

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



**EVALUACION ESTRUCTURAL CON LA VIGA BENKELMAN
MONITOREO DE CONSERVACION CARRETERA
CAÑETE-HUANCAYO KM 104+000 AL KM 106+000**

INFORME DE SUFICIENCIA

Para optar el Título Profesional de:

INGENIERO CIVIL

CRHISTIAN MARTIN CASTILLO SALAZAR

Lima- Perú

2010

**DEDICATORIO: A MIS PADRES POR ENSEÑARME
EL SIGNIFICADO DE LA VIDA Y A
MIS HERMANOS POR SER LA
FORTALEZA QUE ME ALIMENTA
PARA SER MAS FUERTE CADA DIA.**

ÍNDICE

RESUMEN	3
LISTA DE CUADROS	4
LISTA DE FIGURAS	5
LISTA DE SÍMBOLOS Y SIGLAS	6
INTRODUCCION	7
CAPITULO 1: PERFIL DEL PROYECTO	8
1.1 ANTECEDENTES	8
1.2 UBICACIÓN DE LA CARRETERA	10
1.3 CARACTERISTICAS DE LA CARRETERA	11
1.4 TRAMO EN ESTUDIO Km 104+000 Al Km 106+000	13
1.5 SOLUCION APLICADA	14
CAPITULO 11: MARCO TEÓRICO	
2.1 EVALUACION ESTRUCTURAL	15
2.2 DEFLEXIONES	15
2.3 METODO DE EVALUACION DE DEFLEXIONES	16
2.4 VIGA BENKELMAN	19
2.4.1 Calculo de deflexiones recuperables	24
2.4.2 Corrección por temperatura	24
2.4.3 Corrección por estacionalidad	25
2.4.4 Calculo del radio de curvatura	26
2.4.5 Deflexión característica	26
2.4.6 Deflexión admisible	28
2.4.7 Deflectogramas	28
2.4.8 Juicio de la capacidad estructural del pavimento	29
2.4.9 Espesor de refuerzo	31

CAPITULO 111EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO

Km 104+000 AL Km 106+000

3.1 CALIBRACION DEL DIAL.	32
3.2 RECOPIACION DE DATOS	32
3.3 PROCESAMIENTO DE DATOS	32
CAPITULO IV: ANALISIS DE RESULTADOS	
4.1 GRAFICOS DE DEFLECTOGRAMA	35
4.2 EVALUACION DE LA CAPACIDAD ESTRUCTURAL.	37
4.3 FRECUENCIA DE ENSAYOS CON VIGA BENKELMAN	39
CONCLUSIONES.....	40
RECOMENDACIONES.....	42
BIBLIOGRAFIA.....	43
ANEXOS.....	45

RESUMEN

El Informe de Suficiencia que se presenta a continuación está dirigido a evaluar la capacidad estructural del pavimento de la carretera Cañete-Yauyos-Huancayo del tramo km 104+000 al km 106+000, a través de la medición de deflexiones elásticas que sufre el pavimento, empleando el deflectómetro conocido como "Viga Benkelman".

La elección de la evaluación estructural con Viga Benkelman permite medir las deflexiones elásticas recuperables de una manera sencilla y práctica y lo más importante es que la superficie del pavimento no sufre destrucción alguna (evaluación no destructiva), estos resultados serán procesados e interpretados por el método empírico del estudio CONREVIAl (Consortio de Rehabilitación Vial), el cual permite evaluar cómo se va debilitando progresivamente la estructura del pavimento.

El tramo de la carretera Cañete-Yauyos-Huancayo que será evaluado a continuación corresponde al tramo que va desde el km 104+000 al km 106+000 y que se encuentra situado entre las provincias de Capillucas (km 96+445) y Calachota (km 106+845), la cual se encuentra con una superficie de rodadura mejorada a nivel de monocapa y donde se ha podido apreciar un estado aparentemente bueno.

LISTA DE CUADROS

CUADRO N 1.01: CARACTERISTICAS DE LA POBLACION ALEDAÑA A LA CARRETERA.....	11
CUADRO N 1.02: TRAMOS Y LONGITUDES DE LA CARRETERA EN ESTUDIO	12
CUADRO N 1.03: TRAFICO VEHICULAR.....	13
CUADRO N 2.01: FACTORES DE CORRECCION POR ESTACIONALIDAD	25
CUADRO N 2.02: ANALISIS COMBINADO DE LOS RESULTADOS DE EVALUACION	30
CUADRO N 3.01: CALCULO DE DE FLEXIONES ADMISIBLES	34
CUADRO N 4.01: RESUMEN DE RESULTADOS EN EL TRAMO DE ESTUDIO	37

LISTA DE FIGURAS

FIGURAN° 1.01. MAPA DE UBICACIÓN	9
FIGURA N° 2.01. TIPOS DE DE FLEXIONES	16
FIGURAN° 2.02. ENSAYO CON LA VIGA BENKELMAN	17
FIGURAN° 2.03. ENSAYO CON EL DEFLECTOMETRO DE IMPACTO	17
FIGURAN° 2.04. ENSAYO CON EL DEFLECTOGRAFO TIPO LACROIX	19
FIGURA N° 2.05. ESQUEMA Y PRINCIPIO DE OPERACIÓN DE LA VIGA BENKELMAN	22
FIGURAN° 2.06. ESQUEMATIZACION DEL PROCESO DE MEDICION CON LA VIGA BENKELMAN	24

LISTA DE SIMBOLOS Y SIGLAS

CONREVIAL:	Consortio de Rehabilitación de Carreteras.
WASHO	: Western Association of State Highways Officials.
AASHTO	: American Association of State Highway and Transportation Officials.
MTC	: Ministerio de Transportes y Comunicaciones.
FWD	: Falling Weight Deflectometer.
De	: Deflexión Característica.
D_a	: Deflexión Admisible.
N₁₈	: Número de ejes equivalentes a 8.2 ton.
IMD	: Índice Medio Diario.
FE	: Factor Equivalente.

INTRODUCCIÓN

El presente Informe de Suficiencia tiene por objetivo hacer un análisis de la capacidad estructural del pavimento, mediante la medición de deflexiones recuperables usando el deflectómetro más usado en nuestro país como es la "Viga Benkelman"

Para lograr este objetivo se tendrá que hacer una recopilación de datos de campo en la misma carretera de estudio (deflexiones, temperatura, espesor de la superficie de rodadura), donde el principal equipo utilizado es la Viga Benkelman; luego se procesan los datos obtenidos en campo empleando el método empírico según el estudio de CONREVIAl (Consortio de Rehabilitación Vial) y finalmente se procede a analizar e interpretar los resultados obtenidos, para así poder determinar el estado actual en que se encuentra el pavimento.

La elección del sistema de Evaluación Estructural de un pavimento con la Viga Benkelman permite medir las deformaciones elásticas recuperables que se presenta en un pavimento flexible, bajo la acción de una carga estática estándar, de una manera sencilla y práctica. Mediante este sistema y usando métodos empíricos para interpretar estos resultados, es posible evaluar el grado de daños y debilitamientos progresivos de la estructura del pavimento, debido a que estos al entrar en contacto con los distintos vehículos que transitan por la carretera se van deteriorando paulatinamente.

En este informe se describe la forma de cómo evaluar la condición de la capacidad estructural de un pavimento, utilizando este método no destructivo.

En el capítulo I se describen las Generalidades de la Carretera como son los antecedentes, ubicación, características y el tramo en estudio.

En el capítulo II consta del Marco Teórico en donde se describe la importancia de realizar una evaluación estructural, conceptos básicos de deflexión, métodos de evaluación y evaluación estructural con la Viga Benkelman.

En el capítulo III se procede a realizar una evaluación de la capacidad estructural de la vía, recopilando y procesando una serie de datos para obtener resultados.

En el capítulo IV se hace un análisis e interpretación de resultados haciendo una comparación de deflexiones admisibles y deflexión características.

CAPÍTULO 1

PERFIL DEL PROYECTO

1.1. Antecedentes.

La carretera Cañete - Yauyos-Huancayo, fue proyectada y ejecutada por partes durante el gobierno del Sr. Augusto B. Leguía entre la década de 1920 a 1930, en estos años se avanzan los trabajos de construcción en el sector de la sierra; y por el lado de la costa durante el gobierno del Dr. Manuel Prado Ugarteche, entre los años 1940 y 1944 se avanzan los trabajos de la carretera desde Cañete, llegando a Yauyos en abril de 1944; quedando postergado todo trabajo de la carretera entre Yauyos-Huancayo. Hasta que en febrero de 1957 se prosiguieron los trabajos de la carretera en los tramos faltantes, terminándose los trabajos de la carretera y puesta en servicio en mayo de 1957.

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

En el año 2003, el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC) encargó al consultor Ing. Floriano Palacios León, la elaboración del Estudio de Pre inversión a Nivel de Perfil de la Carretera Ruta 22, Tramo: Lunahuaná - Yauyos - Chupaca de 245.15 km de longitud. Y en el año 2005, PROVIAS NACIONAL - MTC realizó el Estudio de Pre Inversión a nivel de Factibilidad del Proyecto Mejoramiento y Rehabilitación de la Carretera Ruta 22, enfatizando el tema de Diseño Vial.

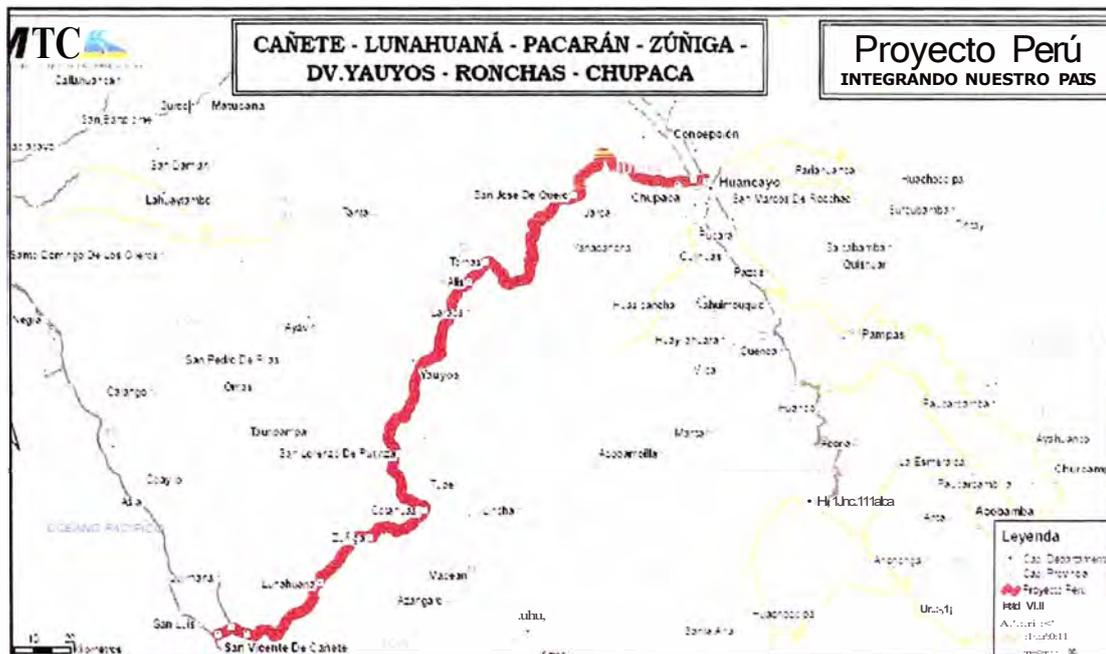
El Estado Peruano Mediante Resolución Ministerial N° 223-2007-MTC-02, modificada por Resolución Ministerial N° 408-2007-MTC/02, creó el "Proyecto Perú", el cual está diseñado para mejorar las vías de integración de corredores económicos, conformando ejes de desarrollo sostenido con el fin de elevar el nivel de competitividad de las zonas rurales, en la Red Vial Nacional, Departamental y Vecinal.

El Programa "Proyecto Perú" aspira a establecer políticas de mantenimiento para la conservación de la infraestructura vial, mediante contratos en los que las prestaciones se controlen por niveles de servicio y por plazos iguales o superiores a tres años, que implican el concepto de "transferencia de riesgo" al Contratista.

De esta forma se busca mantener las vías nacionales con una adecuada serviciabilidad, interviniendo en forma oportuna y metódicamente mediante las actividades de Conservación Rutinaria, Conservación Periódica, Reparaciones Menores y atención de emergencias viales. Mediante el Contrato: N° 288-2007-MT/20, del 27 de Diciembre del 2,007 celebrado con el PROVIAS NACIONAL, el Consorcio Gestión de Carreteras asume la responsabilidad de efectuar el servicio de Conservación del Corredor Vial Cañete - Lunahuaná - Pacarán - Dv. Yauyos - Ronchas - Chupaca (271 km) y el Mejoramiento del Tramo Zúñiga - Dv. Yauyos - Ronchas a nivel de solución básica como se indica en los términos de referencia.

1.2. UBICACIÓN DE LA CARRETERA.

La carretera de penetración y enlace entre Cañete - Yauyos - Chupaca, se encuentra ubicada entre los departamentos de Lima y Junín, y comprendidas entre las provincias de Cañete, Yauyos y Chupaca.



FIGURAN° 1.01. MAPA DE UBICACIÓN.

(Fuente: MTC - PROVIAS Nacional - Proyecto Perú)

1.3. CARACTERISTICAS DE LA CARRETERA

La carretera Cañete - Yauyos - Chupaca es una carretera de tercer orden y pertenece al corredor vial N° 13, que atraviesa diferentes poblados y regiones del Perú, siendo entre los poblados principales, los que se puede observar en la FIGURA N° 1.01. Se considera como punto de inicio de la carretera, la ciudad de Cañete km 1+805 con una altitud de 71 msnm y como punto de término el poblado de Chupaca Km 273+53 1 con una altitud: 3270 msnm.

Esta carretera tiene una longitud de 271.73 Km. y se encuentra dentro de la cuenca del río Cañete, presentando una pendiente promedio de 2%, sin embargo, presenta sectores en donde la pendiente es más pronunciada llegando hasta 8%, especialmente en la zona alta.

La carretera se encuentra dividida en seis tramos, de los cuales dos se encuentran pavimentadas con una infraestructura vial apropiada, y los otros 4 tramos se encuentran con tratamiento superficial y nivel afirmado que cuenta con una infraestructura vial insuficiente e inadecuada, esta tramificación se describe en el siguiente CUADRO N° 1.02 antes y después de la intervención del mantenimiento.

La producción agropecuaria es la principal actividad económica de los poblados que están dentro del área de influencia de la carretera. Los cultivos en estos poblados son diversos debido a que se encuentran en distintas zonas climáticas y características topográficas.

En el distrito de Zúñiga se cultiva la vid en su mayoría, en Ayauca, el manzano; en Ahuac, la cebolla y la zanahoria; y en los demás, el maíz. Con respecto a la crianza de animales, la de ganado vacuno y ovino es la mayor producción.

Geopolíticamente esta carretera une la provincia de Cañete (Lima), Yauyos (Lima) y Chupaca (Junín), esta vía pertenece a la Red Vial Nacional con Código

PE-24. El trazo definido enlaza las localidades de Cañete, Lunahuaná, Pacarán, Zúñiga, Catahuasi, Capillucas, Yauyos, Colpa, Ronchas y Chupaca.

Entre las características principales de la población tenemos:

De parta mento	Provincia	Distrito	Características Principales					
			Des: d (h .a' .m2)	Po.e. u (e .e .e)	I	Supa .a' .m2	Po.e. u	"
Lima	Cañete	Lunahuana	8.95	87.32	12.68	494.85	4428	Pobre
		Pacaran	6.57	54.42	45.58	254.5	1673	Muy Pobre
		Zuñiga	5.83	42.04	57.96	194.13	1132	Muy Pobre
	Yauyos	Alis	2.22	13.03	86.97	142.06	316	Pobre
		Ayauca	2.9	32.15	67.85	438.79	1272	Pobre
		Carania	2.7	70.61	29.39	122.13	330	Pobre
		Catahuasi	8.71	59.91	40.09	113.86	1079	Pobre
		Colonia	4.44	39.68	60.32	323.96	1439	Pobre
		Laraos	1.82	55.21	44.79	403.76	733	Pobre
		Tomas	2.72	33.24	66.76	299.27	814	Pobre
Yauyos	8.11	88.84	11.16	327.17	2652	Pobre		
Junin	Concepcion	San Jose de Que ro	20.54	33.83	66.17	314.14	6452	Pobre
		Chambara	29.84	23.05	76.95	99.6	2972	Pobre
	Chupaca	Ahuac	90.6	49.46	50.54	72.25	6546	Pobre
		Chupaca	919.79	68.8	31.2	22.74	20916	Pobre

CUADRO N 1.01 CARACTERISTICAS DE LA POBLACION ALEDAÑA A LA CARRETERA

(Fuente: INEI- 111Censo Nacional Agropecuario 1994)

En el proyecto se han identificado los siguientes tramos:

- Cañete - Lunahuaná consta de 40.95 km, con IMD de 1477, la superficie de rodadura se encuentra con carpeta asfáltica.
- Lunahuaná - Pacarán consta de 11.91 km, con IMD de 453, la superficie de rodadura se encuentra con un tratamiento superficial - Slurry Seal.
- Pacarán - Zúñiga consta de 3.74 km, con IMD de 520, en este tramo se realizo el cambio de estándar con Slurry Seal.
- Zúñiga - Catahuasi consta de 20.40 km, con IMD de 325, en este tramo se realizo el cambio de estándar con Slurry Seal.

- Catahuasi - Capillucas consta de 17.64 km, con IMD de 185, en este tramo se realizo el cambio de estándar con Monocapa.
- Capillucas - Dv. Yauyos consta de 32.36 km, con IMD de 96, en este tramo se realizo el cambio de estándar con Monocapa.
- Dv. Yauyos - Km. 227 consta de 98.20 km, con IMD de 305, en este tramo se realizo el cambio de estándar con Monocapa.
- Km. 227+000 - Ronchas consta 29.99 km. con IMD de 616, este tramo se encuentra a nivel de afirmado.
- Ronchas - Chupaca consta 16.54 km. con IMD de 823, este tramo se encuentra en un proceso de cambio de estándar a nivel de estudio definitivo (asfaltado).

TRAMO	LONG (km)	TIPO DE SUPERFICIE DE RODADURA ANTES	TIPO DE SUPERFICIE DE RODADURA DESPUES
canete•Lunahuana	40.95	caroeta Asfaltlca	Caroeta Asfaltlca
Lunahuana- Pacaran	11.91	Tratamiento Superficial	Tratamiento Superficial
Pacaran- Zuñi?a	3.74	Afirmado	Slurry Seal
Zuñiga-DV.Yauyos	70.40	Afirmado	Monocapa
DV.Yauyos-Ronchas	128.18	Afirmado	Monocapa (33 km)-Afirmado (91.18 km)
Ronchas-Chupaca	16.54	Afirmado	Afirmado

CUADRO N 1.02 TRAMOS Y LONGITUDES DE LA CARRETERA EN ESTUDIO

(Fuente: Elaboración Propia)

La carretera tiene una topografía bastante sinuosa transformándose en agreste en la medida que se interna en la cordillera de los andes; mientras que se vuelve a ampliar, ya en la cima de la cordillera. El ancho de la actual plataforma vial es variable entre 3m y 8m.

La geomorfología de la zona en estudio, se encuentra conformada sobre las unidades sedimentarias volcánicas y metamórficas, en cuanto a las formaciones geológicas de la ruta se encuentran las formaciones de Cañete, Cerro Negro, Torán, Cocachacra y Pariatambo. La composición de los suelos tiene un 49% de material suelto, 33% de roca suelta y 18% de roca fija, en el tramo de

Lunahuaná Diario). Para el presente estudio, debido a que el conteo de vehículos fue realizado al año 2008, se actualizaron los datos al año 2009 considerando las tasas indicadas en el ítem anterior.

RESUMEN HISTORICO 2009									
RESUMEN CLASIFICADO POR GRANDES GRUPOS DE VEHICULOS POR ESTACION DE CONTROL (Veh/Día)									
Tramo	Cañete-Lunahuana	Lunahuana-Pacaran	Pacaran-Zuñiga	Zuñiga-catahuasi	catahuasi-capilluca	capilluca-DV Yauyos	Dv Yauyos-la Colpa	Colpa-Huarisca	Huarisca-Chupaca
Tipo Vehículo	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9
VL (Auto+SW)	507	99	94	60	20	18	179	364	546
Camioneta	243	113	136	99	74	29	29	68	92
Camioneta Rural	406	136	143	86	37	16	22	59	65
Microbus	149	7	27	11	4	0	2	14	10
Ómnibus	32	16	13	11	10	10	4	8	13
Camión 2 Ejes	86	68	64	46	28	16	36	49	47
Camión 3 ejes	17	9	18	7	12	7	5	27	19
Camión Acoplado	37	5	25	5	0	0	28	27	31
IMDa (Veh/día) 2009	14 n	453	520	325	185	96	305	616	823

CUADRO N° 1.03 TRÁFICO VEHICULAR

(**) Fuente: Estudio de Trafico del consorcio de Gestión de Carreteras Diciembre del 2009

1.4 TRAMO EN ESTUDIO KM 104+000 KM 106+000

El tramo en estudio de la Carretera Cañete-Yauyos-Chupaca Km. 104+000 - Km. 106+000, presenta las siguientes características que a continuación se describen.

Este tramo de la carretera en estudio está comprendido entre Capillucas y Calachota (km 106+845) a una altitud de aproximadamente 1700 msnm, ambos poblados pertenecen a la región Yunga. Este tramo presenta un clima caluroso. Temperatura varía entre 20°C y 27°C durante el día y en las noches son frescas a causa de los vientos que bajan de las regiones más altas.

La topografía en este tramo se desarrolla sobre media ladera y terrenos deleznable, cuya plataforma consta de una calzada con un solo carril de dos sentidos de circulación y con un ancho que varía de 3.5 a 5.0 m, y pendientes en el rango de 2 % a 3 %. Este tramo se encuentra geológicamente en la quebrada

del río Cañete, conformado por material aluvional, terrazas de depósitos fluviales y cortes en rocas macizas.

1.5 SOLUCION APLICADA

El tramo de la carretera en estudio (km 104+000 - 106+000) consta de un suelo estabilizado, al cual se le ha dado un mantenimiento superficial a nivel de monocapa.

El sistema de drenaje no se encuentra en buenas condiciones, se observa que hay alcantarillas que se encuentran parcialmente obstruidas, hay zonas donde no se han construido cunetas.

En este tramo no se aprecia badenes pero si gran cantidad de gibas, que se han colocado por tema de seguridad, esto genera que los vehículos tengan que frenar más seguido provocando disminución de la transitabilidad en la vía.

En la actualidad se puede apreciar que superficialmente este tramo se encuentra en condición aceptable, pero realizando una evaluación superficial, llegamos a la conclusión que el pavimento se encuentra en condiciones malas.

CAPITULO 11

MARCO TEÓRICO

2.1. EVALUACIÓN ESTRUCTURAL.

La evaluación estructural de pavimentos básicos o económicos consiste en el análisis del comportamiento estructural del suelo estabilizado, para establecer y cuantificar las necesidades de rehabilitación, cuando el pavimento se acerca al fin de su vida útil.

La metodología para realizar la evaluación estructural consiste en hallar las deflexiones recuperables que experimenta el pavimento cuando se le somete a una carga móvil y considerando al pavimento como un sistema elástico y plástico, para lograr este objetivo se empleo el procedimiento deflectométrico empleando la Viga Benkelman, este procedimiento tiene la ventaja de medir directamente las deflexiones recuperables que experimenta el pavimento.

2.2. DEFLEXIONES

La deflexión es la deformación que experimenta el pavimento cuando se le somete a distintas cargas, estas pueden ser de carácter elásticas o plásticas. Los primeros desaparecen en cuanto se renuevan las cargas y los segundos son permanentes y su acumulación a través de las reiteraciones de las cargas produce las distorsiones de ahuellamiento en la superficie del pavimento. Por este motivo, se distingue tres tipos de deflexiones:

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

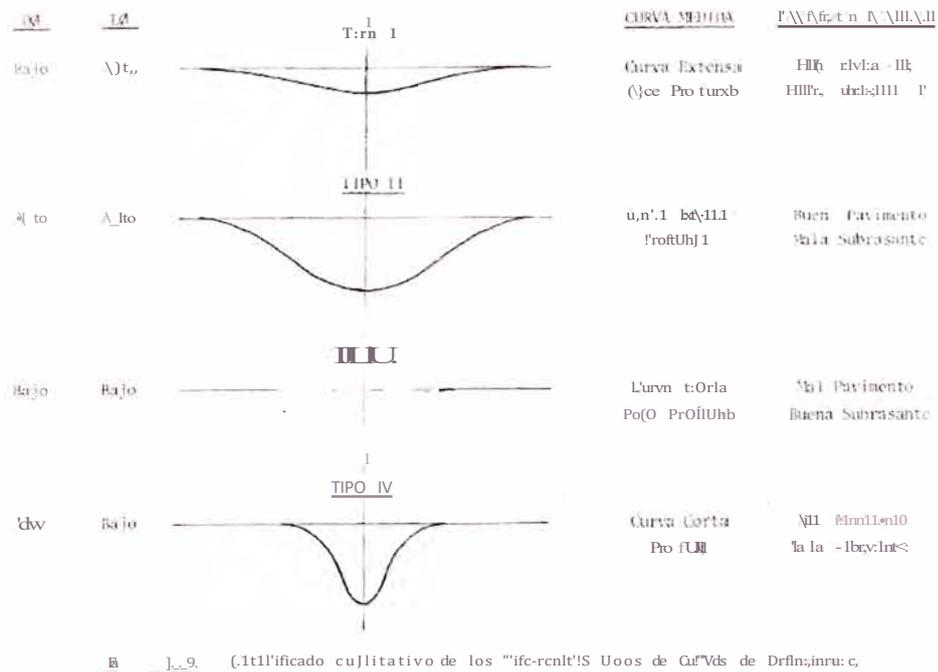


FIGURA N° 2.01. TIPOS DE DEFLEXIONES

(Fuente: Estudio CONREVIAL)

23 METODOS DE EVALUACION DE DEFLEXIONES

2.3.1. Medición de deflexiones con Viga Benkelman.

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



FIGURA N° 2.02. ENSAYO CON LA VIGA BENKELMAN

(Fuente: <http://www.googlectaico.blogcindario.com>)

2.3.2. Medición de deflexiones con Deflectómetro de Impacto.

Otro equipo con el que se puede realizar mediciones de deflexiones es con un deflectómetro de impacto. Este 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.



FIGURAN° 2.03. ENSAYO CON EL DEFLECTOMETRO DE IMPACTO

(Fuente: <https://dSPACE.ist.utl.pUbitstream>)

Equipo constituido por una masa que se deja caer por gravedad, desde una altura determinada, sobre una placa, provista de un sistema de distribución, que transmite la carga de manera uniforme a la superficie sobre la que se apoya.

Características Técnicas

Deflectómetro de Impacto de 65 kN

- La onda de carga simula la producida por un vehículo circulando a 70 km/h. El tiempo de carga es de 30 milisegundos y la carga máxima equivalente es de 65 kN.
- La deflexión debida a la carga se mide a través de cinco sismómetros situados uno en el centro de la placa, y los otros a distancias de 20, 30, 45 y 90 cm.
- El rendimiento del equipo (suponiendo una distancia entre puntos de medida de 25 m) es de aproximadamente 2 km/h.

Aplicaciones

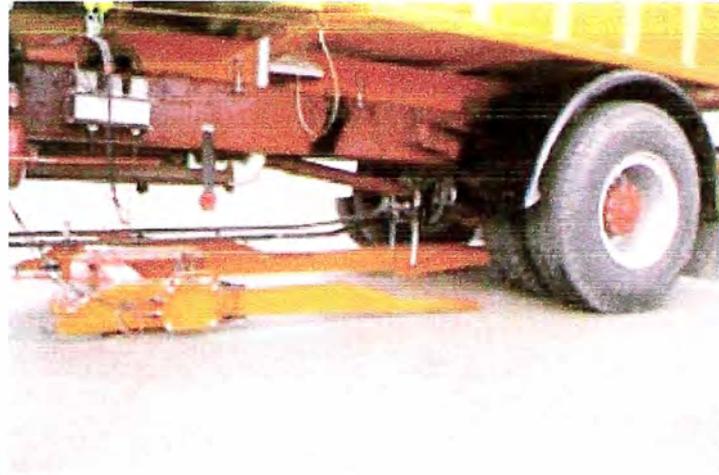
- Evaluación de la capacidad estructural de firmes flexibles, semirrígidos y rígidos.
- Evaluación de la transferencia de cargas en juntas de firmes de hormigón.
- Control de ejecución de coronación de explanada y capas granulares.

2.3.3. Medición de deflexiones con Deflectógrafo Tipo Lacroix.

Equipo de alto rendimiento para la medida de deflexiones en los firmes.

Características Técnicas

- Velocidad de ensayo de 3-4 km/h.
- Obtención de datos en dos líneas de medida.
- Distancia entre puntos de ensayo de 5 metros.
- En cada punto de ensayo se toman del orden de 60 lecturas de deflexión (permitiendo la obtención de la línea de influencia de la deflexión), siendo la longitud total de medida de 1,5 m.
- La recogida y tratamiento de datos se efectúa por ordenador.



FIGURAN° 2.04. ENSAYO CON EL DEFLECTOGRAFO TIPO LACROIX

(Fuente: <https://dspace.ist.utl.pt/bitstream>)

Aplicaciones

- Medida y registro de las deflexiones de un firme de forma cuasicontinua bajo la carga de un eje tipo de camión.
- Obtención de la línea de influencia de la deflexión en cada punto de medida.

2.4 VIGA BENKELMAN

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

En 1940 se introdujo la Viga Benkelman, el cual fue desarrollado por Alvin Carlton Benkelman, que era un ingeniero civil bien conocido en la investigación de pavimentos en American Association of State Highway Officials (SHO) que posteriormente se convirtió en AASHTO. Las pruebas con la Viga Benkelman fueron inicialmente desarrolladas en los Estados Unidos en la Asociación

occidental de las organizaciones de la carretera estatal (WASHO) en pruebas de carretera en 1952.

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

En los años 1963 la Viga Benkelman fue utilizada en el Perú; en los estudios de rehabilitación de la Panamericana Norte, a cargo del Consorcio de Rehabilitación Vial conformada por empresas argentinas y canadienses. Se evaluó un tramo de dicha carretera y con los resultados obtenidos se elaboró el estudio llamado CONREVIAl, por tal motivo el MTC sugiere el empleo de este estudio, ya que corresponde a una inversión considerable en aquellos años.

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

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

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. Para realizar este ensayo necesitamos una serie de equipos y personal que le presentamos a continuación:

a. Relación de Equipos.

- Camión volquete de 8-12 m³ de capacidad, llantas 12-20 (11-20) de 16 lonas en óptimo estado, 80 psi presión de inflado de llantas, eje trasero con 8.2 Ton de peso.
- Balanza de plataforma para pesado del eje trasero del camión volquete.
- Viga Benkelman con sistema de boqueo 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.
- Equipo para perforación de pavimento asfáltico, para medición de temperatura (cincel o punzón de acero y combo de 1 Olibras).
- Tablero de campo con formatos para toma de datos,
- Juego de herramientas básicas (plomada de albañil, martillo, desarmador, alicata, 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 para todo el personal y 2 o 3 banderolas de tela roja).
- Tope de madera para trabar llanta de camión en subidas.
- Colchoneta para apoyo del operador de la Viga Benkelman sobre el pavimento.

b. Relación de Personal

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

c. Procedimiento de medición en campo

La Viga Benkelman es un instrumento que funciona según el principio de una palanca, uno de cuyos extremos se apoya en el pavimento deformado ante la aplicación de una carga, mientras que el otro está en contacto sensible con un deformímetro de precisión, con dial de lecturas graduado en centésimas de mm. Dependiendo de la relación de brazos del equipo y de la factibilidad que el dial proporcione la verdadera magnitud de las medidas, en forma automática, se establece si es necesario corregir o no las lecturas.

La carga de ensayo, del orden de 8.2 Ton, que la proporciona el eje posterior simple de llanta doble de un camión. La presión de inflado de las llantas debe verificarse en 80 psi. Eventualmente la carga usada en los ensayos puede tener una variación en el orden de $\pm 1\%$.

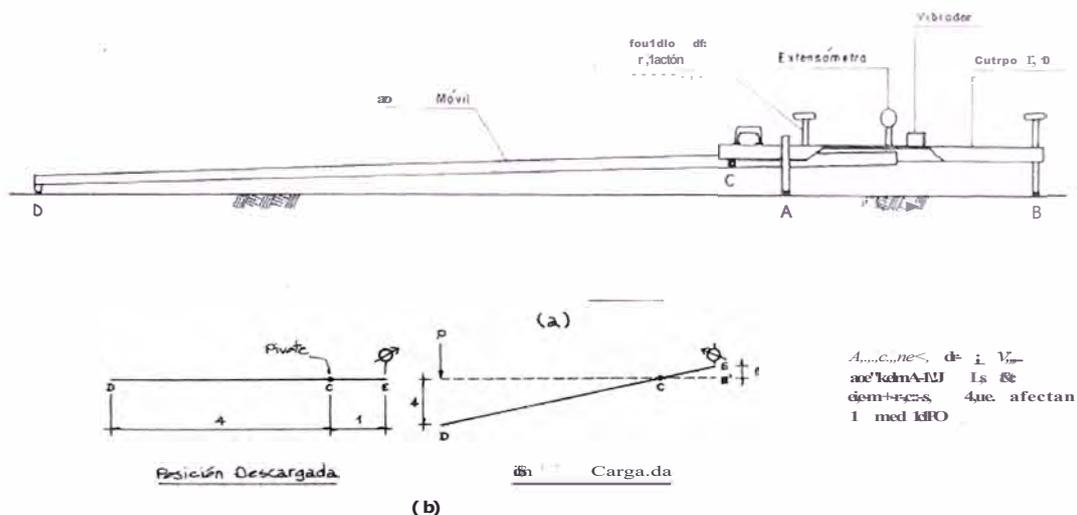


FIGURA 2.4 : Esquema y Principio de Operación de la Viga Benkelman

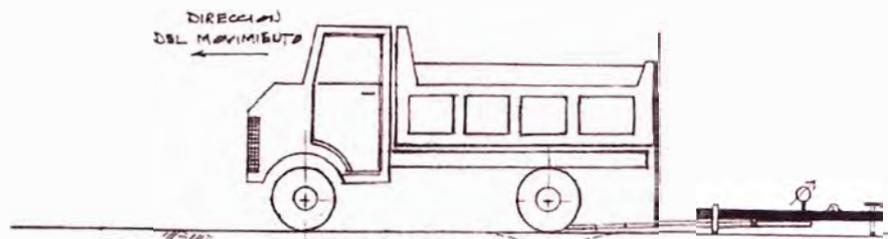
FIGURA N° 2.05 ESQUEMA Y PRINCIPIO DE OPERACIÓN DE LA VIGA BENKELMAN

(Fuente: Estudio CONREVIAL)

La Viga Benkelman, de acuerdo a procedimientos estandarizados, no mide la deformación elástica del pavimento en un proceso de carga directa sino que, partiendo de un estado inicial en que el pavimento se encuentre cargado, mide la recuperación que éste experimente al ser descargado progresivamente. Para ello se coloca la punta del instrumento, en un punto "A" seleccionado, bajo el centro de gravedad de una de las llantas dobles del camión que aplica la carga, y que inicialmente se encuentra estacionado. El pavimento, en consecuencia, por efecto del peso aplicado por las llantas experimenta una deformación elástica. En esa posición se gradúa el dial en "cero", que se asume como 100 o 200.

Una vez anotada la primera lectura que corresponde al inicio del ensayo, se procede a mover el camión a una velocidad constante de 1 cm/s, como consecuencia el punto "A" del pavimento, donde está apoyada la punta de la Viga Benkelman, es liberado progresivamente de la carga a la que inicialmente estaba sometido, y por lo tanto, el pavimento en ese punto empieza igualmente a recuperarse del estado de deformación en que se encontraba. Cuando el camión avanza 25 cm, el pavimento en punto "A" seguirá todavía parcialmente deformado; en esa posición se tomará una segunda lectura. Finalmente, la llanta del camión se aleja completamente del punto "A" 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 del deflectómetro.

Como las lecturas que se toman en el dial corresponden a componentes de deformación en un proceso de 'descarga', el valor final será menor que el inicial.



(a) Posición Inicial (O_1 = oeflexión máxima)

FIGURAN° 206 ESQUEMATIZACION DEL PROCESO DE MEDICIÓN CON LA VIGA BENKELMAN

(Fuente: Estudio CONREVIAL)

24.1 Cálculo de deflexiones recuperables

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

Para el caso de la deflexión a 25 cm, se debe encontrar la diferencia entre la lectura a 25 cm y la lectura final.

Las diferencias en ambos casos se multiplican por la relación de brazos de la Viga Benkelman empleada.

2.4.2 Corrección por temperatura.

Partiendo de la premisa que la temperatura de la capa asfáltica de rodadura influencia en el valor de la deflexión, las deflexiones medidas sobre la superficie de un pavimento asfáltico deben ser corregidas en función a la temperatura media que la capa experimenta durante la ejecución del ensayo, a cual varía durante el transcurso del día.

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

$$D_{20} = D_1 / k (t - 20^\circ) e + 1$$

Donde:

- D** (20° C) : Deflexión a la temperatura estándar 20° C
D₁ : Deflexión a la temperatura t (OO 1 mm)
K : Coeficiente igual a 1x10⁻³ (1/cm x ° C)
t : Temperatura del asfalto medida para cada ensayo.
e : Espesor de la carpeta asfáltica en cm.

2.4.3 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 según estudios basados en Brasil, considerando el tipo de suelo de subrasante y la época en que se realizaron los ensayos.

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

CUADRO N° 2.01 FACTORES DE CORRECCION POR ESTACIONALIDAD

(Fuente: Estudio CONREVIAL)

ANALISIS DE LA CAPACIDAD ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO MEDIANTE EL MÉTODO EMPIRICO (CONREVAL)

2.4.4. Cálculo del radio de curvatura

El radio de curvatura permite determinar la magnitud de la deformación lineal por tracción que sufren las capas asfálticas al flexionar bajo la acción de las cargas de tránsito. El método para determinar el radio de curvatura se basa en la hipótesis de que la línea de deflexiones de la distancia hasta el eje de carga, se aproxima a una parábola hasta una distancia superior a 25 cm; sufriendo luego una inflexión para tender asintóticamente hacia la horizontal. La curvatura de la parábola queda entonces definida por su parámetro, el cual en la zona de máxima curvatura se confunde con el radio del arco oscular en dicho punto, o sea exactamente bajo el centro del eje de la rueda cargada. El radio de curvatura según la metodología francesa se expresa mediante la siguiente fórmula:

$$R = \frac{10 \times 25^2}{C - \frac{D_0 - D_{25}}{10}}$$

Donde:

R_e : 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.

2.4.5. Deflexión característica

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

La deflexión característica (D_e) se define mediante la siguiente expresión:

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

Donde:

D_e : Deflexión característica

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

σ : Desviación estándar

t : coeficiente que representa al porcentaje del área total con probabilidad de presentar deflexiones superiores a la deflexión característica D_e .

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_e .

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

a. Deflexión media.

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

D_i : Valor individual de un ensayo.

n : Número de ensayos individuales.

b. Desviación estándar.

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

c. Coeficiente de variación.

$$Cv = \frac{e}{D} \times 100$$

2.4.6. Deflexión admisible

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

$$Da = \frac{(N18)^{1/4}}{v1s}$$

Donde:

Da = deflexión admisible inicial (en mm)

N18 = Número total de eje equivalentes a 18 k (en millones)

La determinación del número de ejes equivalentes soportados se detalla en el ANEXO 03 del presente informe, el cual sigue las normas establecidas en el manual de carreteras pavimentadas de bajo volumen de tránsito del MTC.

2.4.7. Deflectogramas

El deflectograma constituye un elemento fundamental para el análisis de la variabilidad de la capacidad estructural. Donde se podrá diferenciar secciones de distinta capacidad estructural en un mismo tramo. Con este deflectograma se identificará; Secciones de diferente capacidad estructural y/o comportamiento, las que posteriormente serán procesadas estadísticamente; valores extremos aislados, los que distorsionan los resultados y se identifica los sectores donde se realizarán las perforaciones representativas de buen y mal comportamiento.

2.4.8. Juicio de la capacidad estructural del pavimento

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

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

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

CUADRO N° 2.02 ANÁLISIS COMBINADO DE LOS RESULTADOS DE EVALUACIÓN

<p>La deflexión características es superior a la admisible. Los radios de curvatura son elevados o aceptables (en relación a la estructura). De> Dadm</p>	<p>No hay fallas de origen estructural.</p>	<p>Estructura infradiseñada, que necesita con urgencia un refuerzo estructural para resistir el tránsito futuro. Es necesario realizar perforaciones que avalen los espesores, naturaleza y estado de las capas. La capacidad portante de las capas decrece en profundidad. (No existe capa débil inmediatamente debajo capa asfáltica.</p>	<p>Examinar fecha y tipo de las últimas obras ejecutadas, para justificar estado del pavimento. 1 caso. Hay acuerdo entre todas las variables. a) Las deflexiones son empleadas para el cálculo de refuerzo. 8) Para deflexiones muy fuertes analizar económicamente reconstrucción. Verificar refuerzo con métodos</p>
	<p>Hay fallas de origen estructura generalizadas a causa ajenas a la presencia de un espesor de base débil.</p>		
<p>La deflexión característica es superior a la admisible. Los radios de curvatura son pequeños (aún para deflexiones reducidas). De> Dadm</p>		<p>Existe una capa débil inmediatamente debajo de las capas asfálticas (relación entre módulos de elasticidad menor de 1) La fallas por fatiga (agrietamiento, fisuras, tipo cuero de cocodrilo), observadas derivan de este caso.</p>	<p>diseño 2° CASO Se trata de neutralizar el efecto de la capa de falla, ya sea por reconstrucción parcial, o refuerzo. No es conveniente emplear la deflexión ya que puede no ser representativa. 3° CASO.</p>
<p>La deflexión característica es inferior a la admisible. Los radios de curvatura son reducidos. De< Dadm</p>	<p>Hay fallas de origen estructural por fatiga (Fisuras tipo piel de cocodrilo).</p>	<p>Existe una capa débil inmediatamente debajo de las capas asfálticas.</p>	<p>Analizar fecha de mediciones y tipo estructura. Neutralizar el efecto de la capa débil (reconstrucción o refuerzo). De ninguna manera se pueden considerar las deflexiones para el proyecto; emplear métodos de diseño 3° CASO.</p>
<p>La deflexión característica es inferior a la admisible. Los radios de curvatura son reducidos. De< Dadm</p>	<p>No hay fallas de origen estructural.</p>	<p>Estructura degradada no adecuada para fundación. Estructura bien diseñada.</p>	<p>Evaluar aporte estructural de la calzada existente (reconstrucción o refuerzo) La deflexión no es representativa ... 4° CASO. Corregir fallas de origen superficial, las soluciones dependerán de los defectos observados y sus causas. Mejora superficial. . 5° CASO</p>

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

2.4.9. Espesor de refuerzo

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

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

$$h = R^* \log (D_0 / O_h) / 0.434$$

Donde:

- h : Espesor de refuerzo (cm).
- D₀ : Deflexión característica antes del refuerzo (1/100 mm).
- O_h : Deflexión característica luego del refuerzo (1/100 mm); (Dadm de diseño)
- R : Coeficiente con dimensiones de un espesor.

Estos espesores se determinarán con la fórmula ya mencionada, utilizando 18 como valor del coeficiente R recomendado por CONREVIAl para los espesores de refuerzo del orden de 5 y las deflexiones vecinas de 0,70 mm; como se conocen las deflexiones características, faltará encontrar las deflexiones admisibles.

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

CAPITULO 111

EVALUACION DE LA CAPACIDAD ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO

3.1. CALIBRACION DEL DIAL

El dial es un instrumento muy sensible, por la cual necesita estar calibrado y funcionando de manera correcta para tomar gran cantidad de datos y que además estos datos sean confiables.

Este instrumento nos va a proporcionar datos de deflexiones recuperables en el pavimento, es por eso la importancia de que este dial este correctamente calibrado para que al momento de procesar estos datos podamos llegar a conclusiones contundentes para la mejora de la vía.

3.2. RECOPIACION DE DATOS

En la visita efectuada en campo a la carretera en estudio, se recopiló las mediciones de deflexiones recuperables con la Viga Benkelman con la relación de brazos de 4:1 y con un dial de precisión de 0.02 mm; Esta base de datos se encuentra en el **ANEXO 01**. En el cuadro se colocan las progresivas, el carril ensayado, espesor del tratamiento aplicado a la superficie de rodadura, ahuellamiento y los datos de temperatura, para estas mediciones ya estaba preparado el camión volquete con la carga de 8,200 kg.

Estos datos lo hemos obtenido en un día muy caluroso, es decir en una época muy seca por lo que se le tiene que corregir por un factor de estacionalidad

3.3. PROCESAMIENTO DE DATOS

El objetivo de la evaluación estructural, es encontrar tramos constantes en función de las deflexiones, que nos pueda dar una idea del comportamiento estructural de los pavimentos.

Para una mayor compresión se cita a continuación un ejemplo completo del procesamiento de datos de medición de deflexiones elásticas o recuperables, recopilados en campo.

Paso 1.-

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

Para el tramo en estudio en la Progresiva 104+000, se tiene que la deflexión máxima es 15×10^{-2} mm, la deflexión inicial (D_0) es cero y la deflexión a 25cm (D_{25}) es 5.00×10^{-2} mm.

Paso 2.-

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

Para el tramo en estudio en la Progresiva 104+000 se tiene:

$$D_0 = (15.00) \times 4 = 60.00 \times 10^{-2} \text{ mm}$$

$$D_{25} = (5.00) \times 4 = 20.00 \times 10^{-2} \text{ mm}$$

Paso 3.-

Dado que el tramo evaluado presentaba cambios de temperatura y espesor variable, se realizará la corrección por temperatura a las deflexiones halladas en el paso 2.

Para el tramo en estudio en la Progresiva 104+000, se tiene una temperatura de 28°C y el espesor de la carpeta es 0.60 cm:

$$D_0 \text{ (c)} = 59.71 \times 10^{-2} \text{ mm}$$

$$D_{25} \text{ (c)} = 19.90 \times 10^{-2} \text{ mm}$$

Paso 4.-

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

Para el tramo en estudio la Progresiva 104+000, pertenece a la Región Yunga con un clima con sol dominante casi todo el año, descrito según el CUADRO N° 1.02, Clasificación del clima de la carretera y según la FIGURA N° 1.03, existe presencia de arenas, se concluye según el CUADRO N° 2.01, que el valor de corrección por estacionalidad se considere 1.1 .

$$D0 = 59.71 \times 1.1 = 65.68 \times 10^{-2} \text{ mm}$$

$$D25 = 19.90 \times 1.1 = 21.89 \times 10^{-2} \text{ mm}$$

$$\text{Para: } n = 1 \text{ año, } D_a (1.15/0.026)^{1/4} = 258.97 \times 10^{-2} \text{ mm}$$

n (años)	EAL	N18 (en millones)	Da (x10 ⁻² mm)
1	5.11E+04	0.026	258.97
2	1.04E+05	0.052	216.81
3	1.59E+05	0.079	195.03
5	2.75E+05	0.137	170.10

CUADRO N° 3.01. CÁLCULO DE DEFLEXIONES ADMISIBLES

Paso 2.-

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

Se calcula el radio de curvatura para cada estación de todo el tramo evaluado y luego se calcule el radio de curvatura promedio para cada sector, ver ANEXO 07.

$$R_{\text{prom}} = 77.96 \text{ m}$$

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

CAPITULO IV

ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1. GRÁFICOS DE DEFLECTOGRAMA

Con los datos procesados se graficará el deflectograma, que está en función de la progresiva vs la deflexión recuperable inicial del tramo en estudio. Adicionalmente se grafican las deflexiones admisibles, características y promedio. Estos gráficos se encuentran dentro del ANEXO 05 del presente informe.

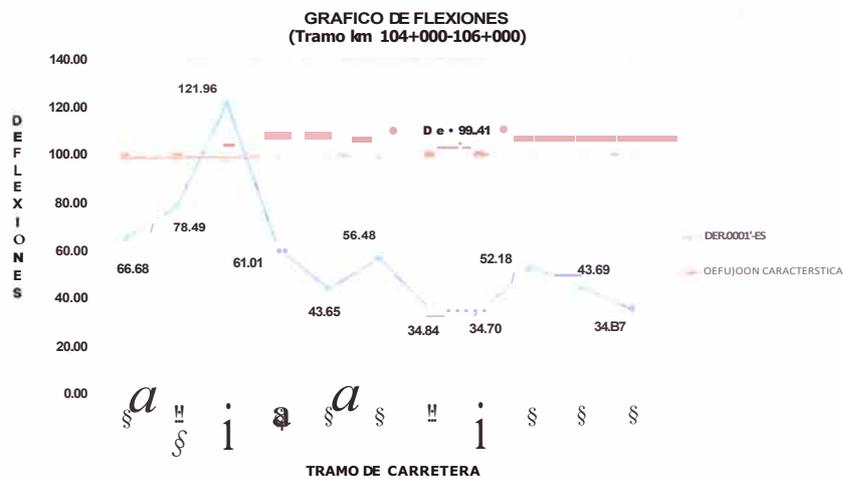


GRAFICO N° 01 DEFLEXION CARACTERISTICA

TRAMO Km 104+000-106+000

(Fuente: Elaboración Propia)

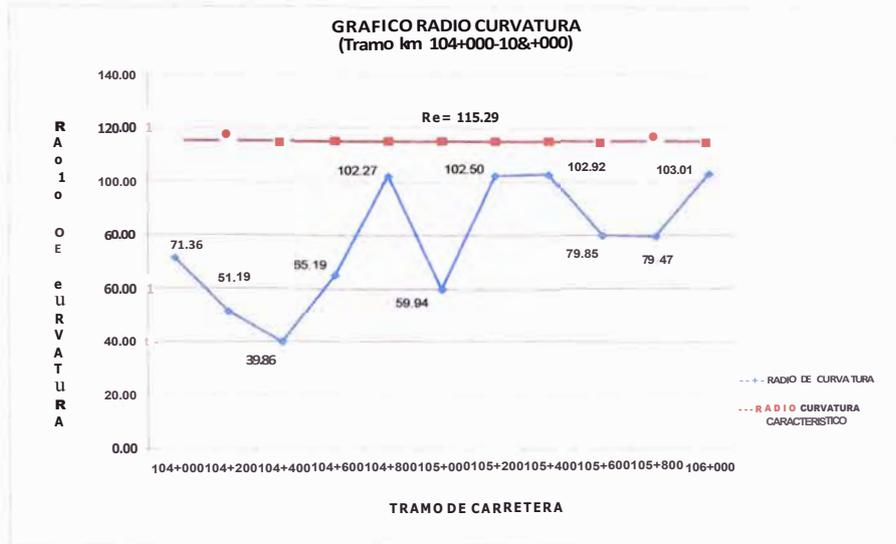


GRAFICO N° 02 RADIO CURVATURA CARACTERISTICO
Km 104+000-106+000
(Fuente: Elaboración Propia)

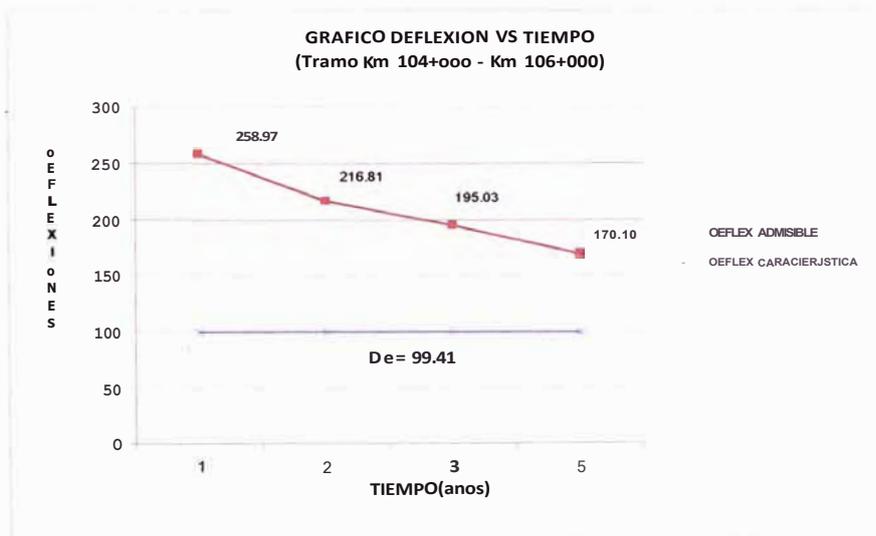


GRAFICO N° 03 COMPARACION D_a- D_e TRAMO Km 104+000-106+000
(Fuente: Elaboración Propia)

4.2. EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD ESTRUCTURAL

Con los resultados obtenidos de D_e , D_a y las graficas de Deflectograma, se realiza el juicio de la capacidad estructural del pavimento en el tramo comprendido entre Km 104+000 Km 106+000 de la carretera Cañete - Yauyos - Chupaca, por ser un tramo constante, por lo cual se presenta los siguientes casos:

Descripcion	Unidad	Carretera Cañete- Huancayo km 104+000 al 106+000			
		1	2	3	5
AÑO DE ANALISIS (n)	años	1	2	3	5
DEFLEXION CARACT. (D_e)	$\times 10^{-2}$ mm	99.41	99.41	99.41	99.41
DEFLEXION ADMISIBLE. (D_a)	$\times 10^{-2}$ mm	258.97	216.81	195.03	170.10
RADIO DE CURVATURA (R_e)	m	115.29	115.29	115.29	115.29
ESPESOR DE REFUERZO	cm	-17.17	-14.05	-12.16	-9.69
ESPESOR DE REFUERZO RECOMENDADO	mm	NR	NR	NR	NR

CUADRO N° 4.01. RESUMEN DE RESULTADOS DEL TRAMO EN ESTUDIO

(Fuente: Elaboración propia)

Primer Caso

Se observa que para un período de evaluación de $n = 1$ año, la deflexión característica ($D_e = 99.41 \times 10^{-2}$ mm) es menor que la deflexión admisible ($D_a = 258.97 \times 10^{-2}$ mm), por lo tanto se considera que la capacidad estructural del pavimento tendrá un comportamiento adecuado, además el radio de curvatura ($R_e = 115.29$ m) por lo tanto el pavimento en este sector tiene un adecuado comportamiento.

Segundo

Para un periodo de evaluación de 2 años, se tiene que la deflexión característica ($D_e = 99.41 \times 10^{-2}$ mm) es menor que la deflexión admisible ($D_a = 216.81 \times 10^{-2}$ mm), por lo tanto se considera que la capacidad estructural del pavimento tendrá un comportamiento adecuado.

Tercer Caso

Para un periodo de evaluación de 3 años, se tiene que la deflexión característica ($D_e = 99.41 \times 10^{-2}$ mm) es menor que la deflexión admisible ($D_a = 195.03 \times 10^{-2}$ mm), por lo tanto en esta etapa se considera que la capacidad estructural del pavimento tendrá un comportamiento adecuado.

Cuarto Caso

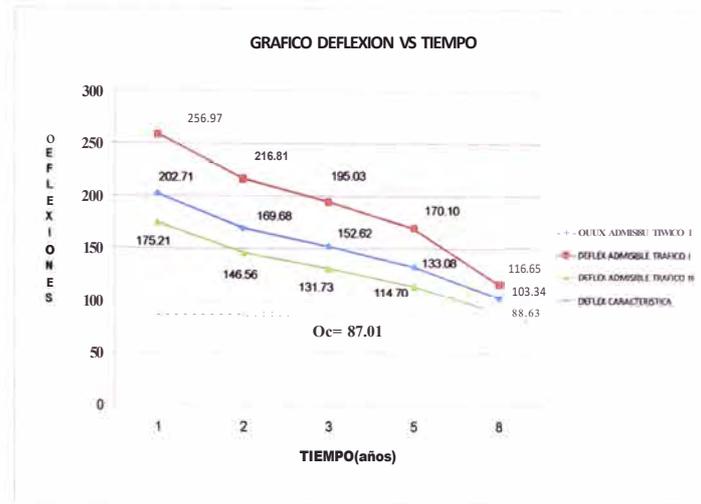
Para un periodo de evaluación de 5 años, se tiene que la deflexión característica ($D_e = 99.41 \times 10^{-2}$ mm) es mayor que la deflexión admisible ($D_a = 170.10 \times 10^{-2}$ mm), por lo tanto en esta etapa se considera que la capacidad estructural del pavimento tendrá un comportamiento adecuado.

4.3. FRECUENCIA DE ENSAYOS CON VIGA BENKELMAN

Con los resultados obtenidos del análisis, se observa que el tramo 104+000 al 106+000 de la carretera Cañete- Huancayo presenta muy buenas condiciones estructurales debido a que el tráfico en esa zona es bien bajo ($IMD=96$ Veh/Día).

Tomando este criterio de evaluación comparando deflexiones admisibles con las deflexiones características, obtenidas del análisis de datos tomados con la Viga Benkelman, determinamos que el tramo de la carretera que está entre el km 104+000 al km 106+000 necesita hacer otra evaluación dentro de 8 años.

Este resultado que se obtiene es por el bajo tráfico que transita por esta parte de la carretera, pero se sabe que el pavimento no solo se deteriora por efecto del tráfico sino que también ahí están presentes los agentes externos como el clima.



**GRAFICO N° 04 TIEMPO TRANSCURRIDO PARA OTRA EVALUACION
TRAMO Km 104+000-106+000**

(Fuente: Elaboración Propia)

Se ha recopilado información acerca de taludes, del sistema de drenaje así como la frecuencia de lluvias que ocurren en esta parte de la carretera, sabemos que se producen lluvias en la temporada de febrero y marzo produciéndose huaycos y saturación de cunetas y alcantarillas lo que trae como consecuencia un mal sistema de drenaje y que a la vez trae como consecuencia que el agua producto de las lluvias no drene y se quede estancado en el pavimento produciéndose el lavado de los materiales más finos, trayendo como consecuencia fatal el asentamiento del pavimento y el debilitamiento progresivo de la vía.

Es por este motivo que se debe hacer otra evaluación dentro de 6 meses, para evaluar con qué velocidad el pavimento se está degradando.

Para carreteras de bajo volumen de tráfico es interesante hacer un estudio y una evaluación de cómo se va deteriorando la estructura del pavimento producto del inadecuado control del drenaje, esto lo dejamos para futuras investigaciones.

CONCLUSIONES

- Para el primer año resulta que la deflexión admisible de 258.97×10^{-2} mm es mucho mayor que la deflexión característica de 99.41×10^{-2} mm (GRAFICO N°03), indicando que la estructura del pavimento básico tiene un comportamiento adecuado.
- Para el segundo año resulta que la deflexión admisible de 216.81×10^{-2} mm es mucho mayor que la deflexión característica de 99.41×10^{-2} mm (GRAFICO N°03), indicando que la estructura del pavimento básico tiene un comportamiento adecuado.
- Para el tercer año resulta que la deflexión admisible de 195.03×10^{-2} mm es mucho mayor que la deflexión característica de 99.41×10^{-2} mm (GRAFICO N°03), indicando que la estructura del pavimento básico tiene un comportamiento adecuado.
- Para el quinto año resulta que la deflexión admisible de 170.10×10^{-2} mm es mucho mayor que la deflexión característica de 99.41×10^{-2} mm (GRAFICO N°03), indicando que la estructura del pavimento básico tiene un comportamiento adecuado.
- El radio de curvatura de 115.29 m, es alto lo que determina un buen comportamiento del pavimento.
- El radio de curvatura obtenido de la lectura con brazo corto de 518.40 m, es bien alto lo que determina un comportamiento mucho mejor del pavimento y con mejores resultados (Cuadro N° 13 Anexos)
- Cuando se evalúa desde el tramo de la carretera km 101+800 al km 108+200 se obtiene una Deflexión Característica de 87.01×10^{-2} mm que es mucho menor a la deflexión admisible, indicando un buen comportamiento estructural del pavimento (Grafico N° 01 Anexo 05).
- Cuando se evalúa desde el tramo de la carretera km 101+800 al km 108+200 se obtiene un Radio de Curvatura Característico de 110.65 m lo que determina un buen comportamiento del pavimento (Grafico N° 02 Anexo 05)

- Considerando algún evento fuera de lo normal se ha considerado que el tráfico que existe desde Catahuasi a Capillucas se incrementa, observando que la deflexión admisible sigue muy por encima de la deflexión característica calculada, es decir el pavimento aun en estas condiciones tiene un adecuado comportamiento estructural.
- Según el estimado de tráfico el IMD es bajo, por lo que no se produce el desgaste prematuro de la vía.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar ensayos en toda la ruta que comprende el estudio con la finalidad de obtener una mayor cantidad de datos que permita una mejor caracterización del material del pavimento.
- Realizar el ensayo con la Viga Benkelman en épocas templadas para evitar la dilatación de la viga metálica y así obtener datos más confiables.
- Se recomienda terminar la construcción de cunetas para mejorar el drenaje y evitar la filtración del agua al pavimento.
- Mantener limpias las alcantarillas ya que esto podría generar atoros y que el agua, producto de las lluvias, penetre en el pavimento lavando los finos trayendo como consecuencia asentamientos.
- La Viga Benkelman es un equipo muy eficiente, porque se puede manipular fácilmente, es recomendable usarlo en lugares donde el tráfico no es muy intenso y con buenos resultados.
- Se recomienda hacer una mejora superficial en la vía.

BIBLIOGRAFÍA

1. Auris Cortez Carlos Manuel, Evaluación y rehabilitación del pavimento empleando el método de la deflectometría en el aeropuerto de Huamanga Ayacucho, Informe de Ingeniería, Perú, 2002.
2. Consorcio de Rehabilitación Vial, Estudio de Rehabilitación de Carreteras en el País, Perú, 1982.
3. Consorcio Gestión de Carreteras, Plan de Conservación Vial de la Carretera Cañete - Lunahuaná - Pacarán - Zúñiga - Dv. Yauyos - Ronchas - Chupaca, Perú, Junio008.
4. Consorcio Gestión de Carreteras, Estudios Técnicos para el cambio estándar de afirmado a solución básica Carretera Cañete - Lunahuaná - Pacarán - Zúñiga - Dv Yauyos - Ronchas - Chupaca, Perú, Setiembre 2006.
5. Gutiérrez Lazares, José Wilfredo Modelación Geotécnica de Pavimentos Flexibles con Fines de Análisis y Diseño en el Perú, Tesis para optar el Grado de Magíster en Ciencias con Mención en Ingeniería Geotécnica, Perú, 2007 ..
6. Gonzalo Rojas, Pablo, Evaluación Superficial no Destructiva Aplicando la Viga Benkelman, Lima 2005.
7. Manual para el Diseño de Caminos Pavimentados de Bajo Volumen de Tránsito.
8. Manual de Conservación de Obras Viales, Mantenimiento Vial, México 2008
9. Melchor Areche José Ignacio, Evaluación Integral del Pavimento, Experiencia Profesional, Perú, 1999.
10. Ministerio, de Transportes y Comunicaciones, Manual para el Diseño de Caminos Pavimentados de Bajo Volumen de Tránsito, Perú, 2007.
11. Montejo Fonseca Alfonso, Ingeniería de Pavimentos, Evaluación estructural obras de mejoramiento y nuevas tecnologías, Colombia, 2006.
12. <http://strongfamilytree.org>
13. <http://www.cetanz.org.nz>
14. <http://books.google.com.pe>

15. Sánchez Sabogal, Femando. Empleo de la viga Benkelman en la Evaluación de Pavimentos Flexibles, Primer Simposio Colombiano sobre Ingeniería de pavimentos, Medellín, 1976.
16. Vigo Jáuregui, Femando, Metodología para a Evaluación Integral de pavimentos Flexibles Carretera Central Cocachacra - Matucana, Lima - Perú, 1999.
17. 1999.
18. www.camineros.com
19. www.proviasnacgob.pe

ANEXO 01 - DATOS DE CAMPO

MEDICIÓN DE DEFLEXIONES CON VIGA BENKELMAN - HOJA DE CAMPO

SECTOR : km 104+000 al km 106+000
CARRIL : Derecho
CAPA : Monocapa

OPERADOR : Varios
RELACIÓN VP : 4:1
DIAL : 0,02mm

Progresiva (km)	Carril	Lecturas de Campo (10-2mm)		Deflexiones sin Corregir (10-2mm)		Espesor (m)	Ahuellamiento (mm)	Temp (2C)
		b<	L<	o<	D<			
104+000	Derecho	5	15	20	60	0.006	5	28
104+200	Derecho	4	18	16	72	0.006	5	35
104+400	Derecho	10	28	40	112	0.006	4	37
104+600	Derecho	3	14	12	56	0.006	6	36
104+800	Derecho	3	10	12	40	0.005	3	36
105+000	Derecho	1	13	4	52	0.008	2	36
105+200	Derecho	1	8	4	32	0.006	5	37
105+400	Derecho	1	8	4	32	0.009	5	36
105+600	Derecho	3	12	12	48	0.007	14	37
105+800	Derecho	1	10	4	40	0.005	4	34
106+000	Derecho	1	8	4	32	0.009	2	37

CUADRO N° 01 DATOS OBTENIDOS EN CAMPO

(Fuente: Elaboración Propia)

MEDICIÓN DE DEFLEXIONES CON VIGA BENKELMAN

SECTOR : km 104+000 al km 106+000
CARRIL : Derecho
= A : Monocapa

OPERADOR : Varios
RELACION VP : 4:1
DIAL : 0,01 mm

Progresiva (km)	Carril	Lecturas de Campo (Wmm)		Deflexiones sin Corregir (10-2mm)		Espesor (mm)	Muefll'lien> (mm)	Temp (°C)	RESULTADOS DE FLECTOMÉTRICOS		Radio CUI/Val'ra (m)
		L<	L<	D	O<				Deflexiones Corregidas		
									D< x 10⁴mm	O< x H⁴mm	
104+000	Derecho	5	15	20	60	6	5	28	21.89	65.68	71.36
104+200	Derecho	4	18	16	72	6	5	35	17.44	78.49	51.19
104+400	Derecho	10	28	40	112	6	4	37	43.56	121.1%	10.86
104+600	Derecho	3	14	12	56	6	6	36	13.07	61.01	65.19
104+800	Derecho	3	10	12	40	5	3	36	13.10	43.65	102.27
105+000	Derecho	1	13	4	52	8	2	36	4.34	56.48	59.94
105+200	Derecho	1	8	4	32	6	5	37	4.36	34.84	102.50
105+400	Derecho	1	8	4	32	9	5	36	4.34	34.70	102.92
105+600	Derecho	3	12	12	48	7	14	37	13.04	52.18	79.85
105+800	Derecho	1	10	4	40	5	4	34	4.37	43.69	79.47
106+000	Derecho	1	8	4	32	9	2	37	4.33	34.67	103.01

CUADRO N° 02 CALCULO DEL RADIO DE C-J 'ATL'R>\

(Fuente: Elaboración Propia)

ANEXO 02 - ESTUDIO DE TRÁFICO Y CARGAS

Tipo de eje	Eje equivalente (EEazTN)
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 Tridem de ruedas dobles	$EETR = [P / 22.9]^4$
P = peso real por eje en toneladas	

CUADRO N° 03: CRITERIO PARA EL CÁLCULO DE EQUIVALENCIA DE CARGA

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

Nro.	Tipo de vehículo	Descripción	Eje delantero	Ejes posteriores				EEa.2TN
				1ereJe	2doeJe	3ereje	4toeje	
1	Ómnibus 2E	Carga (Tn)	7	11				18
		F.E.C.	1.265	3.238				4.504
2	Ómnibus 3E	Carga (Tn)	7	18				25
		F.E.C.	1.265	2.019				3.285
3	Camión 2E-L	Carga (Tn)	7	7				14
		F.E.C.	1.265	1.265				2.531
4	Camión 2E-P	Carga (Tn)	7	11				18
		F.E.C.	1.265	3.238				4.504
5	Camión 3E	Carga (Tn)	7	18				25
		F.E.C.	1.265	2.019				3.285
6	Camión 4E	Carga (Tn)	7	23				30
		F.E.C.	1.265	1.018				2.283
7	Semitrayler 2S2	Carga (Tn)	7	11	18			36
		F.E.C.	1.265	3.238	2.019			6.523
8	Semitrayler 2S3	Carga (Tn)	7	11	25			43
		F.E.C.	1.265	3.238	1.42			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	1.42			4.705
11	Traylers C2R2	Carga (Tn)	7	11	11	11		40
		F.E.C.	1.265	3.238	3.238	3.238		10.98

CUADRO N° 04: DETERMINACIÓN DE LOS FACTORES DE EQUIVALENCIA DE CARGA

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

ANEXO 03 - CALCULO DE LA DEFLEXION ADMISIBLE

Cuadro: Tramo Capillucas Km 104+000 a Calachota Km 106+000					
Tipo de Vehiculo	Factor de Carga	IMD (2009)	Tasa de Crecimiento(%)	PROYECCION	
				n (años)	EAL (2010)
Micro	4.504	0	1.4	1	0
Omnibus 2E	4.504	10	1.4	1	16440
Omnibus 3E	3.285	0	1.4	1	0
Camion 2 Ejes	4.504	16	4.6	1	26303
Camion 3 Ejes	3.285	7	4.6	1	8393
Camion 4 Ejes	2.283	0	4.6	1	0
Semitraylers	6.523	0	4.6	1	0
Traylers	10.980	0	4.6	1	0
				EAL	51136
numero de ejes equivalentes a 8.2 ton (en millones)				Nis	0.025568
				Da (x 10 ⁻² mm)	258.97

CUADRO N° 05 CALCULO DE LA DEFLEXION ADMISIBLE PARA 1 AÑO

(Fuente: Elaboración Propia)

Cuadro: Tramo Capillucas Km 104+000a Calachota Km 106+000					
Tipo de Vehiculo	Factor de Carga	IMD (2009)	Tasa de Crecimiento(%)	PROYECCION	
				n (años)	EAL (2011)
Micro	4.504	0	1.4	2	0
Omnibus 2E	4.504	10	1.4	2	33109
Omnibus 3E	3.285	0	1.4	2	0
Camion 2 Ejes	4.504	16	4.6	2	53817
Camion 3 Ejes	3.285	7	4.6	2	17172
Camion 4 Ejes	2.283	0	4.6	2	0
Semitraylers	6.523	0	4.6	2	0
Traylers	10.980	0	4.6	2	0
				EAL	104098
numero de ejes equivalentes a 8.2 ton (en millones)				Nis	0.052049
				Da (x 10 ⁻² mm)	216.81

CUADRO N° 06 CALCULO DE LA DEFLEXION ADMISIBLE PARA 2 AÑOS

(Fuente: Elaboración Propia)

Cuadro : Tramo Capillucas Km 104+000 a Calachota Km 106+000					
Tipo de Vehículo	Factor de Carga	IMD (2009)	Tasa de Crecimiento(%)	PROYECCION	
				n (años)	EAL (2012)
Micro	4.504	0	1.4	3	0
Omnibus 2E	4.504	10	1.4	3	50012
Omnibus 3E	3.285	0	1.4	3	0
Camion 2 Ejes	4.504	16	4.6	3	82596
Camion 3 Ejes	3.285	7	4.6	3	26356
Camion 4 Ejes	2.283	0	4.6	3	0
Semitraylers	6.523	0	4.6	3	0
Traylers	10.980	0	4.6	3	0
				EAL	
numero de ejes equivalentes a 8.2 ton				Nis	
(en millones)				Da (x 10-2 mm)	
				158964	
				0.079482	
				195.03	

CUADRO N° 07 CALCULO DE LA DEFLEXION ADMISIBLE PARA 3 AÑOS

(Fuente: Elaboración Propia)

Cuadro: Tramo Capillucas Km 104+000 a Calachota Km 106+000					
Tipo de Vehículo	Factor de Carga	IMD (2009)	Tasa de Crecimiento(%)	PROYECCION	
				n (años)	EAL (2014)
Micro	4.504	0	1.4	4	0
Omnibus 2E	4.504	10	1.4	4	67152
Omnibus 3E	3.285	0	1.4	4	0
Camion 2 Ejes	4.504	16	4.6	4	112698
Camion 3 Ejes	3.285	7	4.6	4	35961
Camion 4 Ejes	2.283	0	4.6	4	0
Semitraylers	6.523	0	4.6	4	0
Traylers	10.980	0	4.6	4	0
				EAL	
numero de ejes equivalentes a 8.2 ton				Nis	
(en millones)				Da (x 10-2 mm)	
				215811	
				0.1079055	
				180.68	

CUADRO N° 08 CALCULO DE LA DEFLEXION ADMISIBLE PARA 4 AÑOS

(Fuente: Elaboración Propia)

Cuadro : Tramo Capi Lucas Km 104+000 a Calachota Km 106+000					
Tipo de Vehículo	Factor de Carga	IMD (2009)	Tasa de Crecimiento(%)	PROYECCION	
				n (años)	EAL (2015)
Micro	4.504	0	1.4	5	0
Omnibus 2E	4.504	10	1.4	5	84532
Omnibus 3E	3.285	0	1.4	5	0
Camion 2 Ejes	4.504	16	4.6	5	144186
Camion 3 Ejes	3.285	7	4.6	5	46008
Camion 4 Ejes	2.283	0	4.6	5	0
Semitraylers	6.523	0	4.6	5	0
Traylers	10.980	0	4.6	5	0
				EAL	
numero de ejes equivalentes a 8.2 ton (en millones)				Nis	
				Da (x 10-2 mm)	
				274726	
				0.137363	
				170.10	

CUADRO N° 09 CALCULO DE LA DEFLEXION ADMISIBLE PARA 5 AÑOS

(Fuente: Elaboración Propia)

Cuadro : Tramo Dv Yauyos 128+805 a Km 227+000					
Tipo de Vehículo	Factor de Carga	IMD(2009)	Tasa de Crecimiento(%)	PROYECCION	
				n (años)	EAL (2010)
Micro	4.504	2	1.4	8	27629
Omnibus 2E	4.504	14	1.4	8	193403
Omnibus 3E	3.285	0	1.4	8	0
Camion 2 Ejes	4.504	53	4.6	8	820203
Camion 3 Ejes	3.285	12	4.6	8	135445
Camion 4 Ejes	2.283	0	4.6	8	0
Semitraylers	6.523	0	4.6	8	0
Traylers	10.980	29	4.6	8	1094076
				EAL	
numero de ejes equivalentes a 8.2 ton (en millones)				Nis	
				Da (x 10-2 mm)	
				2270756	
				1.135378	
				100.32	

CUADRO N° 10 CALCULO DE LA DEFLEXION ADMISIBLE PARA 8 AÑOS

(Fuente: Elaboración Propia)

ANEXO 04 - CALCULO DE LA DEFLEXION CARACTERISTICA Y RADIO DE CURVATURA

Deflexiones Corregidas	
$D_{25} \times 10^{-2} \text{mm}$	$D_0 \times 10^{-2} \text{mm}$
21.89	65.68
17.44	78.49
43.56	121.96
13.07	61.01
13.10	43.65
4.34	56.48
4.36	34.84
4.34	34.70
13.04	52.18
4.37	43.69
4.33	34.67

Promedio	57.03
Desviacion Estandar	25.76
Deflexion Característica	99.41

CUADRO N° 11 RESUMEN DE RESULTADOS DEFLECTOMETRICOS

(Fuente: Elaboración Propia)

Radio Curvatura (m)
71.36
51.19
39.86
65.19
102.27
59.94
102.50
102.92
79.85
79.47
103.01

Promedio	77.96
Desviacion Estandar	22.69
Radio Curvatura	115.29

CUADRO N° 12 RESUMEN DE RESULTADOS RADIO DE CURVATURA

(Fuente: Elaboración Propia)

Radio Curvatura (m)
101.95
102.37
143.49
143.41
143.18
239.77
717.47
180.11
179.67
143.04
360.55

Promedio	223.18
Desviacion Estandar	179.46
Radio Curvatura	518.4

CUADRO N° 13 RADIO DE CURVATURA CON BRAZO CORTO

(Fuente: Elaboración Propia)

Progresiva (km)	RESULTADOS DEFLECTOMÉTRICOS		Radio Curvatura (m)
	Deflexiones Corregidas		
	$D_z \times 10^2 \text{mm}$	$D_o \times 10^{-2} \text{mm}$	
101+800	29.87	85.34	56.34
102+000	12.98	64.91	60.18
102+200	21.35	68.33	66.52
102+400	8.51	29.80	146.80
102+600	12.81	55.53	73.16
102+800	16.92	59.23	73.87
103+000	17.12	81.31	48.68
103+200	8.61	51.63	72.63
103+400	12.95	60.42	65.83
103+600	12.96	64.78	60.30
103+800	8.64	43.22	90.39
104+000	21.89	65.68	71.36
104+200	17.44	78.49	51.19
104+400	43.56	121.96	39.86
104+600	13.07	61.01	65.19
104+800	13.10	43.65	102.27
105+000	4.34	56.48	59.94
105+200	4.36	34.84	102.50
105+400	4.34	34.70	102.92
105+600	13.04	52.18	79.85
105+800	4.37	43.69	79.47
106+000	4.33	34.67	103.01
106+200	8.55	42.75	91.37
106+400	4.34	34.73	102.84
106+600	8.65	38.93	103.20
106+800	8.66	69.30	51.53
107+000	13.01	39.02	120.12
107+200	13.07	113.25	31.19
107+400	17.47	69.90	59.61
107+600	26.06	82.51	55.35
107+800	17.26	60.40	72.44
108+000	12.90	60.18	66.09
108+200	8.65	34.62	120.36

promedio	58.71
desviación estándar	21.77
Deflexión característica	87.01

CUADRO N° 14 INTERACCIÓN CON OTROS TRAMOS

(Fuente: Elaboración Propia)

ANEXO 05 - GRAFICO DE DEFLEXIONES

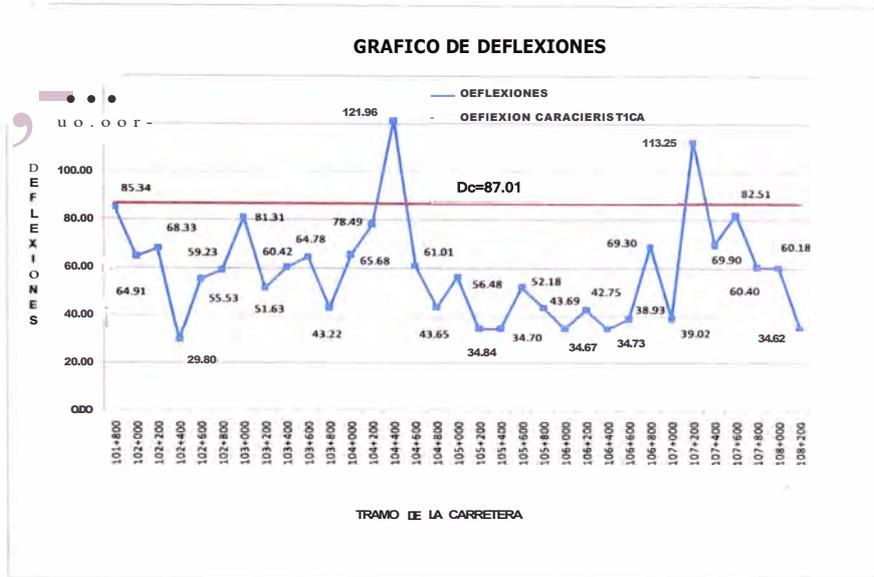


GRAFICO N° 01 DEFLEXION CARACTERISTICA CON OTROS TRAMOS
(Fuente: Elaboración Propia)

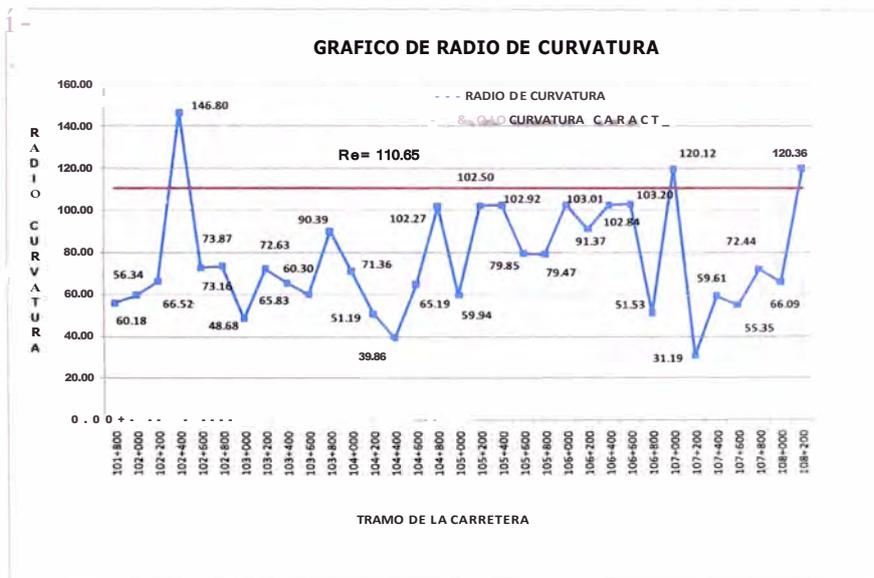


GRAFICO N° 02 RADIO CURVATURA CON OTROS TRAMOS
(Fuente: Elaboración Propia)

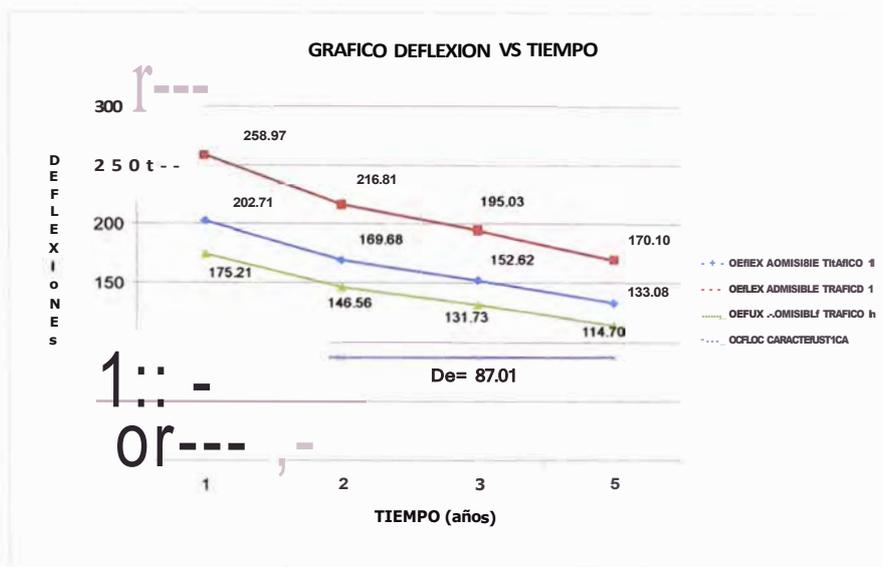


GRAFICO N° 03 COMPARACION Da-De CON OTROS TRAMOS

(Fuente: Elaboración Propia)

ANEXO 06 - FOTOGRAFIAS



FIGURAN° 01 TOMA DE DATOS DE CAMPO Km 104+000

(Fuente: Elaboración Propia)



FIGURAN° 02 OBTENIENDO EL ESPESOR DE CARPETA Km 104+000

(Fuente: Elaboración Propia)



FIGURAN° 03 MIDIENDO EL ESPESOR DE CARPETA Km 104+000

(Fuente: Elaboración Propia)



FIGURAN° 04 MEDIDA DE LA TEMPERATURA Km 104+000
(Fuente: Elaboración Propia)



FIGURA N° 05 MEDIDA DEL AHUELLAMIENTO Km 104+600
(Fuente: Elaboración Propia)