

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



**ENSAYO NO DESTRUCTIVO CON VIGA BÉNKELMAN
MONITOREO DE CONSERVACIÓN CARRETERA CAÑETE-
HUANCAYO, KM 114+000 AL KM 116+000**

INFORME DE SUFICIENCIA

Para optar el Título Profesional de:

INGENIERO CIVIL

ANGEL ALEXANDER GARRIDO DEL AGUILA

Lima- Perú

2010

	Pág.
RESUMEN	3
LISTA DE CUADROS	4
LISTA DE FIGURAS	5
LISTA DE SÍMBOLOS	6
INTRODUCCIÓN	7
CAPÍTULO 1: GENERALIDADES	
1.1 Antecedentes	8
1.2 Ubicación de la Carretera	9
1.3 Características de la Carretera	10
CAPÍTULO 2: DESCRIPCIÓN DE LA METODOLOGÍA	
2.1 Evaluación con Viga Benkelman	12
2.2 Campo de Aplicación de la Medición de Deflexiones	13
2.3 Deflectometría Método Empírico	13
2.3.1. Concepto de Deflexión	13
2.3.2. Determinación de la Deflexión	14
2.3.3. Medición de la Deflexión	14
2.3.4. Análisis Estadístico de Deflexiones - Deflexión Característica	19
2.3.5. Deflexión Admisible	21
2.3.6. Gráficas Deflectométricas	24
2.3.7. Radio de Curvatura.	25
2.3.8. Juicio de la Capacidad Estructural del Pavimento	26
2.3.9. Cálculo del Espesor de Refuerzo	28
CAPÍTULO 3: PROCESAMIENTO DE LOS VALORES DEFLECTOMÉTRICOS	
3.1. Recopilación de Datos.	29
3.2. Procesamiento de Datos.	29
3.2.1. Cálculo de las Deflexiones	29
3.2.2. Cálculo de las Deflexiones Corregidas	30
3.2.3. Cálculo de la Deflexión Característica	31
3.2.4. Cálculo de la Deflexión Admisible	31

CAPÍTULO 4: ANÁLISIS DE LA CAPACIDAD PORTANTE DE LA VÍA	
4.1. Deflectograma del Tramo en Análisis	33
4.2. Evaluación de la Capacidad Estructural	35
4.3. Espesor de Refuerzo	36
4.4. Descripción del Estado Actual de la Superficie de Rodadura	36
4.5. Sistema de Gestión de Conservación y Mejoramiento de la Vía.	38
4.6. Objetivo del Sistema de Gestión de Conservación y Mejoramiento de la Vía	38
CONCLUSIONES	39
RECOMENDACIONES	40
BIBLIOGRAFÍA	41
ANEXO	41
Anexo 01. Panel Fotográfico	43

RESUMEN

El presente Informe de Suficiencia, contiene una aplicación para evaluar el comportamiento estructural del pavimento de la carretera Cañete-Huancayo carril derecho, tramo KM 114+000 – 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. Con esta metodología se determina la deflexión característica, la deflexión admisible y el radio de curvatura del pavimento debido a las sollicitaciones de tránsito que lo utiliza.

Con los resultados de la deflexión característica y la deflexión admisible, se puede analizar el comportamiento estructural del pavimento para los siguientes tres años de servicio, en la cual la superficie de rodadura va soportar el incremento de tránsito e incluso factores alternos, que afectan su función específica que es la de proteger la capa de base del pavimento.

En el estudio realizado, se analiza la superficie de rodadura para evaluar el espesor del refuerzo que se requiere para fortalecerla y pueda soportar, las sollicitaciones de tránsito durante el periodo de diseño analizado. La forma de representar de manera global el conjunto de datos obtenidos de la evaluación, es por medio de un deflectograma, representación gráfica que nos permite analizar, el comportamiento de la superficie de rodadura y de la estructura del pavimento, para prever el espesor y tipo de refuerzo que se debe emplear.

LISTA DE CUADROS

	Pag.
Cuadro N°1.01: Características Principales de la Vía	11
Cuadro N°2.01: Valores del Coeficiente de Variación “t”	20
Cuadro N°2.02: Corrección por Estacionalidad	21
Cuadro N°2.03: Criterio para el Cálculo Equivalencia de Carga	22
Cuadro N°2.04: Determinación de los Factores de Equivalencia de Carga	23
Cuadro N°2.05: Casos Típicos de Análisis Combinando Resultados de Evaluación	27
Cuadro N°2.06: Valores Recomendados “R”	28
Cuadro N°3.01: Cuadros de Datos Obtenidos en Campo	29
Cuadro N°3.02: Cuadros de Deflexiones sin Corregir	30
Cuadro N°3.03: Cuadros de Deflexiones Corregidas y Radios de Curvatura	30
Cuadro N°3.04: Cuadro de Resumen-Deflexión Promedio y Deflexión Característica	31
Cuadro N°3.05: Determinación del Tráfico actual	32
Cuadro N°3.06: Obtención de la Deflexión Admisible	32
Cuadro N°4.01: Resumen del Cálculo de Refuerzo por el Método de Deflexiones	36
Cuadro N°4.02: Espesor de Refuerzo para el Tratamiento Superficial	36

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura N° 1.01: Plano de Ubicación del Proyecto	10
Figura N° 2.01: Tipos de Deflexiones	14
Figura N° 2.02: Esquema y Principio de Operación de la Viga Benkelman	15
Figura N° 2.03: Esquemización del Proceso de Medición	18
Figura N° 2.04: Determinación del Radio de Curvatura	26
Figura N° 4.01: Deflectograma al Primer Año de Servicio (Dadm 2011)	33
Figura N° 4.02: Deflectograma al Segundo Año de Servicio (Dadm 2011)	34
Figura N° 4.03: Deflectograma al Tercer Año de Servicio (Dadm 2011)	34
Figura N° 4.04: Estado de la Superficie de Rodadura	37
Figura N° 4.05: Foto que Muestra Erosión de la Monocapa	37

LISTADO DE SÍMBOLOS

CGC	: Consorcio Gestión de Carreteras
CONREVAL	: Consorcio de Rehabilitación Vial
Dadm	: Deflexión Admisible
Dc	: Deflexión Característica
Dv	: Desvió
EE	: Eje Equivalente
END	: Evaluación no Destructiva
IMD	: Índice Medio diario
Km	: Kilómetro
PBI	: Producto Bruto Interno
PE-24	: Ruta de Penetración 24
Rc	: Radio de Curvatura
R	: Valores con Dimensiones de un Espesor
t	: Coeficiente de Variación
σ	: Desviación Estándar

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.

Para lograr el objetivo principal, es necesario recopilar adecuadamente con la Viga Benkelman, los datos de medición de deflexiones en campo, procesar los datos de medición con el método empírico según el estudio de CONREVIAl (Consortio de Rehabilitación Vial), evaluar y analizar los resultados para determinar la condición estructural en que se encuentra el pavimento.

La evaluación estructural de un pavimento mediante la Viga Benkelman, es un ensayo no destructivo sencillo práctico y económico, permite medir las deformaciones elásticas que sufre un pavimento bajo la acción de una carga normalizada. Mediante este ensayo no destructivo es posible evaluar el debilitamiento progresivo de la estructura del pavimento debido a las sollicitaciones de tránsito y una serie de causas que lo deterioran. Para lo cual el presente informe se ha desarrollado en seis capítulos.

El Capítulo 1, se describe las generalidades de la carretera, los antecedentes, su ubicación y las características más importantes. El Capítulo 2, consiste en la descripción de la metodología y el campo de aplicación de la evaluación con Viga Benkelman. El Capítulo 3, describe todo lo referente a la recopilación y procesamiento de los datos obtenidos en el tramo en estudio. El Capítulo 4, presenta los resultados obtenidos en el Capítulo 3 mediante un deflectograma que nos permitirá analizar, el comportamiento de la superficie de rodadura y de la estructura del pavimento. El Capítulo 5, describe el estado de la superficie de rodadura y analiza que espesor de refuerzo se requiere para los próximos 3 años de servicio. El Capítulo 6, desarrolla el objetivo de una gestión de conservación y mejoramiento de un vía para garantizar un costo apropiado de conservación con un programa de largo plazo.

CAPÍTULO 1.- GENERALIDADES

1.1 Antecedentes

La carretera de penetración y enlace entre Huancayo-Yauyos-Cañete, fue proyectada y ejecutada por partes durante el gobierno del Presidente Augusto B. Leguía entre la década de 1920 a 1930, mediante la Ley decretada de la Conscripción Vial Territorial del Perú. Esta carretera conocida como Corredor Vial N° 13 Cañete-Lunahuaná-Chupaca-Huancayo, forma parte de la Ruta N° PE-24, con una longitud total de 281.73 km, a la cual se le brinda el servicio de Conservación Vial. Se encuentra entre los departamentos de Lima y Junín, y su ámbito de desarrollo abarca las provincias de Cañete, Yauyos, Concepción, Chupaca y Huancayo.

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.

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.

El 27 de diciembre de 2007, la empresa “Consortio Gestión de Carreteras”, asume las obligaciones de contratista conservador para realizar el servicio de Conservación Vial por Niveles de Servicio de la Carretera Cañete-Lunahuaná-Pacarán-Ronchas-Chupaca y Rehabilitación del Tramo Zúñiga-Dv. Yauyos-Ronchas, por un monto de S/. 131'589,139.71. Actualmente, el Consortio Gestión de Carreteras (CGC), viene haciendo trabajos de mantenimiento periódico como parte de los compromisos contraídos. Según los términos de referencia, dentro de la fase pre-operativa se ha realizado el Inventario Vial Calificado durante los meses de abril, mayo y junio de 2008.

Al proyectarse la carretera Cañete – Yauyos - Huancayo como ruta alterna a la Carretera Central, se necesitaría lograr una mejor transitabilidad para atender la demanda futura debido a que con el mejoramiento, la vía se convertiría en un corredor económico de gran importancia, es por esta razón que es competencia del Estado realizar los trabajos ahí proyectados.

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 284.53 Km aproximadamente.

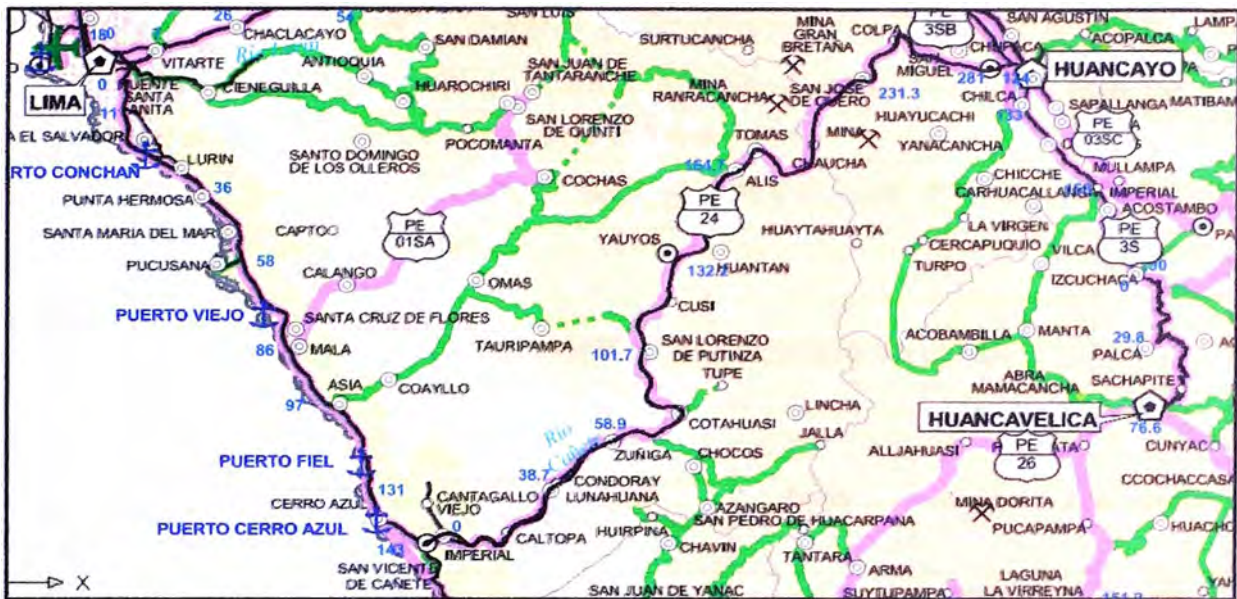


Figura 1.01: Plano de Ubicación del Proyecto

FUENTE: OFICINA GENERAL DE DE PLANEAMIENTO Y PRESUPUESTO MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES

1.3 Características 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 condiciones de seguridad no adecuadas. Los principales usuarios de la carretera son los pobladores de zonas cercanas a la vía, y en muy baja cantidad de vehículos los que utilizan 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 entre 3.20m a 4.00m.

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 entre 3.5m a 6.0m.

Entre el tramo de Roncha-Chupaca se encuentra a nivel de carpeta asfáltica cuyo ancho de pista es de 7.0m.

Cuadro 1.01 Características Principales de la Vía

Tramo inicial	Tramo final	Long. Tramo (Km)	Cota inicial	Cota final	Dpto.	Región	Topografía
Lunahuaná	Pacarán	15.27	523	710	Lima	Costa	Ondulada
Pacarán	Zúñiga	4.15	710	821	Lima	Costa	Ondulada
Zúñiga	Dv. Yauyos	72.6	821	2289	Lima	Sierra	Accidentada
Dv. Yauyos	Ronchas	135.13	2289	3458	Lima-Junín	Sierra	Accidentada
Ronchas	Chupaca	16.6	3458	3270	Junín	Sierra	Accidentada

(Fuente: Elaboración propia)

CAPÍTULO 2.- DESCRIPCIÓN DE LA METODOLOGÍA

2.1 Evaluación con Viga Benkelman

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

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

Los trabajos de evaluación de carreteras, demandan evaluaciones del tipo no destructivas (END), las mismas que durante los últimos años se ha desarrollado mediante el empleo de la viga Benkelman teniendo en cuenta de suma importancia la relación de brazos de palanca de los aguilonos y la aproximación de lectura de los diales empleados.

La evaluación no destructiva empleando Viga Benkelman, determina deformaciones del pavimento frente a las sollicitaciones de carga proveniente de un vehículo. La Viga Benkelman de brazo doble, fue utilizada desde el año 1981, mediante el método empírico, que considera dos puntos de deflexión distantes 25 cm, y con los cuales se puede establecer la parábola de la deformada.

En esta deformada se inscribe un círculo cuyo radio de curvatura (R_c) representa una longitud ficticia y mediante la interpretación de este valor, la deflexión máxima en el origen (D_o) y la deflexión característica (D_c).

Las deflexiones reflejan una respuesta global del sistema pavimento-subrasante bajo una carga dada. Su medición es simple, rápida, económica y no destructiva.

2.2 Campo de Aplicación de la Medición de Deflexiones

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

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

2.3 Deflectometría Método Empírico

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

2.3.1 Concepto de Deflexión

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

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

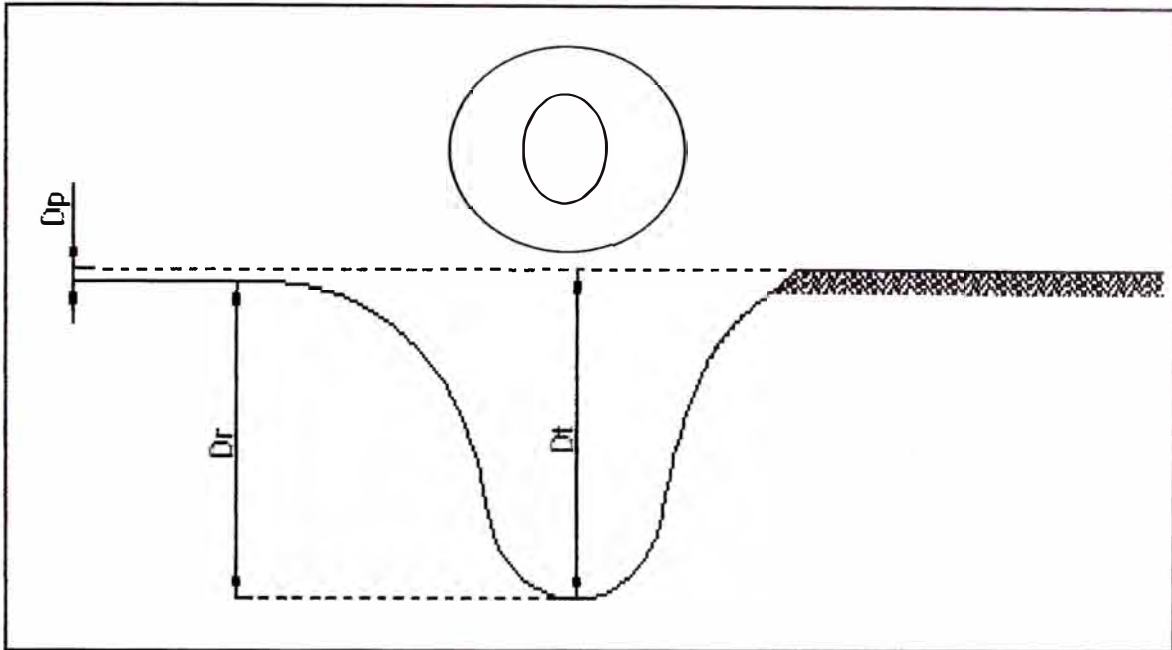


Figura N° 2.01: Tipos de Deflexiones

2.3.2. Determinación de la Deflexión

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

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

2.3.3 Medición de la deflexión

Las medición de las deflexiones se pueden realizar por una variedad de equipos como la Viga Benkelman, Dynaflect, Deflectógrafo Lacroix y FWD Falling Weight Deflectometer, etc.; cada uno de ellos mide la deflexión bajo una carga que puede ser estática, o carga dinámica.

El instrumento más utilizado para medir deflexiones es la Viga Benkelman, representada esquemáticamente de acuerdo a la figura N°2.02, la cual se descompone esencialmente de una parte fija y una parte móvil.

- La parte fija, es un cuerpo de sostén que se sitúa directamente sobre el terreno mediante tres apoyos (dos delanteros fijos A y uno trasero B).
- La parte móvil, es un brazo móvil acoplado al cuerpo fijo mediante una articulación de giro o pivote C, uno cuyos extremos apoya sobre el terreno (punto D) y el otro se encuentra en contacto sensible con el vástago de un extensómetro de movimiento vertical (punto E).

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

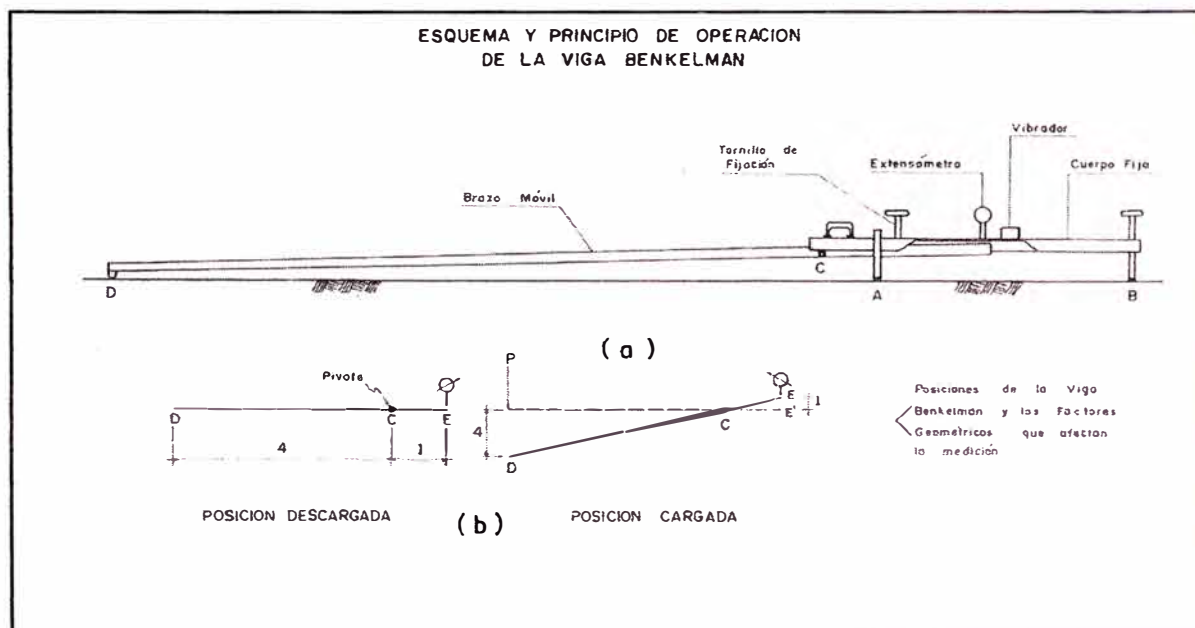


Figura N° 2.02: Esquema y Principio de Operación de la Viga Benkelman

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

La viga está constituida por una palanca de gran longitud, que pivotea alrededor de un eje de rotación horizontal, situado en un punto fijo, que divide la palanca

en dos brazos desiguales. En uno de los extremos de la palanca, que corresponde al brazo de mayor longitud, se encuentra la punta de prueba, diseñada para situarse entre las llantas de la rueda dual. Al otro lado se sitúa el extensómetro (comparador), soportado por un bastidor independiente de la palanca. La viga apoyada en patas delanteras y traseras de posición regulable. Un pequeño vibrador asegura un estrecho y continuo contacto entre el extensómetro y palanca. Adicionalmente el equipo posee un vibrador incorporado que al ser accionado durante la realización de los ensayos, evita que el indicador del dial se trabe y/o que cualquier interferencia exterior afecte las lecturas.

El extremo D o punta de la viga es de espesor tal que puede ser colocado entre una de las llantas dobles del eje trasero del camión cargado. Por el peso aplicado se produce una deformación del pavimento, consecuentemente la punta baja una cierta cantidad, con respecto al nivel de la superficie en donde no se está aplicando la carga. Como efecto de dicha reacción el brazo DE gira en torno al punto fijo C con respecto al cuerpo AB, determinando que el extremo E, produzca un movimiento vertical del extensómetro apoyado en él, generando así una lectura en el dial indicador. Si se retiran las llantas cargadas, el punto D se recupera en lo que a deformación elástica se refiere y por el mismo mecanismo anterior se genera otra lectura en el día del extensómetro.

La operación expuesta representa el principio de medición con la Viga Benkelman. Lo que se hace después son solo cálculos en base a los datos recogidos. Así, con las dos lecturas obtenidas es posible determinar cuánto defleto el pavimento en el lugar subyacente al punto D de la viga, durante el procedimiento descrito. Es de anotar que en realidad lo que se mide es la recuperación del punto D al remover la carga (rebote elástico) y no la deformación al colocar esta. Para calcular la deflexión deberá considerarse la geometría de la viga, toda vez que los valores dados por el extensómetro (EE') no están en la escala real sino que dependen de la relación de brazos existentes.

a) Relación de equipos:

- Camión volquete de 8-12 m³ de capacidad, llantas de 16 lonas en óptimo estado, 80 psi presión de inflado de llantas, eje trasero con 8.2 Ton de peso.

- Balanza de plataforma para pesado del eje trasero del camión volquete.
- Viga Benkelman con sistema de bloqueo de brazo pivotante y sistema de vibración. Con dial indicador para toma de lecturas.
- Varilla guía para referenciar la medición en los puntos indicados.
- Termómetro electrónico digital para la medición de la temperatura del asfalto.
- Cíncel o punzón de acero y comba.
- Tablero de campo con formatos para toma de datos.
- Juego de herramientas básicas (plomada de albañil, martillo, desarmador, alicate, alambre negro de construcción, marcador de tinta indeleble, cinta plástica, tiza blanca, lápices, clavos de 2" y 3").
- Elementos de seguridad (Chalecos de seguridad fosforescentes y 2 o 3 banderolas de tela roja).
- Tope de madera para trabar llanta de camión en tramos de subida.

b) Relación de Personal

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

c) Procedimiento de campo

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

Para ello se coloca la punta del instrumento, en un punto seleccionado, que esté bajo el centro de gravedad de una de las llantas dobles del

camión que aplica la carga, y que inicialmente se encuentra estacionado.

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

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

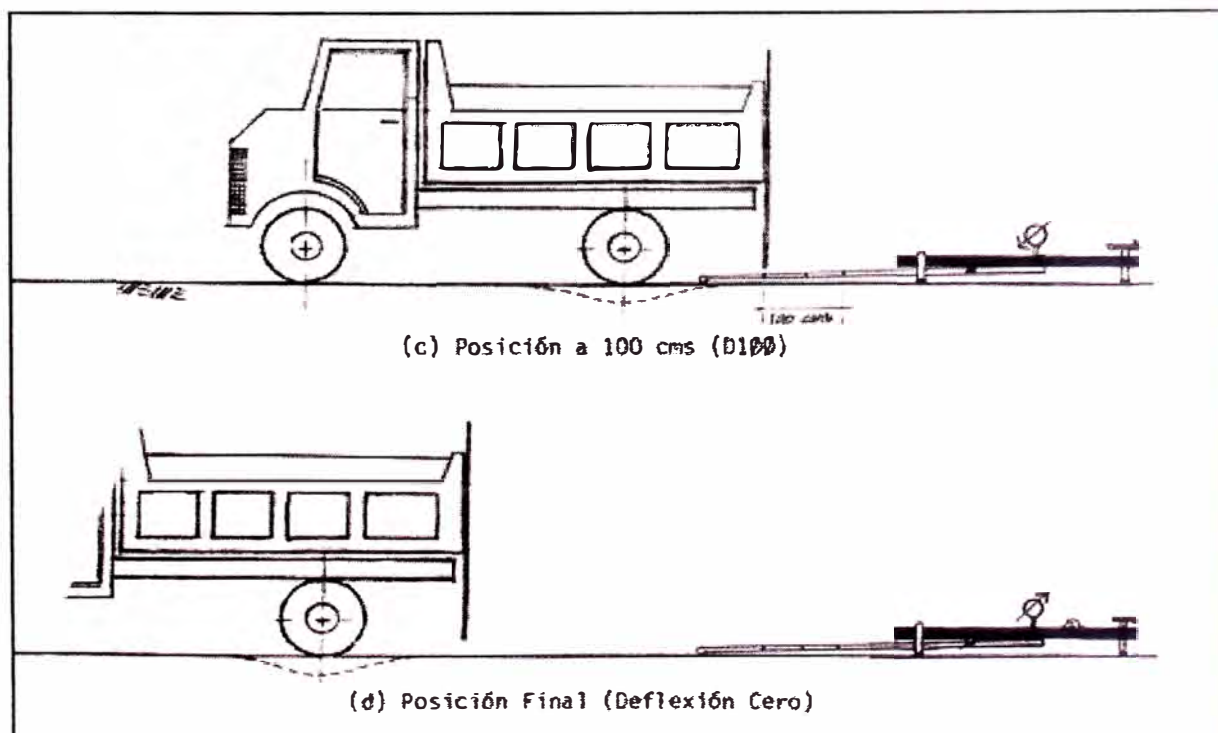


Figura N° 2.03: Esquematación del Proceso de Medición

2.3.4 Análisis Estadístico de Deflexiones - Deflexión Característica

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

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

Se define mediante la siguiente expresión:

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

Donde:

D_c : Deflexión característica

D_{prom} : Deflexión promedio de los valores individuales de D_o corregidos por temperatura y estacionalidad (ver líneas abajo a y b)

σ : Desviación standard.

t : Coeficiente de variación, que representa al porcentaje del área total con probabilidad de presentar deflexiones superiores a la deflexión característica D_c

En el estudio del CONREVIAl se utiliza un valor $t = 1.645$ que corresponde al 95%, lo que equivale a considerar que, sólo un 5% del área total del pavimento, tendrá deflexiones mayores a D_c .

En el cuadro N°2.01 se indican los valores de t más frecuentes:

Cuadro N°2.01: Valores del Coeficiente de Variación “t”

Valor de Diseño (%)	Deflexión característica	Extensión del pav. con D>Dc (%)	Método que considera
50	Dp	50	
75	Dp+0.674 σ	25	
85	Dp+ σ	15	
90	Dp+ 1.30 σ	10	
95	Dp+ 1.645 σ	5	Ing. Ruiz en Argentina.
98	Dp+ 2 σ	2	Instituto de Asfalto y Canadá
99	Dp+ 2.33 σ	1	
99.9	Dp+ 3 σ	0.1	

(Fuente: Estudio del CONREVIAL)

a) Corrección por temperatura

La temperatura de la superficie de rodadura influencia en el valor de la deflexión, las deflexiones medidas sobre la superficie de la capa de rodadura deben ser corregidas en función a la temperatura media que la capa experimenta durante la ejecución del ensayo, la cual varía durante el transcurso del día. El rango de temperatura de la superficie de rodadura debe estar comprendido entre 15°C y 35°C.

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

$$D_{20} = \frac{DT}{(K*(t-20^\circ C)*e + 1)}$$

Donde:

D₂₀ : Deflexión a la temperatura standard 20°C

D_t : Deflexión a la temperatura t (0.01 mm)

K : Coeficiente igual a 1 x10³(1/cm X °C)

T : temperatura del superficie de rodadura medida para cada ensayo
 (15°C<t<20°G)

e : espesor de la capa de rodadura en cm

b) Corrección por estacionalidad

La capacidad de deformación de los suelos está influenciada por el grado de saturación que experimentan, por lo tanto, es deseable que la medición de deflexiones se realice durante la estación de lluvias, durante la cual los suelos se encuentran en la situación más crítica. De no ser así, se debe efectuar la corrección de las medidas a fin de tomar en cuenta dicho aspecto. Para fines prácticos se propone el uso de los siguientes factores de corrección, considerando el tipo de suelo de subrasante y la época en que se realizaron los ensayos.

Cuadro N°2.02: Corrección por Estacionalidad

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

(Fuente: Estudio del CONREVIAL)

2.3.5 Deflexión Admisible

La deflexión admisible es un parámetro definido en función al tránsito de diseño, que establece un límite para la deflexión característica por encima del cuál no se garantiza un comportamiento satisfactorio de la estructura durante el periodo considerado. La expresión analítica que define este parámetro es:

$$D_{adm} = \left[\frac{1.15}{N} \right]^{1/4}$$

Donde:

D_{adm} = deflexión admisible (en mm)

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

a) Análisis de Tránsito - Eje Equivalente

El concepto de eje equivalente se basa en la posibilidad de evaluar el daño que produce determinada carga y compararla con otra de referencia. El eje equivalente o estándar es el eje único que produce efectos críticos o daños en el pavimento producidos por los distintos ejes mixtos que conforman el espectro de cargas. Un incremento en los niveles de carga tiene como

consecuencia un aumento mayor en el número de ejes equivalentes aunque permanezca constante el volumen de tránsito.

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

Cuadro N°2.03: Criterio para el Cálculo Equivalencia de Carga

Tipo de eje	Eje equivalente
Eje Simple de ruedas simples	$EES1 = [P / 6.6]^4$
Eje Simple de ruedas dobles	$EES2 = [P / 8.2]^4$
Eje Tándem de ruedas dobles	$EETA = [P / 15.1]^4$
Ejes Tándem de ruedas dobles	$EETR = [P / 22.9]^4$
P = peso real por eje en toneladas	

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

b) Factores de equivalencia (FE)

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

Cuadro N° 2.04: 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	3 238				4 504
2	Ómnibus 3E	Carga (TN)	7	18				25
		F.E.C	1 265	2 019				3 285
3	Camión 2E-L	Carga (TN)	7	7				14
		F.E.C	1 265	1265				2 531
4	Camión 2E-P	Carga (TN)	7	11				18
		F.E.C	1 265	3 238				4 504
5	Camión 3E	Carga (TN)	7	18				25
		F.E.C	1 265	2 019				3 285
6	Camión 4E	Carga (TN)	7	23				30
		F.E.C	1 265	1 018				2 283
7	Semitrayler 2S2	Carga (TN)	7	11	18			36
		F.E.C	1 265	3 238	2 019			6 523
8	Semitrayler 2S3	Carga (TN)	7	11	25			43
		F.E.C	1 265	3 238	1 420			5 924
9	Semitrayler 3S1	Carga (TN)	7	18	11			36
		F.E.C	1 265	2 019	3 238			6 523
10	Semitrayler >=3S3	Carga (TN)	7	18	25			50
		F.E.C	1 265	2 019	1 420			4 705
11	Traylers C2R2	Carga (TN)	7	11	11	11		40
		F.E.C	1 265	3 238	3 238	3 238		10 980

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

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

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

Para el número de repeticiones, se debe considerar exclusivamente camiones, ómnibus, etc. que tenga un alto factor destructivo al pavimento, se ha despreciado los vehículos ligeros. Así también se debe considerar el año que fue determinado el IMD y las tasas de crecimiento.

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

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.

FE_{2E} : Factor equivalente de 8.2 ton para camiones de 2 ejes.

IMD_{3E} : Índice medio diario de camiones de 3 ejes.

FE_{3E} : Factor equivalente de 8.2 ton para camiones de 3 ejes.

IMD_{TYST} : Índice Medio Diario para traylers y semitraylers

FE_{TYST} : Factor equivalente de 8.2 ton para traylers y semitraylers.

i : Tasa de crecimiento del tráfico de camiones

n : Periodo de Diseño.

2.3.6 Gráficas Deflectométricas

a) Variabilidad de la capacidad estructural del pavimento

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

Algunas de las razones de no uniformidad son:

En el sentido transversal, se revela mayores deflexiones de la huella externa con respecto a la interna en un mismo carril, atribuidas principalmente a una reducción del confinamiento lateral asociada a la terminación del pavimento, y a condiciones más adversas del suelo principalmente al contenido de humedad y grado de densificación.

En el sentido longitudinal, se revela en la gran dispersión de valores individuales, aun en distancias muy próximas entre sí, atribuidas principalmente a la variabilidad de los materiales y del proceso constructivo.

Los resultados no se puedan interpretar individualmente, por tal motivo surge la necesidad de establecer una deflexión que represente adecuadamente cada sección o tramo de pavimento, y por ende una evaluación estadística. Estos resultados serán reflejados en un

Deflectograma (progresiva vs deflexiones), permitiendo una visión global del conjunto de datos obtenidos.

b) Deflectograma

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

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

2.3.7 Radio de Curvatura.

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

Existen diferentes métodos para obtener los valores de esas deformadas, uno de los métodos más simples es el basado en la comprobación experimental de la figura N° 2.04, el cual se basa en la hipótesis que la línea de deflexión se aproxima a una parábola hasta una distancia algo mayor a 25cm, sufriendo luego una inflexión para tender asintóticamente hacia la horizontal. La curvatura de la parábola queda entonces definida en la zona de máxima curvatura, la cual se confunde con el radio del arco osculador en dicho punto, o sea bajo el centro del eje de la rueda cargada.

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

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

Donde: Rc: Radio de curvatura (m)

D_0 : Deflexión máxima corregida por temperatura (0.01 mm)

D_{25} : Deflexión a 25 cm corregida por temperatura (0.01 mm)

10 : Coeficiente por cambio de unidades.

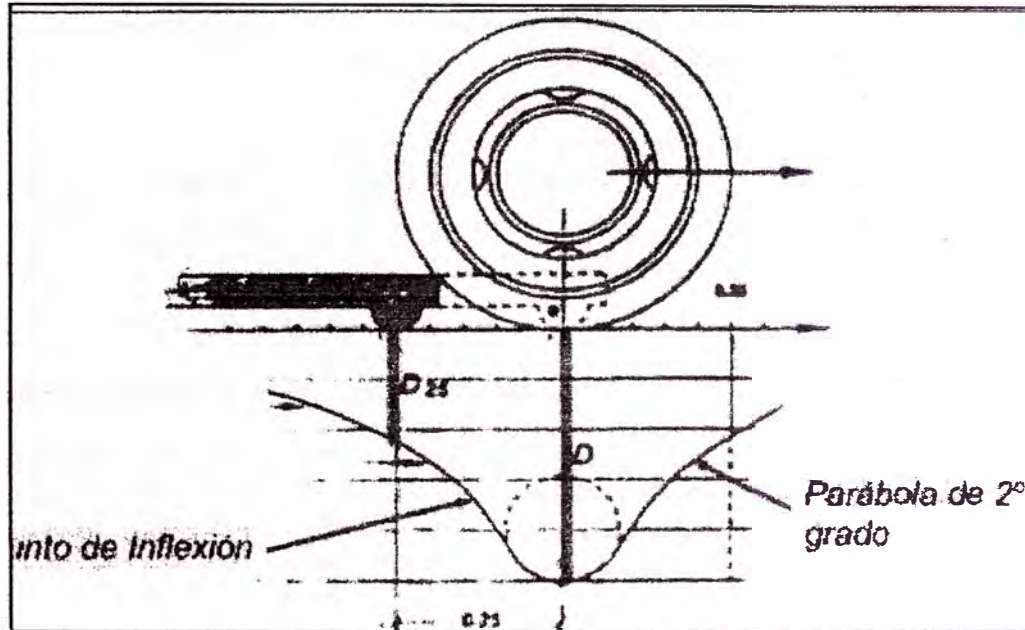


Figura N° 2.04: Determinación del radio de curvatura

2.3.8 Juicio de la Capacidad Estructural del Pavimento

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

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

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

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

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

Cuadro N° 2.05: Casos Típicos de Análisis Combinando Resultados de Evaluación

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

(Fuente: Manual del Conveval)

2.3.9 Cálculo del Espesor de Refuerzo

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

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

$$h = \frac{R}{0.434} \log \frac{D0}{Dh}$$

Donde:

h : Espesor de refuerzo (cm).

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

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

R : Coeficiente con dimensiones de un espesor.

Estos espesores se determinarán con la fórmula ya mencionada, utilizando el valor del coeficiente R de acuerdo al cuadro N°2.06, en función de las deflexiones características obtenidas.

Cuadro N° 2.06: Valores Recomendados R

Deflexión Características antes del refuerzo (1/100mm)	Espesor de refuerzo "h" (en cm)			
	5	10	15	20
50	20	21.5	(23)	(24.5)
70	18	19.5	21	22.5
90	17	1S.0	19.5	21.0
120	15	16.5	1S.0	19.5
150	13.5	15.0	16.5	1S.0
170	13.0	14.5	16.0	17.5
200	12.0	13.5	15.0	16.5

(Fuente: Manual del Conrevial)

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

CAPÍTULO 3.- PROCESAMIENTO DE LOS VALORES DEFLECTOMÉTRICOS**APLICACIÓN AL TRAMO KM 114+000 – KM 116+000****3.1 Recopilación de Datos.**

De la visita efectuada en campo, se recopiló las mediciones "de deflexiones, recuperables con la Viga Benkelman con la relación de brazos de 4:1 y con un dial de precisión de 0.02 mm, en el Cuadro N° 3.01 se muestra los datos del ensayo realizado en el tramo Km 114+000 - Km116+000

Cuadro N° 3.01: Cuadros de Datos Obtenidos en Campo

N°	Progresiva (km)	Carril	Lecturas de Campo (10 ⁻² mm)					L.C.B Corto	Espesor (mm)	Ahuellamiento (mm)	Temp (°C)
			Li	L25	L50	L70	Lmáx	Lmáx			
1	114+000	Derecho	0	5	6	8	10	5	6	8	36.3
2	114+200	Derecho	0	1	4	6	8	6	18	15	30.8
3	114+400	Derecho	0	1	4	6	11	9	6	10	29.1
4	114+600	Derecho	0	3	5	7	10	4	6	8	34.9
5	114+800	Derecho	0	4	9	11	15	9	3	8	32.8
6	115+000	Derecho	0	3	6	9	13	8	18	4	35.4
7	115+200	Derecho	0	5	8	10	12	4	5	6	30.8
8	115+400	Derecho	0	4	11	15	17	12	5	6	32.8
9	115+600	Derecho	0	2	4	6	8	4	5	7	28.5
10	115+800	Derecho	0	3	6	8	9	3	9	4	28.3
11	116+000	Derecho	0	3	7	10	13	6	6	6	28.1

(Fuente: Elaboración propia)

3.2 Procesamiento de Datos.

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

3.2.1 Cálculo de las Deflexiones

Se calcula las deflexiones teniendo en cuenta el factor del dial 2×10^{-2} mm y la relación de brazos 4:1 (ver cuadro N° 3.02)

Cuadro N° 3.02: Cuadros de Deflexiones sin Corregir

Progresiva (km)	Carril	Lecturas de Campo (10 ⁻² mm)		Lecturas de Campo X Factor del dial (2) (10 ⁻² mm)		Deflexiones sin Corregir (10 ⁻² mm)	
		L ₂₅	L _{máx}	L ₂₅	L _{máx}	D ₂₅	D _{máx}
114+000	Derecho	5	10	10	20	40	80
114+200	Derecho	1	8	2	16	8	64
114+400	Derecho	1	11	2	22	8	88
114+600	Derecho	3	10	6	20	24	80
114+800	Derecho	4	15	8	30	32	120
115+000	Derecho	3	13	6	26	24	104
115+200	Derecho	5	12	10	24	40	96
115+400	Derecho	4	17	8	34	32	136
115+600	Derecho	2	8	4	16	16	64
115+800	Derecho	3	9	6	18	24	72
116+000	Derecho	3	13	6	26	24	104

3.2.2 Cálculo de las Deflexiones Corregidas

Se corrige las deflexiones obtenidas del cuadro N° 3.02, se hace la corrección por temperatura y estacionalidad teniendo en cuenta que los datos se tomaron en época seca, para luego calcular los radios de curvatura (ver cuadro N° 3.03)

Cuadro N° 3.03: Cuadro de Deflexiones Corregidas y Radios de curvatura

Progresiva (km)	Carril	RESULTADOS DEFLECTOMÉTRICOS		Radio Curvatura (m)
		Deflexiones Corregidas		
		D ₂₅ x 10 ⁻² mm	D ₆ x 10 ⁻² mm	
114+000	Derecho	43.74	87.49	71.44
114+200	Derecho	8.66	69.24	51.58
114+400	Derecho	8.74	96.10	35.77
114+600	Derecho	26.20	87.34	51.11
114+800	Derecho	35.04	131.39	32.43
115+000	Derecho	25.74	111.53	36.43
115+200	Derecho	43.78	105.06	50.99
115+400	Derecho	34.98	148.68	27.49
115+600	Derecho	17.48	69.92	59.59
115+800	Derecho	26.11	78.34	59.84
116+000	Derecho	26.19	113.48	35.80

3.2.3 Cálculo de la Deflexión Característica

Con los resultados obtenidos en el cuadro N° 3.03, se obtiene el radio de curvatura promedio y la deflexión característica del tramo total teniendo en cuenta el coeficiente de variación (ver cuadro N° 2.01) que representa el porcentaje del área total del pavimento con probabilidad de presentar deflexiones mayores a la deflexión característica. En el Cuadro 3.04 se muestra la deflexión promedio y deflexión característica que se obtienen con los valores de las deflexiones corregidas ($D_0 \times 10^{-2} \text{mm corregido}$)

Cuadro N° 3.04: Cuadro de Resumen-Deflexión Promedio y Deflexión Característica

Tramo Total	Deflexiones x 10⁻²mm
Mínimo	69.24
Máximo	148.68
Promedio (Dprom)	99.87
Desviación	25.19
Coeficiente de Variación	1.3
Característico (Dc)	132.62
Radio curvatura prom.	46.59

(Fuente: Elaboración propia)

3.2.4 Cálculo de la Deflexión Admisible

Se calcula la deflexión admisible en función al tráfico proyectado y para ello se calcula el número de ejes equivalentes, teniendo en cuenta el factor de equivalencia de la composición vehicular para el tramo en análisis, según las normas peruanas de pesos y medidas permitidos (ver cuadro N° 2.04)

Los IMDs a utilizar son los proyectados al año 2010 en el tramo de evaluación en este caso el tramo del Km 114+000 – Km 116+000 pertenece al tramo Capillucas Km 94+640 - Dv. Yauyos Km 127+000 (ver cuadro N° 3.05)

Para el cálculo de la deflexión admisible se considera solo a los vehículos que causan un daño significativo al pavimento es decir se va considerar a los ómnibus 2E y 3E, camión 2 ejes, 3 ejes y 4 Ejes, semitrailers y trailers.

Cuadro N° 3.05: Determinación del Tráfico Actual

Tipo de Vehículo	IMD 2008(*)		IMD 2009 (**)	IMD 2010 (**)
	Capillucas Km 94+640 - Dv. Yauyos Km 127+000	Tasa de crecimiento i (%)	Capillucas Km 94+640 - Dv. Yauyos Km 127+000	Capillucas Km 94+640 - Dv. Yauyos Km 127+000
Automóvil	1.00	2.60	1	1
Camioneta	20.00	2.60	21	21
Combi Rural	4.00	2.60	4	4
Micro	0.00	1.40	0	0
Ómnibus 2E	8.00	1.40	8	8
Ómnibus 3E	0.00	1.40	0	0
Camión 2 Ejes	9.00	4.60	9	10
Camión 3 Ejes	11.00	4.60	12	12
Camión 4 Ejes	0.00	4.60	0	0
Semitraylers	0.00	4.60	0	0
Traylers	0.00	4.60	0	0
TOTAL			55	56

(*)Fuente: Conservación Vial por niveles de Servicio de la Carretera Cañete-Lunahuana-Pacaran-Chupaca y Rehabilitación del Tramo Zufiiga-Dv. Yauyos-Ronchas. (**)Fuente: Elaboración propia, IMDs proyectados.

Cuadro N° 3.06: Obtención de la Deflexión Admisible

Tramo.- Km 114+000 - Km 116+000										
No.	Tipo de vehículo	Factor Carga	IMD 2010	Tasa de crecimiento (%)	Proyección					
					n (años)	EAL 2011	n (años)	EAL 2012	n (años)	EAL 2013
1	Micro	4.504	0	1.40%	1	0	2	0	3	0
2	Ómnibus 2E	4.504	8	1.40%	1	13152	2	26487	3	40010
3	Ómnibus 3E	3.285	0	1.40%	1	0	2	0	3	0
4	Camión 2 Ejes	4.504	10	4.60%	1	16440	2	33635	3	51622
5	Camión 3 Ejes	3.285	12	4.60%	1	14388	2	29438	3	45181
6	Camión 4 Ejes	2.283	0	4.60%	1	0	2	0	3	0
7	Semitraylers	8.523	0	4.60%	1	0	2	0	3	0
8	Traylers	10.980	0	4.60%	1	0	2	0	3	0
Nota: N ₁₈ numere total de ejes equivalentes a 18 klb o 8.2 ton (en millones) EAL N ₁₈ Da(x10 ⁻² mm)					4.39796E+04		8.96E+04		1.37E+05	
					0.220		0.448		0.684	
					151.22		126.59		113.87	

(Fuente: Elaboración propia)

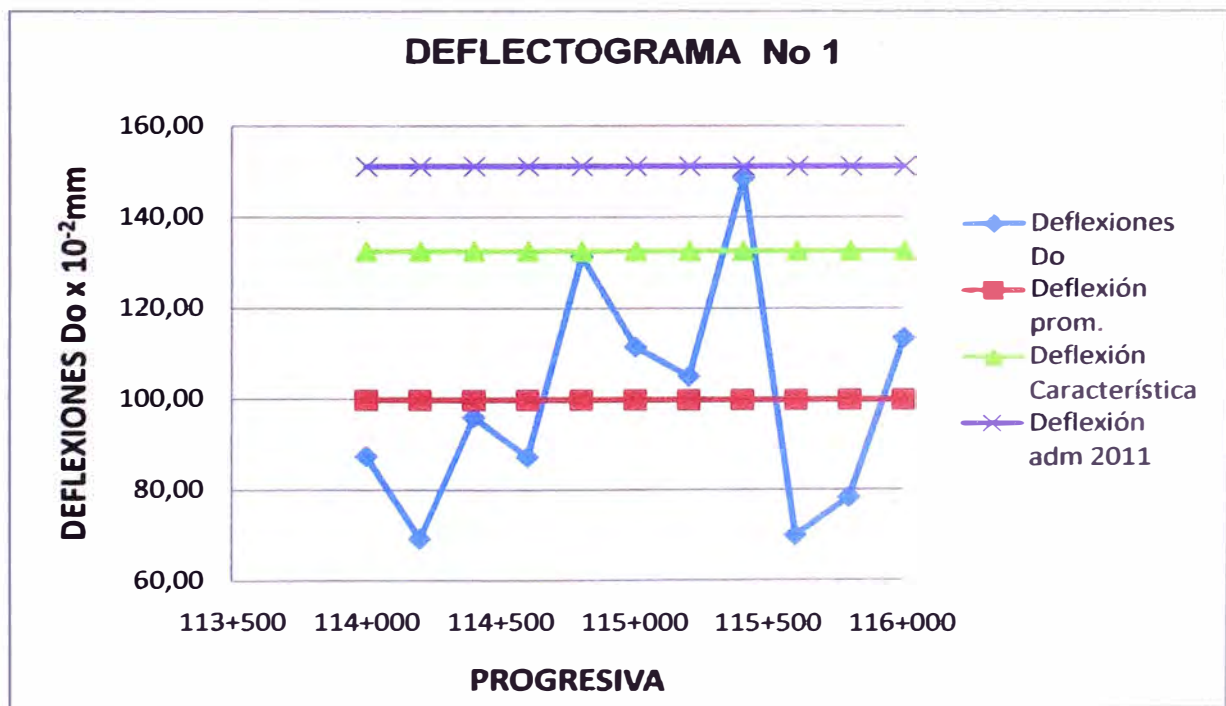
CAPÍTULO 4.- ANÁLISIS DE LA CAPACIDAD PORTANTE DE LA VÍA

La capacidad portante de la vía estará determinada por el tipo de rehabilitación requerida, de acuerdo a la comparación del D_c y el D_{adm} .

4.1 Deflectograma del Tramo en Análisis

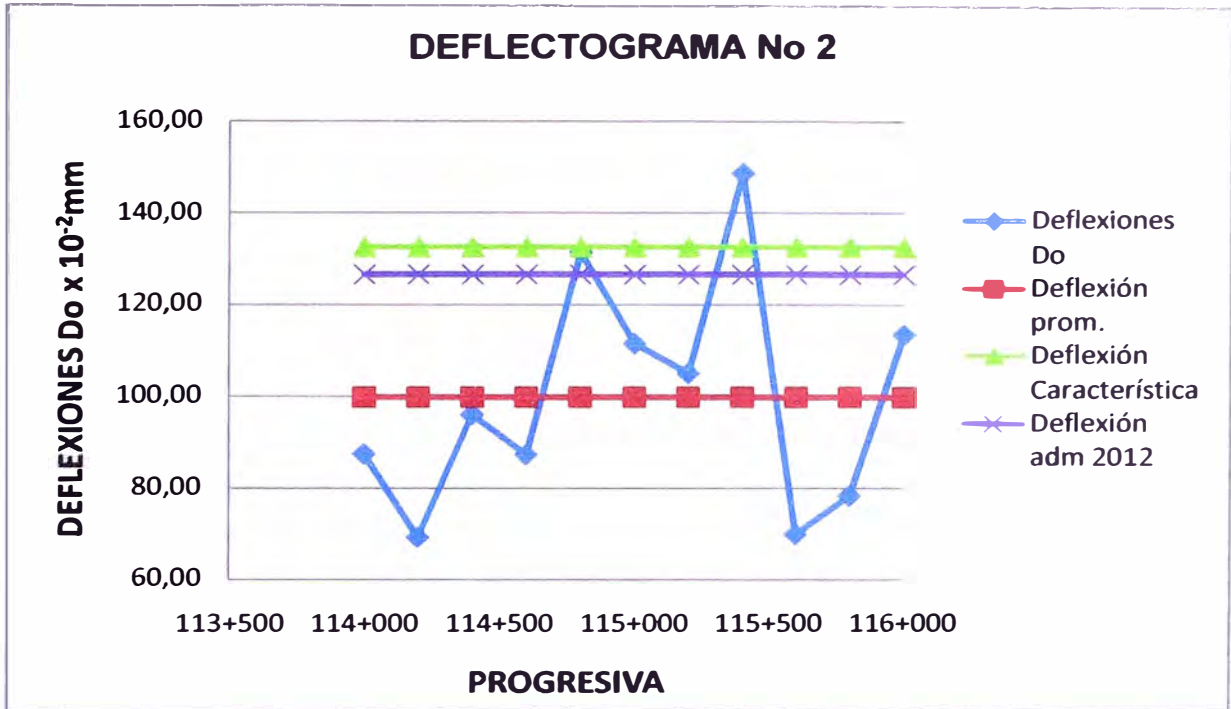
Los resultados obtenidos en los cuadros N° 3.03, 3.04 no se pueden interpretar individualmente, es por eso que el deflectograma es fundamental para el análisis de la variabilidad de la capacidad estructural de la vía. Con las deflexiones (D_o), la deflexión promedio (D_{prom}), la deflexión característica y la deflexión admisible del cuadro N° 3.06 para el año de proyección 2011,2012, 2013 con el IMDs del 2010, se obtienen los deflectogramas para cada D_{adm} . para el año 2011, 2012, 2013 (ver figura N° 4.01, 4.02 y 4.03)

Figura N° 4.01: Deflectograma al Primer Año de Servicio (D_{adm} 2011)



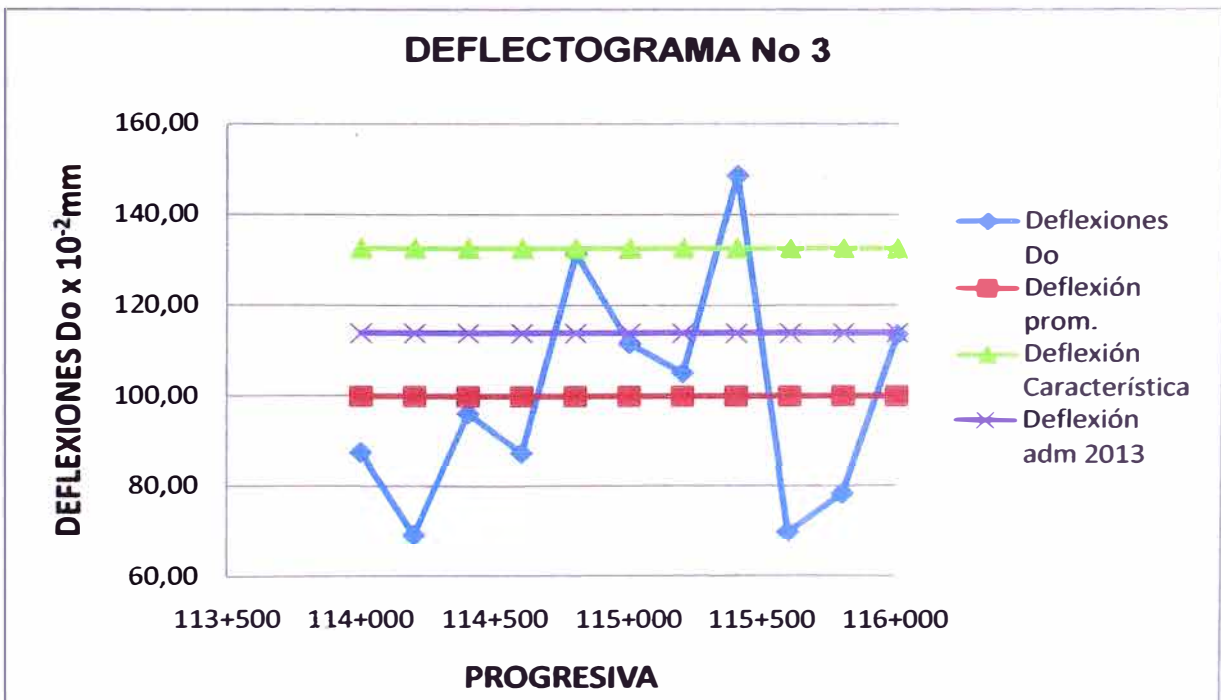
(Fuente: Elaboración propia)

Figura N° 4.02: Deflectograma al Segundo Año de Servicio (Dadm 2012)



(Fuente: Elaboración propia)

Figura N° 4.03: Deflectograma al Tercer Año de Servicio (Dadm 2013)



(Fuente: Elaboración propia)

4.2 Evaluación de la Capacidad Estructural

Con los resultados obtenidos de D_c y D_{adm} , se realiza una evaluación de la capacidad estructural del pavimento por lo cual se presenta los siguientes casos:

Primer Caso

Para el periodo de evaluación de $n=1$ año, la deflexión característica ($D_c=132.62 \times 10^{-2}$ mm) es menor que la deflexión admisible ($D_{adm} =151.22 \times 10^{-2}$ mm), razón por la cual se considera que la capacidad estructural del pavimento tendrá un comportamiento adecuado en el tramo analizado, además el radio de curvatura ($R_c=46.59$ m) por lo que el pavimento se considera que tiene un adecuado comportamiento.

Tercer Caso

Para el periodo de evaluación de $n=2$ años, la deflexión característica ($D_c=132.62 \times 10^{-2}$ mm) es mayor que la deflexión admisible ($D_{adm} =126.59 \times 10^{-2}$ mm), razón por la cual se considera que la capacidad estructural del pavimento tendrá un comportamiento inadecuado.

Cuarto Caso

Para el periodo de evaluación de $n=3$ años, la deflexión característica ($D_c=132.62 \times 10^{-2}$ mm) es mayor que la deflexión admisible ($D_{adm} =1113.87 \times 10^{-2}$ mm), razón por la cual se considera que la capacidad estructural del pavimento tendrá un comportamiento inadecuado y se debe realizar una evaluación integral del pavimento para prever el tipo de refuerzo a ejecutar.

4.3 Espesor de Refuerzo

Según el análisis por el método de deflexiones la superficie de rodadura requiere un espesor de refuerzo para el periodo de evaluación de un año, a partir del segundo año la superficie de rodadura requiere un tratamiento distinto para prever el tipo de refuerzo que requiere.

Cuadro N° 4.01: Resumen del Cálculo de Refuerzo por el Método de Deflexiones.

Descripción	Unidad	Km 114+000 - Km116+000		
		2011	2012	2013
AÑO DE ANÁLISIS (n)	anos	2011	2012	2013
DEFLEX. CARACT. (De)	$\times 10^{-2}$ mm	132.62	132.62	132.62
DEFLEX. ADMISIBLE (Dadm)	$\times 10^{-2}$ mm	151.22	126.59	113.87
RADIO DE CURVATURA (Rc)	m	46.59	46.59	46.59
ESPESOR DE REFUERZO	cm	-1.83879951	0.65208465	2.1360136
ESP. DE REFUERZO RECOMENDADO	mm	0	10	25

(Fuente: Elaboración propia)

4.4 Descripción del Estado Actual de la Superficie de Rodadura.

El estado actual de la superficie de rodadura presenta un desgaste considerable en zonas puntuales, existe desprendimiento de material granular proveniente del tratamiento superficial monocapa, también se ha detectado desprendimiento de la monocapa dejando al descubierto la capa de base la que será afectada con el paso de los vehículos.

Para evitar que continúe el desgaste progresivo de la superficie de rodadura, se debe efectuar un tratamiento de refuerzo de acuerdo al siguiente detalle:

Cuadro N° 4.02: Espesor de Refuerzo para el Tratamiento Superficial

Año de evaluación	Año en que se ejecuta el refuerzo	Espesor de refuerzo mm
2010	2012	10
2010	2013	25

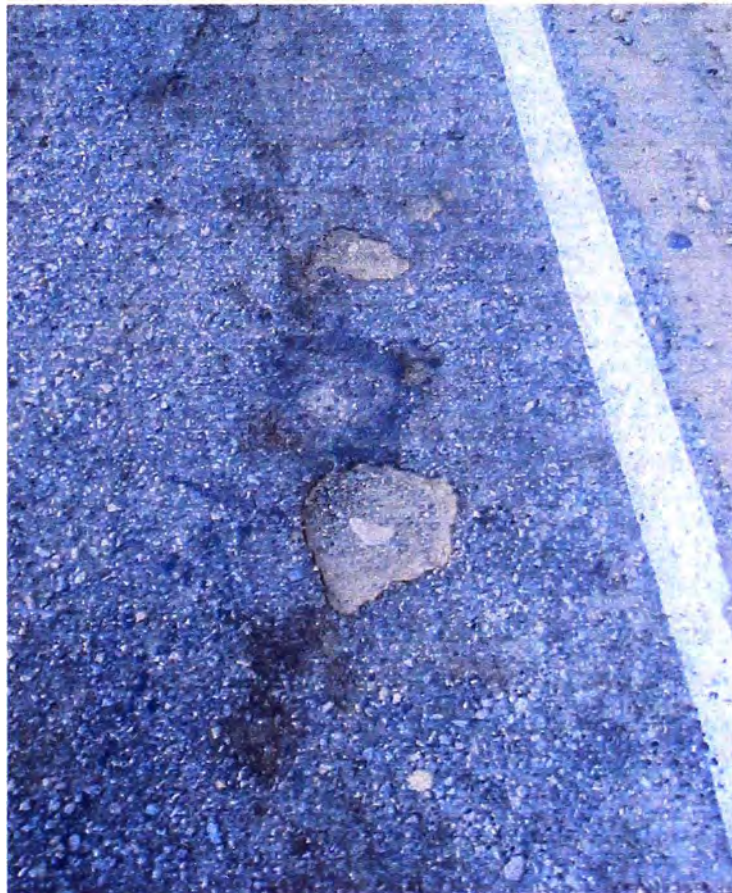
(Fuente: Elaboración propia)

Figura N° 4.04: Estado de la Superficie de Rodadura



(Fuente: fotografía de la vía)

Figura N° 4.05: Foto que muestra Erosión de la Monocapa



(Fuente: fotografía de la vía)

4.5 Sistema de Gestión de Conservación y Mejoramiento de la Vía.

Es el conjunto de operaciones para conservar por un periodo de tiempo, la capacidad portante de la vía y sus condiciones de seguridad adecuadas para la circulación de vehículos, soportando las condiciones climáticas y del entorno de la zona en que se encuentra la vía en cuestión, minimizando los costos de operación vehicular, social y ecológico.

Antiguamente el estado del pavimento se apreciaba de forma visual, las técnicas de refuerzo eran primarias y limitadas (bacheo o tratamientos superficiales simples básicamente) y los problemas ecológicos solo eran tomados en cuenta de acuerdo a criterios de los ingenieros. En la actualidad esto ha cambiado, el estado de la vía se mide a través de una multitud de parámetros específicos, las alternativas técnicas de reparación y conservación son múltiples, la no realización de una adecuada conservación traerá como consecuencia a que en un corto plazo, el pavimento entregará un servicio menor al esperado.

4.6 Objetivo del Sistema de Gestión de Conservación y Mejoramiento de la Vía.

El objetivo de la gestión de conservación y mejoramiento de la vía es usar información segura y consistente para desarrollar criterios de decisión, otorgar alternativas realistas y contribuir a la eficiencia en la toma de las decisiones, para así conseguir un programa de acción económicamente óptimo en el cual se provea una retroalimentación de las consecuencias de las decisiones tomadas para asegurar su efectividad.

Con el sistema de gestión de conservación y mejoramiento de la vía se garantiza lo siguiente:

- Adecuada conservación de la vía a un costo apropiado.
- Que la vía sea conservada siguiendo un programa de largo plazo
- Que se optimice el costo y beneficio del sistema de gestión racionalizando el uso de recursos
- Que exista un control sobre los efectos sobre el medio ambiente.
- Que se implemente un control de la efectividad de las conservaciones.

CONCLUSIONES

1. El comportamiento del pavimento es adecuado cuando la deflexión característica es menor que la admisible.
2. La capacidad de la estructura del pavimento se comporta de manera regular cuando la deflexión característica tiende a ser mayor al valor de la deflexión admisible, por lo tanto existe una capa débil inmediatamente después de la superficie de rodadura que altera la capacidad del pavimento.
3. Cuando el comportamiento del pavimento es inadecuado es decir la deflexión característica es mucho mayor que la deflexión admisible, es necesario hacer un tratamiento distinto para prever el tipo de refuerzo o tratamiento que requiere.
4. El tramo en análisis muestra un comportamiento adecuado para el primer año de servicio
5. Si no se provee la conservación del tramo en estudio durante el primer año de servicio, la superficie de rodadura presentará un desgaste y afectará el tratamiento superficial de monocapa, lo cual no garantiza para los siguientes, años el buen comportamiento de la estructura del pavimento.
6. El aumento de la deflexión del pavimento y la disminución del radio de curvatura, es un indicador fundamental de la debilidad estructural del pavimento.
7. En el primer año $D_{adm} \gg D_c$ y $R_c=46.59m$ y se tiene una estructura degradada con desprendimiento de material fino, por lo que se debe realizar un tratamiento monocapa de 10 mm para el segundo año, y si en caso no se ejecuta el tratamiento al segundo año, para el tercer año necesitará un refuerzo de 25 mm de espesor.

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda colocar una capa de refuerzo sobre la superficie de rodadura como de 10mm de espesor, para el buen comportamiento de la estructura del pavimento para antes del año 2012, año de servicio en que ya se va notar los efectos de las solicitaciones de tránsito si es que no se prevé el refuerzo
2. Se recomienda realizar anualmente una evaluación estructural al pavimento de bajo volumen de tránsito debido a su estructura débil a las cargas remanentes de los vehículos pesados.
3. Tener en cuenta la importancia de reconocer la condición del pavimento existente, el tipo y volumen de tránsito y las condiciones climáticas en el área para optimizar la toma de datos durante el ensayo.

BIBLIOGRAFÍA

- 1- **CONSORCIO DE REHABILITACIÓN VIAL (1998), Estudio de Rehabilitación de Carreteras en el País- Aspectos de Evaluación de Pavimentos Volumen C, Lima, Perú.**
- 2- **DE SOLMINIHAC HERNAN (2001), Gestión de Infraestructura Vial segunda edición Universidad Católica de Chile. Santiago, Chile.**
- 3- **MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES 2008, Estudios Técnicos para el cambio de estándar de afirmado a solución básica carretera: Cañete – Lunahuaná – Pacarán – Dv. Yauyos – Ronchas – Chupaca – Tramo: Zúñiga – Dv. Yauyos – Ronchas, Lima, Perú.**

ANEXO 01

PANEL FOTOGRÁFICO



Imagen No 1: Se aprecia la manera de medir y tomar datos para el ensayo de deflexiones. Km 114+500



Imagen No 2: Se aprecia la manera de obtener una muestra para medir el espesor de la capa de rodadura Km 114+500



Imagen No 3: Se puede apreciar el ancho de la vía de 2.50m en el Km 115+200



Imagen No 4: Indica un tramo crítico muy próximo a la rivera del río, Km 115 +000 - 116+000



Imagen No 5: Estado actual de las cunetas tramo; Km 114 - 115



Imagen No 6: Señala un talud de roca granodiorita fracturada. Punto de potencial desprendimiento de bloques rocosos, que pueden afectar la vía.