

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



**EVALUACIÓN DE LA CONDICIÓN ESTRUCTURAL CON VIGA
BENKELMAN**

**MONITOREO DE CONSERVACIÓN CARRETERA CAÑETE –
HUANCAYO Km. 102+000 al km. 104+000.**

INFORME DE SUFICIENCIA

Para optar el Título Profesional de:

INGENIERO CIVIL

EMERSON GIANCARLO TAPIA SAAVEDRA

Lima- Perú

2010

	PAG
INDICE	1
RESUMEN	3
LISTADO DE CUADROS	4
LISTADO DE FIGURAS	5
LISTADO DE SIMBOLOS	6
INTRODUCCION	7
CAPITULO I.- GENERALIDADES	
1.1 Antecedentes	8
1.2 Ubicación de la carretera	10
1.3 Características de la carretera	10
1.3.1 Tramificación de la carretera	12
1.3.2 Clima	13
1.3.3 Topografía	14
1.3.4 Geología	16
1.3.5 Tipos de suelo	16
1.3.6 Tráfico vehicular	17
1.3.7 Actualidad – Programa de Conservación y Cambio estándar	18
1.4 Tramo en estudio km 102+000 – km 104+000	19
CAPITULO II.- MARCO TEORICO	
2.1 Estado del arte de la viga Benkelman	21
2.1.1 Equipos utilizados para la medición de deflexiones del pavimento	23
2.2 Evaluación estructural.	25
2.3 Deflectometría método empírico CONREVIAL	26
2.3.1 Fundamento teórico	26
2.3.2 Equipo requerido	29
2.3.3 Procedimiento de ensayo	30
2.3.4 Metodología de análisis	32
2.3.5 Cálculos de las deflexiones	34
2.3.6 Análisis de la capacidad estructural	35
2.3.7 Análisis estadístico de los resultados	38
2.4 Juicio sobre la capacidad estructural	40

2.4.1	Criterios adoptados	41
2.4.2	Casos típicos	42
2.4.3	Deflexiones tolerables	44
CAPITULO III.- APLICACION AL TRAMO KM 102+000 – KM 104+000		
3.1	Recopilación de datos de campo	45
3.2	Procesamiento de datos	45
CAPITULO IV.- ANÁLISIS DE RESULTADOS		
4.1	Evaluación de la capacidad estructural	48
CONCLUSIONES		50
RECOMENDACIONES		51
BIBLIOGRAFIA		52
ANEXOS		53

RESUMEN

El presente informe pretende determinar la condicione estructural del pavimento por un método no destructivo utilizando la Viga Benkelman y cuyos resultados serán procesados e interpretados por el método empírico de estudio CONREVIAl (Consortio de Rehabilitación Vial), el cual permite evaluar el debilitamiento progresivo de la estructura del pavimento flexible para el carril izquierdo del tramo de la carretera Cañete – Huancayo Km 102+000 – 104+000, ubicado entre las zonas de Capillucas y Calachota, la cual se encuentra mejorada con la aplicación de una lechada asfáltica llamada Slurry Seal sobre la capa de Tratamiento superficial Monocapa en deterioro, todo esto como parte del Monitoreo de Conservación Carretera Cañete – Huancayo.

En la actualidad la carretera se encuentra concesionada por la modalidad de Servicios de Conservación vial por Niveles de Servicio por un periodo de 5 años, por la empresa Consortio Gestión de Carreteras, estos contratos tienen la finalidad de evitar el deterioro prematuro, mantener en optimas las condiciones de serviciabilidad y transitabilidad, con intervenciones rutinarias y periódicas en la superficie del pavimento.

Para verificar la condición estructural de la carretera se realizó el monitoreo utilizando un equipo deflectómetro tipo Viga Benkelman, que permitió evaluar de manera práctica, sencilla y económica el comportamiento estructural del pavimento; identificando su condición estructural actual, a través de la interpretación y correlación de los resultados obtenidos con la deflectometría, que a su vez permitió presentar alternativas de mitigación.

LISTA DE CUADROS.

	Pág.
Cuadro N°1.01: Principales poblados que cruza la carretera	12
Cuadro N°1.02: Tramificación y estado de la carretera antes de la	12
Cuadro N°1.03: Características del clima de la carretera	14
Cuadro N°1.04: Topografía y anchos de vía	14
Cuadro N°1.05: Valores de CBR y Mr	16
Cuadro N°1.06: Número de IMDs	17
Cuadro N°1.07: Trabajos a ejecutar con la intervención de CGC	18
Cuadro N°1.08: Estructura de pavimento proyectada	19
Cuadro N°2.01: Determinación de punto de ensayo	30
Cuadro N°2.02: Valores para la Corrección de Deflexiones por	35
Cuadro N°3.01: Datos de campo obtenidos del ensayo de Viga	45
Cuadro N°3.02: Procesamiento de datos obtenidos del ensayo de Viga	46
Cuadro N°3.03: Deflexión característica y radio de curvatura	46
Cuadro N°4.06: Cálculo de la Deflexión Característica, Deflexión	47
Cuadro N°4.01: Resumen de resultados del tramo en estudio	48

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura Nº 1.01: Plano de ubicación del proyecto	10
Figura Nº 1.02: Plano Clave	11
Figura Nº 1.03: Panel fotográfico de la Carretera (1+805km – 105+000km)	15
Figura Nº 1.04: Sección típica del tramo en estudio	20
Figura Nº 2.01: Alvin Benkelman - Prueba de la Viga Benkelman	23
Figura Nº 2.02: Viga Benkelman- Brazo simple	24
Figura Nº 2.03: Viga Benkelman - Brazo Doble	24
Figura Nº 2.04: Posición Original y la Deformada Producida por la Carga	24
Figura Nº 2.05: Esquema de componentes de la Viga Benkelman	28
Figura Nº 2.06: Esquema de funcionamiento de la Viga Benkelman	28
Figura Nº 2.07: Esquema de operación de la Viga Benkelman	29
Figura Nº 2.08: Esquema de Equipo Requerido	30
Figura Nº 2.09: Metodología de Análisis de Deflexiones	33
Figura Nº 2.10: Determinación del Radio de Curvatura	36
Figura Nº 4.01: Gráfico de Deflectograma	46

LISTA DE SÍMBOLOS.

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

INTRODUCCION

El objetivo principal del presente informe es realizar la evaluación de la capacidad estructural del pavimento, mediante el uso del deflectómetro denominado Viga Benkelman para el carril izquierdo del tramo de la carretera Cañete – Huancayo Km 102+000 – 104+000.

Para lograr el objetivo principal, es necesario cumplir con tres objetivos específicos:

- Calificar y cuantificar el comportamiento estructural de la carretera procesando los datos tomados en el campo por medio de técnicas estadísticas para obtener los valores del radio de curvatura, la deflexión admisible y la deflexión característica.
- Evaluar los resultados obtenidos con el método empírico de medición de deflexiones para determinar la situación actual de la vía.
- Recopilar datos y comparar resultados con otros tomados del mismo tramo, y evaluar el deterioro en el tiempo.

La descripción del presente informe, se ha dividido en los siguientes capítulos:

En el Capítulo I se describe la ubicación de la carretera, características climáticas y el estudio de suelos (información recopilada de la constructora que está realizando el mantenimiento de serviciabilidad).

En el Capítulo II se hace mención de los conceptos en los cuales se fundamenta el método de evaluación de CONREVIAl, además se hace referencia al estado del arte de la viga.

En el Capítulo III se recopila información de los datos de campo y se procesa de acuerdo al método aplicado.

En el Capítulo IV se da una respuesta desde el punto de vista estructural del pavimento, así como una interacción con otros tramos.

Finalmente, se presenta las conclusiones y recomendaciones a la que se llega luego de realizar el presente estudio.

CAPÍTULO I.- GENERALIDADES

1.1 Antecedentes.

La Carretera Cañete – Yauyos - Chupaca ubicada en los departamentos de Lima y Junín, fue proyectada y ejecutada por etapas durante el Gobierno del Sr. Augusto B. Leguía entre los años 1920 a 1930, mediante la ley de la Conscripción Vial Territorial del Perú, promulgada por el entonces Ministerio de Fomento.

En los años 1940- 1944 durante el Gobierno del Dr. Manuel Prado Ugarteche, se avanza con los trabajos en la zona de la Costa desde Cañete hasta Yauyos, siendo inaugurada por el presidente en Junio de 1944, quedando postergado los trabajos de Yauyos a Huancayo. En 1954 se gestiona ayuda ante el Ministerio de Fomento, solicitando una delegación de Ingenieros para realizar la rectificación del trazo. Dicho trabajo queda concluido en 1957, integrando de esta manera la región costa con la sierra.

En el año 1998, la comisión de Promoción de Concesiones Privadas (PROMCEPRI) adjudicó la buena Pro al Consorcio “Asociación Aguas y estructuras (AYESA) – ALPHA CONSULT SA” para realizar el Servicio de Consultoría a Nivel de Estudio Definitivo de la Carretera Lunahuaná - Huancayo.

En el año 2003, el Proyecto Especial Rehabilitación de Transportes (PERT) del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC) encargó al consultor Ing. Floriano Palacios León, 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.

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.

Posteriormente en 2007 por Resolución Ministerial Nº 408 -2007-MTC/02 se creó el Programa “Proyecto Perú” bajo responsabilidad de PROVIAS NACIONAL. Este programa de Infraestructura vial fue diseñado para mejorar las vías de

integración de corredores económicos, conformado por ejes de desarrollo sostenido con el fin de mejorar el nivel de competitividad de las zonas rurales, en la red Vial Nacional, Departamental y Vecinal.

Con fecha 16 de Octubre de 2007 se realizó la Convocatoria para el Concurso Público "Servicio de Conservación Vial por Niveles de Servicio de la Carretera Cañete – Lunahuaná – Pacarán - Chupaca y Rehabilitación del tramo Zúñiga. Dv. Yauyos – Ronchas por un periodo de 5 años. Adjudicando la Buena Pro al CONSORCIO GESTION DE CARRETERAS, por un monto que asciende en S/. 131'589,139.71 con fecha 17 de Diciembre 2007.

Con fecha 01 de febrero del 2008 se inicia el servicio. El consorcio decidió ejecutar el servicio en 2 etapas: Pre-Operativa y Operativa.

En la etapa Pre-Operativa se realizaron los siguientes estudios o informes:

- Diseño y elaboración del programa de Conservación Vial.
- Elaboración del Plan de Manejo Socio Ambiental.
- Elaboración del informe técnico de la situación inicial de las rutas materia del contrato de Conservación Vial por Niveles de Servicio.
- Elaboración del Plan de Calidad para la ejecución de los servicios.

En la etapa Operativa, se realizarán las siguientes labores como:

- Conservación rutinaria y periódica
- Cambio de Estándar de afirmado a solución básica
- Puesta a punto y reparaciones menores
- Atención de emergencias viales extraordinarias hasta garantizar la transitabilidad.
- Relevamiento de información.
- Elaboración de informes mensuales e informes finales del proyecto.
- Implementación y puesta en marcha del plan de manejo socio ambiental.

Las alternativas de solución básica planteadas, se realizarán en campo por tramos de prueba. Estos trabajos requieren de evaluaciones superficiales, estructurales y rugosidad de la superficie para su análisis y evolución de su comportamiento.

1.2 Ubicación de la Carretera

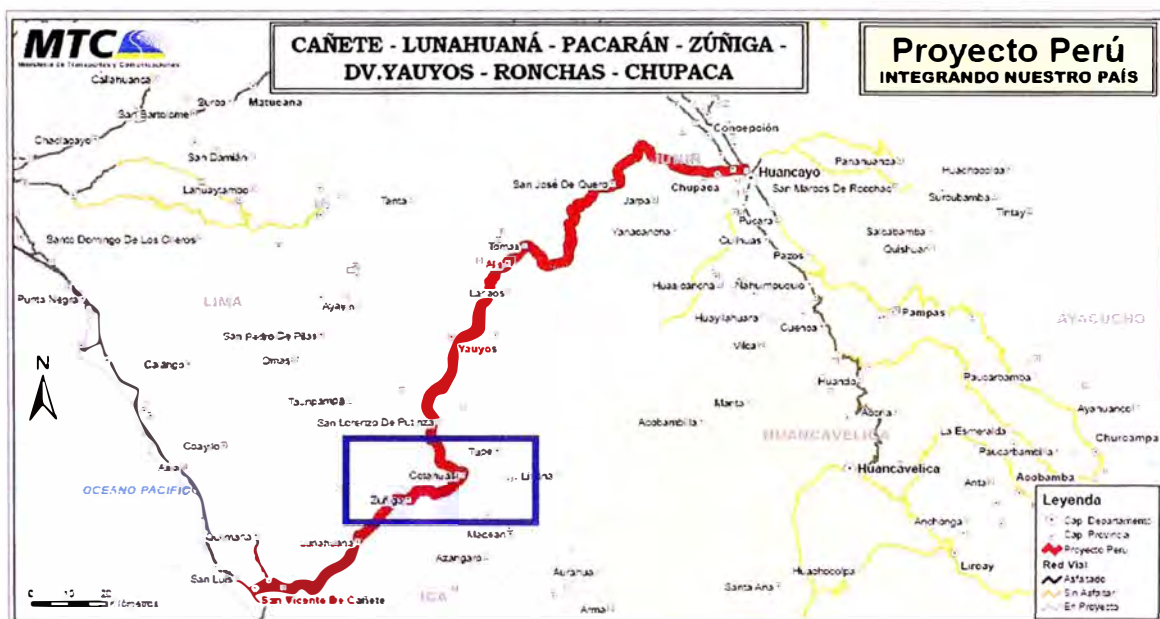
La carretera de penetración Cañete - Huancayo, con origen en Lunahuaná y destino en Chupaca, siendo el área de evaluación el tramo correspondiente entre las progresivas (Km. 102+000 al Km. 104+000).

La carretera limita por el Norte con los cuadrángulos de Huarochirí y La Oroya, por el Este con los cuadrángulos de Andamarca y Pampas, por el Sur con los cuadrángulos de Tantará y Chincha y por el Oeste con el cuadrángulo de Mala.

Políticamente, el tramo une las provincias de Cañete, Yauyos (Departamento de Lima) y Chupaca, Concepción (Departamento de Junín).

La altitud de este tramo varía entre los 450 m.s.n.m. y 4,600 m.s.n.m. y su longitud total es de 281.73 Km.

Figura N° 1.01: Plano de ubicación del proyecto



Fuente: Proyecto Perú - Ministerio de Transportes y Comunicaciones

1.3 Características de la carretera.

La carretera Cañete- Yauyos – Chupaca es una carretera de 3er Orden y pertenece al corredor vial N°13, atraviesa diferentes regiones de la Geografía del Perú, siendo los poblados principales, los que se aprecian en el figura N°1.02 Plano Clave y en el cuadro N° 1.01.

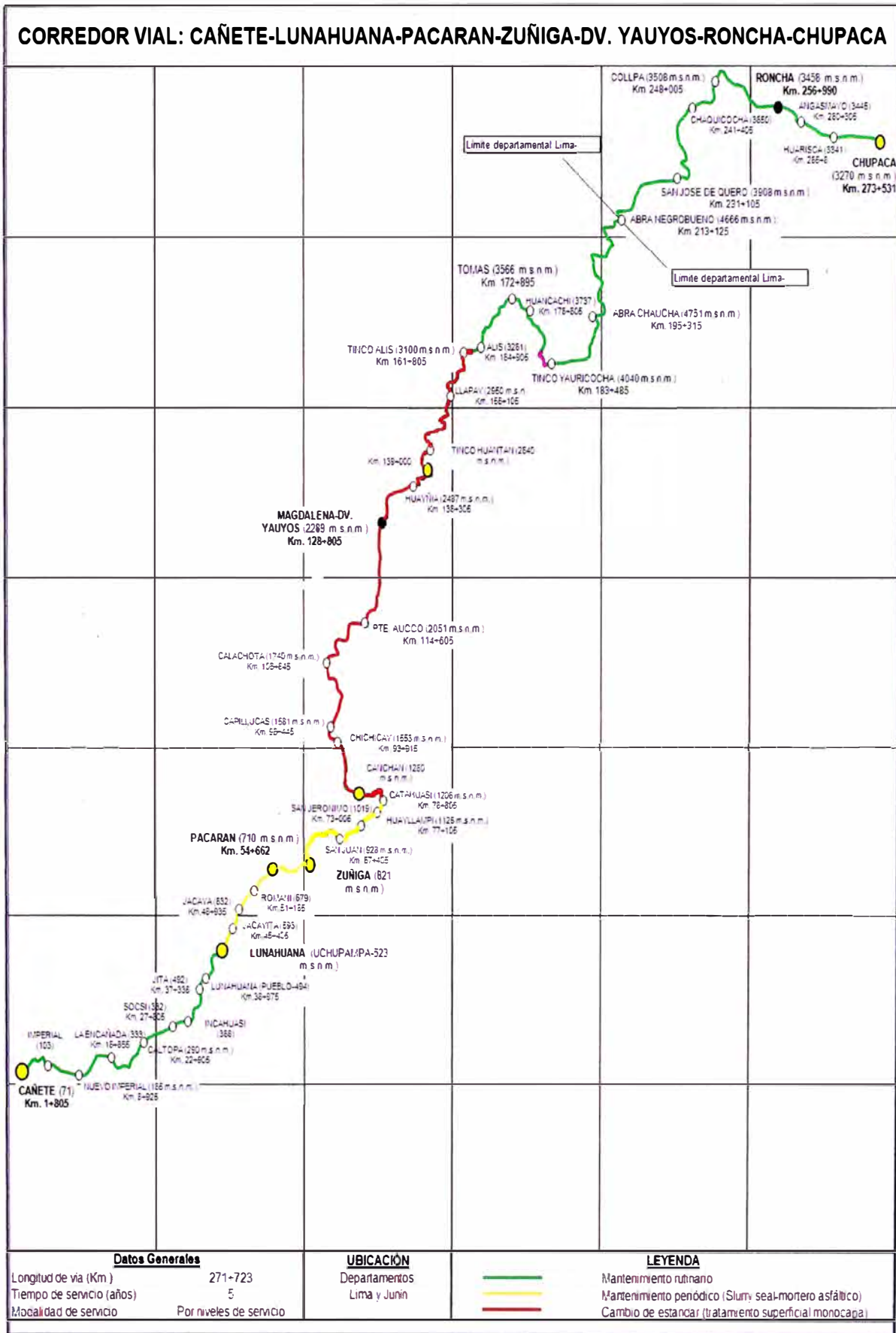


Figura N°1.02 Plano Clave

(Fuente : Escuela Profesional de Ing. Civil)

Cuadro N°1.01: Principales poblados que cruza la carretera

Región	Poblados
Yunga (500-2300 msnm)	Cañete , Lunahuaná, Pacarán, Zúñiga, Catahuasi , Capillucas, Calachota, Dv.Yauyos o Magdalena
Quechua (2300-3500 msnm)	Tinco Huantan, Llapay, Alis, Ronchas, Chupaca
Suni o Jalca (3500-4000 msnm)	Tomas, San José de Quero, Chaquicocha, Collpa
Puna (4000- 4800msnm)	Tinco Yauricocha, Abra Chaucha, Abra Negro Bueno

(Fuente : Elaboracion propia)

1.3.1 Tramificación de la Carretera

La carretera se encuentra dividida en 6 tramos, de los cuales 2 se encuentran pavimentadas con una infraestructura vial apropiada, con un sistema de drenaje adecuado, presenta problemas de inestabilidad de taludes y erosiones en algunas zonas, además presenta daños en la condición superficial de la superficie de rodadura y en algunas estructuras y obras (fallas en muros de mampostería).

Cuadro N°1.02: Tramificación y estado de la carretera antes de la intervención de CGC

Tramo	Vía	Longitud	Estado de la carretera antes de la intervención
Cañete – Lunahuaná (1+805km – 42+755km) Región Yunga	Asfaltada	40.950km	Evidente deterioro en la estructura, como fisuramiento de asfalto, asentamiento de rellenos, huecos, parches, etc. Existencia de obras de arte y señalización en el tramo. Problemas de inestabilidad de taludes y erosiones en algunas zonas.
Lunahuaná –Pacarán (42+755km-54+662) Región Yunga	Tratamiento Superficial Bicapa	11.907km	Algunos problemas de baches. Es una zona de poca presencia de lluvias. Existencia de señalización y obras de arte. Problemas de inestabilidad de taludes y erosiones en algunas zonas.
Pacarán – Zúñiga (54+662km -58+405 km) Región Yunga	Afirmada	3.743 km	Superficie medianamente deteriorada y anchos variables. Tiene una infraestructura vial insuficiente e inadecuada (falta de un sistema de drenaje adecuado, presencia de tramos críticos debido a huaycos, muros secos en peligro de colapso en gran parte de zonas críticas).

Continúa del Cuadro N°1.02 Tramificación y estado de la carretera antes de la intervención de CGC

Tramo	Vía	Longitud	Estado de la carretera antes de la intervención
Zúñiga - Desvío Yauyos (58+405km–128+805km) Región Yunga	Afirmada	70.400 km	Superficie deteriorada y anchos variables a lo largo de su recorrido y obras de arte pendientes por implementarse. Se ha incrementado el tránsito pesado por la construcción de la central hidroeléctrica del Platanal.
Dv. Yauyos – Ronchas (128+805km-256+990km) Región Quechua	Afirmada	128.185 km.	Superficie medianamente deteriorada y anchos variables a lo largo de su recorrido y obras de arte pendientes por implementarse.
Ronchas – Chupaca Región Suni y Región Puna (256+990km-273+531km)	Afirmada	16.541 km	Superficie medianamente deteriorada con ancho uniforme.

(Fuente: Elaboración propia. Recopilación del Informe de Conservación vial por niveles de servicio de la carretera Cañete-Lunahuana-Pacarán-Chupaca y rehabilitación del tramo Zúñiga - Dv. Yauyos – Ronchas.)

Los otros 4 tramos no pavimentados tienen una infraestructura vial insuficiente e inadecuada (falta de un sistema de drenaje adecuado, presencia de tramos críticos debido a huaycos y a una topografía accidentada, muros secos en peligro de colapso en gran parte de zonas críticas).

1.3.2 Clima

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

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

Cuadro N°1.03 Características del clima de la carretera

Región	Temp. mínima	Temp. media	Temp. máxima	Precipitación	Característica
Yunga (Cañete – Dv. Yauyos) (500-2300 msnm)		20° a 27°C		Pprom=100-150 mm	Sol dominante casi todo año.
Quechua (D. Yauyos-Tomas) (2300-3500 msnm)	-4 a 7°C	11° a 16°C	22° a 29°C	Pprom=800-1200 mm	Clima templado
Suni o Jalca (Tomas, San José de Quero, Chaquicocha, Collpa) (3500-4000 msnm)	-1 a -16°C	7° a 10°C	>20°C	Pprom.= 800 mm por año.	Clima frío
Puna (Tinco Yauricocha, Abra Chaucha, Abra Negro Bueno) (4000- 4800msnm)	-25° a -9°C	0° a 7°C	22°C	Pprom entre 200 mm y 1000 mm al año.	Clima muy frío

(Fuente: Elaboración propia. Recopilación del informe del cambio estándar y estudios de preinversión a nivel de perfil para el rehabilitación y mejoramiento de la carretera Lunahuana – Yauyos – Chupaca)

1.3.3 Topografía

La carretera en estudio presenta una topografía variable siendo plana, accidentada, media ladera y ondulada en diferentes sectores. Se tiene también un ancho de plataforma variable, como se observará en el cuadro N°04.

Cuadro N°1.04 Topografía y anchos de vía

Tramo	Topografía	Ancho de plataforma
Cañete – Lunahuana Región Yunga	Plana	Plataforma con una calzada UC (dos carriles crecientes de 2.50 Km y una calzada UD (dos carriles decrecientes) de 0.13km, con un ancho promedio de carril de 3.60. El resto presenta una calzada CD (un carril creciente y un carril decreciente), con un ancho promedio de 3.60m.
Lunahuaná –Pacarán Región Yunga	Ondulada.	Plataforma con una calzada CD (un carril creciente y un carril decreciente), con un ancho promedio de 3.60m.
Pacarán – Zúñiga Región Yunga	Ondulada a media ladera	Plataforma con una calzada con un solo carril y tiene un ancho útil que varía de 5 a 7.5m.
Zúñiga - Desvío Yauyos Región Yunga	Accidentada a media ladera	Plataforma con una calzada con un solo carril y tiene un ancho útil que varía de 3 a 8.5m.

Continúa del Cuadro N°1.04 Topografía y anchos de vía

Tramo	Topografía	Ancho de plataforma
Dv. Yauyos – Ronchas Región Quechua	Ondulada, a media ladera	Plataforma con una calzada con un solo carril y tiene un ancho útil que varía de 3 a 8.0m.
Ronchas – Chupaca Región Suni y Región Puna	Ondulada	Plataforma con una calzada con un solo carril y tiene un ancho útil que varía de 3.80 a 8.50m.

(Fuente Elaboracion Propia . Recopilacion del Informe de conservacion vial por niveles de servicio de la carretera Cañete-Lunahuana-Pacaràn-Chupaca y rehabilitación del tramo Zuñiga - Dv. Yauyos – Ronchas.)

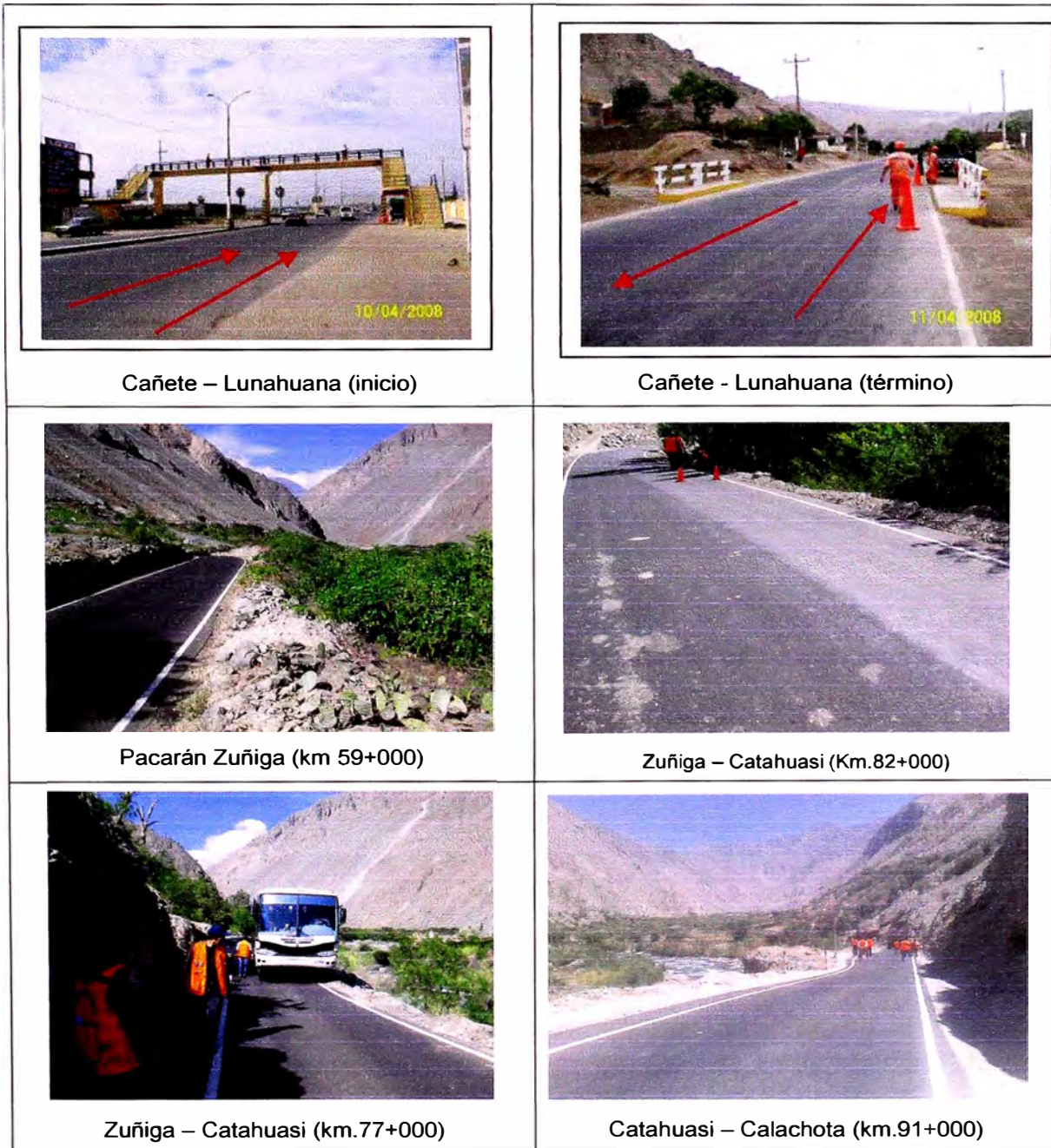


Figura N° 1.03 Panel fotográfico de la Carretera (1+805km – 105+000km)

1.3.4 Geología

La geomorfología de la zona en estudio se encuentra conformada sobre las unidades sedimentarias que van desde el jurásico hasta el terciario, 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 Lunahuana a Yauyos y en el Tramo Yauyos Chupaca se tiene 53% de material suelto, roca suelta 32% y roca fija 15%.

1.3.5 Tipos de Suelos

Los estudios realizados por el Consorcio Gestión de Carreteras, correspondientes a los suelos y materiales de construcción, se encontró:

Del Km. 57+000 al Km. 130+000, como material predominante arena y gravas limosa que en el sistema SUCS clasifican como GC-GM, SC, SC-SM y en el sistema AASHTO es variable entre A-1-b(0) y A-2-4(0), presencia de bolonerías, en poca proporción en la capa superior.

Del Km. 130+000 al Km. 258+000 se encuentra como tipo de suelo arenas y gravas limosas y arcillosa clasificando en el sistema SUCS como GC, GC-GM, SC, SC-SM y en el AASHTO, A-2-4(0).

Los estudios de suelos efectuados por CGC se realizaron a 1.5m de profundidad, obteniendo valores de CBR y Mr tal como se muestran en el siguiente cuadro.

Cuadro N° 1.05: Valores de CBR y Mr

Sector por Mecánica de Suelos.		CBR (%)	Mr (psi)
Sector I: Zúñiga – Dv. Yauyos – Alis	57+450 – 130+000	20	13 201
	130+000 – 163+100	18	12 745
Sector II: Alis – San José de Quero	163+100 – 220+000	18	12 745
	220+000 – 229+300	5	7 500
Sector III: San José de Quero – Ronchas	229+300 – 240+000	5	7 500
	240+000 – 248+000	15	11 956
	248+000 – 255+185	4	6 000

(Fuente: Consorcio Gestión de Carreteras CGC. Abril, 2008)

1.3.6 Tráfico Vehicular

Del Estudio de Tráfico realizado en el mes de Junio del 2009 a cargo de CGC, se muestran los IMD's y las tasas de crecimiento por cada tipo de vehículo, para el cálculo de IMD's para próximos años, ver cuadro N°1.06 y anexos.

Cuadro N°1.06: Número de IMDs

Tipo de Vehículo	IMD 2009		
	E5 Catahuasi 78+805 - Capilluca 94+640	E6 Capilluca 94+640 - Dv. Yauyos 127+000	Tasa de crecimiento i (%)
Automóvil	6	2	2,6
Camioneta	355	27	2,6
Combi Rural	63	12	2,6
Micro	81	3	1,4
Ómnibus 2E	32	12	1,4
Ómnibus 3E	0	0	1,4
Camión 2 Ejes	40	20	4,6
Camión 3 Ejes	5	14	4,6
Camión 4 Ejes	67	0	4,6
Semitraylers	73	0	4,6
Traylers	0	0	4,6

(Fuente: Conservación Vial Por Niveles de Servicio de la Carretera Cañete - Lunahuaná - Pacarán - Chupaca y Rehabilitación del Tramo Zúñiga - DV. Yauyos – Ronchas. Estudio de Tráfico Junio 2009)

La tasa de crecimiento para el tráfico liviano (Autos, camionetas, camioneta rural) será similar a la del crecimiento anual de Ingreso per cápita, la cual es de 2.6% (obtenido del promedio de los últimos 7 años para los departamentos de Lima y Junín).

La tasa de crecimiento para el tráfico de transporte público (micro, ómnibus) será similar a la del crecimiento anual de población, la cual es de 1.4% (obtenido del promedio de los últimos 7 años para los departamentos de Lima y Junín).

La tasa de crecimiento anual para el tráfico de transporte de Carga (camiones) será similar a la del crecimiento de PBI, la cual es de 4.6 % (obtenido del promedio de los últimos 7 años para los departamentos de Lima y Junín, considerando el escenario optimista).

1.3.7 Actualidad – Programa de Conservación y Cambio estándar.

En la actualidad, el contratista CGC se encuentra ejecutando permanentes actividades de conservación rutinaria, conservación periódica, cambio estándar, etc; para alcanzar un adecuado nivel de transitabilidad en dicha carretera.

Cuadro N°1.07: Trabajos a ejecutar con la intervención de CGC

Tramo	Tipo de tratamiento	Trabajos con la intervención
Cañete – Lunahuana Región Yunga	Carpeta Asfáltica	Conservación rutinaria a las estructuras existentes, así como a todas sus obras de arte y señalización en el tramo, a nivel de limpieza y mantenimiento de operatividad de todas sus estructuras, brindando un nivel de servicio bueno. Se removerán y eliminarán los derrumbes localizados de hasta 200m ³ , así como el roce de la vegetación lateral.
Lunahuana – Pacarán Región Yunga	Tratamiento superficial	Rehabilitación superficial de la carpeta existente (bicapa), previo parchado de huecos y sellado de fisura. Colocación de un tratamiento asfáltico en toda la calzada del tramo y además se repondrán las marcas en el pavimento y algunas señales faltantes.
Pacarán – Catahuasi Región Yunga	Slurry Seal	Conservación rutinaria a las estructuras existente, así como a todas sus obras de arte y señalización existente en el tramo, a nivel de limpieza y mantenimiento, para garantizar la operatividad de todas sus estructuras. Se removerán y eliminarán los derrumbes localizados de hasta 200m ³ , así como el roce de la vegetación lateral.
Catahuasi - Desvío Yauyos Región Yunga	Monocapa	Conservación rutinaria para mantener el tramo afirmado en condiciones de transitabilidad adecuada así como la visibilidad requerida en los tramos sinuosos (Roce). Drenaje existente se mantendrá libre y limpio. A raíz de la presencia de las empresas constructoras y el alto tránsito pesado que generan para la construcción de la central hidroeléctrica del Platanal, se ha decidido realizar la intervención con cambio estándar a lo largo del tramo.
Dv. Yauyos – Ronchas Región Quechua	Monocapa (33 Km) – Afirmado (95.185 Km)	Realizar el cambio estándar progresivamente durante los primeros dos años de la conservación, utilizando básicamente los meses o periodos sin lluvia. Trabajos de conservación rutinaria para mantener el afirmado en condición de transitabilidad adecuada, visibilidad requerida en los tramos sinuosos (Roce). Drenaje existente se mantendrá libre y limpio.
Ronchas – Chupaca Región Suni y Región Puna	Afirmado	Conservación rutinaria a la estructura existente, así como a todas sus obras de arte y señalización existente en el tramo, a nivel de limpieza y mantenimiento, para garantizar la operatividad de todas sus estructuras.

(Fuente: Elaboración Propia. Recopilación del informe del cambio estándar de afirmado a solución básica de la carretera Lunahuana – Yauyos – Chupaca)

La estructura de pavimento proyectada a lo largo de toda la carretera, de acuerdo al Estudio Técnico del cambio estándar es:

Cuadro N°1.08: Estructura de pavimento proyectada

SECTOR		ESTRUCTURA DE PAVIMENTO		
		Superficie de rodadura (cm)	Afirmado estabilizado con emulsión (cm)	Afirmado (cm)
Sector I: Zúñiga - Dv. Yauyos – Alis	57+450 – 130+000	0,9	5	8
	130+000 – 163+100	0,9	5	11
Sector II: Alis - San José de Quero	163+100 – 200+000	0,9	5	11
	200+000 – 220+000	0,9	5	17
	220+000 – 229+300	0,9	5	45
Sector III: San José de Quero - Ronchas	229+300 – 240+000	0,9	5	40
	240+000 – 248+000	0,9	5	20
	248+000 – 255+185	0,9	5	42

(Fuente: Informe del cambio estándar de afirmado a solución básica de la carretera Lunahuana – Yauyos – Chupaca)

1.4 TRAMO EN ESTUDIO KM 102+000 – KM 104+000

El tramo en estudio de la carretera Cañete - Huancayo Km. 102+000 al Km. 104+000, presenta las siguientes características que a continuación se describen.

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

Los tipos fallas encontradas en dicho tramos son ahuellamientos, baches, huecos, desprendimiento de material bituminoso, desprendimiento de finos; los cuales se presentan en diversos niveles de severidad.

El tipo de suelo de fundación se clasifica según el Sistema SUCS, y se detalla en los anexos los registros de excavación de las calicatas 47 y 48.

El sistema de drenaje en este tramo se presenta en forma inadecuada, con presencia de tramos críticos debido a huaycos. En la actualidad, en el tramo en estudio de la carretera Cañete- Huancayo Km. 102+000 – Km. 104+000, se han realizado los trabajos de mantenimiento y conservación Vial (esta dado por el Slurry Seal, que es una solución básica en la que se estabiliza la plataforma con material granular con recubrimiento bituminoso), estos trabajos fueron ejecutados entre febrero y marzo del 2009 por la concesionaria CGC.

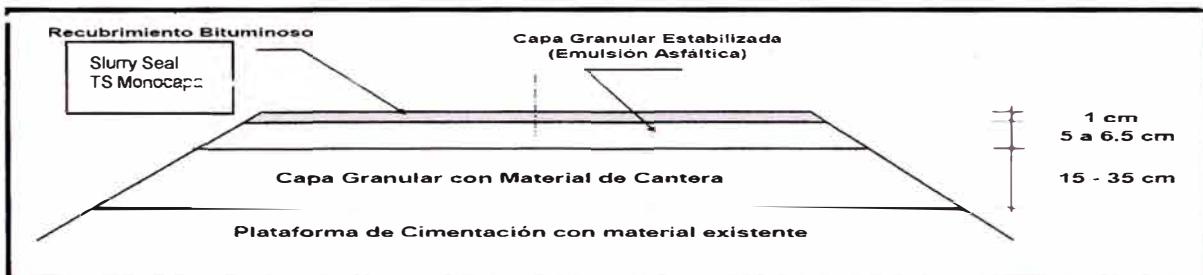


Figura N° 1.04. Sección típica del tramo en estudio
 (Fuente: MTC - PROVIAS Nacional – Proyecto Perú)

Se tiene datos de acuerdo al estudio técnico para el Cambio de estándar de afirmado a solución básica de la concesionaria CGC proyectado para el periodo del 2010 al 2013 como los siguientes:

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

IMDA = 53 veh/día

Tasa de Crecimiento = 3.6%

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

Modulo Resilente $M_r = 13,201$ psi

Coefficiente de Drenaje (CD) = 1.

CAPITULO II: MARCO TEORICO

2.1. Estado del Arte de la Viga Benkelman

La "Viga Benkelman" llamada así en honor al Ing. A.C.Benkelman, fue desarrollado durante el Programa de Ensayos viales de la WASHO (WASHO Road Test) en 1953. Durante estos años, los ingenieros de caminos, investigaban el comportamiento del pavimento bajo los efectos del tráfico, considerando condiciones análogas de clima, tipo de suelo, etc.

En 1953 a 1954 la WASHO Programa de Ensayos Viales, realizó un modelamiento a escala natural de un camino compuesto por pavimento flexible construida en Malad, Idaho al oeste de los Estados Unidos.

En este se realizaron cuatro circuitos cerrados, los que se construyeron bajo condiciones cuidadosamente controladas. Los cuatro circuitos tenían una composición de estructura de pavimento diferente y fueron cargados por vehículos de diferente carga.

El tiempo de circulación de los vehículos fue de 18h/día durante los años 1952-1954 con algunas interrupciones. En este modelamiento se realizaron observaciones y se tomaron medidas, para los cuales se crearon muchos instrumentos de medición especiales entre los que tenemos la VIGA BENKELMAN.

De esta manera, se pudo medir las deflexiones del pavimento bajo las condiciones de carga estática, movimientos de la base granular, humedad y temperatura bajo la superficie del camino.

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

En la evaluación de esta carretera también se utilizó la Viga Benkelman para la obtención de las deflexiones de la vía y elaborar la Guía de Diseño del AASHO 1986.

En los años 1983 se realizó en el Perú, la rehabilitación de la Panamericana Norte, a cargo del Consorcio de Rehabilitación Vial conformada por empresas argentinas y canadienses.

Se evaluó un tramo de dicha carretera y con ello se elabora un patrón de evaluación de carreteras llamado MANUAL DEL CONREVIAL.

Por tal motivo el MTC sugiere el empleo de este Manual, en todas las carreteras próximas a evaluar, ya que corresponde a una gran inversión efectuada por años.

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

En el año 1990, los trabajos convocados por el MTC con los primeros préstamos efectuados por el Banco Interamericano de Desarrollo, propició la formación de una oficina administradora del préstamo, llamada Unidad Ejecutora de Proyecto (UEP), cuyo asesor de la UEP fue la empresa Peruana Barriga Dall'Orto, la misma que formó parte del Consorcio CONREVIAL.

Por esta razón los términos de referencia respaldaron las evaluaciones deflectométricas mediante la metodología desarrollada por el consorcio CONREVIAL, dejando de lado la posible evaluación complementaria con métodos matemáticos.

En algunos casos se ha permitido el empleo de métodos alternativos, para evaluar estructuralmente al pavimento.

En el año 2000 la evaluación de la Carretera Piura – Sullana – Macará 5, se aplicó la toma de datos con el deflectógrafo de impacto (FWD), que registra deformaciones dinámicas, las mismas que posteriormente tuvieron que ser transformadas a estáticas para cumplir con las exigencias de los términos de referencia dispuestos por el MTC.

Figura N° 2.01
Alvin Benkelman - Prueba de la Viga Benkelman



(Fuente: Alvin Benkelman, 1962)

2.1.1 Equipos utilizados para la medición de deflexiones del pavimento

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

Viga Benkelman simple

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

Figura N° 2.02
Viga Benkelman- Brazo simple



(Fuente: Adaptación Ing. José Melchor A.)

Viga Benkelman doble

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

Figura N° 2.03
Viga Benkelman - Brazo Doble



(Fuente: Adaptación Ing. Luisa Shuan.)

2.2 Evaluación Estructural

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.

Ante un problema de evaluación estructural, el Ingeniero vial tradicional recurría a la perforación de calicatas, a la toma de muestras para su ensayo en el laboratorio y analizar cada uno de los componentes por separado y luego incorporarlo al sistema pavimento. Esta metodología es cara, lenta y destructiva.

Por tal motivo se presenta una alternativa, la cual se basa en la interpretación de deflexiones medidas en la superficie de un pavimento. Las deflexiones reflejan una respuesta global del sistema pavimento-subrasante bajo una carga dada. Su medición es simple, rápida, económica y no destructiva.

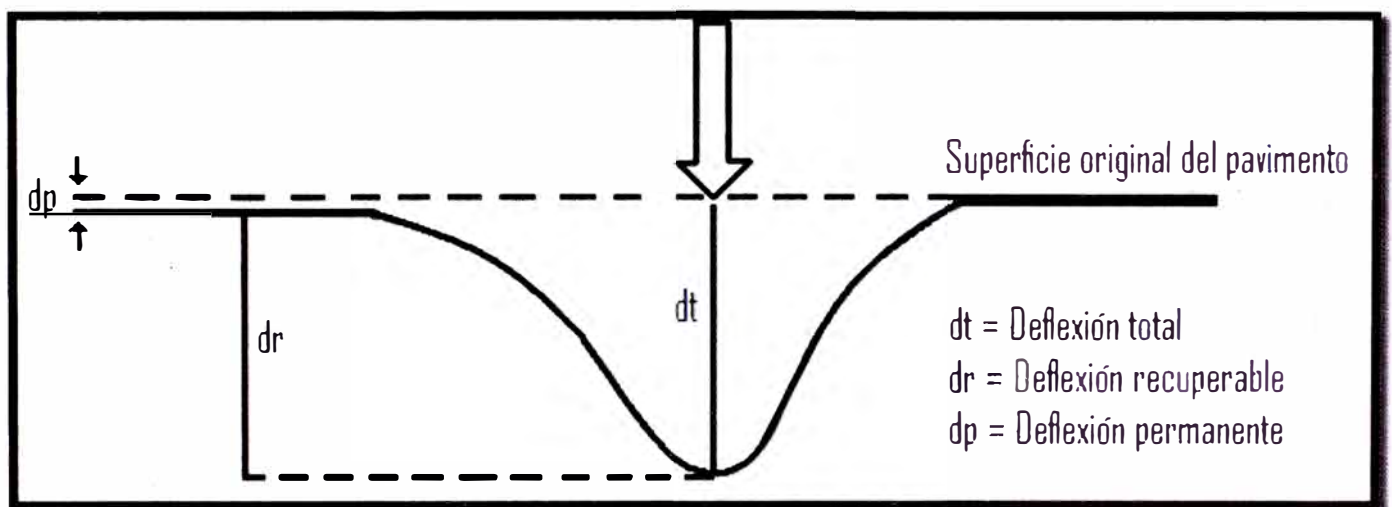
El campo de aplicación de la medición de deflexiones es amplio, pero destacaremos las más importantes:

- 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 CONREVIAL

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

Figura N° 2.04
Posición Original y la Deformada Producida por la Carga



(Fuente: Consorcio de Rehabilitación Vial CONREVIAL)

2.3.1 Fundamento Teórico

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

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

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

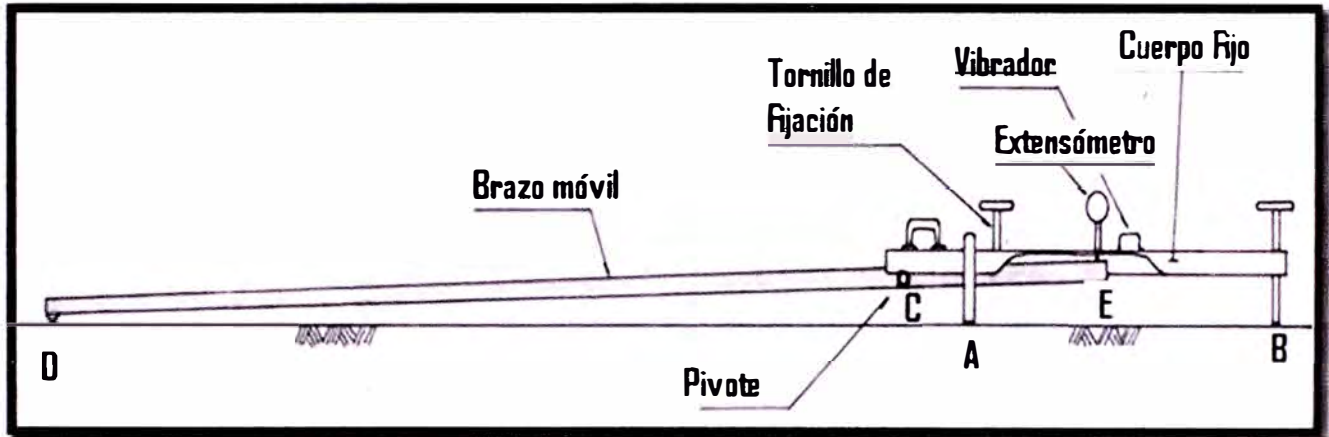
El deflectómetro tipo Viga Benkelman funciona según el principio de la palanca. Es un instrumento completamente mecánico y de diseño simple. Según se esquematiza en la figura 2.5, la Viga Benkelman consta esencialmente de dos partes: un cuerpo de sostén que se sitúa directamente sobre el terreno mediante tres apoyos (dos delanteros fijos "A" y uno trasero regulable "B") y un brazo móvil acoplado al cuerpo fijo mediante una articulación de giro o pivote "C", uno de cuyos extremos apoya sobre el terreno (punto "D") y el otro se encuentra en contacto sensible con el vástago de un extensómetro de movimiento vertical (punto "E"). Adicionalmente el equipo posee un vibrador incorporado que al ser accionado, durante la realización de los ensayos, evita que el indicador del dial se trabe y/o que cualquier interferencia exterior afecte las lecturas, como se verá más adelante.

La punta de la Viga Benkelman es colocada entre una de las llantas dobles del eje trasero de un camión cargado; por el peso aplicado se produce una deformación de la estructura del pavimento, consecuencia de lo cual la punta de la Viga Benkelman se desplaza una cierta cantidad, con respecto al nivel descargado de la superficie. Como efecto de dicha acción el brazo DE gira en torno al punto fijo "C", con respecto al cuerpo AB, determinando que el extremo "E" produzca un movimiento vertical en el vástago del extensómetro apoyado en él, generando así una lectura en el dial indicador. Si se retiran luego las llantas cargadas, del punto de prueba se recupera la estructura del pavimento en lo que a deformación elástica se refiere y por el mismo mecanismo anterior se genera otra lectura en el dial del extensómetro. La operación expuesta representa el "principio de medición" con la Viga Benkelman. Lo que se hace después son sólo cálculos en base a los datos recogidos. Así, con las dos lecturas obtenidas es posible determinar cuanto deflectó el pavimento en el lugar subyacente al punto "D" de la Viga, durante el procedimiento descrito. Es de anotar que en realidad lo que se mide es la recuperación de la deformada al remover la carga (rebote elástico) y no la deformación al colocar ésta. Para calcular la deflexión deberá considerarse la geometría de la Viga, toda vez que los valores dados por el extensómetro no están en escala real sino que dependen de la relación de brazos existentes (figura 2.6).

Esquema y principio de operación de la Viga Benkelman

Figura N° 2.05

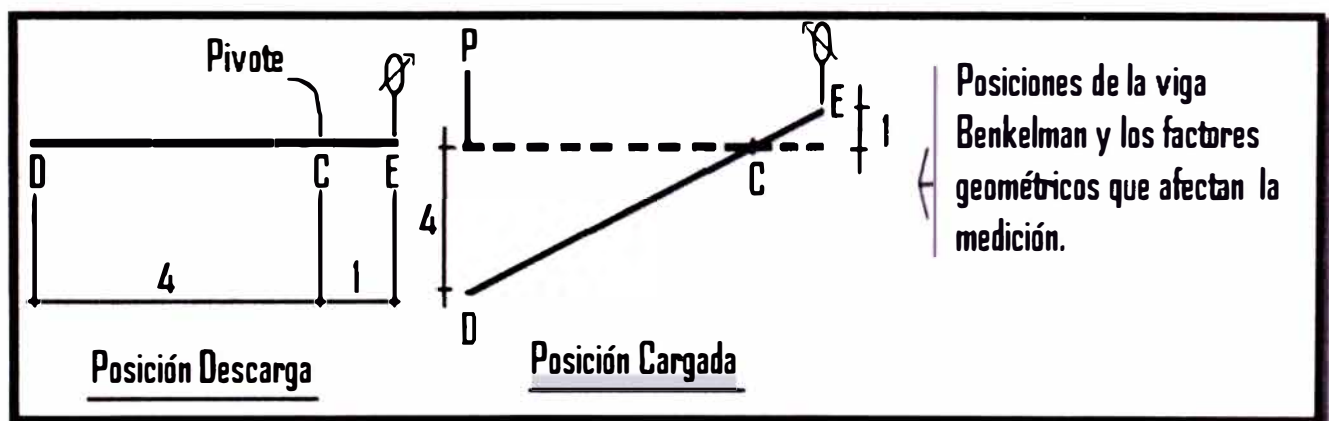
Esquema de componentes de la Viga Benkelman



(Fuente: Adaptación Ing. José Melchor A.)

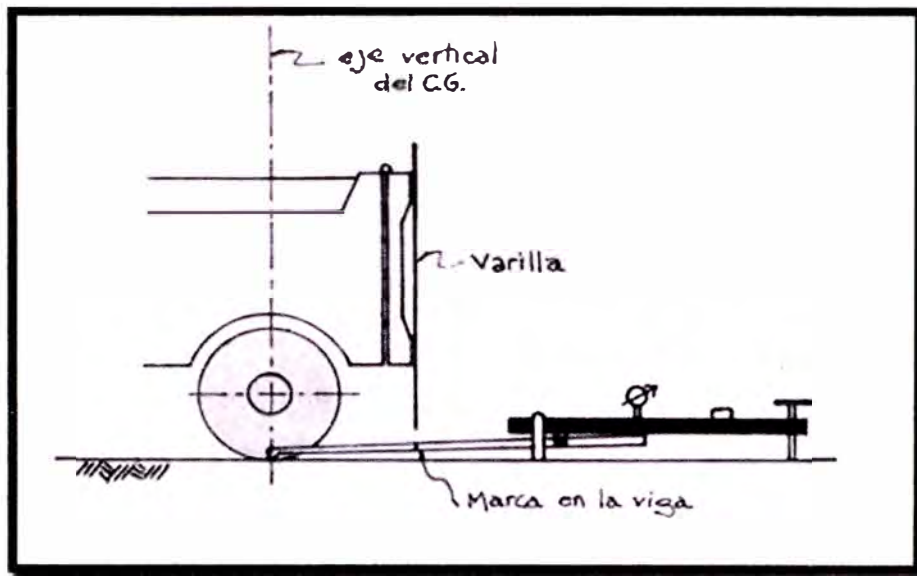
Figura N° 2.06

Esquema de funcionamiento de la Viga Benkelman



(Fuente: Adaptación Ing. José Melchor A.)

Figura N° 2.07
Esquema de operación de la Viga Benkelman

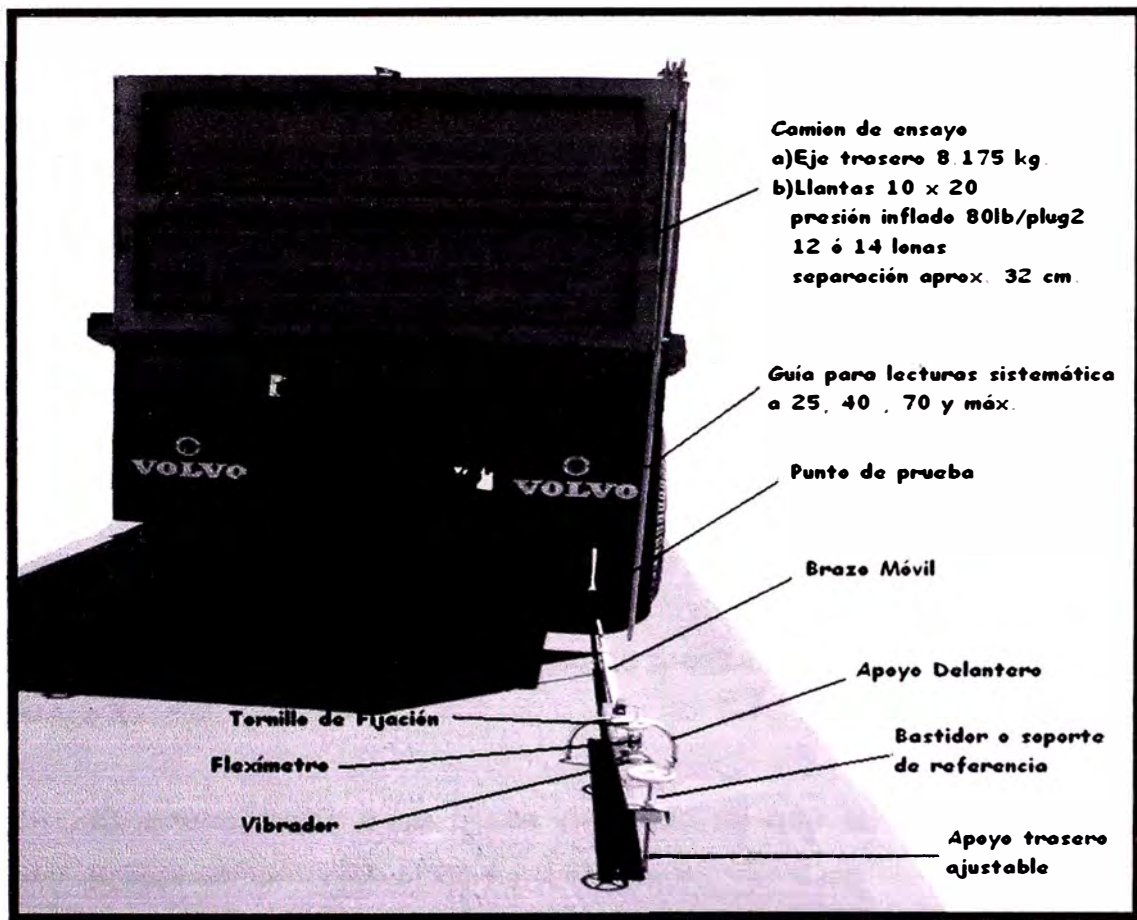


(Fuente: Adaptación Ing. José Melchor A.)

2.3.2 Equipo Requerido

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

Figura N° 2.08
Esquema de Equipo Requerido



(Fuente: adecuación propia)

2.3.3 Procedimiento del Ensayo

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

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

Cuadro N° 2.01

Determinación de punto de ensayo

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

(Fuente: Consorcio de Rehabilitación Vial CONREVIAL)

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

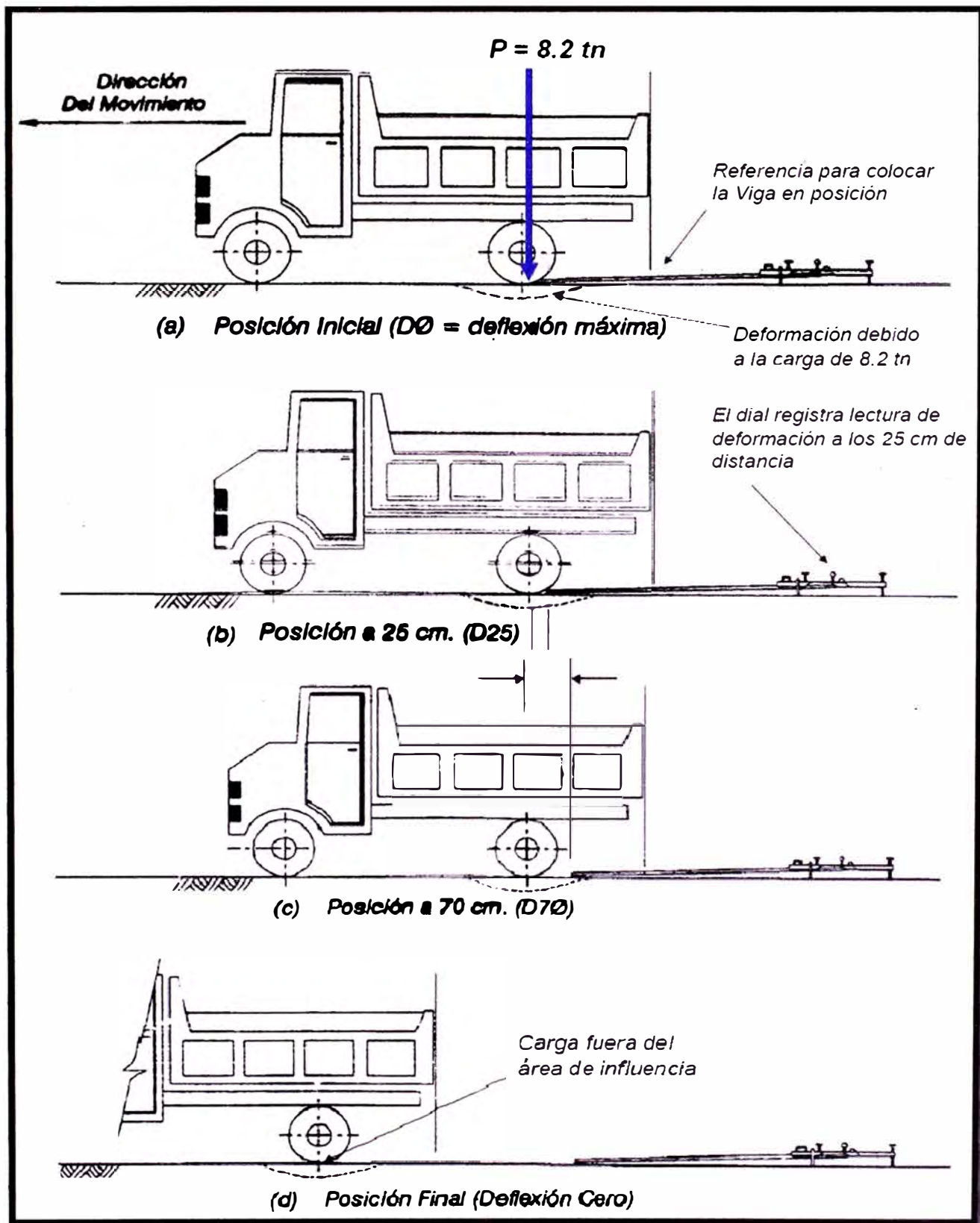
m. Se apaga el vibrador y traba la Viga, dando por finalizada la determinación de la deflexión recuperable.

2.3.4 Metodología de Análisis

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

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

Figura N° 2.09
Metodología de Análisis de Deflexiones



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

2.3.5 Cálculo de las Deflexiones

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

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

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

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

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

Donde:

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

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

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

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

e : Espesor de la carpeta asfáltica (cm).

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

Límite inferior : 5°C

Límite superior :

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

b.- Corrección de las Deflexiones por Estacionalidad

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

Cuadro N° 2.02

Valores para la Corrección de Deflexiones por Estacionalidad

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

(Fuente: Consorcio de Rehabilitación Vial CONREVIAL)

2.3.6 Análisis de la Capacidad Estructural

a .-Determinación del Radio de Curvatura

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

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

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

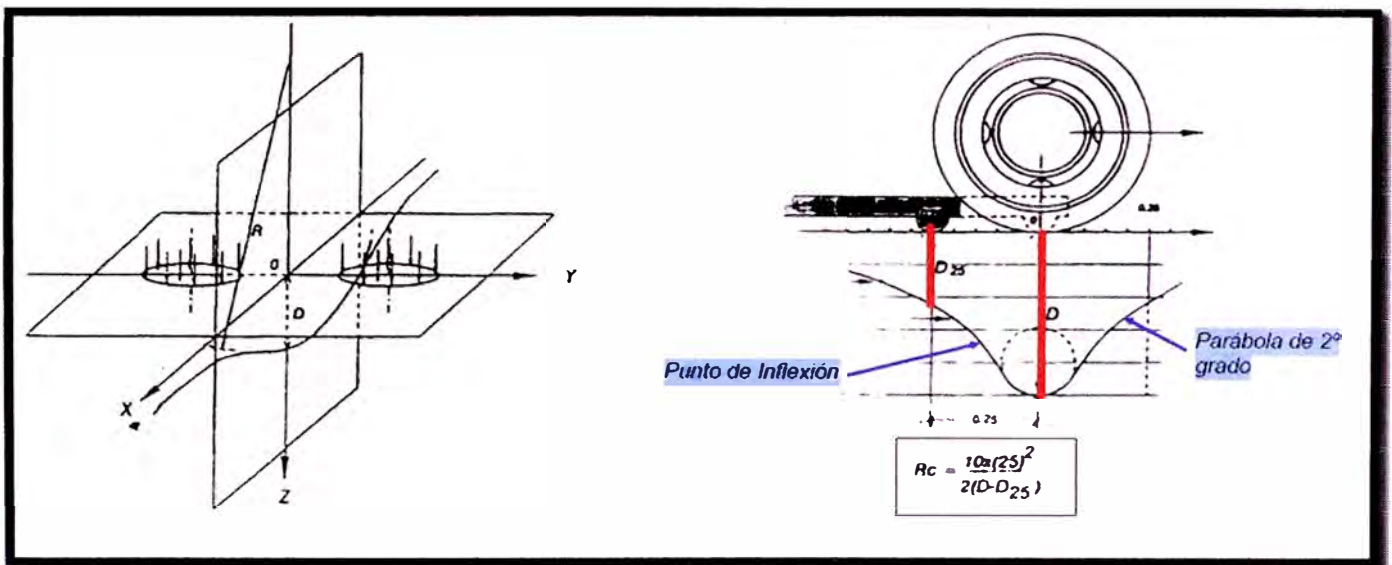
Donde:

R_c = Radio de curvatura en metros.

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

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

Figura N° 2.10
Determinación del Radio de Curvatura



(Fuente: Consorcio de Rehabilitación Vial CONREVIAl)

b.- Deflectograma

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

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

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

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

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

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

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

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

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

2.3.7 Análisis Estadístico de los Resultados

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

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

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

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

(* n para n > 30)

$$C_v = \frac{\sigma}{\bar{D}} \times 100$$

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

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

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

Donde:

D_c = Deflexión Característica.

\bar{D} = Deflexión promedio de los valores individuales de D_0 corregidos por temperatura y estacionalidad.

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

σ = Desviación estándar.

Considerando que cada deflexión media representa una cierta extensión o área de pavimento, cada valor de “t” corresponderá a un porcentaje del área total con

probabilidad de presentar deflexiones superiores a las características D_c correspondiente.

En el caso del diseño de un refuerzo, el espesor deberá ser tal que solo una pequeña área resulte infradiseñada. La elección del valor de t es una decisión técnico económica que dependerá del número de determinaciones, del grado de confiabilidad, de la relación entre costos de mantenimiento y de rehabilitación, de la variabilidad de capacidad estructural o constructiva, del tráfico, ubicación e importancia de la carretera, etc.

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

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

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

Donde:

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

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

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

Sabiendo que para la determinación de los espesores de refuerzo, se utiliza el método de reducción de las deflexiones con varias fórmulas que propone el documento CONREVIAl, se puede indicar que este método se basa sobre la reducción de la elongación vertical sobre la subrasante provista por una capa adicional de carpeta asfáltica de espesor "h". Ella sola es utilizable, si esta

elongación es representativa del modo de ruptura del pavimento y de su daño, es decir, solamente en el caso de pavimentos flexibles con pocos espesores de carpeta asfáltica que continúan flexibles después del refuerzo. Es el caso de la mayoría de las carreteras en su primera rehabilitación.

Para el cálculo del espesor de refuerzo, se emplea la Fórmula de Ruiz (Argentina), cuya expresión es:

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

Donde:

h : Espesor de refuerzo (cm).

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

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

R : Coeficiente con dimensiones de un espesor.

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

2.4.- Juicio sobre la Capacidad Estructural

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

Como resultado de este análisis, se llega a:

✓ Establecer la necesidad y tipo de rehabilitación requerida, distinguiéndose tres situaciones representativas que pueden resumirse en:

- Estructura adecuada : requiere mejora superficial.
- Estructura fatigada : requiere un refuerzo estructural.
- Estructura deficiente : requiere reconstrucción parcial o total.

- ✓ Establecer el parámetro predominante y/o método que se empleara para el diseño de las obras de rehabilitación.
- ✓ La estimación de la vida útil remanente o residual de la estructura del pavimento.

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

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

2.4.1- Criterios Adoptados

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

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

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

2.4.2- Casos Típicos

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

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

a.- Primer Caso.-

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

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

b.- Segundo Caso.-

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

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

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

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

c.- Tercer Caso.-

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

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

d.- Cuarto Caso.-

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

e.- Quinto Caso.-

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

2.4.3- Deflexiones Tolerables

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

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

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

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

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

Donde:

N = Representa el numero de ejes equivalentes.

D = Deflexión del pavimento, y

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

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

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

CAPÍTULO III: APLICACION AL TRAMO KM 102+000 – KM 104+000**3.1- Recopilación de Datos****a. Información básica de área de estudio**

Fecha de monitoreo	: 15 de Mayo del 2010
Tramo evaluado	: km. 102+000 – km. 104+000
Carril	: Izquierdo
Capa	: Monocapa + Slurry Seal
Relación de Brazos	: 1:4
Ancho de carril	: Variable 3.80 m – 4.80 m (un solo carril).
Estacionalidad	: Estación Seca

b.- Datos de ensayo de campo

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

Cuadro N° 3.1**Datos de campo obtenidos del ensayo de Viga Benkelman**

Estaca (km)	Lecturas del dial (2×10^{-2} mm)			
	L ₂₅	L ₄₀	L ₇₀	L _{max}
102+000	1.00	4.50	5.50	14.50
102+200	1.50	4.00	5.50	12.50
102+400	1.00	3.00	4.50	10.00
102+600	1.00	3.00	4.00	5.00
102+800	2.00	3.50	4.50	5.00
103+000	1.00	2.00	3.00	5.50
103+200	1.50	1.00	2.00	6.00
103+400	1.50	3.00	5.00	9.50
103+600	1.00	3.00	4.00	7.00
103+800	1.00	1.50	2.00	2.50

(Fuente: Elaboración propia)

3.2- Procesamiento de Datos

El procedimiento para el cálculo de las deflexiones es simple. Para el caso de la deflexión máxima, se debe calcular la diferencia entre la lectura inicial y la lectura final. Las diferencias se multiplican la relación de brazos de la Viga Benkelman.

Cuadro N° 3.2

Procesamiento de datos obtenidos del ensayo de Viga Benkelman

Est.	Progresiva (km)	Lecturas de Campo (10 ⁻³ mm)			Espesor (m)	Temp. C.A. (°C)	Factor Corrección		Deflexiones Corregidas		Radio Curvatura R _c (m)
		L _{inicial}	L ₂₅	L _{final}			Factor Temp.	Factor Estac.	D ₀	D ₂₅	
									(x 10 ⁻² mm)	(x 10 ⁻² mm)	
1	102+000	0.00	2.00	29.00	0.040	28.0	0.9690	1.1	123.64	115.12	366.48
2	102+200	0.00	3.00	25.00	0.050	33.0	0.9390	1.1	103.29	90.89	252.13
3	102+400	0.00	2.00	20.00	0.030	35.0	0.9569	1.1	84.21	75.79	371.09
4	102+600	0.00	2.00	10.00	0.040	36.0	0.9398	1.1	41.35	33.08	377.84
5	102+800	0.00	4.00	10.00	0.020	34.0	0.9728	1.1	42.80	25.68	182.53
6	103+000	0.00	2.00	11.00	0.020	34.0	0.9728	1.1	47.08	38.52	365.06
7	103+200	0.00	3.00	12.00	0.060	35.0	0.9174	1.1	48.44	36.33	258.05
8	103+400	0.00	3.00	19.00	0.090	36.0	0.8741	1.1	73.08	61.54	270.83
9	103+600	0.00	2.00	14.00	0.060	37.0	0.9074	1.1	55.90	47.91	391.34
10	103+800	0.00	2.00	5.00	0.060	25.0	0.9709	1.1	21.36	12.82	365.77

(Fuente: Elaboración propia)

Cuadro N° 3.3

Deflexión característica y radio de curvatura

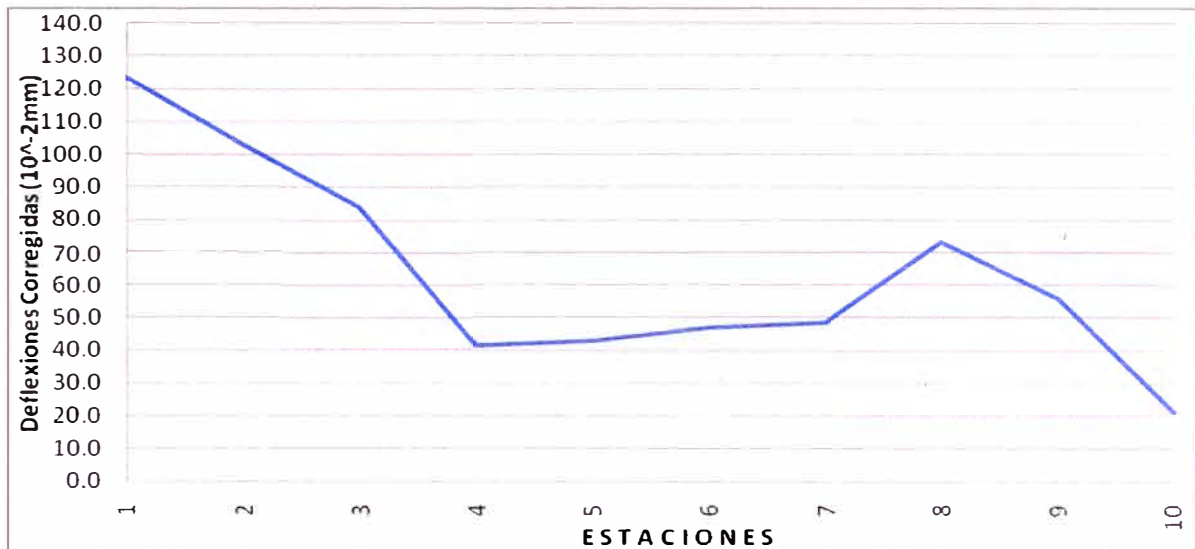
TRAMO (Km. 102+000 - Km. 104+000)		
Descripción	Deflexiones	Radio de Curvatura
Mínimo	21.36 (x 10 ⁻² mm)	182.53 (m)
Máximo	123.64 (x 10 ⁻² mm)	391.34 (m)
Promedio	64.12 (x 10 ⁻² mm)	320.11 (m)
Desviación Estándar	31.56	72.33
Coefficiente de Variación	0.49	0.23
Característico	116.04 (x 10 ⁻² mm)	439.10 (m)

(Fuente: Elaboración propia)

b.- Deflectograma

Con los datos procesados se graficará el deflectograma, que está en función de la progresiva o estaciones vs la deflexión recuperable inicial del tramo en estudio.

Figura N° 4.1
Gráfico de Deflectograma



3.2.1 Análisis Estadístico de los Resultados

Cálculo de la deflexión característica, deflexión admisible, y desviación estándar para el periodo de diseño de 3 años y al 5to año.

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

Cuadro N° 4.6

Cálculo de la Deflexión Característica, Deflexión Promedio y Desviación Estándar

Descripción	n (años)	Carretera Cañete - Yauyos - Chupaca Km. 102+000 - Km. 104+000
SECTOR		I
PROGRESIVA INICIAL		102+200
PROGRESIVA FINAL		104+000
DEFLEX. CARACT. x 10 ⁻²		116.0
DEFLEX. ADMISIBLE x 10 ⁻²	1	273.5
	2	228.9
	3	205.9
	5	179.6
RADIO DE CURVATURA Rc (m)		320.1

(Fuente: Elaboración propia)

CAPÍTULO IV: ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1 EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD ESTRUCTURAL

Con los resultados obtenidos de D_c y D_a y las graficas de Deflectograma, se realiza el juicio de la capacidad estructural del pavimento en el tramo comprendido entre Km. 102+000 – Km. 104+000, que está extendido hasta la progresiva 91+300 de la carretera Cañete – Huancayo, por ser un tramo constante, por lo cual se presenta los siguientes casos:

Cuadro N° 5.01. Resumen de Resultados del Tramo en Estudio

Descripción	Unidad	Carretera Cañete - Yauyos - Chupaca Km. 102+000 - Km. 104+000			
		1	2	3	5
AÑO DE ANALISIS (n)	años	1	2	3	5
DEFLEX. CARACT. (D_c)	$\times 10^{-2}$ mm	116.0	116.0	116.0	116.0
DEFLEX. ADMISIBLE (D_a)	$\times 10^{-2}$ mm	273.5	228.9	205.9	179.6
RADIO DE CURVATURA (R_c)	m	320.1	320.1	320.1	320.1
ESPESOR DE REFUERZO	cm	-14.583	-10.200	-8.611	-6.558

ESP. DE REFUERZO RECOMENDADO	mm				

(Fuente: Elaboración propia)

Primer Caso

Se observa que para un periodo de evaluación de $n=1$ año, la deflexión característica ($D_c=116.0 \times 10^{-2}$ mm) es menor que la deflexión admisible ($D_a=273.5 \times 10^{-2}$ mm), por lo tanto se considera que la capacidad estructural del pavimento tendrá un comportamiento adecuado, además el radio de curvatura ($R_c=320.1$ m) es mayor de 100.0 m y se encuentra entre 300.0 m y 500.0 m por lo tanto el pavimento en este sector tiene un adecuado comportamiento.

Primer Caso

Para un periodo de evaluación de 2 años, se tiene que la deflexión característica ($D_c=116.0 \times 10^{-2}$ mm) es menor que la deflexión admisible ($D_a=228.9 \times 10^{-2}$ mm), por lo tanto se considera que la capacidad estructural del pavimento tendrá un comportamiento adecuado.

Primer Caso

Para un periodo de evaluación de 3 años, se tiene que la deflexión característica ($D_c = 116.0 \times 10^{-2}$ mm) es menor que la deflexión admisible ($D_a = 205.9 \times 10^{-2}$ mm), por lo tanto se considera que la capacidad estructural del pavimento tendrá un comportamiento adecuado.

Primer Caso

Para un periodo de evaluación de 5 años, se tiene que la deflexión característica ($D_c = 116.0 \times 10^{-2}$ mm) es menor que la deflexión admisible ($D_a = 179.6 \times 10^{-2}$ mm), por lo tanto se considera que la capacidad estructural del pavimento tendrá un comportamiento adecuado.

CONCLUSIONES

- Se evaluó los resultados comparando las deflexiones y el radio de curvatura para un periodo de 1, 2, 3 y 5 años en el tramo analizado. Obteniendo, para 1 año $Da=273.5>Dc=116.0$, para 2 años $Da=228.9>Dc=116$, para 3 años $Da=205.9>Dc=116.0$ y para 5 años $Da=179.6>Dc=116.0$ además el $Rc=320.1$. Se observa en todo los casos, que las deflexiones características son menores que las deflexiones admisibles y que el radio de curvatura se encuentran dentro del rango aceptable con lo cual se puede concluir que no hay fallas de origen estructural en el pavimento y la estructura está bien diseñada.
- Es útil realizar una evaluación estructural por métodos empíricos, como el CONREVI, mediante el empleo de la Viga Benkelman por ser económico y conveniente para el mejoramiento de carreteras evitando mayor presupuesto en los estudios.
- El deterioro prematuro de esta carretera de bajo tránsito de volumen, se relaciona directamente a una falta de sistemas de drenaje y al exceso de tráfico vehicular lo que implica una disminución de las deflexiones admisibles.
- Para este tipo de carreteras de bajo volumen de tránsito, no es recomendable hacer una evaluación a plazos mayores de 5 años, ya que sólo tienen tratamiento superficial.
- La ejecución de éste método ha demostrado que es posible llevar un adecuado control en la evaluación de carreteras, teniendo en consideración la realidad de nuestros recursos económicos y técnicos.
- La metodología para la toma de datos en campo con la Viga Benkelman, es de suma importancia, ya que de esto depende que los datos sean comparables y reproducibles.

RECOMENDACIONES

- Las lecturas de deflectograma son muy sensibles al procedimiento de medición, por lo cual debe tomarse mucho cuidado en seguirlo en forma cuidadosa y de contar con un personal debidamente capacitado. El error en las lecturas puede llevar a un juicio equivocado de la capacidad estructural del pavimento, distorsionando las conclusiones sobre el aporte real de la estructura.
- Se debe tener un sistema de drenaje longitudinalmente y transversalmente con la finalidad de no alterar el sistema de soporte de la estructura del pavimento.
- Realizar las mediciones de deformación con Viga Benkelman en tramos cada 100 metros, en carril derecho y en el carril izquierdo cada 100 metros, pero en forma alternada de esta manera se estaría evaluando tramos cada 50 metros evitando posibles sectores no evaluados.
- Se recomienda realizar el ensayo de deflectometría con la Viga Benkelman, en épocas de lluvia (enero a marzo), debido que el comportamiento estructural del pavimento es crítico en esta época del año.
- El método del CONREVIAl recomienda que no debe efectuarse el ensayo fuera del rango de temperaturas (tratamientos superficiales bituminosos: límite inferior = 5°C , límite superior = 38°C).

BIBLIOGRAFIA

1. CONSORCIO DE REHABILITACIÓN VIAL, Estudio de Rehabilitación de Carreteras en el País, Perú, 1982.
2. CONSORCIO GESTIÓN DE CARRETERAS, Estudios Técnicos para el cambio estándar de afirmado a solución básica Carretera Cañete-Lunahuaná-Pacarán-Zúñiga – Dv. Yauyos-Ronchas-Chupaca, Perú, Setiembre 2008.
3. FERNANDEZ CASTILLO WILDER ALBERTO; Evaluación y Reparación de Pavimentos Asfálticos, Informe de Suficiencia, Lima, Perú, 2004.
4. GUTIÉRREZ LAZARES, JOSÉ WILFREDO, Modelación Geotécnica de Pavimentos Flexibles con Fines de Análisis y Diseño en el Perú, tesis de maestría, UNI-FIC, Lima - Perú, 2007.
5. HOFFMAN MARIO S., PH.D. - LOUSS BERGER INTERNACIONAL INC., DEL ÁGUILA PABLO M., B.SC, Estudios de Evaluación Estructural de Pavimentos Basados en la Interpretación de Curvas de Deflexiones (ensayos no destructivos), Lagesa Ingenieros Consultores Octubre, 1985.
6. MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES, Manual para el Diseño de Caminos Pavimentados de Bajo Volumen de Tránsito, Perú, 2007.

ANEXO

Anexo N°1

Análisis combinado de los resultados de evaluación

DEFLECTOMETRIA	ESTADO VISUAL	ESTADO ESTRUCTURA	RECOMENDACIÓN
La deflexión característica es superior a la admisible. Los radios de curvatura son elevados o aceptables (en relación a la estructura). $D_c > D_{adm} + R_c$	No hay fallas de origen estructural.	Estructura infradiseñada, pero la capacidad portante de las capas decrece en profundidad. (No existe capa débil inmediatamente)	Examinar fecha y tipo de las últimas obras ejecutadas, para justificar estado del pavimento. 1º CASO
La deflexión característica es superior a la admisible. Los radios de curvatura son pequeños (aún para deflexiones reducidas). $D_c > D_a - R_c$	Hay fallas de origen estructural generalizadas		Hay acuerdo entre todas las variables. a) Las deflexiones son empleadas para el cálculo de refuerzo. b) Para deflexiones muy fuertes analizar económicamente reconstrucción. Verificar refuerzo con métodos diseño. 2º CASO
		Se trata de neutralizar el efecto de la capa que falla, ya sea por reconstrucción parcial, o refuerzo. No es conveniente emplear la deflexión ya que puede no ser representativa. 3º CASO	
La deflexión característica es inferior a la admisible. Los radios de curvatura son reducidos. $D_c < D_a - R_c$	Hay fallas de origen estructural por fatiga (Fisuras tipo piel de cocodrilo).	Existe una capa débil inmediatamente debajo de las capas asfálticas.	Analizar fecha de mediciones y tipo estructura. Neutralizar el efecto de la capa débil (reconstrucción o refuerzo). De ninguna manera se pueden considerar las deflexiones para el proyecto; emplear métodos de diseño. 3º CASO
La deflexión característica es inferior a la admisible. $D_c < D_a$	Hay fallas de origen estructural: deformaciones permanentes de la	Estructura degradada no adecuada para la fundación.	Evaluar aporte estructural de la calzada existente (reconstrucción o refuerzo). La deflexión no es representativa. 4º CASO
	No hay fallas de origen estructural	Estructura bien diseñada.	Corregir fallas de origen superficial, las soluciones dependerán de los defectos observados y sus causas. Mejora superficial. 5º CASO

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

Anexo N°2

Formato Para la toma de datos en el ensayo de la viga Benkelman

CARACTERIZACIÓN DEFLECTOMÉTRICA

MEJORAMIENTO DE VÍA DE ACCESO AL CENTRO ARQUEOLÓGICO DE CARAL

MEDICIÓN DE DEFLEXIONES CON VIGA BENKELMAN

TRAMO :
 CARRIL :
 CAPA :

OPERADOR :
 RELACIÓN VP :
 FECHA :

Estaca (km)	Lecturas de Campo (10 ⁻³ pulg)				Espesor (m)	Ahuellamiento (mm)			Temp (°C)	RESULTADOS DEFLECTOMÉTRICOS	
	L ₂₅	L ₄₀	L ₇₀	L _{max}		Ahue 1	Ahue 2	Prom		Deflexiones Corregidas	
										D ₂₅ x 10 ⁻² mm	D _{MAX} x 10 ⁻² mm

Anexo N°3

**Canteras Seleccionadas para la carretera lunahuana – huancayo km 42 +
480 - km 260 + 500**




CANTERA	PROGRESIVA Km	AREA (m ²)	ESPESOR (m)	VOLUMEN (m ³)	UTILIDAD
1.- Jacaya	53 + 500	220,000	1.80	396,000	R, SB
2.- Huagil	58 + 170	240,000	2.00	480,000	R, SB
3.- Cascajal	64 + 000	500,000	2.50	1'250,000	R, SB, B, CA,
4.- Montenegro	80 + 200	75,000	2.00	150,000	C
5.- Río Cañete	81 + 850	10,000	1.50	15,000	R, SB
6.- Piedra Prado	81 + 800	15,000	8.00	120,000	R, SB, B, CA,
7.- Espuy	88 + 500	150,000	2.50	375,000	C
8.- Cuncubay I	102 + 500	125,000	2.50	312,500	R, SB, B
9.- Cuncubay II	103 + 200	110,000	1.50	165,000	R
10.- Taumata	115 + 200	40,000	1.50	60,000	R
11.- Rumichaca I	136 + 200	52,500	2.00	105,000	R, SB
12.- Rumichaca II	136 + 800	52,000	1.80	93,600	R, SB
13.- Huantan	138 + 800	90,000	1.50	135,000	R, SB
14.- Ahuicho	152 + 500	60,000	2.50	150,000	R, SB
15.- Paccha	174 + 500	35,000	2.00	70,000	R, SB, B
16.- Opcional	177 + 400	60,000	2.00	120,000	R
17.- Chaucha	187 + 000	60,000	2.50	150,000	R, SB
18.- Shicuy	207 + 000	180,000	3.00	540,000	R, SB
19.- Huamin Loma	224 + 000	150,000	2.50	375,000	R, SB
20.- San Blas	234 + 500	180,000	3.00	540,000	R, SB, B
21.- Malapampa	248 + 500	35,000	5.00	175,000	R, SB
22.- Chupaca	250 + 800	50,000	2.00	10,000	R, SB, B, CA,
				5'877,100	

Anexo N°3 Población Directamente Beneficiada

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

Fuente: Del número de Habitantes INEI Censo 2007

Anexo N°4
Panel Fotográfico

PROGRESI VA	DESCRIPCIÓN	EVIDENCIA
102+400	Medición de la lecturas con camión en marcha	
102+800	Medición de la temperatura	
103+600	Tomando medidas del ancho, espesor del pavimento y posicionando la viga	

MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES
 PROYECTO ESPECIAL DE INFRAESTRUCTURA DE TRANSPORTE NACIONAL
 PROVIAS NACIONAL

CONSORCIO GESTION DE CARRETERAS

M.T.C

REGISTRO DE EXCAVACION

PROYECTO : CONSERVACION VIAL DE LA CARRETERA CAÑETE - LUNAHUANA - PACARAN - CHUPACA Y CALICATA : C-47
 : REHABILITACION DEL TRAMO ZUÑIGA DV. YAUYO - RONCHAS REALIZADO : G.H.M
 UBICACION : MUESTRA DE TERRENO EXISTENTE CALICATA REVISADO : E.M.H
 KM : 103+600 FECHA DE EXCAVACION : 23/06/2009
 LADO : DERECHO PROFUNDIDAD TOTAL (m) : 1.50
 TRAMO : PROF. NIVEL FREATICO (m) :

C R A F I C O	DESCRIPCION DEL SUELO	SUCS	GRANULOMETRIA				LL	LP	ML	N° DE MUESTRA
			<	0.075	4.750	>				
			mm	mm	mm	mm				
PROF. (m)	Clasificación técnica; forma del material granular; color; contenido de humedad; Índice de plasticidad / compresibilidad; grado de compactación / consistencia; Otros: presencia de oxidaciones y material orgánico, porcentaje estimado de boleos / cantos, etc.	AASHTO	0.075	4.750	75	75	%	%	%	
13	CONFORMACION A NIVEL DE AFIRMADO	GC - GM A-1a(0)	13.1	43.3	44.4		15.2	2.1	3.2	
	Arena limosa inorgánica, sub angular, color marron claro, humedad media, plasticidad med.a. medianamente compresible, medianamente compacto, consistencia media, 2% boloneria material fino con materia organica. 0% de bloques suelo granular suelto	SC - SM A-1-b(0)	17.9	51.2	31.0	2.0	24.0	4.9	3.5	M-01

CONSORCIO GESTION DE CARRETERAS
 PROYECTO ESPECIAL DE INFRAESTRUCTURA DE TRANSPORTE NACIONAL
 CAÑETE - LUNAHUANA - PACARAN - CHUPACA Y TRAMO ZUÑIGA DV. YAUYO - RONCHAS
 ING. WILSON RODRIGUEZ ROZAS OC-DA
 GERENTE VIAL

OBSERVACIONES:
 MATERIAL DEL AFIRMADO PROCEDENTE DE LA CANTERA KM: 113+600 LIZO

MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES
 PROYECTO ESPECIAL DE INFRAESTRUCTURA DE TRANSPORTE NACIONAL
 PROVIAS NACIONAL

CONSORCIO GESTION
DE CARRETERAS

M.T.C

REGISTRO DE EXCAVACION

PROYECTO	: CONSERVACION VIAL DE LA CARRETERA CAÑETE - LUNAHUANA - PACARIH - CHUPACA Y REHABILITACION DEL TRAMO ZUÑIGA DV. YAUYO - RONCHAS	CALICATA	: C-45
UBICACION	: MUESTRA DE TERRENO EXISTENTE CALICATA	REALIZADO	: G.H.M
KM	: 102+600	REVISADO	: E.M.H
LADO	: IZQUIERDO	FECHA DE EXCAVACION	: 23/06/2008
TRAMO	:	PROFUNDIDAD TOTAL (m)	: 1.50
		PROF. NIVEL FREATICO (m)	: *

PROF. (m)	G R A F I C O	DESCRIPCION DEL SUELO Clasificación técnica; forma del material granular; color; contenido de humedad; Índice de plasticidad / compresibilidad; grado de compactación / consistencia; Otros: presencia de oxidaciones y material orgánico, porcentaje estimado de boleros / cantos, etc.	SUCS	GRANULOMETRIA				LL	LP	KH	Nº DE MUESTRA
				<	0.075	4.75	>				
				mm	mm	mm	mm				
		CONFORMACION A NIVEL DE AFIRMADO	GC - GM A-1-a(0)	13.1	43.3	44.4		15.0	2.1	2.5	
		Arena limosa, sub angular, color marron oscuro, humedad baja, plasticidad media, medianamente compresible, medianamente compacto, consistencia dura 4% boloneria, material fino sin materia organica, tamaño máximo 3" 0% de bloques suelo granular grueso	SC - SM A-1-x(0)	13.3	50.7	31.0	4.0	25.0	6.7	3.0	54-31
		MATERIAL CONGLOMERADO GRAVA LIMOSA, MEZCLA DE GRAVA, ARENA Y LIMO AGREGADO MAYOR A 2" AL 60%	GM								

CONSORCIO GESTION DE CARRETERAS
 PARA LOS TRAMOS VIA CAÑETE - LUNAHUANA - PACARIH
 ENTRE LOS TRAMOS ZUÑIGA DV. YAUYO - RONCHAS
 ING. LEVIS HERNANDEZ ROZAS OCHOA
 GERENTE VIAL

OBSERVACIONES:
 PODEMOS COMENTAR QUE DEBAJO DE LOS 0 40 MTS EL AGREGADO EXISTENTE TIENE EXCESO DE BOLONERIA
 40% (MATERIAL CONGLOMERADO) EL MATERIAL DEL AFIRMADO PROCEDENTE DE LA CANTERA KM: 113+500 L.120

CUADRO 3-19 RESUMEN DEL VOLUMEN VEHICULAR ESTACION E5 - "CATAHUASI-CAPILLUCA" - RN 22
 ESTACION CHICHICAY E 5

ESTUDIO DE TRAFICO
 VOLUMEN Y CLASIFICACION VEHICULAR, SEGUN DIA DE CONTEO

Día	Sentido	Auto	Station Wagon	Camta pick up	Camta Rural	Micro	Omnib 2 Ejes	Omnib +2 Ejes	Camlon 2 Ejes	Camlon 3 Ejes	Volquete 2E	Volquet e 3E	Semitrayer			Cisternas y Mezcladoras				C 7 Ejes	TOTAL	%
													2S3	3S1/3S2	3S3	2E	3E	4E	>=5E			
Lunes	Catahuasi - Capilluca	2	4	153	32	44	16	0	16	3	0	31	1	0	1	5	21	0	0	0	329	49.7%
	Capilluca - Catahuasi	2	5	153	35	49	16	0	19	1	0	27	1	0	1	5	19	0	0	0	333	50.3%
	Ambos	4	9	306	67	93	32	0	35	4	0	58	2	0	2	10	40	0	0	0	662	100.0%
Martes	Catahuasi - Capilluca	3	4	207	27	41	14	0	18	3	0	37	1	1	1	7	32	0	0	0	396	50.7%
	Capilluca - Catahuasi	2	7	198	28	45	16	0	14	1	0	39	0	0	1	4	30	0	0	0	385	49.3%
	Ambos	5	11	405	55	86	30	0	32	4	0	76	1	1	2	11	62	0	0	0	781	100.0%
Miércoles	Catahuasi - Capilluca	3	4	185	28	40	14	0	18	6	0	27	0	1	0	6	35	0	0	0	367	51.8%
	Capilluca - Catahuasi	2	4	184	27	41	15	0	16	3	1	23	1	1	0	6	32	1	0	0	357	50.4%
	Ambos	5	8	369	55	81	29	0	34	9	1	34	1	2	0	12	67	1	0	0	708	102.3%
Jueves	Catahuasi - Capilluca	4	9	214	28	44	16	0	27	2	1	44	0	1	0	11	35	0	0	0	436	47.1%
	Capilluca - Catahuasi	3	9	231	29	43	19	0	34	4	0	38	0	1	0	11	36	0	0	0	458	49.5%
	Ambos	7	18	445	57	87	35	0	61	6	33	82	0	2	0	22	71	0	0	0	926	96.5%
Viernes	Catahuasi - Capilluca	4	7	178	41	45	18	0	22	6	0	52	0	0	0	9	41	0	0	0	423	49.1%
	Capilluca - Catahuasi	3	6	189	39	44	20	0	29	3	1	52	0	0	0	10	43	0	0	0	439	50.9%
	Ambos	7	13	367	80	89	38	0	51	9	1	104	0	0	0	19	84	0	0	0	862	100.0%
Sábado	Catahuasi - Capilluca	3	6	80	25	13	11	0	9	1	0	10	0	0	0	3	4	0	0	0	165	52.9%
	Capilluca - Catahuasi	1	3	77	20	17	8	0	5	0	0	9	0	0	0	1	5	1	0	0	147	47.1%
	Ambos	4	9	157	45	30	19	0	14	1	0	19	0	0	0	4	9	1	0	0	312	100.0%
Domingo	Catahuasi - Capilluca	1	3	129	33	30	12	0	16	1	1	17	0	0	0	4	29	0	0	0	276	53.2%
	Capilluca - Catahuasi	4	5	108	28	26	11	0	10	1	0	22	1	0	0	3	24	0	0	0	243	46.8%
	Ambos	5	8	237	61	56	23	0	26	2	1	39	1	0	0	7	53	0	0	0	519	100.0%

Fuente: Elaboracion Propia

VOLUMEN Y CLASIFICACION VEHICULAR - IMD (Veh/ia)

IMD	Sentido	Auto	Station Wagon	Camta pick up	Camta Rural	Micro	Omnib 2 Ejes	Omnib +2 Ejes	Camlon 2 Ejes	Camlon 3 Ejes	Volquete 2E	Volquet e 3E	Semitrayer			Cisternas y Mezcladoras				C 7 Ejes	TOTAL	%
													2S3	3S1/3S2	3S3	2E	3E	4E	>=5E			
IMD	Catahuasi - Capilluca	3	6	172	32	40	16	0	20	3	0	34	0	0	0	7	31	0	0	0	364	50%
	Capilluca - Catahuasi	3	6	171	31	41	16	0	20	2	0	33	0	0	0	6	29	0	0	0	358	50%
	Ambos	6	12	343	63	81	32	0	40	5	0	67	0	0	0	13	60	0	0	0	722	100%

Fuente: Elaboracion Propia

CUADRO 3-20 RESUMEN DEL VOLUMEN VEHICULAR ESTACION E6 – "CAPILLUCA-DV. YAUYOS" – RN 22
 ESTACION YAUYOS E 6

ESTUDIO DE TRAFICO
 VOLUMEN Y CLASIFICACION VEHICULAR, SEGÚN DIA DE CONTEO

Día	Sentido	Auto	Station Wagon	Camta plck up	Camta Rural	Micro	Omnib 2 Ejes	Omnib +2 Ejes	Camion 2 Ejes	Camion 3 Ejes	Camion 4 Ejes	Semitrayler				Trayler				C 7 Ejes	TOTAL	%	
												2S1/2 S2	2S3	3S1/3S2	3S3	2T2	2T3	3T2	3T3				
Lunes	Capilluca - Dv. Yauyos	0	0	6	6	1	5	0	6	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	33	46.5%
	Dv. Yauyos - Capilluca	1	2	8	7	2	7	0	2	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	38	53.5%
	Ambos	1	2	14	13	3	12	0	8	18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	71	100.0%
Martes	Capilluca - Dv. Yauyos	1	4	10	4	2	6	0	12	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	45	52.9%
	Dv. Yauyos - Capilluca	1	2	10	4	2	5	0	10	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	40	47.1%
	Ambos	2	6	20	8	4	11	0	22	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	85	100.0%
Miércoles	Capilluca - Dv. Yauyos	0	3	7	3	2	3	0	9	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	31	43.7%
	Dv. Yauyos - Capilluca	0	3	9	2	3	5	0	14	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	40	56.3%
	Ambos	0	6	16	5	5	8	0	23	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	71	100.0%
Jueves	Capilluca - Dv. Yauyos	2	4	21	6	3	6	0	14	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	64	48.1%
	Dv. Yauyos - Capilluca	0	2	15	10	2	5	0	18	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	61	45.9%
	Ambos	2	6	36	16	5	11	0	32	17	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	133	94.0%
Viernes	Capilluca - Dv. Yauyos	0	1	12	10	1	3	0	8	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	42	48.3%
	Dv. Yauyos - Capilluca	2	2	11	8	1	5	0	9	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	45	51.7%
	Ambos	2	3	23	18	2	8	0	17	14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	87	100.0%
Sábado	Capilluca - Dv. Yauyos	0	3	12	2	0	8	0	9	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	41	54.7%
	Dv. Yauyos - Capilluca	0	1	8	5	1	5	0	8	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	34	45.3%
	Ambos	0	4	20	7	1	13	0	17	13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	75	100.0%
Domingo	Capilluca - Dv. Yauyos	3	4	6	8	0	7	0	6	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	37	58.7%
	Dv. Yauyos - Capilluca	2	1	10	3	0	5	0	1	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	26	41.3%
	Ambos	5	5	16	11	0	12	0	7	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	63	100.0%

Fuente: Elaboracion Propia

VOLUMEN Y CLASIFICACION VEHICULAR - IMD (Veh/ía)

IMD	Sentido	Auto	Station Wagon	Camta plck up	Camta Rural	Micro	Omnib 2 Ejes	Omnib +2 Ejes	Camion 2 Ejes	Camion 3 Ejes	Camion 4 Ejes	Semitrayler				Trayler				C 7 Ejes	TOTAL	%	
												2S1/2 S2	2S3	3S1/3S2	3S3	2T2	2T3	3T2	3T3				
IMD	Capilluca - Dv. Yauyos	1	3	11	6	1	6	0	10	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	45	50%
	Dv. Yauyos - Capilluca	1	2	11	6	2	6	0	10	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	45	50%
	Ambos	2	5	22	12	3	12	0	20	14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	90	100%

Fuente: Elaboracion Propia