

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



**EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO
BASADA EN DEFLEXIONES
MONITOREO DE CONSERVACIÓN CARRETERA
CAÑETE – HUANCAYO Km. 110+000 AL Km. 112+000**

INFORME DE SUFICIENCIA

Para optar el Título Profesional de:

INGENIERO CIVIL

JUAN CARLOS MENDOZA RAMOS

Lima – Perú

2010

© 2010, Universidad Nacional de Ingeniería. Todos los derechos reservados.

“El autor autoriza a la UNI a reproducir el Informe de Suficiencia en su totalidad o en parte, con fines estrictamente académicos.”

Correo: carlos_mendozar@hotmail.com

Teléfono: 3547707 - 995432983

Dedicado a mis todos mis seres queridos.

INDICE

RESUMEN	3
LISTA DE CUADROS	4
LISTA DE FIGURAS	6
LISTA DE SIMBOLOS Y SIGLAS	8
INTRODUCCIÓN	9
CAPÍTULO I.- ASPECTOS GENERALES	10
1.1 ANTECEDENTES	10
1.2 UBICACIÓN DE LA CARRETERA	11
1.3 ÁREA DE INFLUENCIA DE LA CARRETERA	12
1.3.1 Aspectos geográficos	12
1.3.2 Aspectos socio demográficos	13
1.3.3 Aspectos económicos	13
1.3.4 Área de influencia directa	16
1.4 DESCRIPCIÓN DE LA CARRETERA	16
1.4.1 Climatología y precipitación	18
1.4.2 Geomorfología	19
1.4.3 Geología	20
1.4.4 Estudio de suelos	20
1.5 ESTUDIO DE TRAFICO	21
1.6 TRAMO EN ESTUDIO KM. 110+000 – Km 112+000	22
CAPÍTULO II.- ESTADO DEL ARTE	24
2.1 COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE PAVIMENTOS	24
2.2 METODOLOGÍAS EXISTENTES RACIONALES Y EMPÍRICAS	25
2.2.1 Metodología del Instituto del Asfalto	25
2.2.2 Método Elástico ó Modelo Matemático	26

2.2.3 Metodología Empírica CONREVIAL	26
CAPÍTULO III.- MEDICION DE DEFLEXIONES EN CAMPO	39
3.1 RELACION DE EQUIPOS Y PERSONAL	39
3.2 PROCEDIMIENTO DE MEDICIÓN EN CAMPO	40
3.3 TOMA DE DATOS	42
CAPÍTULO IV.- EVALUACIÓN DEL TRAMO KM. 110+000 AL KM. 112+000	44
4.1 PROCESAMIENTO DE DATOS	44
4.1.1 Deflexión Característica Km. 110+000 al Km. 112+000	44
4.1.2 Deflexión Admisible	45
4.1.3 Radio de Curvatura	46
4.1.4 Ahuellamiento	46
4.2 ANÁLISIS DE RESULTADOS	46
4.2.1 DEFLEXIONES Y DEFLECTOGRAMA	46
4.3 EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO	47
CONCLUSIONES	49
RECOMENDACIONES	50
BIBLIOGRAFÍA	51
ANEXOS	52

RESUMEN

Como parte del Monitoreo de Conservación de la Carretera Cañete – Chupaca en el tramo Km. 110+000 al Km. 112+000, mediante ensayos no destructivos se ha llevado a cabo la evaluación estructural del pavimento mediante el deflectómetro conocido como Viga Benkelman, en este informe se describen y aplican los procedimientos para medir las deflexiones en campo y elaborar los deflectogramas empleando la Metodología Empírica CONREVIAl, se evalúa la capacidad y comportamiento estructural del pavimento y se plantean las alternativas de rehabilitación y mantenimiento.

A través del desarrollo de los capítulos, se muestran y detallan las generalidades de la carretera y se describe el tramo en evaluación, se enmarca el estado del arte y la metodología empírica a emplearse para la evaluación estructural y diseño de refuerzos para mejorar su desempeño, se muestra la relación del personal y procedimientos en la toma de datos en campo, luego del procesamiento de estadístico de datos se analizan los resultados de deflexiones del pavimento, esta deflexión se compara con las deflexiones que exigirá el tráfico y condiciones ambientales a la que será sometido el pavimento en un horizonte de 5 años, luego del juicio de la capacidad estructural que otorga la metodología CONREVIAl se recomiendan las medidas que se adoptarán para la conservación y mantenimiento de la carretera.

LISTA DE CUADROS

CUADRO N° 1.01.	
INFORMACIÓN GEOGRÁFICA DE LA CARRETERA	12
CUADRO N° 1.02.	
CENTROS POBLADOS DE INFLUENCIA DIRECTA	16
CUADRO N° 1.03.	
TRAMIFICACIÓN DE LA CARRETERA EN ESTUDIO	16
CUADRO N° 1.04.	
SUPERFICIE DE RODADURA ANTES Y DESPUES DE LA INTERVENCIÓN	18
CUADRO N° 1.05.	
TIPOS DE SUPERFICIE DE RODADURA	18
CUADRO N° 1.06.	
CLIMAS Y TEMPERATURAS DE LA CARRETERA CAÑETE – CHUPACA	19
CUADRO N° 1.07.	
UBICACIÓN DE LAS ESTACIONES DE CONTROL	21
CUADRO N° 1.08.	
RESUMEN DE IMDA 2009 – POR ESTACIONES DE CONTROL	21
CUADRO N° 1.09.	
CAPACIDAD DE SOPORTE DE SUELOS DEL KM. 110+600 - KM 121+600	23
CUADRO N° 2.01.	
FACTORES DE CORRECCIÓN POR ESTACIONALIDAD	31
CUADRO N° 2.02.	
VALOR DE “t” Y PROBABILIDAD DE OCURRENCIA	34

CUADRO N° 2.03.	
ANÁLISIS COMBINADO DE LOS RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN	36
CUADRO N° 2.04.	
VALORES RECOMENDADOS PARA R	37
CUADRO N° 4.01	
DEFLEXIONES ADMISIBLES	45
CUADRO N° 4.02	
RADIOS DE CURVATURA PROMEDIO	46
CUADRO N° 4.03	
AHUELLAMIENTO PROMEDIO	46

LISTA DE FIGURAS

FIGURA N° 1.01.	
MAPA DE UBICACIÓN	12
FIGURA N° 1.02.	
PLANO CLAVE CARRETERA CAÑETE- CHUPACA	17
FIGURA N° 1.03.	
TRAMO EN ESTUDIO KM. 110+000 AL KM. 112+000	22
FIGURA N° 2.01.	
TIPOS DE DEFLEXIONES	27
FIGURA N° 2.02.	
ESQUEMA Y PRINCIPIO DE OPERACIÓN DE LA VIGA BENKELMAN	28
FIGURA N° 2.03.	
CONFIGURACION GEOMETRICA DEL SISTEMA DE CARGA DE ENSAYOS CON VIGA BENKELMAN	28
FIGURA N° 2.04.	
ESQUEMA DEL PROCESO DE MEDICIÓN CON VIGA BENKELMAN	29
FIGURA N° 2.05.	
DEFORMADA DEL PAVIMENTO Y RADIO DE CURVATURA	32
FIGURA N° 3.01.	
COLOCACIÓN DE LA VIGA BENKELMAN	41
FIGURA N° 3.02.	
TOMA DE MUESTRA DE CARPETA ASFALTICA	41
FIGURA N° 3.03.	
MEDICIÓN DEL ESPESOR DE CARPETA ASFALTICA	41

FIGURA N° 3.04.

MEDICION DEL AHUELLAMIENTO 41

FIGURA N° 3.05.

FORMATO DE TOMA DE DATOS 43

LISTA DE SIMBOLOS Y SIGLAS

AASHTO	:	American Association of State Highway and Transportation Officials
CGC	:	Consortio Gestión de Carreteras
CONREVIAl	:	Consortio de Rehabilitación Vial
Da	:	Deflexión Admisible
Dc	:	Deflexión Característica
Dprom	:	Deflexión Promedio
FWD	:	Falling Weight Deflectometer
IMD	:	Índice Medio Diario
MDS	:	Máxima Densidad Seca
MEF	:	Ministerio de Economía y Finanzas
MTC	:	Ministerio de Transportes y Comunicaciones
N₁₈	:	Número de ejes equivalentes a 8.2 toneladas
PERT	:	Programa Especial de Rehabilitación de Carreteras
PROMCEPRI	:	Comisión de Promoción de Concesiones Privadas
Rc	:	Radio de Curvatura
SUCS	:	Sistema Unificado de Clasificación de Suelos

INTRODUCCION

El presente informe tiene por objetivo principal identificar los factores que afectan los pavimentos de tal forma conocer y mejorar su desempeño en relación al tráfico y condiciones que soporta la calzada, mediante la evaluación estructural del pavimento, utilizando el deflectógrafo conocido como Viga Benkelman.

Para mejorar el desempeño del pavimento es necesario cumplir con tres objetivos específicos como son; 1º) describir y aplicar los procedimientos necesarios para determinar las deflexiones y elaborar los deflectogramas empleando la Metodología Empírica CONREVIAL; 2º) evaluar la capacidad y comportamiento estructural del pavimento; 3º) plantear las alternativas de rehabilitación y mantenimiento del pavimento.

La Evaluación Estructural de un pavimento mediante la Viga Benkelman permite medir las deformaciones elásticas que sufre un pavimento flexible bajo la acción de una carga rodante estándar, de una manera sencilla, práctica y económica. Mediante ella y usando métodos empíricos para la interpretación de resultados, es posible evaluar la condición estructural del pavimento, debido a que los pavimentos durante su vida útil se encuentran expuestos a condiciones de tráfico y ambientales que debilitan su estructura.

En este informe se describe el procedimiento para la evaluación de la capacidad estructural de un pavimento, dividido en cuatro capítulos.

En el capítulo I se detallan las generalidades de la carretera Cañete – Dv. Yauyos – Huancayo, tales como su ubicación, área de influencia, tráfico y se describe el tramo en estudio km. 110+000 al km. 112+000. En el capítulo II se enmarca el estado del arte y la metodología a emplearse para la evaluación estructural y diseño de refuerzos para mejorar el desempeño del pavimento en el tiempo. En el capítulo III se muestra la relación de personal y equipos para la medición de deflexiones, los procedimientos de campo a seguir y la toma de datos. En el capítulo IV luego del procesamiento de datos, se analizan los resultados obtenidos y se evalúa la condición estructural del pavimento y se plantean las alternativas de mantenimiento y refuerzo del pavimento en servicio.

CAPITULO I: ASPECTOS GENERALES

1.1 ANTECEDENTES

La Carretera Cañete – Yauyos – Huancayo fue proyectada y construida por partes en los años 1920 a 1930, fue terminada de construir entre los años 1940-1957, puesta en servicio en mayo de 1957.

En las últimas décadas, los pobladores de los diferentes distritos de las provincias de Cañete, Yauyos, Concepción y Chupaca, que constantemente tienen que desplazarse por motivos económicos, legales, educativos, o familiares a lo largo de la carretera Cañete – Yauyos – Huancayo, han venido solicitando a los organismos competentes, para que se atienda sus demandas y se realicen las obras necesarias para contar con una carretera en optimas condiciones de transitabilidad.

En los últimos años, a esta demanda general, se han sumado otras demandas particulares que son: la instalación de empresas mineras y generadores de energía hidroeléctrica, el aumento de necesidades de recreación de la creciente población de Lima Metropolitana y Huancayo que ha incrementado las actividades de turismo local hacia la zona de la cuenca del rio cañete en particular a las localidades de Lunahuaná (Zona baja) y Huancayo (Zona alta) y por la cercanía a la carretera central, la carretera Huancayo – Cañete, se ha convertido en posible alternativa para descargar la congestionada carretera central.

Se han realizado diversos estudios para el mejoramiento y rehabilitación de la Carretera entre los cuales se tienen: "Estudio de Ingeniería e Impacto Ambiental para la Ampliación, Construcción y Conservación de la Carretera Lunahuaná - Huancayo, elaborado por el Consultor AYESA – ALPHA CONSULT en el año 1998, contratado por PROMCEPRI. En el año 2003, el PERT del MTC encargó 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 al consultor Ing. Floriano Palacios León. En el año 2005, La Gerencia de Estudios de Provias Nacional conjuntamente con La Dirección General de Programación

Multianual del Sector Público del MEF encarga la elaboración del Estudio de Factibilidad del Proyecto Rehabilitación y Mejoramiento de la Carretera Ruta 22, Tramo: Lunahuaná - Yauyos – Chupaca al consultor Ing. Sergio Avilés Córdova.

El mejoramiento de la Carretera Cañete – Yauyos - Chupaca, se encuentra enmarcado dentro del Programa de Desarrollo Vial "Proyecto Perú", mediante Resolución Ministerial N° 223-2007-MTC-02 modificada por Resolución Ministerial N° 408-2007-MTC/02. Dicho programa 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 establece un sistema de contratación de las actividades de conservación de la infraestructura vial, mediante contratos en los que las prestaciones se controlen por niveles de servicio y por plazos iguales ó superiores a tres años, que implica el la transferencia de riesgo al Contratista.

Mediante el contrato N° 288- 2007-MTC/20 el Contratista – Conservador Consorcio Gestión de Carreteras viene realizando el cambio de estándar a pavimento básico y el Servicio de Conservación Vial por Niveles de Servicio en el periodo 2008-2013, mediante el “Plan General de Conservación Vial de la Carretera Cañete – Lunahuaná - Pacarán – Dv Yauyos - Ronchas – Chupaca” elaborado por el Consorcio Gestión de Carreteras y aprobado por Provias Nacional con Resolución Directoral 2682-2008-MTC/20 exigido en el contrato.

1.2 UBICACIÓN DE LA CARRETERA

La Carretera Cañete – Chupaca está ubicada en las Provincias de Cañete y Yauyos en el Departamento de Lima y en las provincias de Concepción y Chupaca en el Departamento de Junín.

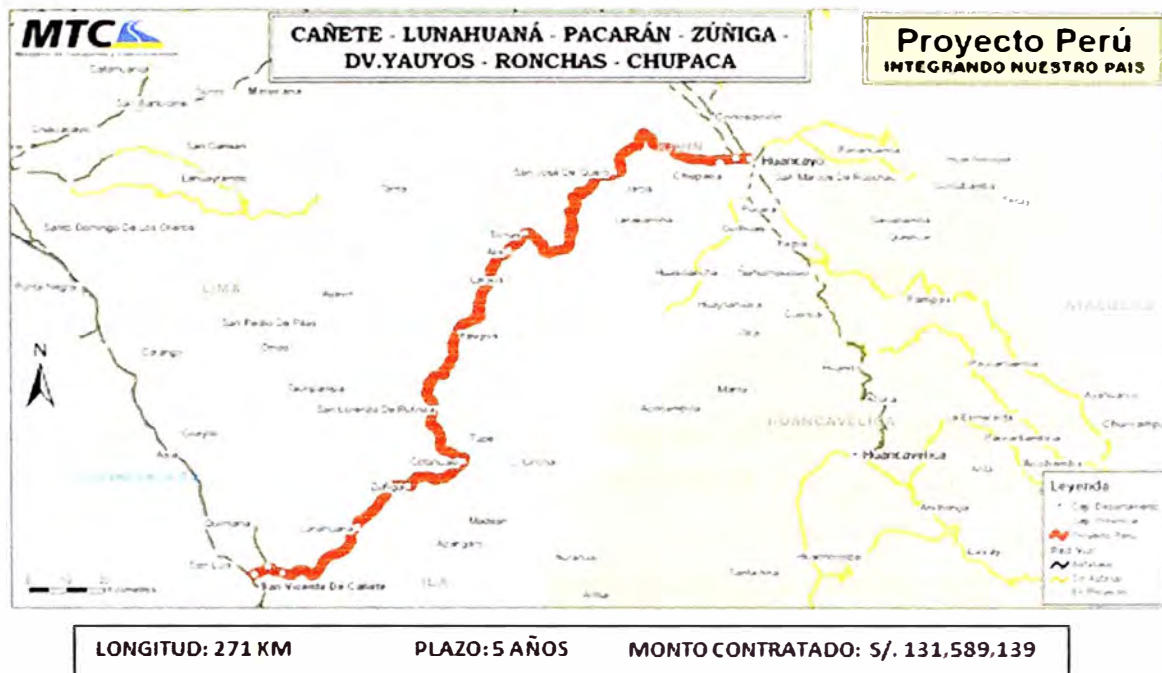


FIGURA N° 1.01. MAPA DE UBICACIÓN

(Fuente: www.proviasnac.gob.pe)

1.3 ÁREA DE INFLUENCIA DE LA CARRETERA

1.3.1 ASPECTOS GEOGRÁFICOS

La carretera atraviesa poblados en los departamentos de Lima y Junín, geográficamente atraviesa 4 provincias y 24 distritos, detallados en el Cuadro N° 1.01.

**CUADRO N° 1.01
INFORMACIÓN GEOGRÁFICA DE LA CARRETERA CAÑETE - CHUPACA**

Departamentos	Provincias	Distritos
Lima	Cañete Yauyos	Imperial, Nuevo Imperial, Caltopa, Lunahuaná, Pacarán, Candoray, Zúñiga, Chocos, Catahuasi, Auco, Tupe, San Lorenzo de Putina, Cusi, Magdalena, Huantan, Alis, Tomas, Huanchi,
Junín	Concepción Chupaca	San José de Quero, Colpa, Roncha, Chupaca,

(Fuente: Estudio de Pre Inversión a Nivel de Factibilidad Mejoramiento y Rehabilitación de La Carretera: Cañete – Huancayo, Ruta 2, Provias Nacional)

1.3.2 ASPECTOS SOCIO DEMOGRÁFICOS

En las provincias de Cañete, Yauyos, Concepción y Chupaca se tienen los siguientes indicadores demográficos:

Idioma; El 87.7% de la población cercana a la carretera habla español y el otro restante quechua.

Educación; El 53.4% de la población solo ha concluido estudios primarios y apenas el 5.8% ha concluido estudios universitarios.

Agua potable; En el tema de abastecimiento de agua más del 48% se abastece de agua de río, acequia, manantial, pozo ó camión.

Electrificación; El 42% de la población no dispone de energía eléctrica.

Vivienda; Mas del 50% de la población no cuenta con servicios higiénicos adecuados, lo que nos da un indicador de pobreza de la zona.

En términos generales, existe una inadecuada e insuficiente dotación de servicios básicos (agua, desagüe, electrificación) en el área de influencia de la carretera. Estos datos fueron tomados del Estudio de Pre Inversión a nivel de Factibilidad del Proyecto de Mejoramiento y Rehabilitación de la Carretera Cañete – Huancayo.

1.3.3 ASPECTOS ECONÓMICOS

La población del ámbito de influencia del proyecto, tiene como base económica principal, la explotación de la actividad agrícola de autoconsumo.

Agricultura; En las provincias de influencia de Lima predomina la actividad agrícola bajo riego, propio de la costa con mayor tecnificación. En las provincias de influencia de Junín el riego es en seco, es decir con las lluvias, por lo que las cosechas son menos productivas.

En la zona de Lunahuaná, Pacarán y Zúñiga se cultivan productos como: Maíz amiláceo, vid, frutales, quinua, plátano, tuna, ajo, brócoli, algodón, habas, flores, manzanos, fréjoles, olluco, etc.

En los distritos de Yauyos, Tomas, Catahuasi, Alis, Ayauca, y Laraos, se cultivan productos como: maíz amiláceo, papa, habas, pallar, olluco, trigo, oca, fréjol, cebada, maca, lentejas, etc.

En la zona de Chambará y San José de Quero, los cultivos principales son: habas, papa, avena, cebada, trigo, menestras, oca, olluco, quinua, etc.

En los distritos de Ahuac, Cullhuas y Chupaca encontramos sembríos de: cebada grano, maíz amiláceo, quinua, trigo, frutales, ajos, cebollas, alcachofa, apio, brócoli, repollo, maíz choclo, zanahorias, oca, olluco, papa, bacón, etc.

La producción agrícola se destina principalmente para la venta y el autoconsumo, se tiene una marcada diferencia en las provincias de Cañete y Chupaca que destinan el 56% y 47 % de su producción para venta en el mercado y en contraparte las provincias de Yauyos y Concepción con 8.5%, 5.2%. Esta diferencia se debe a que las provincias de Yauyos y Cañete se encuentran más cerca a los mercados y poseen vías en mejores condiciones.

Los distritos de Lunahuaná, Pacarán y Zúñiga, destinan la mayor parte de su producción para ser vendida principalmente en el mercado de la ciudad de Cañete y Lima. Los distritos de Chambará y San José de Quero, también producen principalmente para autoconsumo, y un mínimo porcentaje lo venden en el mercado. Los distritos de Ahuac y Cullhuas también destinan la mayor parte de su producción para autoconsumo, y un mínimo porcentaje para el mercado. El distrito de Chupaca destina el 47% de su producción para el mercado y un 49 % se consume en la Unidad Agropecuaria.

Ganadería; El sistema de producción ganadero se desarrolla a nivel domestico y en pequeña escala en la zona de influencia del proyecto, el ganado constituye para el poblador un recurso de inmediata importancia, después de la tierra.

Turismo; En Lunahuaná y Tomas, se desarrolla el Turismo y Comercio.

Minería; La presencia de recursos naturales renovables en el área de influencia de la carretera Cañete - Chupaca, que corresponde a la cuenca del río Cañete en los distritos de Alis, Tomas y Laraos en la zona Alto Andina de la Cordillera Occidental, reviste una importante contribución a la economía de la población asentada en la región, principalmente, en el campo de la explotación de minerales metálicos, debido al desarrollo activo de los centros mismos ubicados en las provincias de Cañete en el departamento de Lima y a la de Yauli del departamento de Junín, dedicada a la extracción de concentrados minerales de cobre, plomo, zinc, oro, plata y otros.

El transporte de la producción minera de la zona de influencia de la carretera, tiene como destino principal la Fundición de La Oroya y el Puerto del Callao, a través del Ferrocarril y en mayor volumen utilizando las carreteras que se unen a la red troncal Cañete – Lunahuaná y La Oroya - Huancayo

Generación Eléctrica; La Central Hidroeléctrica El Platanal, está ubicado en el Departamento de Lima en las provincias de Cañete y Yauyos, se basa en el afianzamiento hídrico de la cuenca del río Cañete.

Es un proyecto hidroenergético que mediante una presa generara energía e irriga las pampas desérticas de la costa, aprovechando un cañón natural formado por montañas altas junto al río Cañete.

El embalse de regulación estacional está ubicado en la Laguna Paucarcocha, a 4220 m.s.n.m. en el distrito de Tanta, provincia de Yauyos a 200 km de la costa, cercano al nacimiento del río Cañete.

Las obras de captación se ubican en la localidad de Capillucas, distrito de Allauca, provincia de Yauyos. El túnel de aducción de 12 kilómetros y medio de longitud y 5 metros de diámetro conduce el agua desde la localidad de Capillucas hasta la localidad de San Juanito, distrito de Zúñiga, provincia de Cañete, donde se emplaza la casa de máquinas y el patio de llaves de la central hidroeléctrica.

1.3.4 AREA DE INFLUENCIA DIRECTA

El área de influencia directa comprende los centros poblados a ambos lados de la carretera Cañete (Lima) - Chupaca (Junín), dicha área comprende también el derecho de vía en todo el tramo de la carretera.

**CUADRO N° 1.02
CENTROS POBLADOS COMPRENDIDOS EN EL AREA DE INFLUENCIA DIRECTA**

N°	TRAMOS	CENTROS POBLADOS
1	Cañete – Lunahuaná	Cañete, Imperial, Nuevo Imperial, Encañada, Socsi, Lunahuaná
2	Lunahuaná – Pacarán	Uchupampa, Condoray, Catapalla, Jacaya, Jacayita, Romaní, Pacarán
3	Pacarán – Zúñiga	Zúñiga
4	Zúñiga – Dv. Yauyos	Machuranga, San Juanito, San Juan, San Gerónimo, Huayllampi, Catahuasi, Canchán, Chichicay, Capillucas, Calachota, Auco, Puente Auco, Magdalena
5	Dv. Yauyos – Roncha	Tinco, Tinco Huantán, Llapay, Tinco Alis, Alis, Tomas, Tinco de Yauricocha, San José de Quero, Chaquicocha, Collpa, Roncha.
6	Roncha – Chupaca	Angasmayo, Huarisca, Chupaca

(Fuente: Plan General de Conservación Vial de la Carretera Cañete – Lunahuaná - Pacarán – Dv Yauyos - Ronchas – Chupaca, elaborado por CGC)

1.4 DESCRIPCIÓN DE LA CARRETERA

Realizado el inventario vial por el Consorcio Gestión de Carreteras en mayo 2008, se ha obtenido la distancia real de 271+726 km. de la Carretera – Cañete – Chupaca, la cual ha sido dividida en seis tramos, señalados en el Cuadro N° 1.03., el plano clave se muestra en la Figura N° 1.02.

CUADRO N° 1.03. TRAMIFICACIÓN DE LA CARRETERA EN ESTUDIO

TRAMO	Longitud Km.
Cañete – Lunahuaná	40+950
Lunahuaná – Pacarán	11+907
Pacarán – Zúñiga	3+743
Zúñiga – Dv. Yauyos	70+400
Dv. Yauyos – Roncha	128+185
Roncha – Chupaca	16+541
Longitud Total	271+726

(Fuente: Elaboración Propia)

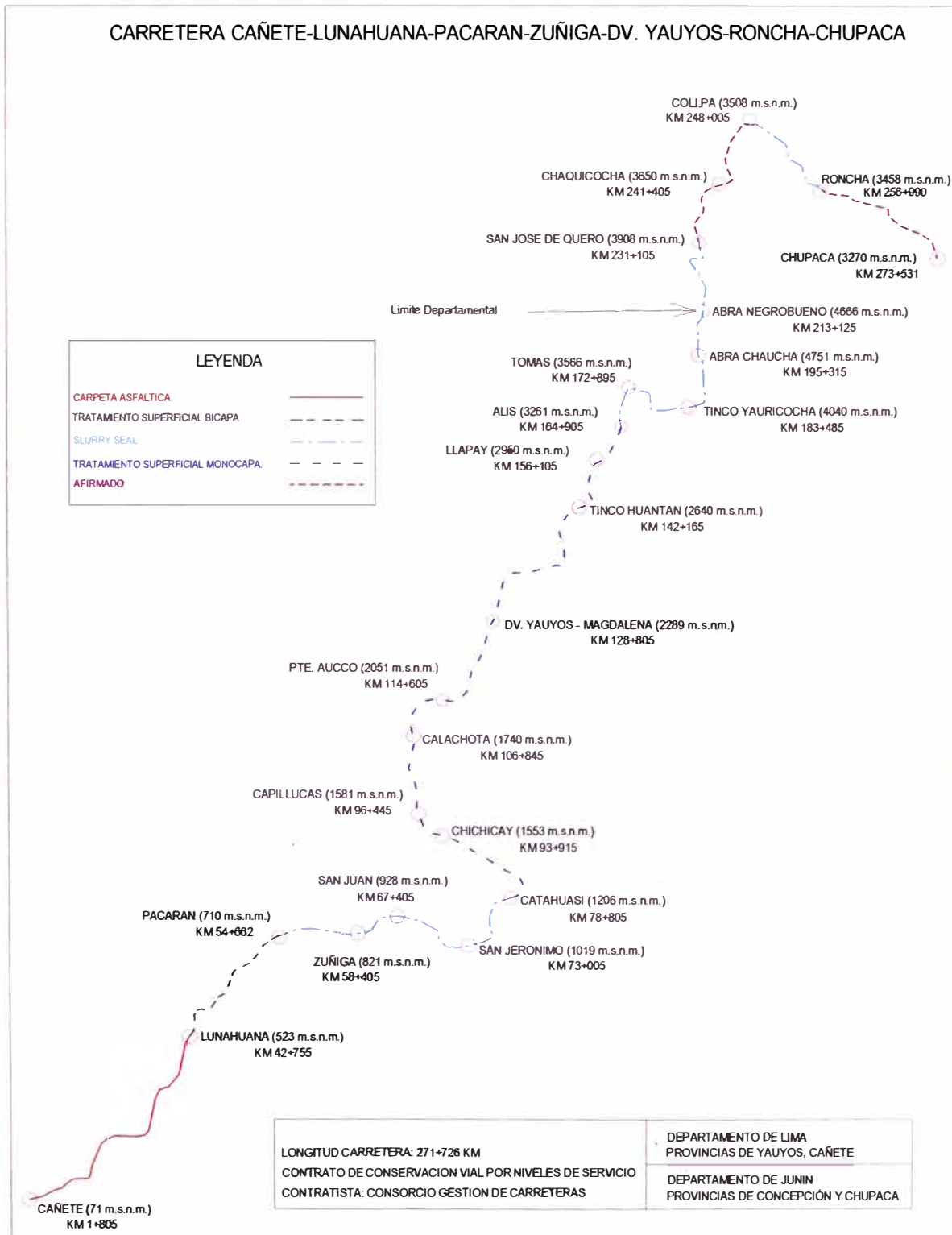


FIGURA N° 1.02. PLANO CLAVE CARRETERA CAÑETE-CHUPACA

(Fuente: Convenio de Cooperación Institucional entre el Proyecto Especial de Infraestructura de Transporte Nacional PROVIAS NACIONAL y La UNI-FIC, Abril 2010)

Realizadas las acciones de cambio de estándar para carreteras de bajo volumen de tránsito, luego de la intervención se han cambiado las superficies de rodadura de afirmado resumidas en el Cuadro N° 1.04.

CUADRO N° 1.04.

SUPERFICIE DE RODADURA ANTES Y DESPUES DE LA INTERVENCIÓN

TRAMO	Tipo de Superficie de Rodadura Antes de la intervención	Tipo de Superficie de Rodadura después de la intervención
Cañete – Lunahuaná	Carpeta Asfáltica	Carpeta Asfáltica
Lunahuaná – Pacarán	Trat. Superficial Bicapa	Trat. Superficial Bicapa
Pacarán – Zúñiga	Afirmado	Slurry Seal
Zúñiga – Dv. Yauyos	Afirmado	Slurry Seal (20.40 Km.) Trat. Sup. Monocapa (50.00 Km.)
Dv. Yauyos – Roncha	Afirmado	Trat. Sup. Monocapa (36.10 Km.) Slurry Seal (75.18 Km.) Afirmado (16.90 Km.)
Roncha – Chupaca	Afirmado	Afirmado

(Fuente Elaboración Propia)

La Carretera tiene una clasificación de acuerdo a los tramos, que han sido diseñados y construidos con dos normas de diseño por el tráfico que soportan.

CUADRO N° 1.05. NORMAS DE DISEÑO APLICADOS POR TRAMOS

TRAMO	NORMA DE DISEÑO APLICADA
Cañete – Lunahuaná	DG 2001
Lunahuaná – Pacarán	DG 2001
Pacarán – Zúñiga	Bajo volumen de tránsito
Zúñiga – Dv. Yauyos	Bajo volumen de tránsito
Dv. Yauyos – Roncha	Bajo volumen de tránsito
Roncha – Chupaca	DG2001

(Fuente Elaboración Propia)

1.4.1 Climatología y Precipitación;

Según la clasificación del Dr. Javier Pulgar Vidal la carretera atraviesa cinco regiones: Costa ó Chala, Yunga, Quechua, Suni ó Jalca y Puna; En el cuadro N° 1.06 se muestran los diferentes climas, la variación de la temperatura y precipitaciones.

En cuanto se refiere a la variación de la precipitación promedio mensual, es conocido que en toda la zona alto andina una marcada estacionalidad.

**CUADRO N° 1.06
CLIMAS Y TEMPERATURAS DE LA CARRETERA CAÑETE - CHUPACA**

Región	Cota (m.s.n.m)	Temperatura	Precipitación Promedio Anual
Costa o Chala	0 - 500	20° - 27°	10 – 30 mm
Yunga	500 – 2300	20° – 27°	100-150 mm
Quechua	2300 – 3500	Media Anual: 11°C a 16°C Máxima: 22°C a 29°C Mínima: 7°C a -4°C	800-1200 mm
Suni ó Jalca	3500 – 4000	Media Anual: 7°C a 10°C Máxima: Superior a 20°C Mínima: -1°C a -16°C	800 mm
Puna	4000- 4800	Media Anual: 0°C a 7°C Máxima: superior a 15°C Mínima: -9°C a -25°C	200 – 1000 mm

(Fuente: Elaboración Propia, recopilado del Atlas de Perú)

A partir de Septiembre se inician las primeras lluvias incrementándose paulatinamente hasta el mes de marzo ó abril. En el periodo entre enero y marzo se concentra el mayor volumen de precipitación. Entre los meses de abril y agosto son escasas las lluvias.

1.4.2 Geomorfología;

El relieve en el tramo carretero puede subdividirse en tres zonas bioclimáticas que presentan patrones geomorfológicos definidos:

Zona Altoandina (cuenca alta)

Comprende relieves de topografía agreste, de vertientes de altura relativa superior a 500 metros (entre la cima y base de elevaciones) y pendiente generalmente superior a 50%.

Zona Mesoandina (cuenca media)

Está constituida por un conjunto de vertientes montañosas, de topografía predominantemente agreste, que se encuentra a altitudes comprendidas entre 2400 y 3800 m.s.n.m. Aquí las glaciaciones cuaternarias no han ejercido acciones morfológicas directas y el clima actual es templado y húmedo que permite desde hace siglos el desarrollo de la agricultura andina.

Zona del Matorral Desértico (cuenca baja)

Los sectores más llanos corresponden a la llanura aluvial recientes del río Cañete, donde las acumulaciones aluviales modernas prácticamente han cubierto todas llanuras topográficas salvo algunas lomadas y colinas que aparecen a modo de montes.

1.4.3 Geología;

Las características geológicas están relacionadas con los principales eventos ocurridos en la región, destacando entre ellos movimientos tectónicos de tensión y compresión que han modificado el paisaje andino. La composición frecuente observada son las rocas ígneas intrusivas las que constituyen el batolito andino de la Costa que aflora desde Trujillo en el norte hasta la quebrada Pescadores en Arequipa. En la cuenca del río Cañete se observan además capas de lutitas carbonosas con arenisca de grano fino, estratos de calizas margosas, sill tipo basáltico, calizas masivas, calizas silíceas. Este conjunto pétreo es de gran importancia, ya que en las calizas de este grupo se encuentran localizadas la mejor mineralización de la zona, como la evidencian las minas existentes en la cuenca alta.

1.4.4 Estudio de Suelos;

De acuerdo a los estudios realizados por el CGC con perforaciones a profundidades de 1.00 - 1.50 m, correspondiente a los suelos y materiales de construcción en el tramo comprendido entre el Km. 96+600 y el Km. 106+600 se tiene presencia de arena limo arcillosas con clasificación de suelos SUCS igual a SC-SM mientras que en AASHTO es A-1-b (0). Su plasticidad es baja entre 4.9% y 6.0 %. Se tiene presencia de bolonerías, en poca proporción en la capa superior, mientras que a partir de 0.50 metros aumenta su presencia a 50%.

1.5 ESTUDIO DE TRÁFICO

El Convenio de Cooperación Institucional entre Provias Nacional y La UNI – FIC, realizó el estudio de tráfico en diciembre 2009, el que nos servirá para evaluar la cantidad de vehículos que soporta la vía. En el Cuadro N° 1.07 se muestra la ubicación estaciones de conteo continuo para los tramos considerados como homogéneos.

**CUADRO N° 1.07.
UBICACIÓN DE LAS ESTACIONES DE CONTROL**

CÓDIGO	TRAMO	NOMBRE	TAREA
E.2	Lunahuaná – Pacarán	Pacarán	Conteo Continuo
E.4	Zúñiga – Catahuasi	San Juan	Conteo Continuo
E.5	Catahuasi – Capillucas	Chichicay	Conteo Continuo
E.6	Capillucas - Dv. Yauyos	Yauyos	Conteo Continuo
E.8	Huarisca-Colpa	Ronchas	Conteo Continuo
E.9	Huarisca – Chupaca	Huarisca	Conteo Continuo

(Fuente: Estudio de Tráfico UNI, diciembre 2009)

En el cuadro N° 1.08 muestra el resumen del IMDA 2009 por estaciones de control realizado entre el 13 y 19 de diciembre de 2009.

**CUADRO N° 1.08.
RESUMEN DE IMDA 2009 – POR ESTACIONES DE CONTROL**

ESTACIÓN	E2	E4	E5	E6	E8	E9
Auto+SW+Camioneta	212	159	94	47	432	638
Camioneta rural+Micro	143	97	41	16	73	75
Omnibús	16	11	10	10	8	13
Camión unitario (2,3,4 ejes)	77	53	40	23	76	66
Camión acoplado	5	5	0	0	27	31
IMD (vehículos/día) 2009	453	325	185	96	616	823
Diciembre						

(Fuente: Estudio de Tráfico UNI, diciembre 2009)

La estación E6, cuantifica el tráfico del tramo Capillucas (96+445) hasta Dv. Yauyos (128+805) con un IMDA de 96 vehículos por día.

1.6 TRAMO EN ESTUDIO Km. 110+000 – Km. 112+000

El tramo en estudio se encuentra entre el poblado de Calachota a una altura de 1740 m.s.n.m. en la progresiva Km. 106+845 y el Puente Auco a 2051 m.s.n.m. Km. 114+605, en la región Yunga.

Se destaca por estar ubicado en la margen derecha del río Cañete con ancho de vía que van desde 2.80 a 7.50 metros, con tratamiento superficial monocapa.

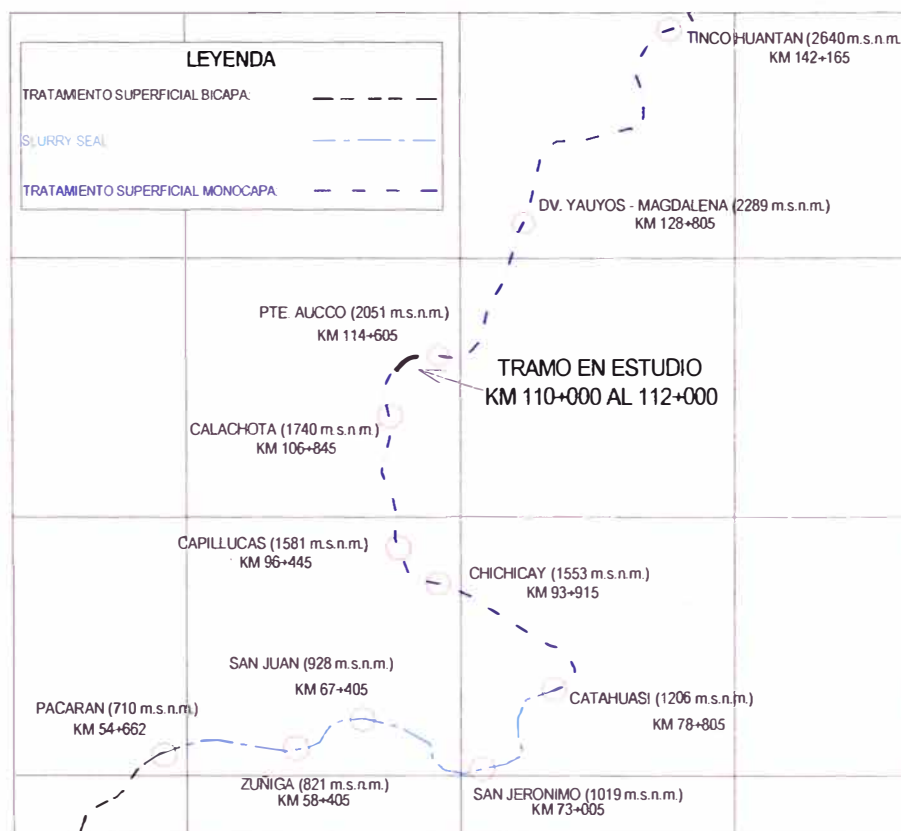


FIGURA Nº 1.03. TRAMO EN ESTUDIO KM. 110+000 AL KM. 112+000

(Fuente: Plan General de Conservación Vial de la Carretera Cañete – Lunahuaná - Pacarán – Dv Yauyos - Ronchas – Chupaca, elaborado por CGC)

La precipitación promedio anual es de 100-150 mm, con una temperatura que varía desde 20 a 27°C.

Este tramo se encuentra geológicamente conformado por material aluvional, terrazas de depósitos fluviales y cortes en rocas macizas, completamente desprovistas de condiciones naturales para la agricultura, por la falta de agua.

En los estratos se encuentran gravas y arenas de matriz limo – arcillosas. Estos materiales clasifican en el sistema SUCS como GC-GM y SC-SM, y en el AASHTO como A-1-b (0). Las bolonerías se encuentran en todo el estrato, pero a partir de 0.40 metros se encuentra mayor concentración de estos, entre 40% y 50%. Por debajo de esta capa se encuentra roca de 1.50 metros.

**CUADRO N° 1.09.
 CAPACIDAD DE SOPORTE DE SUELOS DEL KM. 100+600 - KM 121+600**

IDENTIFICACIÓN	PROFUNDIDAD (metros)	TIPO DE SUELO		CBR (%) a 2.5 mm 95% MDS
		SUCS	AASHTO	
Km. 100+600	0.0-1.5	SC-SM	A-1-b(0)	21
Km. 104+600	0.0-1.5	SC-SM	A-1-b(0)	20
Km. 107+600	0.0-1.5	GC-GM	A-1-b(0)	23
Km. 111+600	0.0-1.5	GC-GM	A-1-b(0)	21
Km. 115+600	0.0-1.5	SC-SM	A-1-b(0)	19
Km. 119+600	0.0-1.5	GC-GM	A-1-a(0)	20
Km. 121+600	0.0-1.0	SC-SM	A-1-b(0)	19

(Fuente: Plan General de Conservación Vial de la Carretera Cañete – Lunahuaná - Pacarán – Dv Yauyos - Ronchas – Chupaca, elaborado por CGC)

La estructura del pavimento fue determinada luego de las pruebas efectuadas en el tramo Zúñiga – Dv. Yauyos (Km. 57+000 – Km. 130+000), en la que se recomendó la estructura de pavimento siguiente:

Sector I: Zúñiga – Dv. Yauyos

Tramo: Km. 57+450 – Km. 130+000

Superficie de rodadura de 0.9 centímetros de cubierta monocapa asfáltica

Afirmado estabilizado: 5 centímetros

Afirmado: 8 centímetros

CAPITULO II: ESTADO DEL ARTE

2.1 COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE PAVIMENTOS

La capacidad estructural de pavimentos en servicio, puede medirse utilizando ensayos no destructivos (END), ó ensayos destructivos (ED), ó por ambos. Los ED implican la extracción de muestras ó probetas que son ensayadas en el laboratorio para determinar las propiedades de las capas. La resistencia de los materiales y los tipos de defectos presentes en cada capa se utilizan para determinar la capacidad de carga, las capas dañadas y la causa de la falla estructural. Esta información se puede utilizar en los procedimientos de diseño y análisis para determinar si el pavimento tiene la capacidad estructural necesaria para el tráfico presente y el proyectado.

Los END pueden utilizarse para evaluar la capacidad estructural del pavimento. Los END miden la respuesta general del pavimento a una carga sin disturbar o destruir los componentes del pavimento. Los mismos tienen muchas ventajas con respecto a los ED en las que podemos mencionar: no daña el pavimento, se minimizan los ensayos de laboratorio, es rápido y económico.

Cuando se aplica una carga en la superficie del pavimento se inducen esfuerzos en las capas inferiores causando tensiones en todas las capas. La suma de todas las deformaciones verticales en la estructura del pavimento y en el terreno de fundación representa la deflexión del pavimento y dicho valor se considera un excelente indicador de la resistencia del pavimento. En otras palabras cuando la deflexión excede un valor límite, el pavimento seguramente mostrará algún tipo de debilidad estructural, por lo que un pavimento débil tendrá deflexión mucho más grande que un pavimento mas fuerte cuando se aplica la misma carga.

Los equipos de END para evaluar las propiedades in-situ del pavimento, más comúnmente usados en U.S.A. son:

- Viga Benkelman,
- Dinaflect,
- Road Rater, y

Deflectómetro de Impacto (Falling Weight Deflectometer FWD)

Todos estos equipos miden la respuesta del pavimento frente a una carga externa, y dicha respuesta por lo general es en términos de deflexiones de la superficie en uno ó más puntos del pavimento.

En el Perú el MTC por cuestiones prácticas y económicas exige el uso de la Viga Benkelman para la medición de deflexiones en los términos de referencia de las carreteras a mantenerse ó rehabilitarse.

2.2 METODOLOGÍAS EXISTENTES RACIONALES Y EMPIRICAS

Para determinar la capacidad estructural del pavimento y estimar el espesor del refuerzo requerido se pueden emplear metodologías empíricas y racionales.

Metodología racional del Instituto del Asfalto.

Metodología de base racional Modelo Elástico ó Modelo de Hogg

Metodología empírica establecida por El Consorcio de Rehabilitación Vial CONREVIAL.

2.2.1 METODOLOGÍA DEL INSTITUTO DEL ASFALTO

La metodología racional del Instituto del Asfalto, no solo emplea el valor máximo de la deflexión, sino que también analizan el tipo de curvatura que adopta la superficie cargada en los ensayos. El espesor del pavimento se determina en función de la resistencia relativa de las capas componentes de la estructura del pavimento y de la proyección del tráfico.

Los espesores de refuerzo se calculan en función de la deflexión característica (D_c) y del número de repeticiones de ejes equivalentes de 8.2 toneladas, acumulados en el periodo de diseño. Esta metodología se describe en el manual Asphalt Overlays For Highway and Street Rehabilitation, Manual Series MS17.

Estos conceptos son empleados en el software HWY del Instituto del Asfalto para calcular los espesores de refuerzo siguiendo los procedimientos del MS17.

2.2.2 METODO ELÁSTICO Ó MODELO MATEMÁTICO

En el año de 1944 A.H.A. Hogg presentó la solución matemática del modelo que lleva su nombre. Este modelo representa al pavimento como una placa delgada con cierta rigidez a la flexión y horizontalmente infinita, sustentada por una capa elástica homogénea e isotrópica, de espesor infinito o limitado por una base rígida, horizontal y perfectamente rugosa.

En este método, la evaluación del terreno de fundación y la estructura del pavimento existente consiste en la determinación analítica del C.B.R. del terreno de fundación y de los parámetros estructurales que caracterizan la estructura del pavimento.

El sistema pavimento – subrasante existente es idealizado por un modelo elástico de dos capas (Modelo de Hogg) y las deflexiones son medidas con la viga Benkelman. Los parámetros estructurales del sistema son calculados determinando los módulos de elasticidad del pavimento y del terreno de fundación, el número estructural del pavimento existente y el número estructural requerido. Para determinar los espesores de las capas que componen la estructura del pavimento se suelen emplear los coeficientes del método AASHTO.

2.2.3 METODOLOGÍA EMPÍRICA CONREVIAL

Se basa 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 comparativa en una gran variedad de estructuras.

Deflexiones

La deflexión es una medida elástica, pero intervienen esfuerzos plásticos. Los primeros desaparecen en cuanto se renuevan las cargas y los segundos son

permanentes y su acumulación a través de las reiteraciones de las cargas produce distorsiones de ahuellamiento en la superficie del pavimento. Por este motivo se distinguen tres tipos de deflexiones:

- Deflexión Total (D_T) : Es la deformación vertical puntual de una superficie bajo acción de una carga.
- Deflexión recuperable o elástica (D_r): Es la recuperación elástica de la superficie que se produce al retirar la carga.
- Deflexión permanente ó residual (D_p): es la diferencia entre la posición original de la superficie antes de aplicar la carga y después de retirarla.

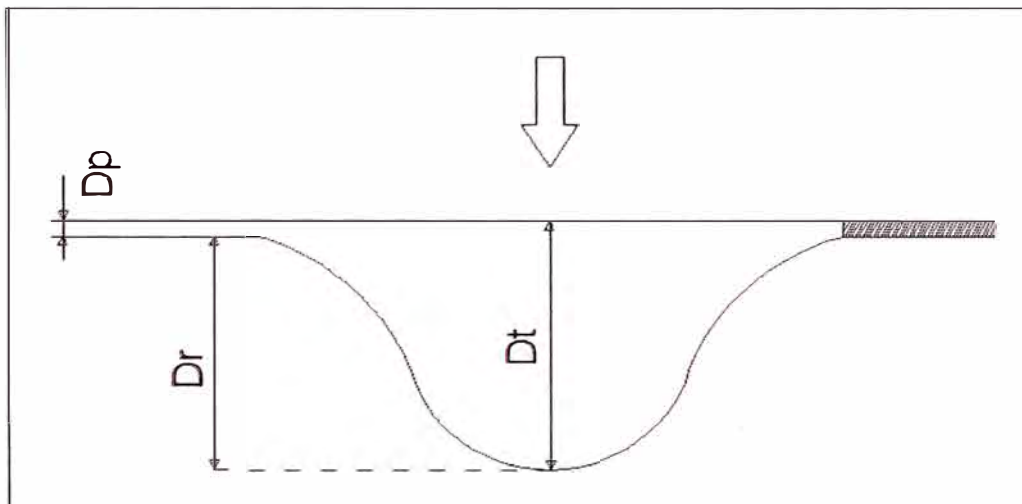


FIGURA N° 2.01 TIPOS DE DEFLEXIONES

(Fuente: Estudio CONREVIAl)

Medición de deflexiones con Viga Benkelman

El instrumento más utilizado para medir la deformación elástica de un pavimento es la Viga Benkelman desarrollado por Alvin Carlton Benkelman, que permite conocer diferentes estados y propiedades del pavimento; de gran utilidad para el diseño, construcción y conservación de su estructura.

La Viga Benkelman es un dispositivo mecánico, que mide el desplazamiento de un punto colocado entre 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.

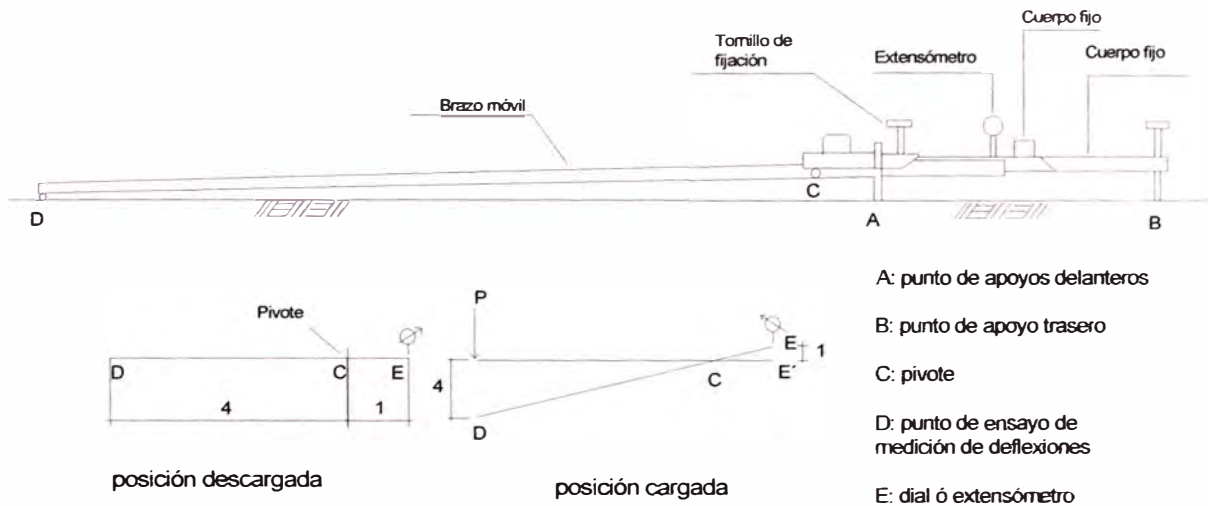


FIGURA N° 2.02 ESQUEMA Y PRINCIPIO DE OPERACIÓN DE LA VIGA BENKELMAN

(Fuente: Estudio CONREVIAL)

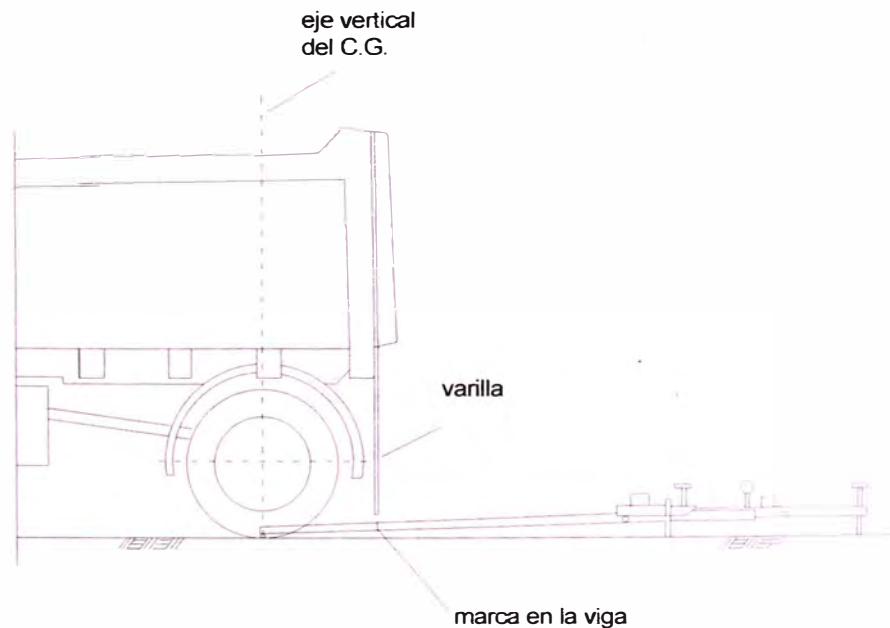


FIGURA N° 2.03 CONFIGURACION GEOMETRICA DEL SISTEMA DE CARGA DE ENSAYOS CON VIGA BENKELMAN

(Fuente: Estudio CONREVIAL)

La Viga Benkelman de acuerdo a los 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 encuentra cargado, mide la recuperación que éste experimenta al ser descargado progresivamente.

Para ello se coloca la punta del instrumento, en un punto “D” seleccionado, bajo 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 defecto del peso aplicado por las llantas experimenta una deformación elástica. En esa posición se gradúa el dial en “cero”, que sería la lectura inicial.

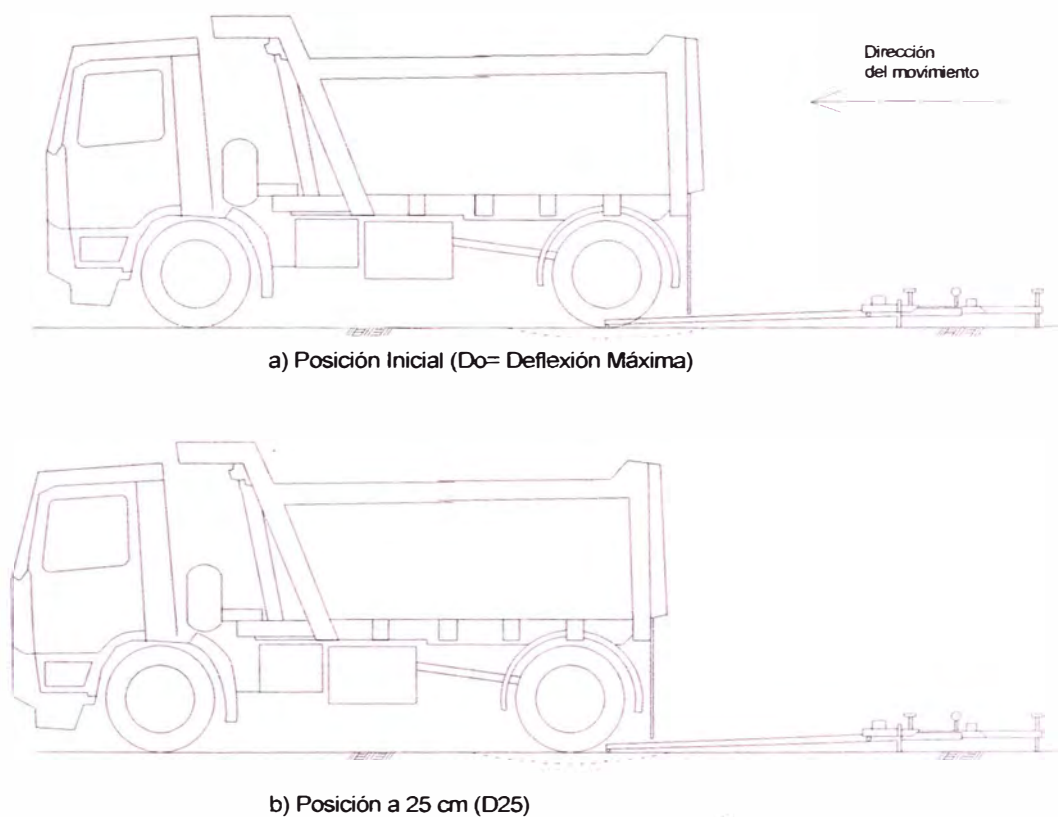


FIGURA N° 2.04. ESQUEMA DEL PROCESO DE MEDICIÓN CON VIGA BENKELMAN
(Fuente: Estudio CONREVIAL)

El camión avanza a una velocidad muy baja de (1 a 3 Km/h), como consecuencia el punto “D” 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 el punto “D” seguirá todavía parcialmente deformado; en esa posición se tomará una segunda lectura.

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

Cálculo de las deflexiones

El cálculo de las deflexiones máximas, se debe calcular la diferencia entre la lectura inicial y la lectura final. Para la deflexión a 25 cm, se debe de encontrar la diferencia entre la lectura final y la lectura a 25 cm.

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

Corrección de las Deflexiones por efecto de la Temperatura

Para un pavimento, la magnitud de las deflexiones aumenta con un incremento de la temperatura de la carpeta, atribuido a una menor rigidez de la mezcla. Para corregir la deflexión se corrigen respecto a una temperatura estándar de 20°C

Para el caso de tratamientos superficiales bituminosos dicho rango se ha ampliado hasta 38°C, y en virtud al escaso aporte estructural de los mismos, CONREVIAl considera no necesario efectuar corrección por temperatura.

A fin de referir todas las deflexiones a una temperatura estándar de 20°C, se emplea la siguiente fórmula de la División Nacional Vial Argentina:

$$D(20^{\circ} C) = \frac{D_t}{K_x (t - 20^{\circ} C) h + 1}$$

Donde:

$D_{(20^{\circ}C)}$: Deflexión recuperable a la temperatura estándar 20°C (10^{-2} mm)

K_x : 1×10^{-3} ; constante de las capas granulares (1/cm x °C)

D_t : Deflexión recuperable a la temperatura “t” (10^{-2} mm)

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

h : Espesor de la carpeta asfáltica (cm)

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 su situación más crítica. De no ser así, se debe efectuar la corrección de las medidas a fin de tomar en cuenta dicho aspecto. Los valores de deflexión deben afectarse por los siguientes valores:

**CUADRO Nº 2.01.
 FACTORES DE CORRECCIÓN POR ESTACIONALIDAD**

NATURALEZA DE SUELO DE SUBRASANTE	ESTACION LLUVIOSA	ESTACION SECA
Suelos arenosos y permeables	1.0	1.1 a 1.3
Suelos arcillosos e impermeables	1.0	1.2 a 1.4

(Fuente: Estudio CONREVIAL)

ANALISIS DE LA CAPACIDAD ESTRUCTURAL

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 flexionarse bajo 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 la carga, se aproxima a una parábola hasta una distancia superior a 25 cm, sufriendo luego una inflexión para atender 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, es decir

exactamente bajo el centro del eje de la rueda cargada. El radio de curvatura según la metodología francesa se expresa mediante la siguiente fórmula:

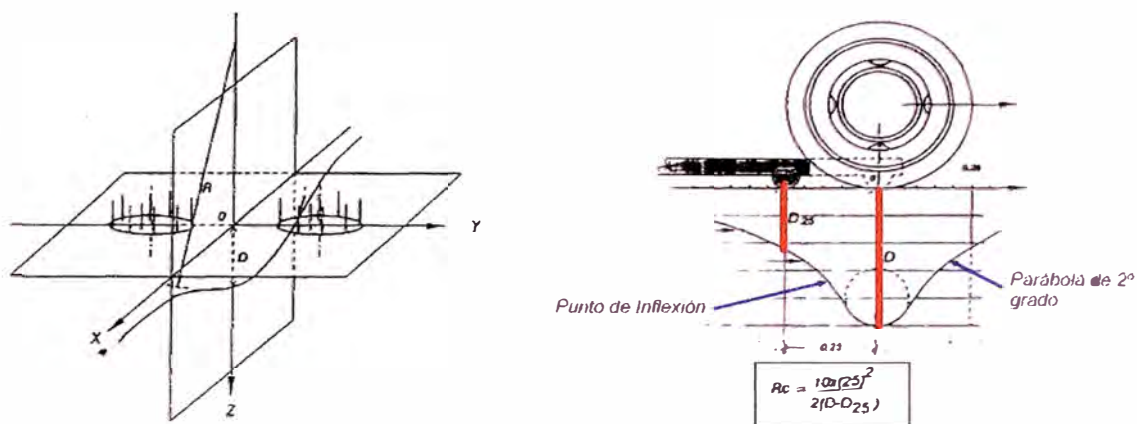


FIGURA N° 2.05. DEFORMADA DEL PAVIMENTO Y RADIO DE CURVATURA

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

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

Donde:

Rc : Radio de Curvatura (m)

D0 : Deflexión máxima corregida por temperatura (10-2 mm)

D25 : Deflexión a 25 cm corregida por temperatura (10-2 mm)

10 : Coeficiente por cambio de unidades

Deflexión Característica

La deflexión característica, es un parámetro estadístico, empleado para la caracterización representativa de los pavimentos. Para su determinación, es necesario contar con una base de datos de deflexiones recuperables máximas (D_0), del tramo que se quiere evaluar, y establecer los parámetros estadísticos de dichos datos.

Los estudios de deflexiones recuperables han demostrado que las deflexiones medidas en una sección del 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 promedio (D_{prom}), el desvío cuadrático medio o desviación estándar (σ) y el coeficiente de variación CV, usando las siguientes expresiones; donde n es el número de determinaciones:

$$D_{prom} = \frac{\sum_{i=1}^n D_i}{n}$$

Dado que la desviación estándar aumenta con un incremento de las deflexiones, y mayores deflexiones están asociadas a pavimentos mas débiles en general son mas variables, y que la deflexión de diseño, cuando se utiliza en algún método para el cálculo de refuerzo, debe basarse tanta 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 establece como deflexión característica a:

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

Donde:

D_c : Deflexión característica

D_{prom} : Deflexión promedio de los valores individuales D_0 corregidos

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

σ : Desviación estándar

Considerando que cada deflexión media representa una cierta extensión ó área de pavimento, cada valor "t" corresponderá a un porcentaje del área total con probabilidad de presentar deflexiones superiores a las características correspondientes.

CUADRO N° 2.02. VALOR DE “t” Y PROBABILIDAD DE OCURENCIA

VALOR DE DISEÑO	DEFLEXION CARACTERISTICA D _c	EXTENSION DEL PAVIMENTO CON D>D _c
50	D _p	50
75	D _{prom} +0.647 σ	25
85	D _{prom} + σ	15
90	D _{prom} +1.3 σ	10
95	D _{prom} +1.645 σ	5
98	D _{prom} +2 σ	2
99	D _p +2.33 σ	1
99.9	D _p +3 σ	0.1

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

En el caso del diseño de un refuerzo, el espesor deberá ser tal que solo una pequeña área resulte infradiseñada. La elección del valor “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.

En el método CONREVIAl se adopta como deflexión característica aquella que corresponde al 95%, es decir la que es superada solo por el 5% de las determinaciones (D_p+1.645 σ), coincidente con lo sugerido por el Dr. C. Ruiz en Argentina.

Deflexión Admisible

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

$$D_a = \frac{[1.15]^{1/4}}{[N18]}$$

Donde:

D_a : Deflexión admisible (en mm)

N_{18} : Numero esperado de repeticiones de ejes equivalentes a 8.2 toneladas en el periodo de diseño (en millones).

Los valores de N_{18} resultan del estudio de tránsito, el cual integra los conteos de vehículos, el pesaje de los vehículos de mayor capacidad y hallar los factores equivalentes de carga y tasas de crecimiento anual de tránsito.

Deflectogramas

Los resultados obtenidos se vuelcan en un deflectograma donde se grafican los resultados obtenidos, 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 se destaca que el principal objetivo de la medición de deflexiones radica en poder diferenciar secciones de distinta capacidad estructural en un mismo tramo.

En base a los deflectogramas se procede a:

- Diferenciar secciones de distinta capacidad estructural y/o comportamiento considerando deflexiones, fallas observadas y estructura del pavimento.
- Eliminar valores extremos aislados
- Obtenidos los parámetros estadísticos, ubicar las perforaciones requeridas para interpretar los resultados, en zonas representativas de acuerdo al comportamiento estructural.
- Delimitar secciones en las que se requiere intensificar los estudios o realizar estudios especiales.

Evaluación de la capacidad estructural del pavimento

Los valores calculados de R_c , D_c , D_p y la D_a , se contrastan con los valores del Cuadro N° 2.03 que presenta las recomendaciones a tener en cuenta para el diseño de refuerzo.

CUADRO N° 2.03.

ANÁLISIS COMBINADO DE LOS RESULTADOS DE LA EVALUACION

DEFLECTOMETRIA	ESTADO VISUAL	ESTADO ESTRUCTURAL	RECOMENDACION
<p>La deflexión característica es superior a la admisible. Los radios de curvatura son elevados o aceptables (en relación a la estructura) $D_c > D_a$ $R_c +$</p>	No hay fallas de origen estructural	<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 ultimas obras ejecutadas, para justificar estado del pavimento.....1ER CASO</p>
	Hay fallas de origen estructural generalizadas a causas ajenas a la presencia de un espesor base de base débil		<p>Hay acuerdo entre todas las variables. a) Las deflexiones son empleadas para el cálculo de refuerzo. b) Para deflexiones muy fuertes analizar económicamente reconstrucción. Verificar refuerzo con métodos de diseño... 2° CASO</p>
<p>La deflexión característica es superior a la admisible. Los radios de curvatura son pequeños (aún para deflexiones reducidas). $D_c > D_a$ $R_c -$</p>		<p>Existe una capa débil inmediatamente debajo de las capas asfálticas (Relación entre módulos de elasticidad menor de 1). Las fallas por fatiga (agrietamiento, fisuras tipo cuero de cocodrilo) derivan de este caso.</p>	<p>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. $D_c < D_a$ $R_c -$</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 medición 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 $D_c < D_a$</p>	<p>No hay fallas de origen estructural: deformaciones permanentes de la fundación.</p>	<p>Estructura degradada no adecuada para fundación.</p>	<p>Evaluar aporte estructural de la calzada existente (reconstrucción o refuerzo). La deflexión no es representativa... 4° CASO</p>
	<p>No hay fallas de origen estructural.</p>	<p>Estructura bien diseñada.</p>	<p>Corregir fallas de origen superficial, las soluciones dependerán de los defectos observados y sus causas. Mejora superficial...5° CASO</p>

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

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 del espesor de refuerzo, en los casos 1º y 2º, se emplea la Formula de Ruiz, cuya expresión es:

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

Donde:

h: Espesor de refuerzo (cm).

D0: Deflexión característica antes del refuerzo (en 10⁻² mm)

Dh: Deflexión característica luego de refuerzo (en 10⁻² mm); (Dadm de diseño)

R: Coeficiente con dimensiones de un espesor

El coeficiente R, según el estudio CONREVIAl, menciona que, para el empleo de mezclas asfálticas de tipo superior como material de refuerzo, recomienda considerar el valor de “R” mostrado en el CUADRO N° 2.04.

CUADRO N° 2.04. VALORES RECOMENDADOS PARA R

Deflexión Característica antes del refuerzo (en 10-2 mm)	Espesor de refuerzo “h”			
	5	10	15	20
50	20	21.5	(23)	(22.5)
70	18	19.5	21	22.5
90	17	18	19.5	21
120	15	16.5	18	19.5
150	13.5	15	16.5	18
170	13	14.5	16	17.5
200	12	13.5	15	16.5

(Fuente: Estudio CONREVIAl)

El valor de “R”, expresa la capacidad del material de refuerzo para reducir la deflexión del pavimento subyacente. Depende del material de refuerzo y de la rigidez relativa entre pavimento existente – refuerzo.

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

CAPITULO III: MEDICIÓN DE DEFLEXIONES EN CAMPO

Las mediciones de la deflexión en la superficie del pavimento, se realizaron con el equipo portátil 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.

La viga Benkelman es un dispositivo mecánico, que mide el desplazamiento de un punto de contacto 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.

3.1 Relación de Equipos y Personal

Relación de Equipos

- Camión volquete de 8-12 m³, llantas 12-20 de 16 lonas en optimo estado, presión de inflado de llantas en 80 psi, eje trasero con 8.2 toneladas de peso.
- Camioneta para seguridad y traslado de viga.
- Viga Benkelman con sistema de bloqueo de brazo pivotante y sistema de vibración. Con dial indicador para toma de lecturas.
- Varilla guía para referenciar la medición en los puntos indicados.
- Termómetro electrónico digital para medición de la temperatura del asfalto.
- Herramientas para medir el espesor del asfalto (cincel y combo).
- Tablero de campo con formatos para toma de datos.
- Juego de herramientas básicas (alicate, alambre de amarre # 16, tiza, pintura en espray).
- Elementos de seguridad (protector de cabeza, conos de seguridad, chalecos naranjas, banderolas rojas).
- Tope de madera para trabar el camión en tramos con pendiente positiva.
- Regla de aluminio

Relación de Personal

- Ingeniero de campo

- Técnico de laboratorio para colocación de Viga Benkelman y ejecución de lecturas
- Técnico de laboratorio para anotación de datos de ensayos
- Auxiliar de laboratorio para medición de temperaturas
- Operador de volquete
- Ayudantes (2) con banderolas rojas para seguridad

3.2 Procedimiento de medición en campo

Preparación del Ensayo

El camión de las características solicitadas se pesó con la balanza y se verificó el peso requerido, así como la presión de inflado de las llantas a 80 psi.

Se colocó la Viga Benkelman en el punto de medida, de modo que la punta de la viga quede situada sobre dicho punto.

Se procedió a perforar el pavimento haciendo un orificio de 20 a 50 mm de profundidad con diámetro suficiente para la introducción del termómetro.

Se colocó la camioneta en la parte posterior de la Viga Benkelman, los ayudantes con banderolas se ubicaron en la parte posterior de la camioneta y otro en la parte delantera del volquete a una distancia de 30 metros que advierte sobre vehículos detenidos en la vía.

Procedimientos Operativos

Una vez elegida la ubicación del punto a ensayar y realizados los procesos preparatorios indicados, se sitúa el vehículo con el centro de las ruedas sobre el punto a ensayar de manera que el vehículo quede en la dirección elegida a ensayar.

Se coloca la Viga Benkelman en el punto de medida, según lo indicado en la Figura N° 3.01.

**FIGURA N° 3.01. COLOCACIÓN
DE LA VIGA BENKELMAN**



**FIGURA N° 3.02. TOMA DE MUESTRA
DE CARPETA ASFALTICA**



**FIGURA N° 3.03. MEDICIÓN
DEL ESPESOR DE LA CARPETA
ASFALTICA**



**FIGURA N° 3.04. MEDICION DEL
AHUELLAMIENTO**



La aguja del extensómetro se ubica en cero y se anota la lectura inicial, la lectura del extensómetro no debe variar más de 0.01 mm/minuta.

El operador deberá avisar al conductor para que este desplace el camión lentamente, con velocidad inferior a 3 km/h, hacia adelante, de forma continua hasta que el eje de las ruedas (ó centro de carga) se encuentre a 0.25 cm del punto de medida.

El volquete continúa su recorrido sin detenerse a velocidad constante y cuando el centro de carga se encuentre a 50 cm del punto de medida se vuelve a anotar la lectura del extensómetro. De la misma forma para 75 cm de después de haberse desplazado.

Se avisa al operador del volquete para que desplace el vehículo hasta que el centro de carga se aleje más de 20 metros del punto de medida.

Se anota la lectura final L_f , después de parado el camión, cuando la variación de la lectura del comparador sea inferior a 0.01 mm

Se anota la temperatura del pavimento

Se realiza la medición del ancho de la vía

Se realiza la medición del espesor de la capa superficial Figura 3.03.

Se mide el ahuellamiento Figura 3.04, cuando el volquete está cargado usando la regla de aluminio de forma transversal a la vía y con el flexómetro, se vuelve a medir y anotar el ahuellamiento cuando el volquete se ha retirado y la el pavimento está liberado.

3.3 Toma de datos

Como resultado de los procedimientos de medición en campo, se miden las deflexiones, temperatura, ahuellamiento, ancho de vía, temperatura, espesor de la capa de rodadura desde el Km. 110+000 al Km. 112+000, con progresivas a cada 200 metros en el carril izquierdo y derecho de la vía. La toma de datos se ha realizado en el formato mostrado en la figura N° 3.05.

SECTOR : SUPERFICIE :
 TRAMO : CARGA EJE :
 CARRIL : PRESIÓN :
 FECHA : R. DE BRAZOS :
 RESPONSABLE : OPERADOR :

Progr. (km)	Lecturas de Campo Brazo Largo				L.C.B. Corto Lmáx	Espesor Carpeta (mm)	Ahuellamiento		Temp °C	Ancho vía (m)	Carril
	(10 ⁻² mm)						c/carga s/carga (mm)				
	L25	L50	L70	Lmáx							

FIGURA N° 3.05. FORMATO DE TOMA DE DATOS

Los datos tomados en campo se muestran en el ANEXO 01.

CAPITULO IV: EVALUACION DEL TRAMO Km. 110+000 AL Km. 112+000

4.1 PROCESAMIENTO DE DATOS

4.1.1 Deflexión Característica Km. 110+000 al Km. 112+00

Se muestra el procedimiento de cálculo aplicado a los datos tomados en mayo 2010.

Para hallar la deflexión característica, primero se realiza la corrección a las deflexiones tomadas en campo, con estos resultados se calcula la deflexión característica.

Se procesa como ejemplo los datos de la progresiva Km. 110+000

-Corrección por relación de brazos

De los datos del Anexo 1, se calcula las deflexiones y se multiplica por la relación de brazos de la viga utilizada de 3.99.

$$D_0 = (18-0) \times 3.99 \times 10^{-2} \text{ mm} = 71.82 \times 10^{-2} \text{ mm}$$

$$D_{25} = (18-2) \times 3.99 \times 10^{-2} \text{ mm} = 63.84 \times 10^{-2} \text{ mm}$$

-Corrección por Temperatura

Se asume una temperatura en todo el tramo de 45° C

$$D(20^{\circ}\text{C}) = \frac{1}{10^{-3} \times (45 - 20) \times 0.8 + 1} = 0.9803$$

$$D_0 = 71.82 \times 0.9803 \times 10^{-2} \text{ mm} = 70.41$$

$$D_{25} = 63.84 \times 0.9803 \times 10^{-2} \text{ mm} = 62.59$$

-Corrección por Estacionalidad

Se realiza la medición en época de estío y de acuerdo al CUADRO N° 2.01, se toma el valor de 1.2 como factor de estacionalidad.

$$D_0 = 70.41 \times 1.2 \times 10^{-2} \text{ mm} = 84.49 \times 10^{-2} \text{ mm}$$

$$D_{25} = 62.59 \times 1.2 \times 10^{-2} \text{ mm} = 75.29 \times 10^{-2} \text{ mm}$$

-Deflexiones corregidas de la progresiva Km. 110+000 carril derecho:

Deflexión Corregida $D_0 = 84.49 \times 10^{-2}$ mm

Deflexión Corregida $D_{25} = 75.29 \times 10^{-2}$ mm

Las deflexiones corregidas del tramo Km. 110+000 al Km. 112+000, correspondientes los meses de abril y mayo 2010, se muestran en el ANEXO 2.

Luego de obtener las deflexiones corregidas, se calcula la Deflexión Característica del Carril Derecho del Tramo Km.110+000 al 112+000:

$D_{prom} = 66.17 \times 10^{-2}$ mm, $\sigma = 18.03 \times 10^{-2}$ mm, $t = 1.645$ y $C_v = 0.27$

La deflexión característica del Km. 110+000 al Km.112+000 en mayo 2010, es $D_c = 95.84 \times 10^{-2}$ mm

Realizado el procedimiento descrito, se calcula la deflexión característica del tramo Km. 110+000 al Km. 112+000 correspondiente a los datos tomados en abril 2010 realizado por la UNI, se obtiene los siguientes resultados estadísticos:

$D_{prom} = 53.14 \times 10^{-2}$ mm, $\sigma = 21.43 \times 10^{-2}$ mm, $t = 1.645$ y $C_v = 0.40$

La deflexión característica del Km. 110+000 al Km.112+000 en abril 2010, es $D_c = 88.38 \times 10^{-2}$ mm

4.1.2 Deflexión Admisible

El cálculo de la deflexión admisible se realiza mediante el estudio de tráfico y las repeticiones esperadas de ejes equivalentes para el periodo 2010 – 2014.

CUADRO N° 4.01. DEFLEXION ADMISIBLE

Año	EAL	N18 (en millones)	Deflexión Admisible
2010	51,132	0.026	258.98×10^{-2} mm
2011	103,810	0.052	216.96×10^{-2} mm
2012	158,087	0.079	195.30×10^{-2} mm
2013	214,016	0.107	181.06×10^{-2} mm
2014	271,652	0.136	170.58×10^{-2} mm

El cálculo de la deflexión admisible se encuentra detallado en el Anexo 4, los resultados obtenidos son mostrados en el Cuadro N° 4.01.

4.1.3 Radio de curvatura

El radio de curvatura promedio para los periodos calculados son los que se muestran en el Cuadro 4.02.

CUADRO N° 4.02. RADIOS DE CURVATURA PROMEDIO

Periodo	Radio de Curvatura Promedio (metros)
Mayo 2010	385.85
Abril 2010	351.14

(Fuente: Elaboración Propia)

4.1.4 Ahuellamiento

El ahuellamiento promedio para los periodos mostrados se muestra en el Cuadro 4.03.

CUADRO N° 4.03. AHUELLAMIENTO PROMEDIO

Periodo	Ahuellamiento Promedio (mm)
Mayo 2010	3.7
Abril 2010	4.8

(Fuente: Elaboración Propia)

4.2 ANALISIS DE RESULTADOS

4.2.1 DEFLEXIONES Y DEFLECTOGRAMA

Se dibujan los deflectogramas mostrados en el ANEXO 03, comprendido entre las progresivas Km. 110+000 al Km. 112+000.

Este deflectograma muestra que las deflexiones medidas en abril y mayo 2010 se comportan de manera similar, luego de la evaluación estadística de las deflexiones corregidas máximas, la deflexión característica de abril 2010

($D_c=88.38 \times 10^{-2}$ mm) comparada con la de mayo 2010 ($D_c = 96.08 \times 10^{-2}$ mm) tienen una variación del 8%, esta diferencia es a causa de que las mediciones difieren por diversas razones, tales como calibración de equipos, diferente operador de viga, volquete con diferente comportamiento, condiciones ambientales que son dependientes del mes que se realiza la medición, etc.

Con las deflexiones corregidas máxima de abril 2010, dibujado el deflectograma comprendido entre los Km. 58+405 (Zúñiga) y Km. 128+805 (Dv. Yauyos), se ha sectorizado por tratamiento superficial y tráfico vehicular, se muestra la sectorización de estos tramos en el Anexo 06.

- Sectorización por tratamiento superficial, Slurry Seal del Km. 58+405 al Km. 78+805 y Tratamiento superficial monocapa del Km. 78+805 al 128+805.
- Sectorización por IMD,
IMD= 325, desde Zúñiga (Km. 58+405) hasta Catahuasi (Km. 78+805),
IMD= 185, desde Catahuasi (Km. 78+805) hasta Capillucas (Km. 96+445)
IMD= 96 desde Capillucas (Km. 96+445) hasta Dv. Yauyos (Km. 128+805).

4.3 EVALUACION ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO

La evaluación estructural se desarrolla para las mediciones de abril y mayo 2010, en el Cuadro 4.01 referente a las deflexiones admisibles del tramo Km.110+000 al Km. 112+000 y comparando las deflexiones características de cada periodo ($D_c = 88.38 \times 10^{-2}$ mm y $D_c= 95.84 \times 10^{-2}$ mm), se determina que el pavimento tiene un comportamiento estructural adecuado por ser la deflexión característica menor a la deflexión admisible ($D_a=258.98 \times 10^{-2}$ mm).

Realizada la inspección visual del tratamiento superficial monocapa, este se muestra con fallas que no indican un debilitamiento estructural, esto se corrobora con los resultados del Cuadro N° 4.03, en donde los ahuellamientos promedios de los periodos evaluados son 3.7 y 4.8 mm.

Para el juicio de la capacidad estructural de acuerdo al Cuadro N° 2.03, analizamos:

Deflectometría; la deflexión característica es menor a la deflexión admisible

Estado Visual; No hay fallas de origen estructural

Estado Estructural; Estructura bien diseñada

Recomendación; Corregir fallas de origen superficial, las soluciones dependerán de los defectos observados y sus causas mejora superficial.

De acuerdo al análisis combinado de los resultados de la evaluación, corresponde al 5° CASO.

CONCLUSIONES

- Obtenidas las deflexiones características de los periodos Abril 2010 y Mayo 2010, estos se diferencian en 8%, se concluye que la variación del resultado obtenido con el deflectógrafo Viga Benkelman en un mismo tramo, se debe a factores humanos, ambientales y de calibración de instrumentos que condicionan los resultados.
- El terreno de fundación del tramo Km. 110+000 al Km. 112+000, al encontrarse geológicamente conformado por material aluvional, terrazas de depósitos fluviales y cortes en rocas macizas y con estratos de gravas GC-GM, se concluye que dicho terreno es la causa de que el pavimento tenga un comportamiento estructural adecuado del terreno de fundación.
- Evaluado el pavimento estructuralmente es adecuado (terreno de fundación, afirmado y afirmado estabilizado), se presentan fallas superficiales que suceden por diferentes causas tales como: deficiencias en el colocado del tratamiento superficial, drenaje obstruido, dosificaciones inadecuadas, etc.
- El ahuellamiento promedio de menor a 5 mm, es un indicador que no se tienen fallas estructurales.
- El radio de curvatura es elevado (mayor a 350 metros) y las deflexiones características menores que las deflexiones admisibles, indican que se trata de un buen terreno de fundación y un pavimento con un comportamiento estructural adecuado a las exigencias de tráfico y condiciones ambientales.
- Entre las causas de un buen comportamiento estructural del pavimento del tramo Km. 110+000 al Km. 112+000, es debido a que en el tramo Capillucas – Dv Yauyos se tiene un IMD = 96 vehículos/día, menor a los tramos Zúniga – Catahuasi y Catahuasi – Capillucas con IMD = 150 e IMD=150 vehículos/día respectivamente, en consecuencia un menor número esperado de repeticiones de ejes equivalentes en el periodo de diseño.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda la intervención oportuna del Contratista Conservador mediante los mantenimientos rutinarios, incrementando su efectividad y frecuencia en la atención de las fallas de origen superficial, las soluciones dependerán de los defectos observados y sus causas. Con estas acciones se espera que el afirmado conserve su porcentaje de humedad y no falle estructuralmente debido a infiltraciones de agua, teniendo la capa bituminosa en buen estado.
- La actual cuneta por ser de tierra tiende a erosionarse y colmatarse con facilidad. Se recomienda realizar los estudios hidrológicos e hidráulicos con el fin de determinar la construcción de la cuneta de concreto ó de mampostería.
- Un ahuellamiento excesivo es producido por una deformación plástica o por deficiente compactación durante la construcción. Se recomienda realizar en la construcción de carreteras un control de compactación para el terreno de fundación, afirmado, afirmado estabilizado, de no ser así se producirán deformaciones permanentes en cualquiera de las capas del Opavimento a causa de la consolidación o movimiento lateral de los materiales.
- Se recomienda que en la etapa de construcción se apliquen controles de deflexiones con Viga Benkelman a las diferentes capas del pavimento, con estos resultados se podrá identificar las zonas donde se deberán hacer mayores estudios y corregir la deficiencias que se origina en la etapa de construcción.
- Realizar los estudios para la construcción de las defensas ribereñas en las progresivas Km. 111+000 al Km. 111+200, con el fin de disminuir la influencia del río en el terreno de fundación.
- Se recomienda realizar la deflectometría dos veces por año, una en época de estío y la otra en lluvias, con estos datos realizar las comparaciones de deflexiones características en condiciones ambientales distintas.

BIBLIOGRAFIA

- Chang Albitres, Carlos M., Pavimentos Un Enfoque al Futuro, Fondo Editorial del Instituto de la Construcción y Gerencia, Perú, 2007.
- Consorcio Gestión de Carreteras, Plan de Conservación Vial de la Carretera Cañete – Lunahuaná – Pacarán – Zúñiga – Dv. Yauyos – Roncha – Chupaca, Perú, Junio 2008.
- Consorcio Gestión de Carreteras, Estudios Técnicos para el Cambio de Estándar de Afirmado a Solución Básica de la Carretera Cañete – Lunahuaná – Pacarán – Zúñiga – Dv. Yauyos – Roncha – Chupaca, Perú, Septiembre 2008.
- Consorcio de Rehabilitación Vial CONREVIAL, Estudio de Rehabilitación de Carreteras en el País, Aspectos de Evaluación de Pavimentos, Perú, 1982.
- Dirección General de Caminos y Ferrocarriles - Ministerio de Transportes y Comunicaciones, Manual para el Diseño de Caminos Pavimentados de Bajo Volumen de Tránsito, Perú, Marzo 2008.
- Gerencia de Estudios - Provias Nacional, Estudio de Pre Inversión a Nivel de Factibilidad del Proyecto Mantenimiento y Rehabilitación de la Carretera Cañete – Huancayo, Ruta 22. Tramo: Lunahuaná – Dv. Yauyos – Chupaca, Perú, Agosto 2005.
- HOFFMAN, MARIO S., Ph. D., Louis Berger International Inc. DEL AGUILA, PABLO M., B.Sc., LAGESA Ingenieros Consultores Estudio de Evaluación Estructural de Pavimentos Basados en la Interpretación de curvas de Deflexiones (Ensayos no Destructivos), Perú, Octubre 1985.
- Melchor Areche, José Ygnacio, Evaluación Integral del Pavimento, Experiencia Profesional, Perú, 1999.
- www.camineros.com
- www.carreteros.org
- www.proviasnac.gob.pe

ANEXOS

ANEXO 01	
MEDICION DE DEFLEXIONES EN CAMPO CON VIGA BENKELMAN	53
ANEXO 02	
COSTO DE LA MEDICION DE DEFLEXIONES CON VIGA BENKELMAN	54
ANEXO 03	
DEFLEXIONES CORREGIDAS Y RADIO DE CURVATURA	56
ANEXO 04	
DEFLECTOGRAMA CARRIL DERECHO KM. 110+000 AL KM 112+000	57
ANEXO 05	
DEFLEXION ADMISIBLE KM. 110+000 AL KM. 112+000	58
ANEXO 06	
DEFLECTOGRAMA SECTORIZADO KM. 58+405 Km. 128+805	61

ANEXO 01

MEDICION DE DEFLEXIONES EN CAMPO CON VIGA BENKELMAN

ABRIL 2010

SECTOR CARRETERA CAÑETE - YAUYOS - CHUPACA
TRAMO Km. 110+000 al Km. 112+000
CARRIL DERECHO
FECHA ABRIL 2010
RESPONSABLE UNI

SUPERFICIE
CARGA EJE
PRESIÓN
R. DE BRAZOS
OPERADOR

CARP. ASF. MONOCAPA
8200 KG
80 PSI
1 A 3.99
UNI

Progresiva (km)	Lecturas de Campo Brazo Largo (10 ² mm)				L.C.B. Corto Lmáx	Espesor Carpeta (mm)	Ahuellamiento		Temp °C	Ancho vía (m)	Carril
	L25	L50	L70	Lmáx			c/carga	s/carga (mm)			
110+000	5	15	19	25	-	10	-	7	44.3	-	Der
110+100	2	8	10	13	-	10	-	3	43.8	-	Der
110+200	4	10	14	18	-	11	-	17	45.9	-	Der
110+300	2	6	9	12	-	10	-	0	47.7	-	Der
110+400	3	10	14	19	-	10	-	4	45.9	-	Der
110+500	3	6	8	14	-	10	-	10	42.7	-	Der
110+600	1	3	5	7	-	10	-	5	41.7	-	Der
110+700	3	8	10	14	-	10	-	0	42.5	-	Der
110+800	2	5	6	10	-	8	-	3	43.3	-	Der
110+900	2	3	4	6	-	7	-	3	43.9	-	Der
111+000	3	8	9	11	-	12	-	0	41.2	-	Der
111+100	3	6	7	9	-	7	-	5	38.2	-	Der
111+200	6	13	16	22	-	6	-	3	27	-	Der
111+300	1	3	4	5	-	8	-	2	27.4	-	Der
111+400	3	7	9	11	-	8	-	5	36.2	-	Der
111+510	2	7	9	11	-	6	-	9	37.6	-	Der
111+600	5	12	14	19	-	10	-	0	36.5	-	Der
111+700	4	12	14	17	-	14	-	6	37.5	-	Der
111+800	4	13	16	21	-	10	-	9	37.4	-	Der
111+900	3	7	9	12	-	8	-	7	34.8	-	Der
112+000	1	4	6	9	-	7	-	2	37.8	-	Der

MAYO 2010

SECTOR CARRETERA CAÑETE - YAUYOS - CHUPACA
TRAMO Km. 110+000 al Km. 112+000
CARRIL DERECHO
FECHA 22/05/2010
RESPONSABLE GRUPO 1

SUPERFICIE
CARGA EJE
PRESIÓN
R. DE BRAZOS
OPERADOR

CARP. ASF. MONOCAPA
8200 KG
80 PSI
1 A 3.99
GRUPO 1

Progresiva (km)	Lecturas de Campo Brazo Largo (10 ² mm)				L.C.B. Corto Lmáx	Espesor Carpeta (mm)	Ahuellamiento		Temp °C	Ancho vía (m)	Carril
	L25	L50	L70	Lmáx			c/carga	s/carga (mm)			
110+000	2	9	12	18	6	8	7	4	45	3.00	Der
110+200	3	7	10	14	8	8	13	6	45	2.95	Der
110+400	6	10	14	20	10	6	10	4	45	2.75	Der
110+600	1	2	3	13	11	12	6	5	45	4.00	Der
110+800	2	3	4	15	10	10	9	4	45	2.90	Der
111+000	1	5	7	8	4	5	3	2	45	3.50	Der
111+200	2	9	12	15	8	4	6	4	45	3.20	Der
111+400	2	4	5	8	6	7	6	4	45	3.00	Der
111+600	2	3	7	14	11	6	1	-	45	2.90	Der
111+800	4	10	13	18	7	9	6	4	45	3.75	Der
112+000	1	5	7	12	6	11	9	4	45	4.65	Der

ANEXO 02

COSTO DE LA MEDICION DE DEFLEXIONES CON VIGA BENKELMAN

El cálculo del rendimiento se basa en lo acontecido el 22 de mayo de 2010 en la etapa de toma de datos en campo.

Rendimiento:

La medición de deflexiones se realizó en 10 kilómetros de vía, del Km. 110+000 al Km. 120+000, en secciones distanciadas a cada 200 metros, se midió la deflexión de los dos carriles, empleándose en total 6 horas para los 10 kilómetros en mención. Con estos datos se obtiene un rendimiento de 13.33 km/día, considerando 8 horas de trabajo por día.

Mano de obra:

Ing. de campo (01), con un sueldo de S/. 4,000.00 por mes más beneficios (62%) y considerando 208 horas por mes, resulta un costo de S/.31.15 por hora. (i)

Operador de viga Benkelman (01), con un jornal de operario de S/.40.80 por día en régimen de construcción civil resulta un costo de S/.12.90 por hora. (ii)

Anotador, Operador de viga Benkelman (01), con un jornal de oficial de S/. 36.10 por día en régimen de construcción civil resulta un costo de S/.11.50 por hora. (ii).

Personal de seguridad con banderolas (02), técnico medidor de temperaturas (01), cuadrador de volquete (01), con jornal de peón de S/.32.20 por día en régimen de construcción civil resulta un costo de S/.10.40 por hora. (ii)

Tarifas de alquiler de equipos:

Viga Benkelman: S/. 20.00 / hora (i)

Camión volquete 6 m³, todo costo: S/. 100.00 / hora (ii)

Camioneta 4x4, 2800cc, incluye operador: S/. 25.00 / hora (ii)

Cámara fotográfica: S/. 2.00 / hora (i)

Herramientas:

Cinzel: S/ 8.00 (ii)

- Comba de 4 libras: S/. 15.00 (ii)
 Flexómetro de 5 metros: S/. 5.00 (ii)
 Regla de aluminio: S/. 80.00 (ii)
 Libreta de apuntes y lapiceros: S/. 10.00 (ii)
 Banderolas: S/.12.00 (ii)

Total gasto en herramientas de S/.130.00, por 10.00 km que se empleó en la prueba resulta un costo de S/.13.00 / km. Considerando que estas herramientas se compraron para esta única prueba.

Análisis de Precio Unitario por kilómetro:

Partida:	Medición con Viga Benkelman		P.U.	159.53 Soles/km	
Rendimiento:	13.33 km/día				
Unidad:	km				
	Und	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
MANO DE OBRA					
Ingeniero de campo	HH	1.00	0.6002	31.15	18.69
Operador viga Benkelman	HH	1.00	0.6002	12.90	7.74
Anotador de datos	HH	1.00	0.6002	11.50	6.90
Cuadrador de volquete	HH	1.00	0.6002	10.40	6.24
Personal con banderolas	HH	2.00	0.6002	10.40	12.48
Técnico medidor de temperatura	HH	1.00	0.6002	10.40	6.24
				Parcial Mano de Obra S/.	58.30
EQUIPOS Y HERRAMIENTAS					
	Und	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Viga Benkelman	HM	1.00	0.6002	20.00	12.00
Volquete 6 m3	HM	1.00	0.6002	100.00	60.02
Camioneta 4x4	HM	1.00	0.6002	25.00	15.00
Cámara fotográfica	HM	1.00	0.6002	2.00	1.20
Herramientas	GLB		1.0000	13.00	13.00
				Parcial Equipos y Herramientas S/.	101.22

El costo directo por kilómetro es de S/.159.53 nuevos soles, en la prueba realizada el día 22 de mayo de 2010 y un costo total de S/. 1,595.30 nuevos soles por los 10 kilómetros medidos.

Fuente:

- (i) Consideración propia
- (ii) Revista EL CONSTRUCTIVO

ANEXO 03

DEFLEXIONES CORREGIDAS Y RADIO DE CURVATURA

ABRIL 2010

SECTOR : CARRETERA CAÑETE - YAUYOS - CHUPACA
TRAMO : Km. 110+000 al Km. 112+000
FECHA : ABRIL 2010

CARRIL : DERECHO
SUPERFICIE : CARP. ASF. MONOCAPA
R. BRAZOS : 1 a 3.99

Est.	Progresiva (km)	Lecturas de Campo (10 ² mm)		Espesor Carpeta (mm)	Temp °C	Factor Corrección		Deflexión Corregida		Radio Curvatura metro
						Temp	Estac	Do	D25	
559	110+000	5	25	10	44.3	0.976	1.00	97.38	78.10	162.1
560	110+100	2	13	10	43.8	0.977	1.00	50.66	42.98	406.5
561	110+200	4	18	11	45.9	0.972	1.00	69.83	54.45	203.2
562	110+300	2	12	10	47.7	0.973	1.00	46.59	38.92	407.6
563	110+400	3	19	10	45.9	0.975	1.00	73.90	62.38	271.5
564	110+500	3	14	10	42.7	0.978	1.00	54.62	43.02	269.5
565	110+600	1	7	10	41.7	0.979	1.00	27.34	23.49	812.4
566	110+700	3	14	10	42.5	0.978	1.00	54.63	43.03	269.4
567	110+800	2	10	8	43.3	0.982	1.00	39.17	31.41	402.9
568	110+900	2	6	7	43.9	0.984	1.00	23.55	15.74	400.2
569	111+000	3	11	12	41.2	0.975	1.00	42.80	31.21	269.5
570	111+100	3	9	7	38.2	0.987	1.00	35.46	23.70	265.7
571	111+200	6	22	6	27	0.996	1.00	87.41	63.73	132.0
572	111+300	1	5	8	27.4	0.994	1.00	19.83	15.91	795.8
573	111+400	3	11	8	36.2	0.987	1.00	43.33	31.59	266.2
574	111+510	2	11	6	37.6	0.990	1.00	43.43	35.62	400.3
575	111+600	5	19	10	36.5	0.984	1.00	74.58	55.09	160.4
576	111+700	4	17	14	37.5	0.976	1.00	66.21	50.76	202.2
577	111+800	4	21	10	37.4	0.983	1.00	82.36	66.84	201.4
578	111+900	3	12	8	34.8	0.988	1.00	47.32	35.58	266.2
579	112+000	1	9	7	37.8	0.988	1.00	35.47	31.61	809.2

$$D_{prom} = 53.14 \times 10^{-2} \text{ mm}, \sigma = 21.43 \times 10^{-2} \text{ mm}, t = 1.645$$

$$D_c = 53.14 \times 10^{-2} + 21.43 \times 1.645 \times 10^{-2} = 88.38 \times 10^{-2} \text{ mm}$$

MAYO 2010

SECTOR : CARRETERA CAÑETE - YAUYOS - CHUPACA
TRAMO : Km. 110+000 al Km. 112+000
FECHA : 22/05/2010

CARRIL : DERECHO
SUPERFICIE : CARP. ASF. MONOCAPA
R. BRAZOS : 1 a 3.99

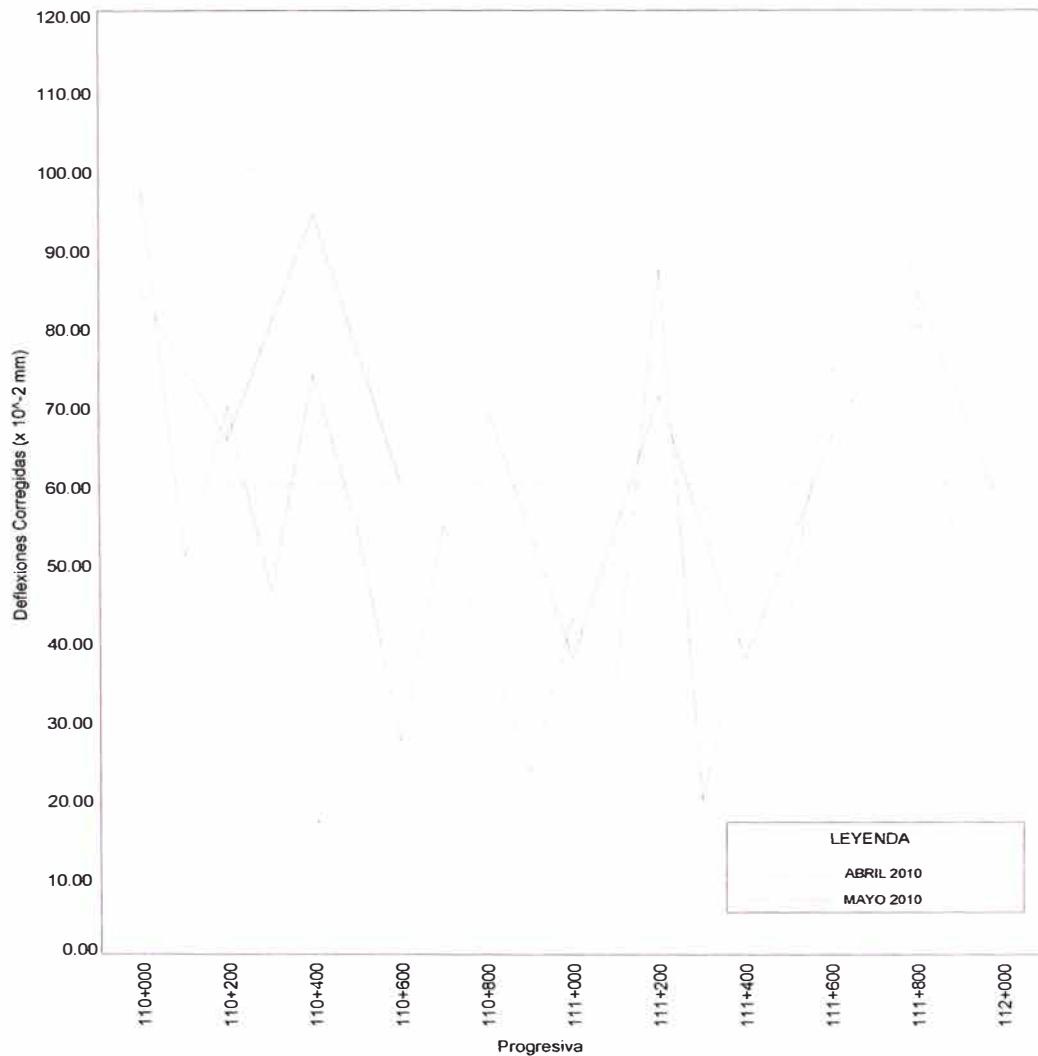
Est.	Progresiva (km)	Lecturas de Campo (10 ² mm)		Espesor Carpeta (mm)	Temp °C	Factor Corrección		Deflexión Corregida		Radio Curvatura metro
						Temp	Estac	Do	D25	
1	110+000	1	18	8	45	0.980	1.20	84.49	75.29	339.7
2	110+200	1	18	8	45	0.980	1.20	65.72	51.76	224.0
3	110+400	3	20	6	45	0.985	1.20	94.34	66.21	111.1
4	110+600	1	8	12	45	0.971	1.20	60.43	55.92	693.1
5	110+800	3	12	10	45	0.976	1.20	70.07	60.88	340.0
6	111+000	2	8	5	45	0.988	1.20	37.83	33.19	672.6
7	111+200	4	26	4	45	0.990	1.20	71.11	61.78	335.1
8	111+400	1	21	7	45	0.983	1.20	37.65	28.30	334.6
9	111+600	1	20	6	45	0.985	1.20	66.04	56.75	336.3
10	111+800	5	16	9	45	0.978	1.20	84.29	65.72	168.3
11	112+000	1	20	11	45	0.973	1.20	55.92	51.39	689.6

$$D_{prom} = 66.17 \times 10^{-2} \text{ mm}, \sigma = 18.03 \times 10^{-2} \text{ mm}, t = 1.645$$

$$D_c = 66.17 \times 10^{-2} + 18.03 \times 1.645 \times 10^{-2} = 95.84 \times 10^{-2} \text{ mm}$$

ANEXO 04

**DEFLECTOGRAMA CARRIL DERECHO
 Km. 110+000 al Km. 112+000**



RESULTADOS ABRIL 2010

$D_{prom} = 53.14 \times 10^{-2} \text{ mm}$, $\sigma = 21.43 \times 10^{-2} \text{ mm}$, $t = 1.645$
 $D_c = 53.14 \times 10^{-2} + 21.43 \times 1.645 \times 10^{-2} = 88.38 \times 10^{-2} \text{ mm}$

RESULTADOS MAYO 2010

$D_{prom} = 66.17 \times 10^{-2} \text{ mm}$, $\sigma = 18.03 \times 10^{-2} \text{ mm}$, $t = 1.645$
 $D_c = 66.17 \times 10^{-2} + 18.03 \times 1.645 \times 10^{-2} = 95.84 \times 10^{-2} \text{ mm}$

ANEXO 05

DEFLEXION ADMISIBLE Km. 110+000 AL Km. 112+000

a) ESTUDIO DE TRAFICO DICIEMBRE 2009

DICIEMBRE 2009	E6
Tipo de	MAGDALENA
Vehículo	CAPILLUCAS
Auto	18
Station Wagon	0
Camioneta Pick Up	29
Camioneta Rural	16
Micro	0
Omnibus 2 Ejes	10
Omnibus +2 Ejes	0
Camión 2 Ejes	16
Camión 3 Ejes	7
Camión 4 Ejes	0
Semitrayler 2S1/2 S2	0
Semitrayler 2S3	0
Semitrayler 3S1/3S2	0
Semitrayler 3S3	0
Trayler 2T2	0
Trayler 2T3	0
Trayler 3T2	0
Trayler 3T3	0
Total	96

(Fuente: Acompañamiento y Monitoreo de los Trabajos de Servicio de Conservación Vial por Niveles de Servicio del Corredor Vial N°13: Cañete –Lunahuaná – Pacarán – Chupaca (Rehabilitación del Tramo Zúñiga – Dv. Yauyos – Roncha), Diciembre 2009)

Demanda Proyectada:

Crecimiento poblacional de 1.6% aplicado a vehículos de pasajeros

Producto Bruto Interno PBI de 3.7% aplicado a vehículos de carga

Fuente: INEI

b) FACTORES DE CARGA

EJES EQUIVALENTES

Tipo de eje	Eje equivalente
Eje simple de ruedas simples	$EE_{s1} = [P/6.6]^4$
Eje simple de ruedas dobles	$EE_{s2} = [P/8.2]^4$
Eje tándem de ruedas dobles	$EE_{TA} = [P/15.1]^4$
Ejes tridem de ruedas dobles	$EE_{TR} = [P/22.9]^4$
P = Peso real por eje en toneladas	

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

DETERMINACIÓN DE FACTORES DE EQUIVALENCIA DE CARGA

Tipo de Vehículo	Descripción	Eje Delantero	1er Eje	2do Eje	3er Eje	EE _{8.2T}
Omnibus 2E	Carga (tonelada)	7	11			18
	FEC	1.265	3.238			4.504
Omnibus 3E	Carga (tonelada)	7	18			25
	FEC	1.265	2.019			3.285
Camión 2E-L	Carga (tonelada)	7	7			14
	FEC	1.265	1.265			2.531
Camión 2E-P	Carga (tonelada)	7	11			18
	FEC	1.265	3.238			4.504
Camión 3E	Carga (tonelada)	7	18			25
	FEC	1.265	2.019			3.285
Camión 4E	Carga (tonelada)	7	23			30
	FEC	1.265	1.018			2.283
Semitrayler 2S2	Carga (tonelada)	7	11	18		36
	FEC	1.265	3.238	2.019		6.523
Semitrayler 2S3	Carga (tonelada)	7	11	25		43
	FEC	1.265	3.238	1.420		5.924
Semitrayler 3S1	Carga (tonelada)	7	18	11		36
	FEC	1.265	2.019	3.238		6.523
Semitrayler >=3	Carga (tonelada)	7	18	25		50
	FEC	1.265	2.019	1.420		4.705
Trayler C2R2	Carga (tonelada)	7	11	11	11	40
	FEC	1.265	3.238	3.238	3.238	10.980

$$N_{18} = FD \times FC \times EAL_{8.2t}$$

$$EAL_{8.2t} = 365 \times \sum [IMD_v \times FEC_v \times ((1+t)^n - 1)/t]$$

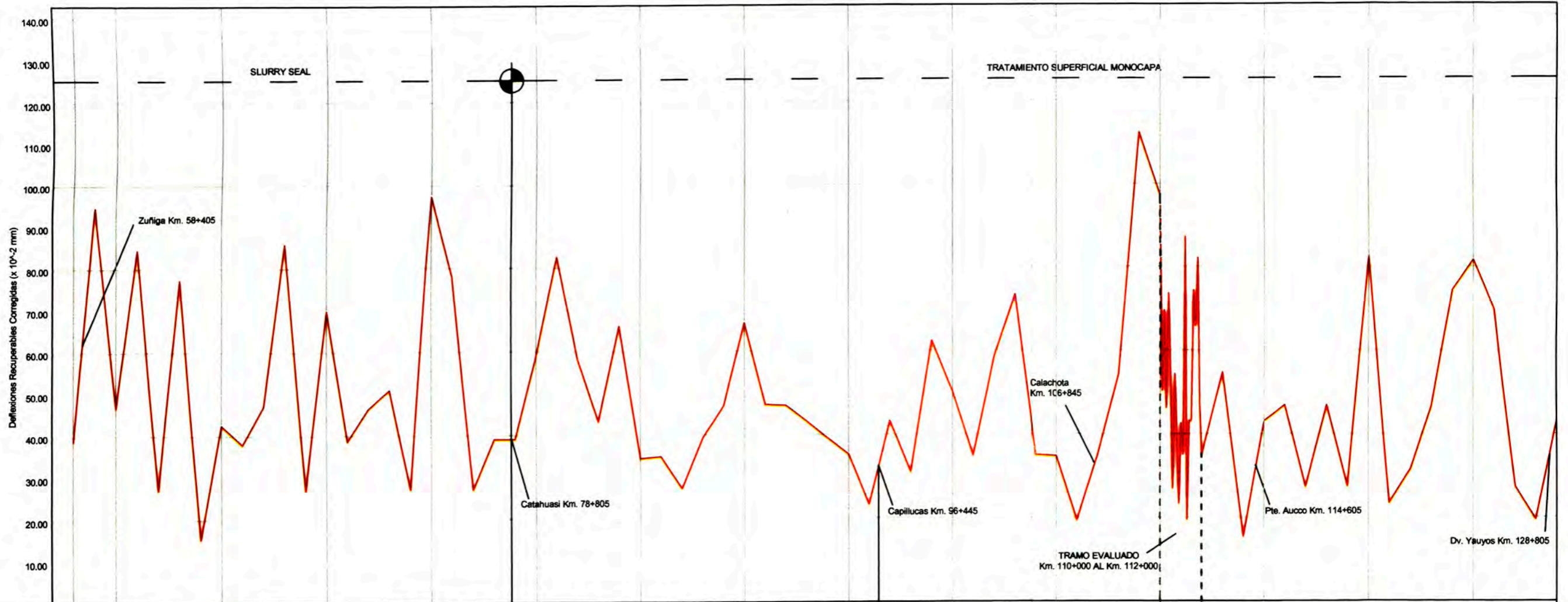
Donde:

- N₁₈:** Número de repeticiones de ejes equivalentes de 8.2 toneladas en el periodo de diseño
- FD:** Factor direccional=0.5 recomendable, corresponde a caminos de dos direcciones por calzada
- FC:** Factor carril = 1.0, corresponde a un carril por dirección ó sentido
- EAL_{8.2t}:** Número de ejes equivalentes a 8.2t en el periodo de diseño
- 365:** Número de días del año
- IMD_v:** Índice Medio Diario de cada tipo de vehículo correspondiente al año base
- FEC_v:** Factor de equivalencia de carga
- t:** Tasa de proyección del tráfico
- n:** periodo de diseño

EJES EQUIVALENTES, NÚMERO DE REPETICION DE EJES EQUIVALENTES Y DEFLEXIONES ADMISIBLES

Tipo de Vehículo	FEC	IMD 2009	t %	EAL 2010	EAL 2011	EAL 2012	EAL 2013	EAL 2014
Micro	4.504	0	1.6%	0	0	0	0	0
Omnibus 2E	4.504	10	1.6%	16,438	33,140	50,108	67,348	84,864
Omnibus 3E	3.285	0	1.6%	0	0	0	0	0
Camión 2 ejes	4.504	16	4.2%	26,301	53,707	82,264	112,021	143,027
Camión 3 ejes	3.285	7	4.2%	8,392	17,137	26,249	35,743	45,636
Camión 4 ejes	2.283	0	4.2%	0	0	0	0	0
Semitraylers	6.523	0	4.2%	0	0	0	0	0
Traylers	10.980	0	4.2%	0	0	0	0	0
EAL _{8.2t}				51,132	103,984	158,621	215,112	273,528
N ₁₈ (en millones)				0.026	0.052	0.079	0.108	0.137
Da (x 10 ⁻² mm)				258.98	216.87	195.14	180.83	170.29

ANEXO 06 DEFLECTOGRAMA SECTORIZADO CARRETERA CAÑETE - HUANCAYO Km. 58+405 Al Km. 128+805



KILOMETRAJE	58+000	59+000	60+000	61+000	62+000	63+000	64+000	65+000	66+000	67+000	68+000	69+000	70+000	71+000	72+000	73+000	74+000	75+000	76+000	77+000	78+000	79+000	80+000	81+000	82+000	83+000	84+000	85+000	86+000	87+000	88+000	89+000	90+000	91+000	92+000	93+000	94+000	95+000	96+000	97+000	98+000	99+000	100+000	101+000	102+000	103+000	104+000	105+000	106+000	107+000	108+000	109+000	110+000	111+000	112+000	113+000	114+000	115+000	116+000	117+000	118+000	119+000	120+000	121+000	122+000	123+000	124+000	125+000	126+000	127+000	128+000	128+805
SECTORIZACION POR IMD DICIEMBRE 2009	IMD = 325																						IMD = 185														IMD = 96																																			
SECTORIZACION POR TRATAMIENTO SUPERFICIAL	SLURRY SEAL																						SLURRY SEAL												TRATAMIENTO SUPERFICIAL MONOCAPA																																					
SECTORIZACION	SECTOR 1, DEFLEXION PROMEDIO = 50.60 X 10 ⁻² mm y Dc = 83.54 X 10 ⁻² mm																						SECTOR 2, DEFLEXION PROMEDIO = 44.41 X 10 ⁻² mm y Dc = 72.54 X 10 ⁻² mm														SECTOR 3, DEFLEXION PROMEDIO = 48.36 X 10 ⁻² mm y Dc = 85.41 X 10 ⁻² mm																																			