatiga, deformaciones sobre subrasante, serviciabilidad, etc.) del tipo del eje considerado (eje simple, doble o tarden, triple).

El eje estándar adoptado es un eje de 8,2 ton. (18000 libras) determinándose los factores de equivalencia siguiendo la metodología AASHO Road Test, que tiene como criterio la comparación de la valoración de la pérdida de la serviciabilidad del pavimento por efecto de carga.

De esta manera se han calculado los ejes de equivalencia para cada intervalo de carga, con las siguientes ecuaciones:

Cuadro N°3.03: Criterio para el cálculo del Número de repeticiones de Ejes Equivalentes

Tipo de Eje	Eje Equivalente (N18 = EE8.2tn)
Eje simple de ruedas simples	$EES1 = [P/6.6]^4$
Eje simple de ruedas dobles	$EES1 = [P/8.2]^4$
Eje tandem de ruedas dobles	$EES1 = [P/15.1]^4$
Eje tridem de ruedas dobles	$EES1 = [P/22.9]^4$
P = Peso real por eje en toneladas	

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

b) Factores de equivalencia (FE)

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

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

Nro	Tipo de Vehículo	Descripción	Eje Delantero	Ejes posteriores				EE8.2tn
				1er eje	2do eje	3er eje	4to eje	
1	Ómnibus 2E	Carga (Tn)	7	11				18
		F.E.C.	1.265	3.23 8				4.504
2	Ómnibus 3E	Carga (Tn)	7	18				25
		F.E.C.	1.265	2.01 9				3.285
3	Ómnibus 2E-L	Carga (Tn)	7	7				14
		F.E.C.	1.265	1.26 5				2.531
4	Camión 2E-P	Carga (Tn)	7	11				18
		F.E.C.	1.265	3.23 8				4.504
5	Camión 3E	Carga (Tn)	7	18				25
		F.E.C.	1.265	2.01 9				3.285
6	Camión 4E	Carga (Tn)	7	23				30
		F.E.C.	1.265	1.01 8				2.284
7	Semitrayler 2S2	Carga (Tn)	7	11	18			36
		F.E.C.	1.265	3.23 8	2.019			6.523
8	Semitrayler 2S3	Carga (Tn)	7	11	25			43
		F.E.C.	1.265	3.23 8	1.42			5.924
9	Semitrayler 3S1	Carga (Tn)	7	18	11			36
		F.E.C.	1.265	2.01 9	3.238			6.523
10	Semitrayler >=3S3	Carga (Tn)	7	18	25			50
		F.E.C.	1.265	2.01 9	1.42			4.705
11	Traylers C2R2	Carga (Tn)	7	11	11	11		40
		F.E.C.	1.265	3.23 8	3.238	3.238		10.980

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

Nota: Los pesos de los ejes se han determinado utilizando el reglamento de pesos y medidas máximas permitidas por el MTC

c) Determinación del número de repeticiones de ejes equivalentes estándar de 8.2 ton.

En la determinación del número de repeticiones de ejes equivalentes estándar, se considera exclusivamente camiones, omnibuses, etc.

Excluyendo los vehículos ligeros por carecer de alto factor destructivo, siendo necesario considerar el año que fue determinado el IMD y las tasas del crecimiento.

Con los factores destructivos del pavimento, el IMD, la tasa de crecimiento del tráfico, se calcula el número de repeticiones de ejes equivalentes de 8.2tn, se usará la siguiente expresión por tipo de vehículo. El resultado final será la sumatoria de los tipos de vehículos considerados.

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

Donde:

$N(18)$ = Número de repeticiones de ejes de 8.2 ton para un periodo de n años (en una dirección)

IMD_{2E} = Índice medio diario de Camiones de 2 ejes

IMD_{3E} = Índice medio diario de Camiones de 3 ejes

IMD_{TyST} = Índice medio diario de Camiones de TyST

FD_{2E} = Factor Destructivo de Camiones de 2E

FD_{3E} = Factor Destructivo de Camiones de 3E

FD_{TyST} = Factor Destructivo de Camiones de TyST

i = Tasa de crecimiento de los vehículos

n = periodo de diseño

3.3.8 Variabilidad de la Capacidad Estructural: Deflectograma

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

3.3.9 Juicio de la Capacidad estructural del pavimento

Una vez finalizadas las distintas tareas de campo y procesamiento de datos de campo, descritos en los ítems anteriores, con los resultados, se debe llevar a cabo un análisis de los mismos que conduzca a establecer la capacidad

estructural del pavimento en relación al tráfico de diseño, para condiciones de resistencia del suelo.

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

- Estructura adecuada ($D_c < D_{admisible}$) solo podría requerir una mejora superficial.
- Estructura de fatiga ($D_c > D_{admisible}$) y R_c reducido, requiere un refuerzo estructural.
- Estructura deficiente ($D_c \gg D_{admisible}$), requiere reconstrucción parcial o total.

Cuadro N°3.05: Casos típicos de análisis combinando resultados de evaluación

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

(Fuente: Manual de CONREVIAL)

3.3.10 Cálculo del espesor de refuerzo

Sabiendo que para la determinación de los espesores de refuerzo, se utiliza el método de reducción de las deflexiones con varias fórmulas que propone el documento CONREVIAl, se puede indicar que este método se basa sobre la reducción de la elongación vertical sobre la subrasante provista por una capa adicional a la superficie de rodadura de espesor "h". Ella sola es utilizable, si esta elongación es representativa del modo de ruptura del pavimento y de su daño, es decir, solamente en el caso de pavimentos flexibles con pocos espesores de carpeta asfáltica que continúan flexibles después del refuerzo. Es el caso de la mayoría de las carreteras en su primera rehabilitación.

Para el cálculo del espesor de refuerzo, en los casos 1º y 2º, se emplea la Fórmula de Ruiz (Argentina), cuya expresión es:

$$h = \frac{R}{0.434} \log \frac{D_0}{D_h}$$

Donde:

h = espesor de refuerzo (cm)

D₀ = Deflexión característica antes del refuerzo (1/100mm).

D_h = Deflexión característica luego del refuerzo (1/100mm). (Dadm. de diseño)

R = Coeficientes con dimensiones de un espesor.

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

Cuadro N°3.06: Valores recomendados para R

		Espesor de refuerzo "h" (en cm)			
		5	10	15	20
deflexiones características antes del refuerzo (1/100mm)	50	20.0	21.5	23.0	24.5
	70	18.0	19.5	21.0	22.5
	90	17.0	18.0	19.5	21.0
	120	15.0	16.5	18.0	19.5
	150	13.5	15.0	16.5	18.0
	170	13.0	14.5	16.0	17.5
	200	12.0	13.5	15.0	16.5

(Fuente: Manual de CONREVIAl)

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

CAPÍTULO IV.- APLICACIÓN AL TRAMO Km 114+000 al Km 116+000**4.1 Recopilación de datos**

De la visita efectuada al campo, se recopiló las mediciones de deflexiones recuperables con la Viga Benkelman con la relación de brazos de 4:1 y con un dial de precisión de 0.02 mm.

Esta base de datos se encuentra en el Cuadro N°01 del Anexo N°01 del trabajo

4.2 Procesamiento de datos

En el siguiente cuadro se detallan los resultados deflectométricos obtenidos para cada una de los parámetros.

Como se observa en el Cuadro N°02 del Anexo N°01.

Se procede a sacar un cuadro resumen de deflexiones promedio y característica.

Para nuestro $D_{\text{característico}}$ he usado valor de diseño del 90% entonces $t=1.30$.

Cuadro N°4.01: Cuadro de Resumen de Deflexiones

Tramo total	Deflexiones x 10 ⁻² mm
Mínimo	43.74
Máximo	174.31
Promedio (D_{promedio})	115.13
Desviación	41.92
Coefficiente de Variación	36.41
Característico ($D_{\text{característico}}$)	169.62
Radio Curvatura promedio	40.76

(Fuente: Elaboración propia)

Del cuadro N°1.04 los IMD proyectados para el 2010

Cuadro N°4.02: Cuadro de IMD proyectado

Tipo de Vehículo	IMD 2010	Factor de equivalencia	Tasa de Crecimiento i (%)
Automóvil	1	0	2.6
Camioneta	21	0	2.6
Combi rural	4	0	2.4
Micro	0	4.504	1.4
Ómnibus 2E	8	4.504	1.4
Ómnibus 3E	0	3.285	1.4
Camión 2 Ejes	9	4.504	4.6
Camión 3 Ejes	12	3.285	4.6
Camión 4 Ejes	0	2.283	4.6
Semitraylers	0	6.523	4.6
Traylers	0	10.98	4.6

(Fuente: Elaboración propia)

Cálculo de EAL y $D_{admisible}$ para periodos de diseño (1,2 y 3 años)

Cuadro N°4.03: Cuadro de Obtención de EAL y $D_{admisible}$

Tipo de Vehículo	IMD 2010	Factor de equivalencia	Tasa de Crecimiento i (%)	Proyección					
				n (años)	EAL ₂₀₁₁	n (años)	EAL ₂₀₁₂	n (años)	EAL ₂₀₁₃
Ómnibus 2E	8	4.504	1.4	1	13844	2	27883	3	42117
				1	15575	2	31866	3	48907
				1	13884.0332	2	28406	3	43597
Camión 2 Ejes	9	4.504	4.6	1	15575	2	31866	3	48907
				1	13884.0332	2	28406	3	43597
				1	13884.0332	2	28406	3	43597
Camión 3 Ejes	12	3.285	4.6	1	13884.0332	2	28406	3	43597
				1	13884.0332	2	28406	3	43597
				1	13884.0332	2	28406	3	43597
EAL				43303.51	88155.95	134622.38			
N18				0.2165	0.4408	0.6731			
$D_{adm} \times (10^{-2} \text{ mm})$				151.81	127.09	114.33			

(Fuente: Elaboración propia)

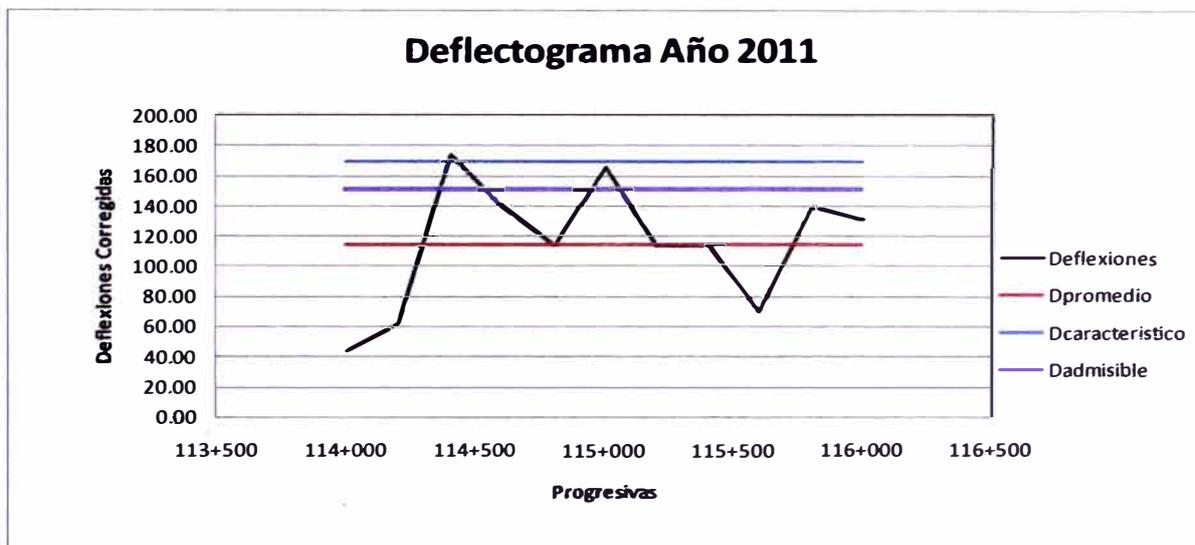
CAPÍTULO V.- ANÁLISIS DE RESULTADOS

5.1 Gráficos de deflectograma

Con los datos procesados se graficó el deflectograma, que está en función de la progresiva vs la deflexiones máximas a lo largo de la carretera del Km 114+000 al Km. 116+000.

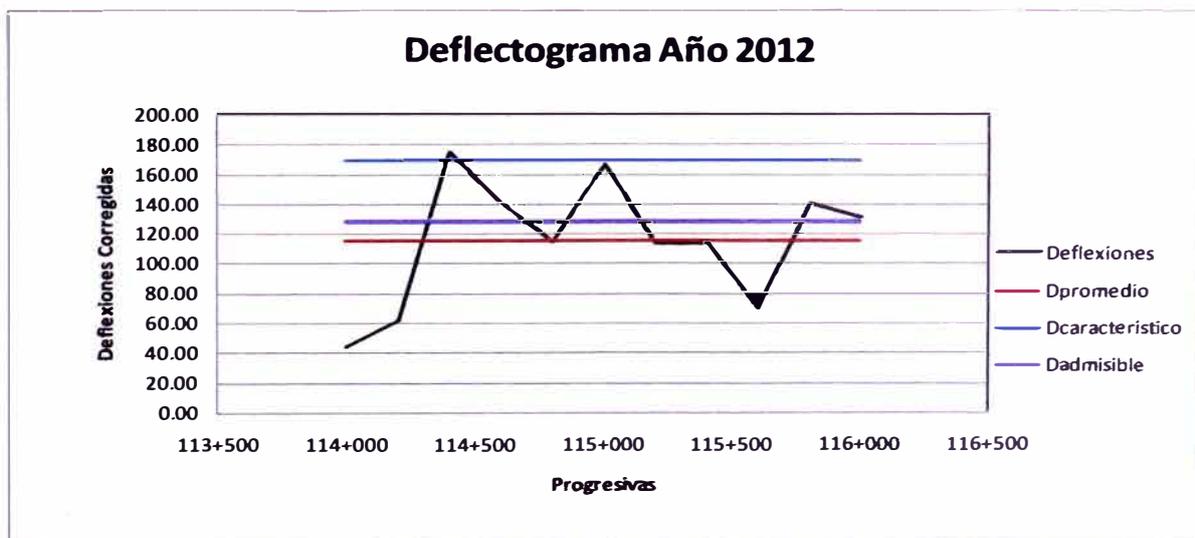
En el deflectograma se realiza el análisis estadístico calculando la deflexión promedio, desviación estándar y la deflexión característica, las que se graficarán en el deflectograma.

Figura N°5.01: Deflectograma del 2011



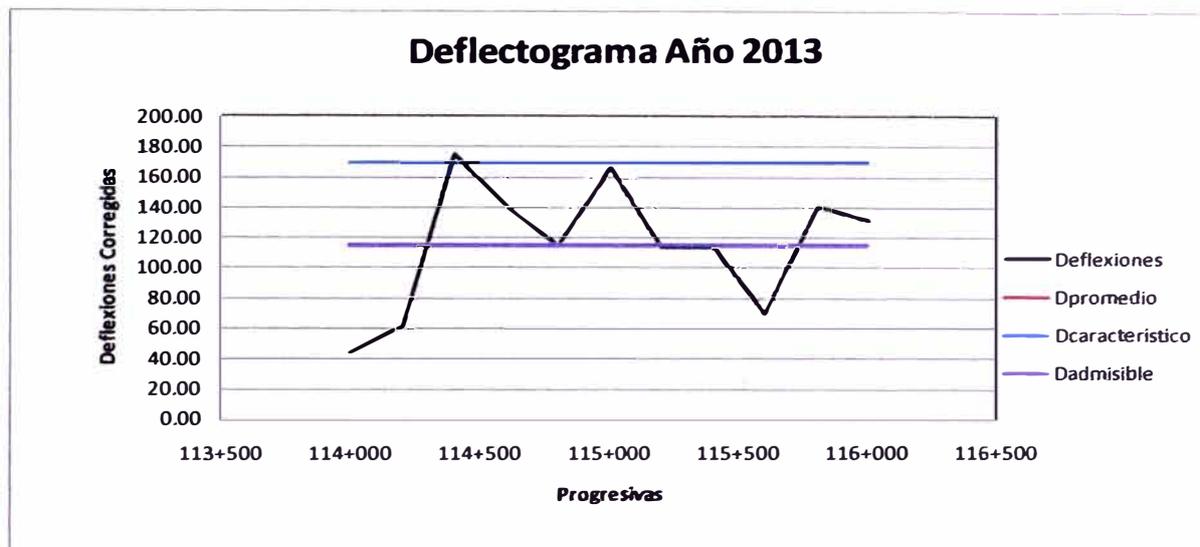
(Fuente: Evaluación propia)

Figura N°5.02: Deflectograma del 2012



(Fuente: Evaluación propia)

Figura N°5.03: Deflectograma del 2013



(Fuente: Evaluación propia)

5.2 Evaluación de la capacidad estructural

Cuadro N°5.01: Resultado de deflexiones

Descripción	Unidad	Km. 114+000 al Km. 116+000			
		año de análisis (n)	2011	2012	2013
Deflexión Característica (Dc)	$\times 10^{-2}$ mm		169.62	169.62	169.62
Deflexión Admisible (D _{adm})	$\times 10^{-2}$ mm		151.81	127.89	114.33
Radio de Curvatura (Rc)	m		40.76	40.76	40.76
Espesor de refuerzo	cm		1.44	3.67	5.13

(Fuente: Elaboración propia)

Para todos los periodos de evaluación la deflexión características ($D_c=169.62 \times 10^{-2}$ mm) es mayor que la deflexión admisible por la cual se considera que tiene un comportamiento inadecuado de la superficie de rodadura.

CONCLUSIONES

1. Cuando se usa una Viga Benkelman de brazo doble, se requiere menor personal para operarla que cuando se usa 2 vigas.
2. En la viga de doble brazo es mayor la precisión y seguridad en las lecturas que en la viga de un solo brazo. Esto se debe a que las dos palancas poseen la misma base de referencia, y que la viga por construcción asegura el correcto distanciamiento de 25cm.
3. En un red secundaria de carreteras, la Viga Benkelman es el instrumento más adecuado con el que se puede realizar la evaluación estructural no destructiva, debido a su confiabilidad, y bajo costo comparado con otros instrumentos de medición y como existe poco tránsito en este tipo de carreteras, la interferencia del tránsito vehicular al momento del ensayo no es relevante.
4. Debido al poco número de datos obtenidos en campo con la Viga Benkelman se puede estar dando solo una aproximación de la caracterización del pavimento de la zona estudiada, ya que lo recomendable es trabajar cada 50m, porque es una zona pequeña de trabajo.
5. El factor de corrección por temperatura aplicada a las deflexiones, tiene una influencia mínima, cuando los espesores de este tipo de tratamiento son mínimos.
6. La forma de la curva de deflexión para el tramo en estudio indica que el pavimento es de mala calidad y también la subrasante, debido a valores bajos del radio de curvatura y altas deflexiones.
7. Las deflexiones máximas y picos encontrados son muy altos y no corresponden a una carretera que tiene poco tiempo de haber sido tratada esto se debe a la baja capacidad portante de la subrasante.
8. Se tendrá que poner una capa de refuerzo para que el tránsito no afecte a la superficie de rodadura, debido a que la subrasante se ha visto afectada por la falta por cunetas en la zona u otros factores de suelo.
9. Según el estudio realizado, la superficie de rodadura tiene un comportamiento inadecuado para los siguientes 3 años de Conservación y Mantenimiento de la vía.

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda tomar más muestras para poder así representar mejor la zona a estudiar ya que con la poca cantidad de puntos tomados no se puede concluir con mucha confianza.
2. Se recomienda construir un adecuado sistema de cunetas para evitar un deterioro del pavimento y su capa de rodadura.
3. Se recomienda realizar anualmente una evaluación estructural del pavimento para este tipo de carreteras, de bajo volumen de tráfico, ya que el tráfico podría alterarse bruscamente, e identificar si esta urge una rehabilitación y/o reforzamiento.
4. Siempre se debe de contar con técnicos capacitados para efectuar una lectura precisa de las deflexiones, ya que ellos están en constante trabajo con la viga y tienen menos margen de error humano.

ANEXOS

ANEXO N°1: DATOS DE CAMPO

MEDICIONES DE DEFLEXIONES CON VIGA BENKELMAN - HOJA DE CAMPO

Carril: Izquierdo Relación de brazo: 4:1
 Superficie: Monocapa
 Fecha: 22/05/2010

N°	Progresiva (km)	Lecturas de Campo (10-2mm)				L.C.B Corto	Espesor (mm)	Ahuellamiento (mm)	Temp (°C)
		L25	L50	L70	Lmáx	Lmáx			
1	114+000	1	3	4	5	3	6	8	29.8
2	114+200	1	3	5	7	3	5	14	29.3
3	114+400	1	3	6	20	14	8	13	32.1
4	114+600	2	7	10	16	8	6	7	32.6
5	114+800	1	5	8	13	6	4	3	35.4
6	115+000	4	11	13	19	9	6	5	34.3
7	115+200	2	6	8	13	8	9	5	30.2
8	115+400	2	7	10	13	6	6	4	32.4
9	115+600	3	5	7	8	2	4	5	33.6
10	115+800	5	8	11	16	8	6	5	32.2
11	116+000	4	9	11	15	7	5	4	33.5

ANEXO N°2: RESULTADO DE DATOS

Progresiva (km)	Lecturas de Campo (10 ⁻² mm)		Lecturas de Campo X Factor del dial (2) (10 ⁻² mm)		Deflexiones sin Corregir (10 ⁻² mm)		Espesor (mm)	Ahuellamiento (mm)	Temp (°C)	RESULTADOS DEFLECTOMÉTRICOS		Radio Curvatura (m)
	L ₂₅	L _{máx}	L ₂₅	L _{máx}	D ₂₅	D _{máx}				Deflexiones Corregidas		
										D ₂₅ x 10 ⁻² mm	D ₀ x 10 ⁻² mm	
114+000	1	5	2	10	8	40	6	8	29.8	8.75	43.74	89.30
114+200	1	7	2	14	8	56	5	14	29.3	8.76	61.31	59.46
114+400	1	20	2	40	8	160	8	13	32.1	8.72	174.31	18.87
114+600	2	16	4	32	16	128	6	7	32.6	17.47	139.74	25.56
114+800	1	13	2	26	8	104	4	3	35.4	8.75	113.70	29.78
115+000	4	19	8	38	32	152	6	5	34.3	34.90	165.78	23.88
115+200	2	13	4	26	16	104	9	5	30.2	17.44	113.36	32.58
115+400	2	13	4	26	16	104	6	4	32.4	17.47	113.56	32.52
115+600	3	8	6	16	24	64	4	5	33.6	26.26	70.02	71.41
115+800	5	16	10	32	40	128	6	5	32.2	43.68	139.78	32.52
116+000	4	15	8	30	32	120	5	4	33.5	34.96	131.11	32.50

ANEXO N°3: PANEL FOTOGRÁFICO



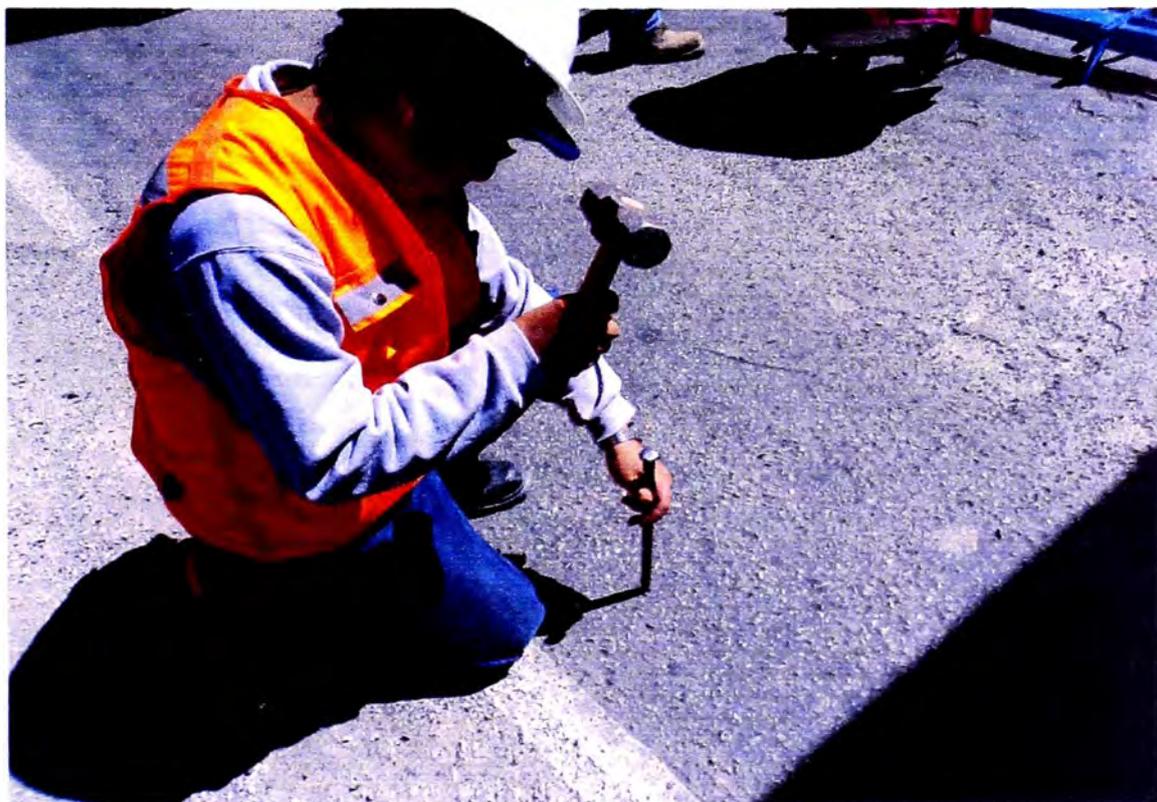
Foto N°1: Colocación de las marcas para la medición con la Viga Benkelman



Foto N°2: Lectura del dial en la Viga Benkelman



**Foto N°3: Medición de las huellas que imprimen los neumáticos en la vía
(Lectura de ahuellamiento)**



**Foto N°4: Procedimiento para obtener muestras y medir el espesor del
pavimento**