

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL



**EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL PAVIMENTO CON VIGA
BENKELMAN
MONITOREO DE CONSERVACION CARRETERA CAÑETE HUANCAYO KM.
102+000 AL KM. 104+000**

INFORME DE SUFICIENCIA

PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO CIVIL

SOTO AGUILAR ANGEL ALCIDES

Lima – Perú

AÑO 2010

INDICE

| | |
|---------------------------------------------------------------------|----|
| RESUMEN..... | 3 |
| LISTA DE CUADROS | 4 |
| LISTA DE FIGURAS | 5 |
| LISTA DE SÍMBOLOS Y DE SIGLAS | 6 |
| INTRODUCCIÓN..... | 7 |
| CAPITULO I.- GENERALIDADES | |
| 1.1 ANTECEDENTES..... | 8 |
| 1.2 UBICACIÓN DE LA CARRETERA..... | 9 |
| 1.3 CARACTERÍSTICAS DE LA CARRETERA | 10 |
| 1.4 TRAMO EN ESTUDIO KM 102+000 AL KM 104+000..... | 15 |
| CAPITULO II.- ESTADO DEL ARTE | |
| 2.1 ESTADO DEL ARTE DEL METODO | 17 |
| CAPITULO III.- MARCO TEÓRICO | |
| 3.1 EVALUACIÓN ESTRUCTURAL..... | 19 |
| 3.2 DEFLECTOMETRIA METODO EMPIRICO CONREVIAL..... | 19 |
| 3.2.1 Instrumentos y Materiales | 20 |
| 3.2.2 Medición de deflexiones con Viga Benkelman..... | 21 |
| 3.2.3 Corrección de las deflexiones por temperatura..... | 21 |
| 3.2.4 Corrección por estacionalidad..... | 22 |
| 3.2.5 Radio de curvatura..... | 22 |
| 3.2.6 Variabilidad de la capacidad estructural : deflectograma..... | 23 |
| 3.2.7 Análisis estático | 24 |
| 3.2.8 Número de repeticiones de Ejes Equivalentes | 26 |
| 3.2.9 Deflexiones admisibles..... | 28 |
| 3.2.10 Espesor de refuerzo..... | 28 |
| 3.2.11 Juicio de la capacidad estructural del pavimento..... | 28 |

| | |
|------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 3.2.11.1 Criterios adoptados | 29 |
| 3.2.11.2 Casos típicos | 29 |
| CAPITULO IV.- APLICACIÓN AL TRAMO KM 102+000 AL KM 104+000 | |
| 4.1 RECOPIACIÓN DE DATOS..... | 34 |
| 4.2 PROCESAMIENTO DE DATOS..... | 34 |
| CAPITULO V.- ANÁLISIS DE RESULTADOS | |
| 5.1 GRÁFICOS DE DEFLECTOGRAMA | 40 |
| 5.2 ALTERNATIVAS DE CONSERVACION..... | 41 |
| 5.3 DETERMINACION DEL PERIODO DE VIDA UTIL | 41 |
| 5.4 DETERMINACION DEL TRAFICO MAXIMO QUE PODRA SOPORTAR LA VIA..... | 41 |
| CONCLUSIONES..... | 43 |
| RECOMENDACIONES..... | 45 |
| BIBLIOGRAFIA..... | 46 |
| ANEXOS | 47 |
| PANEL FOTOGRAFICO | 62 |

RESUMEN

El presente Informe de Suficiencia está dirigido a evaluar el comportamiento del pavimento de la carretera Cañete – Huancayo en el tramo limitado por la progresiva km 102+000 y la km 104+000, mediante la medición de deflexiones plásticas del pavimento, empleando el deflectómetro conocido como “Viga Benkelman”.

La elección de la evaluación estructural del pavimento con Viga Benkelman, permite medir deflexiones plásticas, de una manera sencilla, práctica, económica y no destructiva, cuyos resultados serán procesados e interpretados por el método empírico del CONREVIAL (Consortio de Rehabilitación Vial), el cual permite evaluar el debilitamiento progresivo de la estructura del pavimento.

Luego de seguir con las recomendaciones del método del CONREVIAL se procede con los cálculos los cuales indican que el comportamiento del pavimento es bueno, ya que la deflexión característica ($66.79 \times 10^{-2} \text{mm}$) es menor a la deflexión admisible ($268.9 \times 10^{-2} \text{mm}$), en el carril derecho, sucede lo mismo en el carril izquierdo, así como se observará en el capítulo IV.

LISTA DE CUADROS

| | |
|---------------------------------------------------------------------------|----|
| CUADRO N° 1.01. TRAMOS Y LONGITUDES DE LA CARRETERA EN ESTUDIO..... | 11 |
| CUADRO N° 1.02. CLASIFICACIÓN DEL CLIMA DE LA CARRETERA..... | 14 |
| CUADRO N° 1.03. TRÁFICO VEHICULAR..... | 15 |
| CUADRO N° 3.01. FACTORES DE CORRECCIÓN POR ESTACIONALIDAD..... | 22 |
| CUADRO N° 3.02. VALORES DE "T" Y PROBABILIDAD DE OCURRENCIA... | 25 |
| CUADRO N° 3.03. FACTORES DE EQUIVALENCIA DE CARGA POR EJE Y VEHÍCULO..... | 26 |
| CUADRO N° 3.04. FACTORES DE EQUIVALENCIA POR CAMIÓN..... | 27 |
| CUADRO N° 3.05. FACTORES DE EQUIVALENCIA POR CAMIÓN REGIÓN..... | 27 |
| CUADRO N° 3.06. ANÁLISIS COMBINADO DE LOS RESULTADOS DE EVALUACIÓN..... | 30 |
| CUADRO N° 4.01. DATOS DE CAMPO OBTENIDOS DEL ENSAYO..... | 45 |
| CUADRO N° 4.02. DEFLEXIÓN CARACTERÍSTICA..... | 47 |
| CUADRO N° 4.03. CÁLCULO DE DEFLEXIÓN ADMISIBLE POR PERIODOS. | 48 |
| CUADRO N° 4.04. PROCESAMIENTO DE DATOS OBTENIDOS DEL ENSAYO..... | 49 |
| CUADRO N° 4.05. DEFLEXIÓN CARÁCTERÍSTICA Y RADIO DE CURVATURA..... | 49 |
| CUADRO N° 4.06. RESUMEN DEFLEXIÓN ADMISIBLE POR PERIODOS | 50 |
| CUADRO N° 5.01. RESUMEN DE RESULTADOS DEL TRAMO EN ESTUDIO..... | 52 |

LISTA DE FIGURAS

| | | |
|-----------------|-----------------------------------------------------------------------------------|----|
| FIGURA N° 1.01. | MAPA DE UBICACIÓN..... | 10 |
| FIGURA N° 1.02. | PLANO CLAVE DE LA RUTA 22..... | 12 |
| FIGURA N° 1.03. | PERFIL ESTRATIGRÁFICO DEL TRAMO EN ESTUDIO..... | 16 |
| FIGURA N° 1.04. | SECCIÓN TÍPICA DEL TRAMO EN ESTUDIO..... | 16 |
| FIGURA N° 2.01. | PRUEBAS CON VIGA BENKELMAN (1952)..... | 18 |
| FIGURA N° 3.01. | DEFORMACIONES PRODUCIDAS POR CARGAS VERTICALES..... | 20 |
| FIGURA N° 3.02. | ESQUEMA DE DEFLEXIÓN Y RADIO DE CURBATURA .. | 23 |
| FIGURA N° 5.01. | DEFLEXIONES D_0 Y D_{25} | 51 |
| FIGURA N° 5.02. | DEFLEXIONES D_0 , $D_{promedio}$, $D_{caracteristico}$, $D_{admisible}$ | 51 |

LISTA DE SÍMBOLOS Y DE SIGLAS

| | |
|-----------------|-----------------------------------------------------------------------|
| CONREVI | Consortio de Rehabilitación Vial. |
| WASHO | Western Association of State Highways Officials |
| AASHTO | American Association of State Highway and Transportation Officials |
| MTC | Ministerio de Transporte y Comunicaciones. |
| FWD | Falling Weight Deflectometer. |
| CBR | California Bearing Ratio |
| M.D.S. | Máxima Densidad Seca |
| S.U.C.S. | Sistema Unificado de Clasificación de Suelos |
| Dc | Deflexión característica. |
| Da | Deflexión admisible |
| Dprom | Deflexión promedio |
| N18 | Numero de ejes equivalente a 8.2 ton. |
| IMD | Índice Medio Diario |
| FE | Factor equivalente. |

INTRODUCCIÓN

El desarrollo del Informe de Suficiencia tiene por objetivo principal, evaluar el comportamiento del pavimento de la carretera en el tramo señalado, mediante la medición de deflexiones recuperables del pavimento usando el deflectómetro conocido como Viga Benkelman.

La evaluación del comportamiento del pavimento mediante la Viga Benkelman permite medir las deformaciones plásticas que sufre un pavimento bajo la acción de una carga estática estándar. Mediante los resultados del ensayo de Viga Benkelman y usando el método empírico del CONREVIAl se podrá interpretar los resultados, siendo posible evaluar el debilitamiento progresivo de la estructura del pavimento, debido a que los pavimentos durante su periodo de servicio presentan deterioros en su estructura, por una serie de causas originadas por el hombre y la naturaleza, a pesar de estar el pavimento en constante conservación

En este informe se describe los procedimientos para evaluar el comportamiento de un pavimento, por lo que el informe se divide en cinco capítulos.

En el Capítulo I está referido a las generalidades del informe.

En el Capítulo II se hace referencia al estado del arte del método aplicado para determinar la evaluación estructural de la carretera.

En el Capítulo III se plantea los conceptos en los cuales se fundamenta el método de evaluación de CONREVIAl.

En el Capítulo IV se procesa la información obtenida de acuerdo al método aplicado.

En el Capítulo V se da una respuesta desde el punto de vista estructural del pavimento.

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

CAPITULO I.- GENERALIDADES

1.1 ANTECEDENTES

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

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

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

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

El Programa “Proyecto Perú” aspira a establecer políticas de mantenimiento para la conservación de la infraestructura vial, mediante contratos en los que las

prestaciones se controlen por niveles de servicio y por plazos iguales o superiores a tres años, que implican el concepto de “transferencia de riesgo” al Contratista.

Mediante el Contrato: N° 288-2007-MTC/20, del 27 de Diciembre del 2,007 celebrado con el PROVIAS NACIONAL, el Consorcio Gestión de Carreteras asume la responsabilidad de efectuar el servicio de Conservación del Corredor Vial Cañete – Lunahuaná – Pacarán – Dv. Yauyos – Roncha – Chupaca (271 km) y el Mejoramiento del Tramo Zúñiga – Dv. Yauyos – Roncha a nivel de solución básica.

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 estudios de informes: Inventario Vial de la situación inicial, programa de Conservación Vial de Carreteras, planteando soluciones básicas, plan de Manejo Socio ambiental.

En la etapa Operativa, se ejecutaron los trabajos de rehabilitación de acuerdo a las soluciones básicas a aplicar sobre la superficie de afirmado actual, indicado en los Términos de Referencia, con la finalidad que la estructura asegure una adecuada servicialidad.

Las alternativas de solución básica planteadas, se realizaron 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.

La UNI en Convenio con el MTC se encuentra realizando una Norma donde se estipule los parámetros mínimos para evaluación de carreteras bajo volumen de tránsito en trabajos rehabilitación y mantenimiento.

1.2 UBICACIÓN DE LA CARRETERA

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

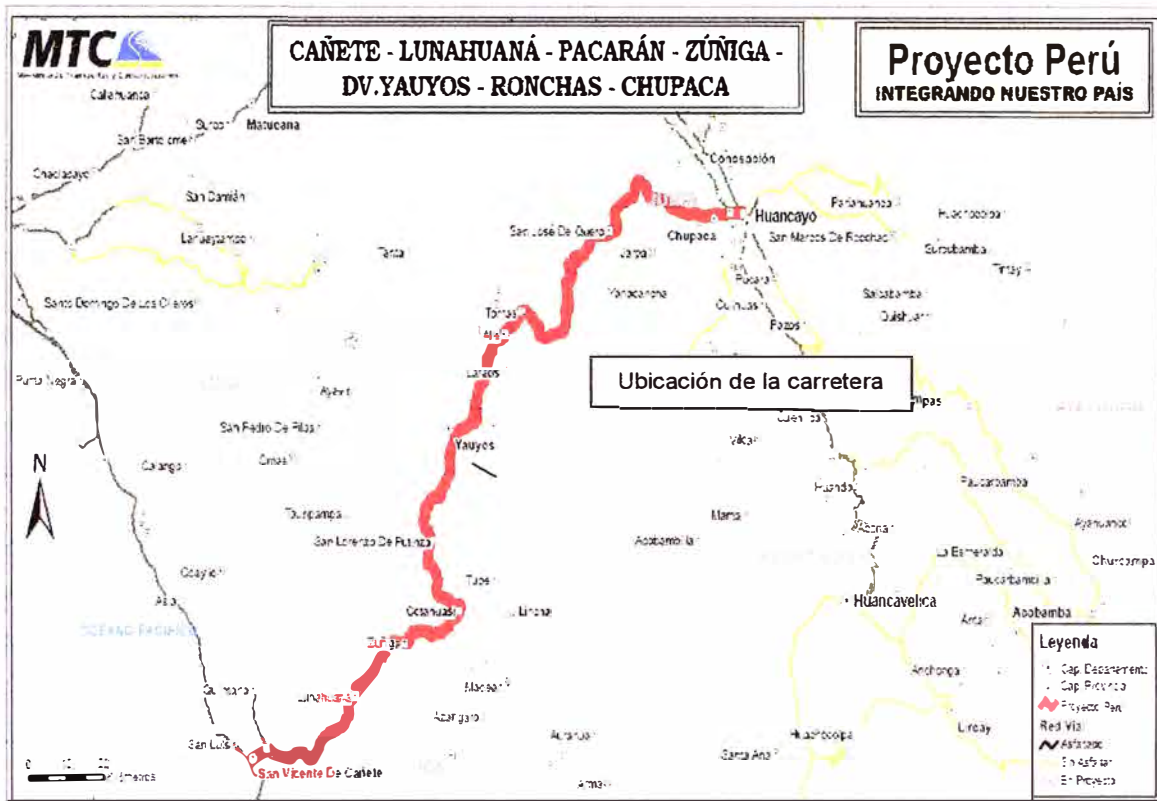


FIGURA N° 1.01. MAPA DE UBICACIÓN

(Fuente: MTC - PROVIAS Nacional – Proyecto Perú)

1.3 CARACTERÍSTICAS DE LA CARRETERA

La carretera Cañete - Huancayo es una carretera de tercer orden y pertenece al corredor vial N°13, que atraviesa diferentes poblados y regiones del Perú, siendo entre los poblados principales, los que se puede observar en la FIGURA N° 1.02. Se considera como punto de inicio de la carretera, la ciudad de Cañete y como punto de término la ciudad de Huancayo.

Esta carretera tiene una longitud de 282.73 Km desde Cañete hasta Huancayo y se encuentra dentro de la cuenca del río Cañete, en las provincias de Yauyos y Cañete, presentando una pendiente promedio de 2%, sin embargo, presenta sectores en donde la pendiente es más pronunciada llegando hasta 8%, especialmente en la zona alta.

La carretera se encuentra dividida en seis tramos, estos se encuentran con tratamiento superficial, esta tramificación se describe en el siguiente CUADRO N° 1.01 antes y después de la intervención del mantenimiento.

CUADRO N° 1.01. TRAMOS Y LONGITUDES DE LA CARRETERA EN ESTUDIO

| Tramo | Longitud (Km) | Tipo de superficie de rodadura (2007) | Tipo de superficie de rodadura (2010) |
|---------------------|---------------|---------------------------------------|---------------------------------------|
| Cañete - Lunahuaná | 40.950 | Carpeta Asfáltica | Carpeta Asfáltica |
| Lunahuaná - Pacarán | 11.907 | Tratamiento Superficial | Tratamiento Superficial |
| Pacarán - Zúñiga | 3.743 | Afirmado | Slurry Seal |
| Zúñiga - Dv. Yauyos | 70.400 | Afirmado | Monocapa |
| Dv. Yauyos - Roncha | 128.185 | Afirmado | Monocapa (33 Km.) |
| Roncha - Chupaca | 16.541 | Afirmado | Monocapa |
| Chupaca - Huancayo | 11.000 | Carpeta Asfáltica | Carpeta Asfáltica |

(Fuente: Elaboración Propia)

Cañete - Lunahuaná.- Este tramo tiene una longitud de 40.950 Km., iniciando en el Ovalo de Cañete (Km. 1+805) y terminando en la localidad de Uchupampa (Km.42+755). Encontrándose las localidades de Cañete, Imperial, Nuevo Imperial, Encañada, Caltopa, Socsi y Lunahuaná.

El tramo se encuentra asfaltado, con una superficie de rodadura constituida por carpeta asfáltica, una calzada de dos carriles con un ancho promedio de 7.20 mts.

Lunahuaná – Pacarán.- Este tramo tiene una longitud de de 11.907 Km., empezando en el sector denominado Uchupampa (Km. 42+755) y termina en la localidad de Pacarán (Km. 54+662), pasando por las localidades de Uchupampa, Condoray, Catapalla, Jacaya, Jacayita, Romani y Pacarán.

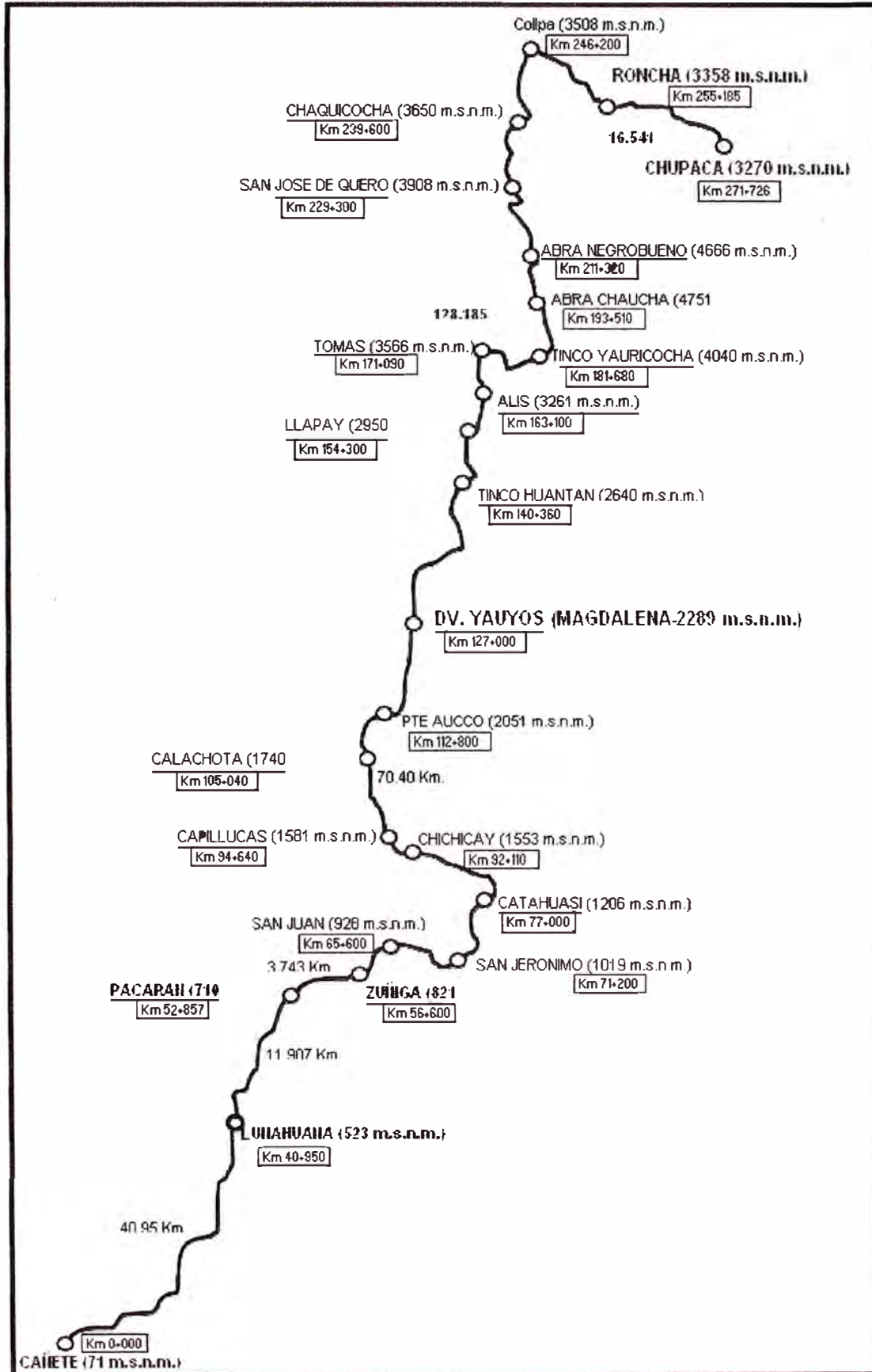
Presenta una superficie de rodadura asfaltada constituida por un tratamiento superficial, tiene una calzada de dos carriles con una ancho promedio de 3.20 mts.

Pacarán – Zúñiga.- Tiene una longitud de 3.743 Km., tiene como punto de inicio la localidad de Pacarán (Km. 54+662) y termina en la localidad de Zúñiga (58+405).

La localidad de Zúñiga presenta un tramo de 100 mts con pavimento flexible, luego todo el tramo restante presenta en su superficie una lechada asfáltica (Slurry Bituminoso).

Zúñiga – Div. Yauyos.- Tiene una longitud de 70.40 Km, iniciando en la localidad de Zúñiga (Km 58+405) y culminando en la localidad de Magdalena, donde se ubica la divisoria de Yauyos (Km 128+805). Los centros poblados que

FIGURA N° 1.02. PLANO CLAVE DE LA RUTA 22



(Fuente: MTC - PROVIAS Nacional – Proyecto Perú)

se encuentran en el ámbito son Zúñiga, Machuranga, San Juan, San Jerónimo, Huayllampi, Catahuasi, Canchan, Chichicay, Capillucas, Calachota, Puente Aucco y Magdalena.

Este tramo tiene una calzada de un solo carril, con una ancho variable de 3 a 3.8 mts. Desde Zúñiga hasta Catahuasi presenta en su superficie una lechada asfáltica (Slurry Bituminoso), en adelante tiene un tratamiento superficial monocapa hasta Magdalena. Se observa además, que desde Capillucas hasta Calachota se ha podido apreciar el tratamiento superficial monocapa y una superficie de lechada asfáltica (Slurry Bituminoso).

Div Yauyos – Roncha.- Tiene una longitud de 125.185 Km., tiene como punto de partida la localidad de Magdalena (Km. 128+805) y culmina en la localidad de Roncha (Km. 256+990). Dentro del ámbito de este tramo se encuentran las localidades de Magdalena, Tinco Huantan, Llapay, Tinco, Alis, Tomas, Huancachi, Tinco de Yauricocha, Caucha, San Juan de Quero, Cahquicocha, Collpa y Roncha del km. 127 al km 185, se tiene una topografía accidentada, presenta zonas encañonadas como el Cañón de Uchco. En este tramo se ubica el punto más alto de la carretera denominado el Abra de Chaucha (Km. 193+510) con una altitud de 4751 msnm

Desde la localidad de Magdalena hasta la localidad de San José de Quero presenta un cambio de estándar con monocapa, y desde esta localidad hasta Roncha se viene ejecutando el cambio de estándar.

Roncha – Chupaca.- Este tramo tiene una longitud de 16.541 Km., iniciando en la localidad de Roncha (Km 256+990) y termina en el empalme de la carretera Huancayo – Chupaca (Km. 273+541), pasando por las localidades de Roncha, Angamayo, Huarisca y Chupaca.

En este tramo se está ejecutando el cambio de estándar, presenta una calzada de un solo carril.

Chupaca - Huancayo.- Este tramo tiene una longitud de 9 Km. El tramo se encuentra asfaltado, con una superficie de rodadura constituida por carpeta asfáltica, una calzada de dos carriles con un ancho promedio de 7.20 mts.

El clima que se presenta en la carretera en estudio es variable, pues el área comprometida en el estudio se ubica en diferentes regiones, según la clasificación del Dr. Javier Pulgar Vidal (expuesta en su "Geografía del Perú"). En el siguiente CUADRO N° 1.02 se señalan las temperaturas típicas y precipitaciones que se dan en estas regiones.

CUADRO N° 1.02. CLASIFICACION DEL CLIMA DE LA CARRETERA

| Región | Tem. mínima | Tem. media | Tem. Máxima | Precipitación | Característica |
|----------------------------------|-------------|------------|-------------|--------------------------------------------|------------------------------------|
| Yunga (500-2300 msnm) | | 20° a 27°C | | Pprom =100-150 mm | Sol dominante casi todo el año. |
| Quechua (2300-3500 msnm) | -4 a 7°C | 11° a 16°C | 22° a 29°C | Pprom =800-1200 mm | Clima templado |
| Suni o Jalca (3500-4000 msnm) | -1 a -16°C | 7° a 10°C | >20°C | Pprom = 800 mm por año. | Clima frío |
| Puna (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: Recopilación del informe del cambio estándar y estudios de pre inversión a nivel de perfil para el rehabilitación y mejoramiento de la carretera - CGC)

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

La geomorfología de la zona en estudio, se encuentra conformada sobre las unidades sedimentarias volcánicas y metamórficas, en cuanto a las formaciones geológicas de la ruta se encuentran las formaciones de Cañete, Cerro Negro, Torán, Cocachacra y Pariatambo. La composición de los suelos tiene un 49% de material suelto, 33% de roca suelta y 18% de roca fija, en el tramo de Lunahuaná a Yauyos y en el Tramo Yauyos Chupaca se tiene 53% de material suelto, roca suelta 32% y roca fija 15%.

Estudio del tráfico.- El estudio de tránsito se presenta en el cuadro 1.03, realizado por el consorcio CGC en Agosto del 2008 en varios tramos de la carretera, debido a diferentes actividades económicas, sociales de la región.

Se considera índice medio diario IMD para el estudio del presente informe el tramo entre Capillucas (94+640) y Magdalena (127+000).

Cuadro 1.03 Tráfico Vehicular

| | Pacarán | Zúñiga | San Juan | Pueblo Nuevo | Chichicay | Capillucas | Div Yauyos | Alis | San José de Quero |
|--------------------------|---------|----------|--------------|--------------|------------|------------|------------|-------------------|-------------------|
| Descripción del vehículo | 52+857 | 56+600 | 63+600 | 66+580 | 92+110 | 94+640 | 127+00 | 163+100 | 229+100 |
| | Zúñiga | San Juan | Pueblo Nuevo | Chichicay | Capillucas | Div Yauyos | Alis | San José de Quero | Roncha |
| | 56+600 | 63+600 | 66+580 | 92+110 | 94+640 | 127+000 | 163+100 | 229+100 | 255+185 |
| Auto | 76 | 6 | 6 | 3 | 2 | 5 | 1 | 2 | 9 |
| Camioneta | 147 | 194 | 194 | 289 | 58 | 24 | 20 | 41 | 208 |
| Combi Rural | 105 | 74 | 74 | 61 | 18 | 9 | 4 | 16 | 37 |
| Micro | 17 | 48 | 48 | 68 | 8 | 6 | 0 | 1 | 5 |
| Ómnibus 2 | 8 | 15 | 15 | 14 | 13 | 10 | 8 | 8 | 8 |
| Omnibus+ 2 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 2 | 0 | 0 | 0 |
| Camiones 2 Ejes | 36 | 47 | 47 | 42 | 30 | 14 | 9 | 9 | 37 |
| Camiones 3 Ejes | 8 | 9 | 9 | 4 | 2 | 16 | 11 | 7 | 7 |
| Camión de 4 Ejes | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 4 | 0 | 0 | 0 |
| Semitraylers | 19 | 28 | 28 | 53 | 98 | 0 | 0 | 20 | 36 |
| Tráileres | 0 | 38 | 38 | 33 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| IMD | 418 | 461 | 461 | 569 | 232 | 90 | 53 | 104 | 347 |

Fuente: Consorcio CGC

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.

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, detalle en la FIGURA 1.03, para la progresiva descrita.

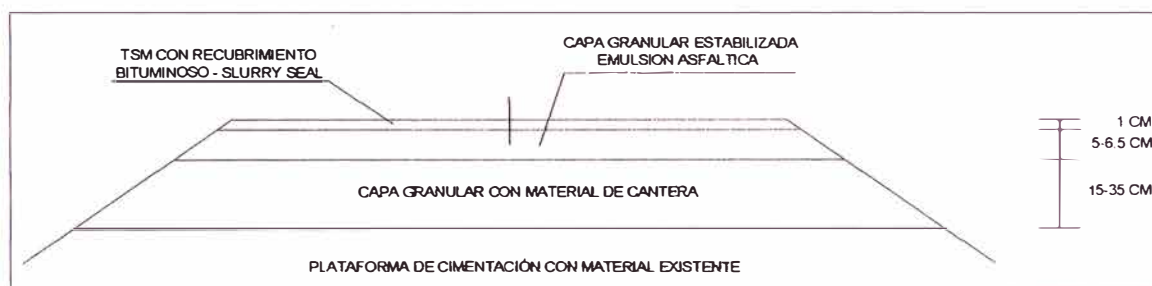
FIGURA N° 1.03. PERFIL ESTRATIGRAFICO DEL TRAMO EN ESTUDIO

| REGISTRO DE EXCAVACION | | | | | | | | | | | |
|------------------------|-----------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|-------------------------|---------------|--------------------------|----------------|----------------------|------------|------------|---------------|
| Proyecto | CAMBIO DE ESTANDAR DE LA CARRETERA CAÑETE-YAUYOS-HUANCAYO | | | | | Calicata | C-01 | | | | |
| Ubicación | MUESTRA DE TERRENO EXISTENTE | | | | | Fecha de excavación | 05/09/2009 | | | | |
| KM | 67+375 | | | | | Profundidad total (m) | 1.30 | | | | |
| LADO | IZQUIERDO | | | | | Prof. nivel freático (m) | - | | | | |
| PROF. (m) | GRAFICO | DESCRIPCION DEL SUELO | SUCS | ANALISIS GRANULOMETRICO | | | | LIMITES DE ATTERBERG | | | No DE MUESTRA |
| | | | AASHTO | % QUE PASA | | | | % | | | |
| 1.30 | | Arena limosa color marrón, humedad media, medianamente compresible, material fino con materia orgánica, con presencia de grava, 10% de bolonerie tamaño máximo 9". | SM A-2-4(0) | N° 4 88.1 | N° 10 59.1 | N° 40 38.6 | N° 200 20.9 | LL. 18.5 | L.P. NP | I.P. NP | M-1 |

(Fuente: MTC - Proviás Nacional – Proyecto Perú)

El sistema de drenaje en este tramo se presenta en forma inadecuada, con presencia de tramos críticos debido a huaycos. En la actualidad 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 2009 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 Resiliente Mr=13,201 psi
- Coeficiente de Drenaje (CD) = 1.

CAPITULO II.- ESTADO DEL ARTE

2.1 ESTADO DEL ARTE DEL METODO

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

En 1940, se introdujo la Viga Benkelman, el cual fue desarrollado por Alvin Carlton BenKelman, que era un ingeniero civil bien conocido en la investigación de pavimentos en American Association of State Highway Officials (AASHO) que posteriormente se convirtió en AASHTO. Las pruebas con la Viga Benkelman fueron inicialmente desarrolladas en los Estados Unidos en la Asociación occidental de las organizaciones de la carretera estatal (WASHO) en pruebas de carretera en 1952.

FIGURA N° 2.01. PRUEBAS CON VIGA BENKELMAN (1952)



(Fuente: Internet, <http://strongfamilytree.org>)

Durante los últimos 40 años los dispositivos de ensayos no destructivos para la evaluación estructural del pavimento, se han desarrollado significativamente pasando de ser dispositivos bajo la acción de carga estática a dispositivos de

desviación de carga dinámica, el cual se introdujo por primera vez a principios de 1960.

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

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

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

CAPITULO III.- MARCO TEÓRICO

3.1 EVALUACIÓN ESTRUCTURAL

La Evaluación estructural consiste en determinar la capacidad de soporte del sistema pavimento – subrasante en una estructura vial existente, en cualquier momento de su vida útil.

La metodología de evaluación por métodos destructivos como realización de calicatas en el pavimento, es muy cara, lenta y obstruye el tránsito.

Los métodos No destructivos miden las deformaciones de la superficie del pavimento bajo una carga dada, se fundamenta en la forma y dimensión de la curva de deflexiones en la superficie del pavimento. La interpretación cuantitativa es comparar el sistema pavimento – subrasante con un modelo matemático utilizando las deflexiones medidas.

3.2 DEFLECTOMETRIA METODO EMPIRICO CONREVAL

La deflectometría es el estudio de las deformaciones verticales producidas por cargas verticales normalizadas en la superficie de un pavimento.

La deflexión es la deformación como respuesta del conjunto “pavimento-subrasante” sometida a una carga.

El método se basa en la deflexión máxima producida por una carga, las mismas que se analizan en un deflectograma y al tipo de curvatura que adquiere.

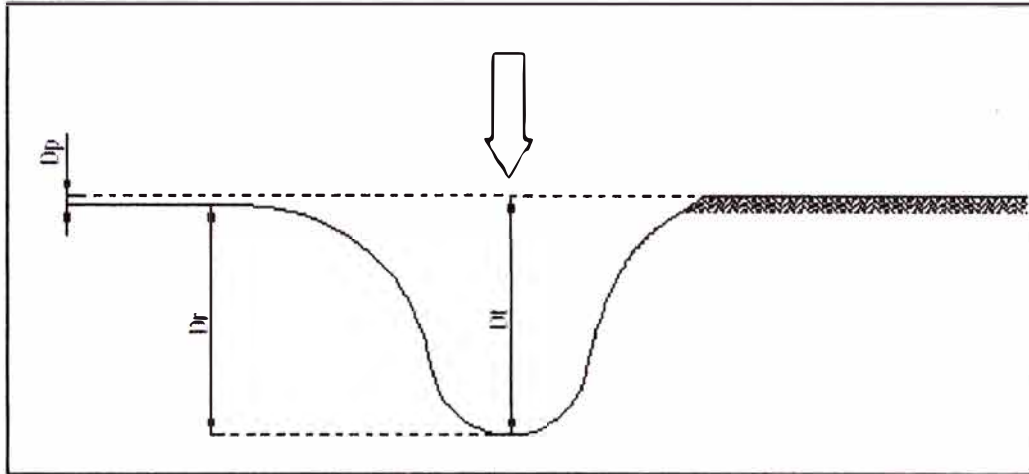
La deflexión es parte de carácter elástico y plástico, los primeros desaparecen al retirar las cargas que están sometidas y lo segundo se mantiene acumulándose en el tiempo produciendo ahuellamientos en la superficie. Se distinguen tres tipos de deflexión:

Deflexión total (D_t) deflexión total producida por la carga aplicada

Deflexión elástica (D_r) deflexión recuperable después de retirada la carga.

- Deflexión permanente o residual (D_p) diferencia entre la deflexión total y la deflexión elástica.

- Figura 3.01 Deformaciones producidas por cargas verticales



Fuente: Método CONREVIAL, Capítulo IV, página 94

La deflexión depende de un conjunto de variables (espesores de las capas estructurales, rigidez de la subrasante y la fundación; rigidez relativa de cada capa con respecto a la subyacente), corresponde a la deformación del pavimento y su apoyo hasta profundidades que llegan hasta el metro.

3.2.1 Instrumentos y Materiales

- Viga Benkelman
- Camión de dos ejes con rueda duals posteriores, con una carga de ensayo de 18000 libras (8.2 Toneladas), las llantas de la rueda dual de 10x20, 14 lonas, infladas con una presión de 80 lb/pulg² (5.6 Kg/cm²).
- Termómetro
- Formato de Registro para toma de datos
- Varilla de aluminio de 2 metros, de 1"x2"
- Regla milimétrica
- Equipo de Seguridad conformado por chalecos de seguridad, banderolas, avisos
- Varilla metálica guía.

3.2.2 Medición de deflexiones con Viga Benkelman

Se considera los siguientes pasos para la medición de la deflexión.

Ubicación y marcación de un punto de aplicación en la superficie del pavimento, cada 200 metros a lo largo del tramo en estudio y a 60 cm del borde de la calzada o por la huella.

Ubicación del camión con las ruedas duales en el punto de aplicación (el centro de la separación entre ruedas).

Colocación del brazo de la Viga Benkelman en el punto de aplicación, perpendicular al eje.

Para determinar la curva de recuperación se tomarán medidas de deformación cada 25 cm, 50 cm, 70 cm y L max, las mismas que serán marcadas en el brazo de la Viga Benkelman y guiadas por la varilla metálica colocada en la parte posterior del camión.

Ajustar el extensómetro de tal manera que tenga un recorrido libre.

Avanzar el camión hacia delante con una velocidad muy lenta de 1cm/seg y tomar las lecturas del extensómetro la deformación total, las deformación de recuperación a 25 cm, 50 cm, 70 cm y L max.

Medir la temperatura de la carpeta asfáltica a una profundidad de 0.5 cm, ayudados con un clavo y cincel.

Medir el espesor de la superficie de rodadura (tratamiento superficial monocapa con superficie de lechada asfáltica – slarry seal).

Medir el ahuellamiento presentado en la superficie de pavimento con la regla milimétrica y la varilla aluminio

3.2.3 Corrección de las deflexiones por temperatura

En un pavimento dado, la magnitud de la deformación aumenta con un incremento de temperatura debido a la pérdida rigidez de la mezcla bituminosa, dependiendo del espesor de dicha capa y rigidez de las capas adyacentes.

Para corregir las deformaciones por temperatura el procedimiento es llevar a una temperatura Standard de 20° C, aplicando la siguiente fórmula:

$$D_{20} = \frac{D_t}{K * (t - 20)^e + 1} \quad (3.1)$$

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).

3.2.4 Corrección por Estacionalidad

Las deflexiones del pavimento varían en todo el año, principalmente con los cambios de ciclos estacionales. Una correcta evaluación es medir las deflexiones en condiciones más desfavorables. En tal sentido, se considera factores subjetivos que dependen del clima, drenaje, el tipo de suelo. Considerándose el siguiente cuadro:

Cuadro 3.01 Factores de corrección por estacionalidad

| Tipo de suelo de subrasante | Estación Lluviosa | Estación Seca |
|------------------------------|-------------------|---------------|
| Arenoso - permeable | 1.0 | 1.1 a 1.3 |
| Arcilloso - sensible al agua | 1.0 | 1.2 a 1.4 |

Fuente: Método CONREVIAl, Capítulo IV, página 182

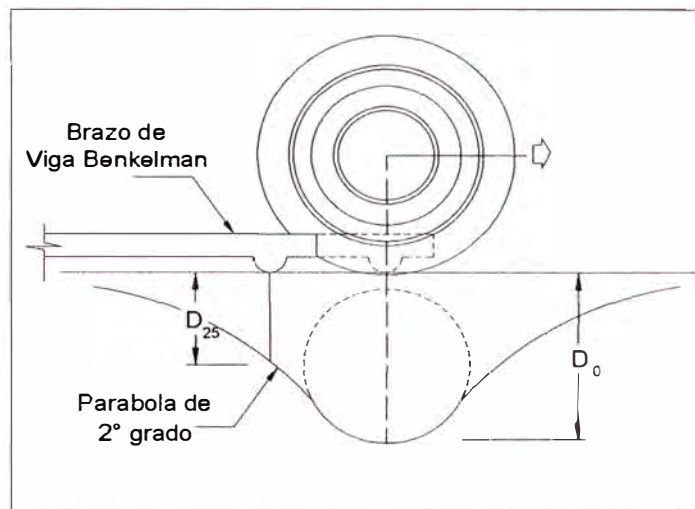
3.2.5 Radio de curvatura

Para una determinada flexión, la deformación por tracción depende del espesor de la carpeta asfáltica y del radio de curvatura.

El valor de la deflexión máxima depende del módulo de elasticidad de los materiales, de las capas superiores, el radio de curvatura depende principalmente del comportamiento de las capas cercanas a la superficie del pavimento, diferenciándose dos casos límites:

- Si la deflexión se produce en la subrasante, se obtendrá grandes radios.
- Si la mayor parte ocurre en las capas superiores, se obtiene pequeños radios evidenciando las deficiencias de las capas superiores.

- Figura 3.02 Esquema de deflexión y radio de curvatura



Fuente: Método CONREVIAl, Capítulo IV, página 102

Esquematzación de la línea de deflexión es aproximar a una parábola hasta una distancia algo mayor a 25 cm. del eje de la carga, luego cambia a una línea asintótica hacia el horizonte. La curvatura de la parábola queda definida por su parámetro, que en la zona de máxima curvatura se aproxima a un círculo oscilador. Por lo tanto, se determina el radio de curvatura por:

$$R_c = \frac{10 * 25^2}{2 * (D_0 + D_{25})} \quad (3.2)$$

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 cm del eje de carga

10 : Coeficiente por cambio de unidades

3.2.6 Variabilidad de la capacidad estructural : Deflectograma

Los deflectogramas de deformación y radio de curvatura revelan una la disconformidad de la capacidad estructural.

Para una interpretación de los resultados, se establece una deformación que represente adecuadamente tramos o secciones del pavimento, sujeto a una evaluación estadística.

En los deflectogramas se grafica las deformaciones y los radios de curvatura en función de las progresivas, analizándose la variabilidad de la capacidad estructural teniendo en cuenta lo siguiente:

- Diferenciar secciones con diferente capacidad estructural, observándose fallas en la estructura del pavimento.
- Eliminación de valores extremos que distorsionan los resultados.
- Delimitar secciones que se requiera intensificar los estudios.
- Obtenidos parámetros estadísticos, ubicar perforaciones requeridas para interpretar resultados, en zonas representativas de buen o mal comportamiento.

3.2.7 Análisis Estadístico

Los datos de deformaciones se procesan estadísticamente considerando 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 (D_m), el desvío cuadrático medio o desviación Standard (σ) y el coeficiente de variación (CV), usando las siguientes expresiones; donde n es el número de determinaciones, mediante las expresiones siguientes:

$$\text{Deflexión media} \quad D_m = \frac{\sum_{i=1}^n D_i}{n} \quad (3.3)$$

$$\text{Desviación estándar} \quad \sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (D_i - D_m)^2}{(n-1)}} \quad (3.4)$$

$$\text{Coeficiente Uniformidad} \quad CV = \frac{\sigma}{D} * 100 \quad (3.5)$$

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, al determinar una deflexión de diseño para algún método de cálculo del refuerzo, debe basarse tanto en la deflexión media como en la dispersión.

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

$$D_c = D_m + t * \sigma \quad (3.6)$$

Donde:

D_c : Deflexión Característica

D_m : Deflexión promedio de las deformaciones máximas 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

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.

El presente método se considera como deflexión característica aquella que corresponde al 95%, es decir la que es superada solo por el 5% de las determinaciones ($D_m + 1.645 \sigma$)

Cuadro 3.02 Valores de "t" y probabilidad de ocurrencia

| Valor Diseño | Deflexión Característica | Extensión del Pavimento con $D > D_c$ |
|--------------|--------------------------|---------------------------------------|
| 50 | D_m | 50 |
| 75 | $D_m + 0.674\sigma$ | 25 |
| 85 | $D_m + \sigma$ | 15 |
| 90 | $D_m + 1,3\sigma$ | 10 |
| 95 | $D_m + 1,645\sigma$ | 5 |
| 98 | $D_m + 2\sigma$ | 2 |
| 99 | $D_m + 2,33\sigma$ | 1 |
| 99,9 | $D_m + 3 \sigma$ | 0.1 |

Fuente: Manual CONREVIAl, capítulo IV, página 122

Para el criterio de homogenización de tramos se basa al valor medio de ambos tramos (debe tender a una coincidencia, la hipótesis y el criterio de aceptación) esta dado por:

$$-t_{\alpha/2;V2} \leq t' \leq t_{\alpha/2;V2} \quad (3.7)$$

Donde:

$t_{\alpha/2}$: Valor Estadístico obtenido de la tabla t student, para un nivel de confianza ($\alpha=1\%$), y cierto grado de libertad V_2

$$V_2 : \text{Grado de libertad, expresado por: } V_2 = \frac{\left(\frac{\sigma_X^2}{n_X} + \frac{\sigma_Y^2}{n_Y}\right)^2}{\left(\frac{\sigma_X}{n_X + 1}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_Y}{n_Y + 1}\right)^2} - 2 \quad (3.8)$$

t' : Variable estadística, calculada en base a la media y desviación estándar

$$t' = \frac{\left(\bar{X} + \bar{Y}\right)}{\sqrt{\left(\frac{\sigma_X^2}{n_X} + \frac{\sigma_Y^2}{n_Y}\right)}} \quad (3.9)$$

3.2.8 Número de Repeticiones de Ejes Equivalentes

Un eje equivalente es el deterioro del pavimento, por un eje simple de dos ruedas cargados con 8.2 ton de peso con neumáticos a una presión de 80lb/pulg².

EE de vehículos pesados, camiones y buses, resulta de la suma de EE por tipo de eje, para cada vehículo, se considerara los factores de equivalencia de carga que indica en el Manual para Diseño de Carreteras Pavimentadas de Bajo Volumen de tránsito, como se muestra en el cuadro 3.3

Cuadro 3.03 Factores de equivalencia de carga por eje y vehículo

| Vehículo | Símbolo | Factor equivalente |
|---------------|---------|--------------------|
| Camión 2 ejes | C2 | 4.5 |
| Camión 2 ejes | C3 | 3.286 |
| Bus | B2 | 4.5 |

Fuente: Manual para Diseño de Carreteras Pavimentadas de Bajo Volumen de tránsito, pág. 151

De manera referencial se puede utilizar para determinar el factor de ejes equivalentes en siguiente cuadro:

Cuadro 3.04 Factores de equivalencia por camión

| Clase de vehículo | Eje Equivalente (EE 8.2) |
|---------------------------|--------------------------|
| Bus | 1.85 |
| Camión ligero (2ejes) | 1.15 |
| Camión mediano (2ejes) | 2.75 |
| Camión pesado (3 ejes) | 2 |
| Camión articulado(>3ejes) | 4.35 |
| Auto vehículo ligero | 0.0001 |

Fuente: Manual para Diseño de Carreteras Pavimentadas de Bajo Volumen de tránsito, pág. 152

CONREVIAl propone como factor de equivalencia por camión hipótesis de control de carga que se indica en el cuadro 3.5

Cuadro 3.05 Factores de equivalencia por camión - región

| Tipo de Camión | Región | | |
|----------------------|--------|--------|-------|
| | Costa | Sierra | Selva |
| 2 Ejes | 1.7 | 1.8 | 1.8 |
| 3 Ejes | 1.6 | 1.7 | 1.7 |
| Tráiler y Semitrayer | 5.2 | 4.2 | 4.2 |

Fuente: Manual CONREVIAl, capítulo IV, página 143

Número de repeticiones de Ejes equivalentes es el deterioro ocasionado por los vehículos, que transita por una vía durante su vida útil, para determinar solo se considera vehículos pesados, en la siguiente expresión:

$$NEE_{(8.2)} = 365/2 \times (IMD_{2E} \times FE_{2E} + IMD_{3E} \times FE_{3E} + IMD_{TYST} \times FE_{TYST} + \dots) \times ((1+i)^n - 1) / i \quad (3.10)$$

$NEE_{(8.2)}$: Número de repeticiones de ejes de 8.2 ton para un periodo de n años (en una dirección)

IMD_{2E} : Índice Medio Diario de cada tipo de composición correspondiente al año base.

FE_{2E} : Factor equivalente de 8.2 ton por cada tipo de composición.

IMD_{3E} : Índice Medio Diario de cada tipo de composición correspondiente al año base.

FE_{3E} : Factor equivalente de 8.2 ton por cada tipo de composición.

IMD_{TYST} : Índice Medio Diario de cada tipo de composición correspondiente al año base.

FE_{TYST} : Factor equivalente de 8.2 ton por cada tipo de composición.

- i : Tasa de crecimiento del tráfico de camiones de 3.5% a 4.5%
- n : Periodo de Diseño, se evaluará para 3, 5,10 y 20 años

3.2.9 Deflexiones Admisibles

Es parámetro utilizado para evaluar la capacidad estructural de un pavimento. Métodos empíricos como CONREVIAl propone una deflexión admisible o deflexión tolerable, al compararla con las deflexiones obtenidas en campo, determina si el pavimento brinda un soporte estructural adecuado. La fórmula de la deflexión admisible propuesta por CONREVIAl:

$$D_{adm} = \sqrt[4]{\frac{1.15}{NEE_{(8.2)}}} \quad (3.11)$$

Donde:

$NEE_{(8.2)}$: Número de ejes estándares equivalentes de 8,2 toneladas acumuladas en el periodo de diseño

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

3.2.10 Espesor de refuerzo

Para el cálculo del refuerzo se considera el método del Dr. Ruiz para los casos 1 y 2 de la tabla 3.2, empleándose la siguiente fórmula:

$$h = \frac{R}{0.434} * \text{Log}\left(\frac{D_c}{D_h}\right) \quad (3.12)$$

Donde:

h : Espesor de refuerzo (cm).

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

D_h : Deflexión característica luego del refuerzo (1/100mm).

R : Coeficiente con dimensiones de un espesor.

3.2.11 Juicio de Sobre Capacidad Estructural

Se analiza comparando las deformaciones características y las deformaciones admisibles en el cuadro 3.6, se consideran los radios de curvatura aceptable cuando sus valores son mayores que 100 y cuando los radios promedios varían entre 300mts y 500 mts,

3.2.11.1- 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.

3.2.11.2- 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 son superiores 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.

Cuadro 3.6 Análisis combinado de los resultados de evaluación.

| Deflectometría | Estado Actual | 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 mayores que 100 mts | No hay fallas de origen estructural | Estructura infradiseñada, pero la capacidad portante de las capas decrece en profundidad. (No Existe capa débil inmediatamente debajo capa asfáltica | Examinar fecha y tipo de las últimas obras ejecutadas, para justificar estado del pavimento 1° CASO |
| | No hay fallas de origen estructural generalizada | | 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 2° CASO |
| Deflexión característica es superior a la admisible Los radios de curvatura son pequeños (aun para deflexiones reducidas). $D_c > D_{adm}$ R_c pequeños, menores de 100 metros | | Existe una capa débil inmediatamente debajo de las capas asfálticas (relación entre módulos de elasticidad < 1). | Se trata de neutralizar el efecto de la capa que falla, ya sea por reconstrucción parcial, o refuerzo. No es conveniente emplear la deflexión ya que puede no ser representativa 3° CASO |
| La deflexión característica es inferior a la admisible. Los radios de curvatura son Reducidos $D_c < D_{adm}$ R_c pequeños, menores de 100 metros | 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, |
| La deflexión característica es inferior a la admisible. $D_c < D_{adm}$ | Hay fallas de origen estructural; deformaciones permanentes de la fundación | Estructura degradada no adecuada para la fundación | Evaluar aporte estructural de la calzada existente (Reconstrucción do refuerzo). La deflexión no es representativa 4° CASO |
| | No hay fallas de origen estructural. | estructura bien diseñada | Corregir fallas de origen superficial, las soluciones dependerán de los defectos observados y sus causas. Mejora superficial 5° CASO |

Fuente: Manual CONREVIAl, capítulo IV, página 197

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 entres 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.

3.2.11.3- 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 ($R_{ci} > 100$ m).
- b. El radio de curvatura promedio está comprendido entre 300 - 500 m ($300 < R_c < 500$).

CAPITULO IV.- APLICACIÓN AL TRAMO KM 102+000 al KM 104+000

4.1- Recopilación de Datos

a. Información básica de área de estudio

| | |
|--------------------|----------------------------------------------|
| Fecha | : 15 de Mayo del 2010 |
| Tramo evaluado | : km. 102+000 – km. 104+000 |
| Carril | : Derecho |
| Capa | : Recubrimiento superficial Slurry Seal |
| Relación de Brazos | : 1:3.99 |
| 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° 4.01
Datos de campo obtenidos del ensayo de Viga Benkelman

| Estaca (km) | Lecturas del dial (10 ⁻² mm) | | | |
|-------------|-----------------------------------------|-----------------|-----------------|------------------|
| | L ₂₅ | L ₄₀ | L ₇₀ | L _{max} |
| 102+200 | 2 | 5 | 7 | 12 |
| 102+400 | 2 | 5 | 8 | 11 |
| 102+600 | 3 | 6 | 8 | 11 |
| 102+800 | 2 | 5 | 7 | 10 |
| 103+000 | 3 | 7 | 9 | 10 |
| 103+200 | 3 | 6 | 7 | 10 |
| 103+400 | 2 | 6 | 7 | 13 |
| 103+600 | 1 | 5 | 9 | 16 |
| 103+800 | 3 | 6 | 9 | 13 |
| 104+000 | 1 | 3 | 4 | 6 |

(Fuente: Trabajo de campo elaborado para el Informe de Suficiencia)

4.2- 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.

Para mayor compresión se describe los pasos ejecutados con los datos, para luego resumir en el cuadro 4.04.

Paso 1.-

Dado que el tramo evaluado presentaba cambios de temperatura y espesor variable, se calculará los factores de corrección por temperatura, para D_{020} y D_{2520} , utilizando una deducción de la fórmula 3.1.

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

En este caso se utiliza la siguiente fórmula

$$Fc = \frac{1}{K * (t - 20)^* e + 1}$$

Para el tramo en estudio en la Prg 102+200, se tiene una temperatura de 28°C y el espesor de la carpeta es 0.9 cm:

$$Fc = 0,9929$$

Paso 2.-

Dado que el ensayo fue realizado en una estación seca, se aplicara la corrección por estacionalidad.

Para el tramo en estudio la Prg 102+200, pertenece a la Región Yunga (500-2300 msnm) con un clima con sol dominante casi todo el año, descrito según el CUADRO N° 1.02, Clasificación del clima de la carretera y según la FIGURA N° 1.03, existe presencia de arenas, se concluye según el CUADRO N° 3.01, que el valor de corrección por estacionalidad se considere 1.1.

Paso 3.-

Ahora se calcula las deflexiones elásticas recuperables de cada estación restando la deflexión máxima a cada una de ellas. Dado que la Viga Benkelman tenía una relación de brazos de 3.99:1, todas las lecturas de deflexiones recuperables de campo se deberán multiplicar por 3.99. Luego se multiplica por el factor de corrección del paso 1 y la corrección por estacionalidad.

Para el tramo en estudio en la Prg 102+000, se tiene que la deflexión máxima es 12×10^{-2} mm, la deflexión inicial (D_0) es cero y la deflexión a 25cm (D_{25}) es 2.00×10^{-2} mm.

$$D0 = (12.00 - 0.00) \times 4 \times 0.9929 \times 1.1 = 52.42 \times 10^{-2} \text{ mm}$$

$$D25 = (12.00 - 2.00) \times 4 \times 0.9929 \times 1.1 = 43.69 \times 10^{-2} \text{ mm}$$

Paso 5.-

Se calcula la deflexión característica para el tramo en evaluación, para ello se procesarán mediante análisis estadísticos.

Se tienen los siguientes datos de deflexiones que ya han sido corregidos por temperatura y estacionalidad D0 y D25 los cuales se detalla en el cuadro 4.02.

Cuadro N° 4.02 Deflexión característica

| TRAMO | | |
|--------------------------------------------|-------------|-------------------------|
| (Km. 102+000 - Km. 104+000) CARRIL DERECHO | | |
| Descripción | Deflexiones | |
| Mínimo | 26.19 | (x 10 ⁻² mm) |
| Máximo | 68.69 | (x 10 ⁻² mm) |
| Promedio | 48.49 | (x 10 ⁻² mm) |
| Desviación Estándar | 11.12 | |
| Coefficiente de Variación | 0.23 | |
| Característico | 66.79 | (x 10 ⁻² mm) |

(Fuente: Elaboración propia)

La deflexión característica se ha determinado de acuerdo al cuadro 3.02

$$D_c = D_{\text{promedio}} + 1.645 \times \text{desviación estándar}$$

Paso 6.-

Construcción de gráficos de deflectogramas (ver anexos 05, 06 y 07) para apreciación gráfica.

Paso 7.-

Se calcula la deflexión admisible, en función del tráfico proyectado. Para ello se calcula el número de ejes equivalentes (N18).

Para este tramo se usara los IMD del 2009, según los Estudios Técnicos para el cambio de estándar de afirmado a solución básica carretera: Cañete - Lunahuaná - Pacarán - dv. Yauyos - Roncha – Chupaca tramo: Zúñiga - Dv.

Yauyos – Roncha. Los cálculos de los N18 y la deflexión admisible se detallan en los anexos 08, 09, 10 y 11.

Para: $n = 1$ año, $Da = (1.15/0.243)^{1/4} = 147.5 \times 10^{-2} \text{ mm}$

CUADRO N° 4.03. CÁLCULO DE DEFLEXIONES ADMISIBLES POR PERIODOS

| CUADRO N° 1: Tramo 102+000 - 104+000 | | | | | | | | | | |
|-------------------------------------------------------------------------------|-----------------|----------|--------------------------|----------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Tipo de vehículo | Factor de Carga | IMD 2009 | Tasa de crecimiento (i%) | Proyección | | | | | | |
| | | | | n años | EAL 2010 | n años | EAL 2011 | n años | EAL 2012 | |
| Micro | 4.504 | 0 | 1.4 | 1 | 0 | 2 | 0 | 3 | 0 | |
| Ómnibus 2E | 4.504 | 8 | 1.4 | 1 | 13150 | 2 | 2648 | 3 | 40006 | |
| Ómnibus 3E | 3.285 | 0 | 1.4 | 1 | 0 | 2 | 0 | 3 | 0 | |
| Camión 2 Ejes | 4.504 | 9 | 4.6 | 1 | 14794 | 2 | 30269 | 3 | 46456 | |
| Camión 3 Ejes | 3.285 | 12 | 4.6 | 1 | 14386 | 2 | 29434 | 3 | 45175 | |
| Camión 4 Ejes | 2.283 | 0 | 4.6 | 1 | 0 | 2 | 0 | 3 | 0 | |
| Semitrayers | 6.523 | 0 | 4.6 | 1 | 0 | 2 | 0 | 3 | 0 | |
| Tráileres | 10.980 | 0 | 4.6 | 1 | 0 | 2 | 0 | 3 | 0 | |
| Nota: N18, número total de ejes equivalentes a 18 klb o 8.2 ton (en millones) | | | | EAL | | 4.23E+04 | | 8.62E+04 | | 1.32E+05 |
| | | | | N18 | | 0.021 | | 0.043 | | 0.066 |
| | | | | Da (x 10-2 mm) | | 271.5 | | 227.3 | | 204.4 |

(Fuente: Elaboración propia)

Paso 8.-

Cálculo de Radio de curvatura $R = 6250 / 2 \times (D0-D25)$

Se calcula el radio de curvatura para cada estación de todo el tramo evaluado y, luego se calcula el radio de curvatura promedio, ver anexo 03, cuadros 4.03 y 4.04.

$$R_{prom} = 384.74 \text{ m}$$

El desarrollo completo paso a paso del procesamiento de datos, para la evaluación estructural se presenta en el cuadro 4.03 y anexo 03. Todos estos pasos se simplifican empleando una hoja de cálculo en Excel, en la cual se ingresan los datos tomados en campo los cuales deben ser verificados e interpretados para considerarlos como validos.

Cuadro N° 4.04

Procesamiento de datos obtenidos del ensayo de Viga Benkelman

| Est. | Progresiva (km) | Lecturas de Campo (10 ⁻² 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+200 | 0.00 | 2.00 | 12.00 | 0.009 | 28.0 | 0.9929 | 1.1 | 52.29 | 43.58 | 358.57 |
| 2 | 102+400 | 0.00 | 2.00 | 11.00 | 0.010 | 33.0 | 0.9872 | 1.1 | 47.66 | 38.99 | 360.63 |
| 3 | 102+600 | 0.00 | 3.00 | 11.00 | 0.008 | 35.0 | 0.9881 | 1.1 | 47.71 | 34.70 | 240.18 |
| 4 | 102+800 | 0.00 | 2.00 | 10.00 | 0.009 | 36.0 | 0.9858 | 1.1 | 43.27 | 34.61 | 361.13 |
| 5 | 103+000 | 0.00 | 3.00 | 10.00 | 0.007 | 34.0 | 0.9903 | 1.1 | 43.46 | 30.42 | 239.66 |
| 6 | 103+200 | 0.00 | 3.00 | 10.00 | 0.007 | 34.0 | 0.9903 | 1.1 | 43.46 | 30.42 | 239.66 |
| 7 | 103+400 | 0.00 | 2.00 | 13.00 | 0.011 | 35.0 | 0.9838 | 1.1 | 56.13 | 47.50 | 361.88 |
| 8 | 103+600 | 0.00 | 1.00 | 16.00 | 0.014 | 36.0 | 0.9781 | 1.1 | 68.69 | 64.39 | 727.96 |
| 9 | 103+800 | 0.00 | 3.00 | 13.00 | 0.011 | 37.0 | 0.9816 | 1.1 | 56.01 | 43.08 | 241.77 |
| 10 | 104+000 | 0.00 | 1.00 | 6.00 | 0.011 | 25.0 | 0.9945 | 1.1 | 26.19 | 21.82 | 715.92 |

(Fuente: Cálculos desarrollados para el Informe de Suficiencia)

Cuadro N° 4.05

Deflexión característica y radio de curvatura

| TRAMO | | | |
|-----------------------------|-------------|-------------------------|--------------------|
| (Km. 102+000 - Km. 104+000) | | | |
| Descripción | Deflexiones | | Radio de Curvatura |
| Mínimo | 26.19 | (x 10 ⁻² mm) | 239.66 (m) |
| Máximo | 68.69 | (x 10 ⁻² mm) | 727.96 (m) |
| Promedio | 48.49 | (x 10 ⁻² mm) | 384.74 (m) |
| Desviación Estándar | 11.12 | | 186.56 |
| Coefficiente de Variación | 0.23 | | 0.48 |
| Característico | 66.79 | (x 10 ⁻² mm) | 691.64 (m) |

(Fuente: Cálculos desarrollados para el Informe de Suficiencia)

4.2.1 Análisis Estadístico de los Resultados

Cálculo de la deflexión característica, deflexión promedio y desviación estándar periodo de diseño de 3 años

Cálculo de la deflexión admisible

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

Cálculo de la deflexión admisible

Cuadro N° 4.06

Resumen Deflexión admisible por periodos

| Descripción | n (años) | Carretera Cañete - Yauyos - Chupaca Km. 102+000 - Km. 104+000 |
|--------------------------------------|----------|---------------------------------------------------------------------|
| PROGRESIVA INICIAL | | 102+000 |
| PROGRESIVA FINAL | | 104+000 |
| DEFLEX. CARACT. x 10 ⁻² | | 66.8 |
| DEFLEX. ADMISIBLE x 10 ⁻² | 1 | 271.5 |
| | 2 | 227.3 |
| | 3 | 204.4 |
| | 5 | 178.3 |
| RADIO DE CURVATURA Rc (m) | | 384.7 |

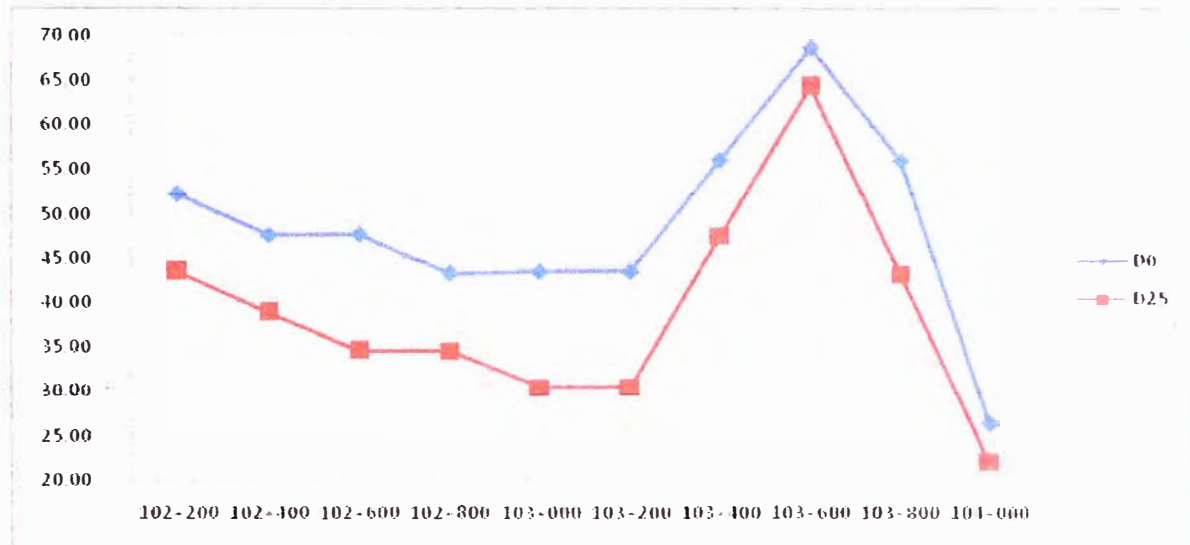
(Fuente: Cálculos desarrollados para el Informe de Suficiencia)

CAPITULO V.- ANÁLISIS DE RESULTADOS

5.1 GRÁFICOS DE DEFLECTOGRAMA

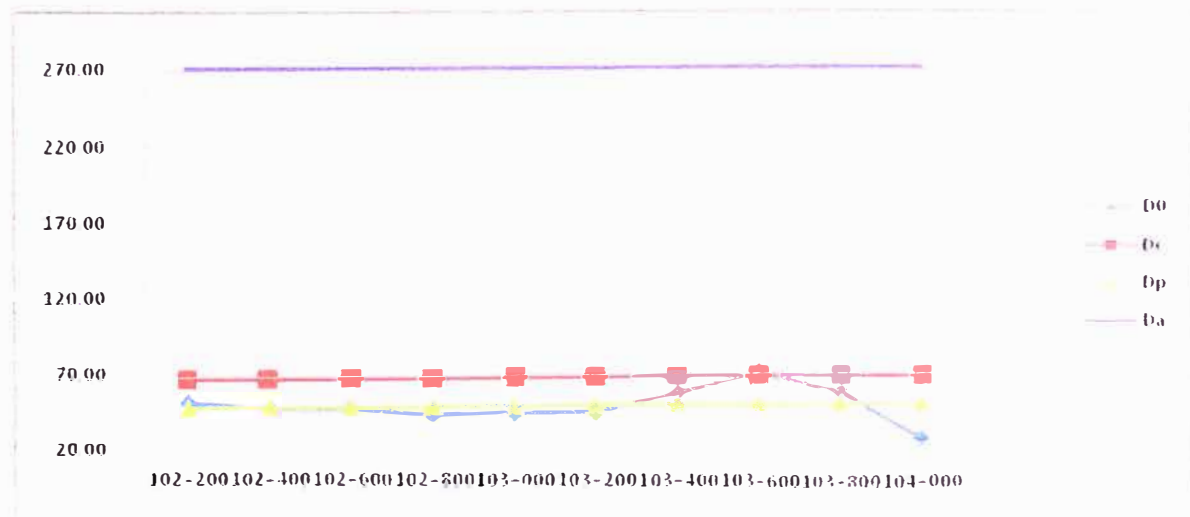
Con los datos procesados se graficará el deflectograma, que está en función de la progresiva vs la deflexión recuperable inicial del tramo en estudio. Adicionalmente, se grafican las deflexiones admisibles, características y promedio.

Figura 5.01 Deflexiones D0 y D25



(Fuente: Elaboración propia)

Figura 5.02 Deflexiones D0, Dpromedio, Dadmisible, Dcaracteristica



(Fuente: Elaboración propia)

5.2 ALTERNATIVAS DE CONSERVACION

Con los resultados obtenidos de D_c y D_a y las gráficas de Deflectograma, se realiza el juicio de la capacidad estructural del pavimento en el tramo comprendido entre Km. 102+000 – Km. 104+000.

CUADRO N° 5.01. RESUMEN DE RESULTADOS DEL TRAMO EN ESTUDIO

| Descripción | Unidad | Carretera Cañete - Yauyos - Chupaca Km. 102+000 - Km. 104+000 CARRIL DERECHO | | | |
|------------------------------|---------------------|---------------------------------------------------------------------------------|---------|---------|---------|
| | | 1 | 2 | 3 | 5 |
| AÑO DE ANALISIS (n) | años | 1 | 2 | 3 | 5 |
| DEFLEX. CARACT. (D_c) | $\times 10^{-2}$ mm | 66.80 | 66.800 | 66.800 | 66.800 |
| DEFLEX. ADMISIBLE (D_a) | $\times 10^{-2}$ mm | 268.90 | 225.100 | 202.500 | 176.600 |
| RADIO DE CURVATURA (R_c) | m | 384.70 | 384.700 | 384.700 | 384.700 |
| ESPESOR DE REFUERZO | cm | -23.696 | -18.240 | -16.650 | -14.594 |
| ESP. DE REFUERZO RECOMENDADO | mm | | | | |

(Fuente: Elaboración propia)

Primer año (Quinto caso)

Se observa que para un periodo de evaluación de $n=1$ año, la deflexión característica ($D_c=67 \times 10^{-2}$ mm) es menor que la deflexión admisible ($D_a=268.9 \times 10^{-2}$ mm), por lo tanto se considera que la capacidad estructural del pavimento tendrá un comportamiento adecuado, además el radio de curvatura ($R_c=384.7$)

Segundo año (Quinto caso)

Se observa que para un periodo de evaluación de $n=2$ años, la deflexión característica ($D_c=67 \times 10^{-2}$ mm) es menor que la deflexión admisible ($D_a=225.1 \times 10^{-2}$ mm), por lo tanto se considera que la capacidad estructural del pavimento tendrá un comportamiento adecuado, además el radio de curvatura ($R_c=383.8$).

Tercer año (Quinto caso)

Se observa que para un periodo de evaluación de $n=3$ años, la deflexión característica ($D_c=67 \times 10^{-2}$ mm) es menor que la deflexión admisible ($D_a=202,5 \times 10^{-2}$ mm), por lo tanto se considera que la capacidad estructural del pavimento tendrá un comportamiento adecuado, además el radio de curvatura ($R_c=383.8$)

Del Cuadro 3.6 (análisis combinado de los resultados de evaluación) se tiene que las alternativas de solución están ligadas a corregir fallas de origen superficial, las soluciones dependerán de los defectos observados y sus causas.

5.3 DETERMINACION DEL PERIODO DE VIDA UTIL

Para la determinación de la vida útil, se está evaluando el carril izquierdo similarmente al carril derecho, para luego compararlos y así obtener el caso más desfavorable. De acuerdo a los cálculos obtenidos en los anexos 24 y 25 se elabora en cuadro N° 5.02, del cual se analizará la situación más desfavorable y se obtiene que el periodo de vida útil sería de 11 años desde el año 2009. El carril izquierdo obtiene un periodo de vida útil menor, debido a que es la zona del pavimento más expuesta al drenaje fluvial, derrumbes, taludes inestables.

CUADRO N° 5.02. Periodo de vida útil evaluado para cada carril

| Periodo de vida útil | |
|----------------------|------|
| Carril | años |
| Derecho | 63 |
| Izquierdo | 11 |

(Fuente: Elaboración propia)

5.4 DETERMINACION DEL TRÁFICO MÁXIMO QUE PODRÁ SOPORTAR LA VIA

En el ítem anterior se obtuvo que el carril izquierdo es el que tiene el menor periodo de vida útil, por lo que se analizará el tráfico máximo en esta sección.

De acuerdo al anexo 26, el tráfico deberá aumentar 40 veces con respecto sólo a los camiones de 3 ejes, similarmente en el caso de camiones de 2 ejes, deberá aumentar en 35 veces según anexo 27 y en el caso de ómnibus de 2 ejes, deberá aumentar en 44 veces según anexo 28.

En el anexo 29 se observa que el máximo que puede soportar la vía es trece veces más al existente.

CONCLUSIONES

- El carril derecho tiene un mejor comportamiento que el carril izquierdo, sus deflexiones recuperables son mejores (deflexión característica del carril derecho: 66.79×10^{-2} mm, carril izquierdo: 138.64×10^{-2} mm), aunque luego de la evaluación ambos carriles han respondido satisfactoriamente, ya que la deflexión admisible es mayor (deflexión admisible: 268.90×10^{-2} mm).
- La falta de drenaje longitudinal en la carretera ocasionará que los resultados y análisis obtenidos se vean distorsionados, ya que en los procedimientos del manual del Correvial no hace recomendaciones puntuales con respecto a esta deficiencia de la carretera.
- En los tres años que falta para que el contratista culmine su contrato, no tendrá la necesidad de ejecutar algún refuerzo adicional, ya que el cambio de estándar ejecutado el año pasado (febrero 2009) está cumpliendo satisfactoriamente su propósito.
- La vida útil de la carretera sería de 11 años, considerando que el único factor que debilite su capacidad estructural sea el tráfico, ya que para el carril izquierdo la deflexión admisible sería menor a la deflexión característica (138.64×10^{-2} mm).
- El tráfico máximo que podrá soportar la carretera es trece veces al existente (cada vehículo), con este tráfico generado la deflexión admisible pasaría de 268.90×10^{-2} mm a 138.64×10^{-2} mm,
- Luego de evaluar los posibles cambios en los datos de campo de temperatura y espesor del pavimento, se ha llegado a determinar que el factor influyente para los cálculos de las deflexiones, las lecturas otorgadas por el técnico de campo.
- Las estabilizaciones ejecutadas están cumpliendo las expectativas, pero la diferencia que existe entre la deflexión característica del carril derecho e izquierdo, es indicio de que el carril izquierdo está sometido a fenómenos que está disminuyendo la capacidad estructural del pavimento en ese sector, paulatinamente el carril derecho tendrá las mismas características, esto se debe a la falta de cuneta y sardinel en la carretera y por la geometría de la vía, el sector más expuesto es el carril izquierdo.

- La temperatura, cambios climáticos y aumento de tráfico, son indicadores que ayudarán a determinar la frecuencia del uso del ensayo con Viga Benkelman para el monitoreo de conservación vial.

RECOMENDACIONES

- Evaluar las condiciones a las que se encuentra el carril izquierdo, tales como de tráfico y de drenaje, ya que existe un debilitamiento estructural del pavimento en este sector.
- En los programas de conservación vial, debería incluirse la ejecución de obras de cunetas, ya que la ausencia de estas debilita al pavimento.
- Se debe continuar con los cambios de estándar en las carreteras de bajo tránsito, ya que ello ha permitido que la conservación vial tenga buenos resultados.
- El monitoreo con Viga Benkelman es una buena opción, para evaluar el comportamiento estructural del pavimento, por lo que los programas de conservación vial deben seguir incluyendo este ensayo, ya que este permite ubicar los sectores del pavimento que cuentan con problemas estructurales o de comportamiento.
- Se sugiere ejecutar el ensayo de Viga Benkelman, luego de apreciar un incremento inusual del tránsito de vehículos.
- Se sugiere ejecutar el ensayo de Viga Benkelman, 4 veces al año, después de finalizada cada estación del año.

BIBLIOGRAFÍA

1. Consorcio de Rehabilitación Vial, Estudio de Rehabilitación de Carreteras en el País, Lima, 1982.
2. Consorcio Gestión de Carreteras, Plan de Conservación Vial de la Carretera Cañete – Lunahuana – Pacarán – Zúñiga - Dv. Yauyos-Ronchas-Chupaca, Lima, Junio 2008.
3. Consorcio Gestión de Carreteras, Estudios Técnicos para el cambio estándar de afirmado a solución básica Carretera Cañete – Lunahuana – Pacarán – Zúñiga - Dv Yauyos-Ronchas-Chupaca, Lima, Setiembre 2008.
4. Gutiérrez Lazares, José Wilfredo , Modelación Geotécnica de Pavimentos Flexibles con Fines de Análisis y Diseño en el Perú, Tesis para optar el Grado de Magíster en Ciencias con Mención en Ingeniería Geotécnica, Lima, UNI FIC, Lima 2007.
5. Gonzalo Rojas, Pablo, Evaluación Superficial no Destructiva Aplicando la Viga Benkelman, Tesis, UNI FIC, Lima 2005.
6. Ministerio de Transportes y Comunicaciones, Manual para el Diseño de Caminos Pavimentados de Bajo Volumen de Transito, ICG, Lima 2007
7. Secretaría de Comunicaciones y Transporte, Manual de Conservación de Obras Viales, Mantenimiento Vial, SEDESOL, México 2008
8. Melchor Areche José Ignacio, Evaluación Integral del Pavimento, Experiencia Profesional, UNI FIC, Lima, 1999.
9. Montejo Fonseca Alfonso, Ingeniería de Pavimentos, Evaluación y Mejoramiento, Ediciones Universidad Católica de Colombia, Bogota 2006.

ANEXOS

ANEXO 01

LECTURAS DE DEFLEXIONES CON VIGA BENKELMAN

SECTOR : CARRETERA CAÑETE - YAUYOS - HUANCAYO
 TRAMO : Km. 102+000 - Km. 104+000 CARGA EJE : 8200 KG
 FECHA : 15/05/2010 RESPONSABLE : UNI PRESIÓN : 80 PSI
 CARRIL : Derecho OPERADOR : UNI R. BRAZOS : 1 a 3.99

| Estaca (km) | Lecturas del dial (10 ² mm) | | | |
|-------------|----------------------------------------|-----------------|-----------------|------------------|
| | L ₂₅ | L ₄₀ | L ₇₀ | L _{max} |
| 102+200 | 2 | 5 | 7 | 12 |
| 102+400 | 2 | 5 | 8 | 11 |
| 102+600 | 3 | 6 | 8 | 11 |
| 102+800 | 2 | 5 | 7 | 10 |
| 103+000 | 3 | 7 | 9 | 10 |
| 103+200 | 3 | 6 | 7 | 10 |
| 103+400 | 2 | 6 | 7 | 13 |
| 103+600 | 1 | 5 | 9 | 16 |
| 103+800 | 3 | 6 | 9 | 13 |
| 104+000 | 1 | 3 | 4 | 6 |

Fuente: Elaboración propia

ANEXO 02

MEDICIÓN DE DEFLEXIONES CON VIGA BENKELMAN

SECTOR : CARRETERA CAÑETE - YAUYOS - HUANCAYO
 TRAMO : Km. 102+000 - Km. 104+000 CARGA EJE : 8200 KG
 FECHA : 15/05/2010 RESPONSABLE : UNI PRESIÓN : 80 PSI
 CARRIL : Derecho OPERADOR : UNI R. BRAZOS : 1 a 3.99

| Progresiva (km) | Lecturas de Campo (10 ² mm) | | | | Espesor Asfalto (m) | Ahuellamiento (mm) | Temperatura Asfalto (°C) | Obs |
|-----------------|----------------------------------------|-----------------|-----------------|------------------|---------------------|--------------------|--------------------------|------------------------|
| | L ₂₅ | L ₄₀ | L ₇₀ | L _{max} | | Ahue 1 | | |
| 102+200 | 2 | 5 | 7 | 12 | 0.011 | 2.0 | 28.0 | MONOCAPA Y SLURRY SEAL |
| 102+400 | 2 | 5 | 8 | 11 | 0.010 | 2.0 | 33.0 | |
| 102+600 | 3 | 6 | 8 | 11 | 0.010 | 3.0 | 35.0 | |
| 102+800 | 2 | 5 | 7 | 10 | 0.012 | 2.0 | 36.0 | |
| 103+000 | 3 | 7 | 9 | 10 | 0.009 | 2.0 | 34.0 | |
| 103+200 | 3 | 6 | 7 | 10 | 0.012 | 2.0 | 34.0 | |
| 103+400 | 2 | 6 | 7 | 13 | 0.011 | 3.0 | 35.0 | |
| 103+600 | 1 | 5 | 9 | 16 | 0.009 | 1.0 | 36.0 | |
| 103+800 | 3 | 6 | 9 | 13 | 0.008 | 2.0 | 37.0 | |
| 104+000 | 1 | 3 | 4 | 6 | 0.007 | 2.0 | 25.0 | |

Fuente: Elaboración propia

ANEXO 03

PROCESAMIENTO DE DATOS DE DEFLEXIONES

SECTOR : CARRETERA CAÑETE - YAUYOS - HUANCAYO CARRIL : Derecho
TRAMO : Km. 102+000 - Km. 104+000 SUPERFICIE : TS.
FECHA : 15/05/2010 R.BRAZOS : 1 a 3.99

| Est. | Progresiva (km) | Lecturas de Campo (10 ⁻² 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+200 | 0 | 2 | 12 | 0.009 | 28.0 | 0.9929 | 1.1 | 52.29 | 43.58 | 358.57 |
| 2 | 102+400 | 0 | 2 | 11 | 0.010 | 33.0 | 0.9872 | 1.1 | 47.66 | 38.99 | 360.63 |
| 3 | 102+600 | 0 | 3 | 11 | 0.008 | 35.0 | 0.9881 | 1.1 | 47.71 | 34.70 | 240.18 |
| 4 | 102+800 | 0 | 2 | 10 | 0.009 | 36.0 | 0.9858 | 1.1 | 43.27 | 34.61 | 361.13 |
| 5 | 103+000 | 0 | 3 | 10 | 0.007 | 34.0 | 0.9903 | 1.1 | 43.46 | 30.42 | 239.66 |
| 6 | 103+200 | 0 | 3 | 10 | 0.007 | 34.0 | 0.9903 | 1.1 | 43.46 | 30.42 | 239.66 |
| 7 | 103+400 | 0 | 2 | 13 | 0.011 | 35.0 | 0.9838 | 1.1 | 56.13 | 47.50 | 361.88 |
| 8 | 103+600 | 0 | 1 | 16 | 0.014 | 36.0 | 0.9781 | 1.1 | 68.69 | 64.39 | 727.96 |
| 9 | 103+800 | 0 | 3 | 13 | 0.011 | 37.0 | 0.9816 | 1.1 | 56.01 | 43.08 | 241.77 |
| 10 | 104+000 | 0 | 1 | 6 | 0.011 | 25.0 | 0.9945 | 1.1 | 26.19 | 21.82 | 715.92 |

Fuente: Elaboración propia

ANEXO 04

DEFLEXIÓN CARACTERISTICA Y RADIO DE CURVATURA

SECTOR : CARRETERA CAÑETE - YAUYOS - HUANCAYO CARRIL : Derecho
TRAMO : Km. 102+000 - Km. 104+000 SUPERFICIE : TS
FECHA : 15/05/2010 R. BRAZOS : 1 a 3.99

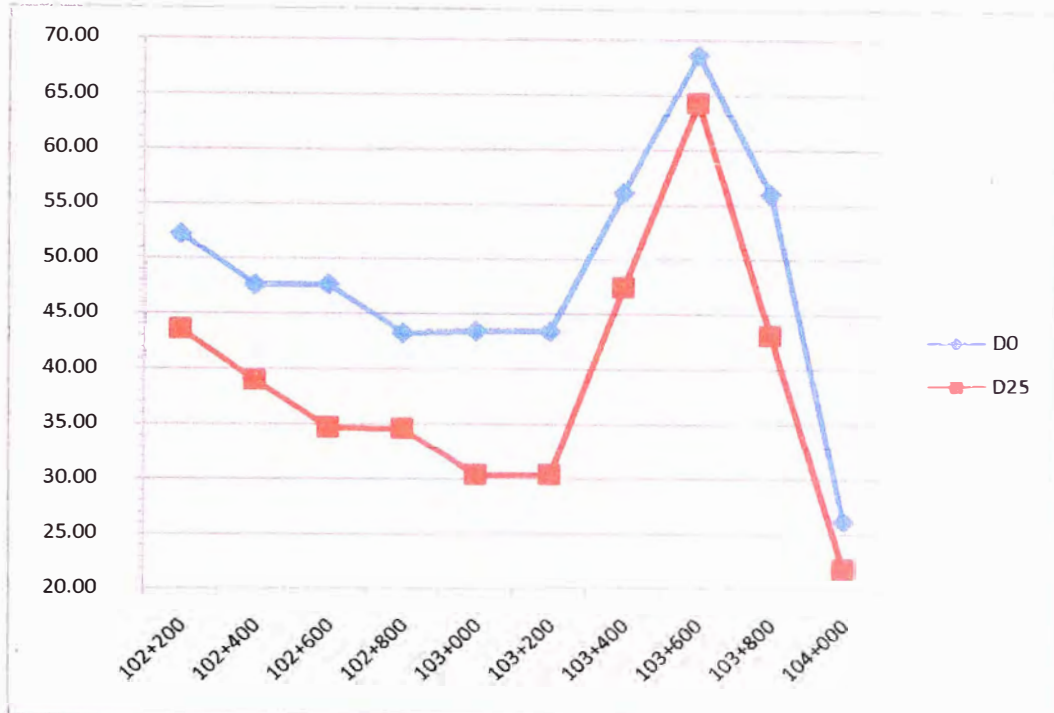
| TRAMO | | | | |
|-----------------------------|-------------|-------------------------|--------------------|-----|
| (Km. 102+000 - Km. 104+000) | | | | |
| Descripción | Deflexiones | | Radio de Curvatura | |
| Mínimo | 26.19 | (x 10 ⁻² mm) | 239.66 | (m) |
| Máximo | 68.69 | (x 10 ⁻² mm) | 727.96 | (m) |
| Promedio | 48.49 | (x 10 ⁻² mm) | 384.74 | (m) |
| Desviación Estándar | 11.12 | | 186.56 | |
| Coefficiente de Variación | 0.23 | | 0.48 | |
| Característico | 66.79 | (x 10 ⁻² mm) | 691.64 | (m) |

Fuente: Elaboración propia

ANEXO 05

DEFLECTOGRAMA

Km. 102+000 - Km. 104+000 CARRIL DERECHO

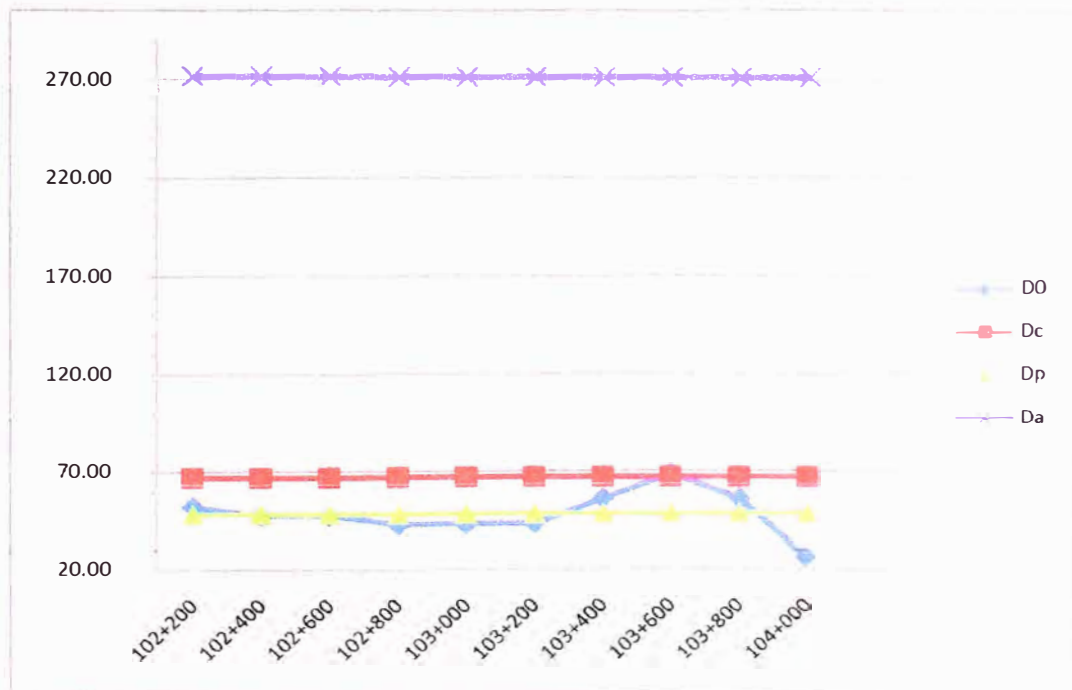


Fuente: Elaboración propia

ANEXO 06

DEFLECTOGRAMA

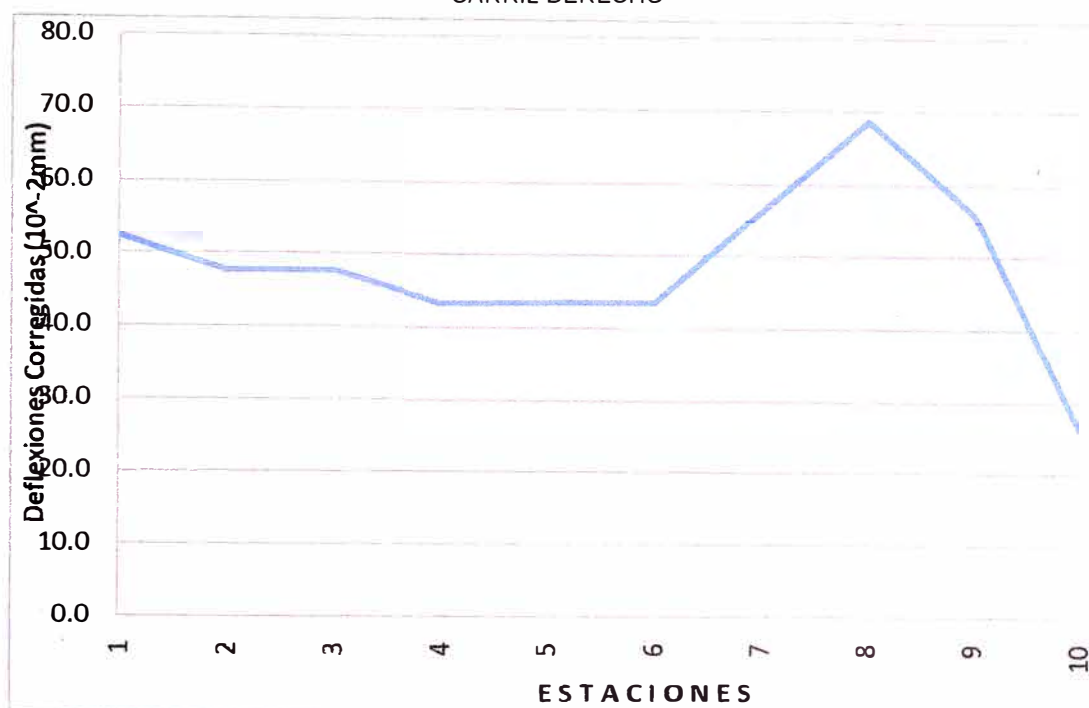
Km. 102+000 - Km. 104+000
CARRIL DERECHO



Fuente: Elaboración propia

ANEXO 07

DEFLECTOGRAMA
Km. 102+000 - Km. 104+000
CARRIL DERECHO



Fuente: Elaboración propia

ANEXO 08

DETERMINACION DEL TRÁFICO ACTUAL

| Vehículos | Capillucas 94+640 - Dv. Yauyos 127+000 | |
|---------------|-------------------------------------------|------|
| | 2008 | 2009 |
| Automóvil | 1 | 1 |
| Camioneta | 20 | 21 |
| Combi Rural | 4 | 4 |
| Micro | 0 | 0 |
| Ómnibus 2E | 8 | 8 |
| Ómnibus 3E | 0 | 0 |
| Camión 2 Ejes | 9 | 10 |
| Camión 3 Ejes | 11 | 12 |
| Camión 4 Ejes | 0 | 0 |
| Semitraylers | 0 | 0 |
| Tráileres | 0 | 0 |
| | TOTAL | 56 |

(*) Fuente: Conservación Vial Por Niveles de Servicio de la Carretera Cañete –
Lunahuaná - Pacarán- Huancayo y Rehabilitación del Tramo Zúñiga –
DV. Yauyos – Ronchas

ANEXO 09

DETERMINACION DE LOS FACTORES DE EQUIVALENCIA DE CARGA

| Tipo de vehículo | Descripción | Eje delantero | Ejes posteriores | | | EE _{8.2 TN} |
|--------------------|-------------|---------------|------------------|---------|---------|----------------------|
| | | | 1er eje | 2do eje | 3er eje | |
| Ómnibus 2E | Carga (Tn) | 7 | 11 | | | 18 |
| | F.E.C. | 1.265 | 3.238 | | | 4.504 |
| Ómnibus 3E | Carga (Tn) | 7 | 18 | | | 25 |
| | F.E.C. | 1.265 | 2.019 | | | 3.285 |
| Camión 2E-L | Carga (Tn) | 7 | 7 | | | 14 |
| | F.E.C. | 1.265 | 1.265 | | | 2.531 |
| Camión 2E-P | Carga (Tn) | 7 | 11 | | | 18 |
| | F.E.C. | 1.265 | 3.238 | | | 4.504 |
| Camión 3E | Carga (Tn) | 7 | 18 | | | 25 |
| | F.E.C. | 1.265 | 2.019 | | | 3.285 |
| Camión 4E | Carga (Tn) | 7 | 23 | | | 30 |
| | F.E.C. | 1.265 | 1.018 | | | 2.283 |
| Semitrayler 2S2 | Carga (Tn) | 7 | 11 | 18 | | 36 |
| | F.E.C. | 1.265 | 3.238 | 2.019 | | 6.523 |
| Semitrayler 2S3 | Carga (Tn) | 7 | 11 | 25 | | 43 |
| | F.E.C. | 1.265 | 3.238 | 1.420 | | 5.924 |
| Semitrayler 3S1 | Carga (Tn) | 7 | 18 | 11 | | 36 |
| | F.E.C. | 1.265 | 2.019 | 3.238 | | 6.523 |
| Semitrayler >= 3S3 | Carga (Tn) | 7 | 18 | 25 | | 50 |
| | F.E.C. | 1.265 | 2.019 | 1.420 | | 4.705 |
| Tráileres C2R2 | Carga (Tn) | 7 | 11 | 11 | 11 | 40 |
| | F.E.C. | 1.265 | 3.238 | 3.238 | 3.238 | 10.980 |

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

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

ANEXO 10

DETERMINACION DE EJES EQUIVALENTES

| Tipo de eje | Eje equivalente (EE _{8.2 TN}) |
|------------------------------------|-----------------------------------------|
| Eje Simple de ruedas simples | $EE_{S1} = [P / 6.6]^4$ |
| Eje Simple de ruedas dobles | $EE_{S2} = [P / 8.2]^4$ |
| Eje Tandem 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

ANEXO 11
CÁLCULO DE N18 Y DEFLEXION ADMISIBLE POR PERIODOS

| Tramo 102+000 - 104+000 CARRIL DERECHO | | | | | | | | | | | | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|---------------------|--------------------------|-----------------|---------------------|--------|---------------------|--------|---------------------|--------|---------------------|--|
| Tipo de vehículo | Factor de Carga | IMD ₂₀₀₉ | Tasa de crecimiento (i%) | Proyección | | | | | | | | |
| | | | | n años | EAL ₂₀₁₀ | n años | EAL ₂₀₁₁ | n años | EAL ₂₀₁₂ | n años | EAL ₂₀₁₅ | |
| Micro | 4.504 | 0 | 1.4 | 1 | 0 | 2 | 0 | 3 | 0 | 5 | 0 | |
| Omnibus 2E | 4.504 | 8 | 1.4 | 1 | 13151 | 2 | 26485 | 3 | 40007 | 5 | 67620 | |
| Omnibus 3E | 3.285 | 0 | 1.4 | 1 | 0 | 2 | 0 | 3 | 0 | 5 | 0 | |
| Camión 2 Ejes | 4.504 | 10 | 4.6 | 1 | 16438 | 2 | 33633 | 3 | 51618 | 5 | 90109 | |
| Camión 3 Ejes | 3.285 | 12 | 4.6 | 1 | 14386 | 2 | 29435 | 3 | 45175 | 5 | 78862 | |
| Camión 4 Ejes | 2.283 | 0 | 4.6 | 1 | 0 | 2 | 0 | 3 | 0 | 5 | 0 | |
| Semi traylers | 6.523 | 0 | 4.6 | 1 | 0 | 2 | 0 | 3 | 0 | 5 | 0 | |
| Traylers | 10.980 | 0 | 4.6 | 1 | 0 | 2 | 0 | 3 | 0 | 5 | 0 | |
| Nota: N ₁₈ , numero total de ejes equivalentes a 18 klb o 8.2 ton (en millones) | | | | EAL | 4.40E+04 | | 8.96E+04 | | 1.37E+05 | | 2.37E+05 | |
| | | | | N ₁₈ | 0.022 | | 0.045 | | 0.068 | | 0.118 | |
| | | | | Da (x 10-2 mm) | 268.9 | | 225.1 | | 202.5 | | 176.6 | |

Fuente: Elaboración propia

ANEXO 12
RESUMEN DE VALORES DE DEFLEXIONES Y RADIO DE CURVATURA

| Descripción | n (años) | Carretera Cañete - Yauyos - Chupaca | |
|---------------------------------------|----------|------------------------------------------|--|
| | | Km. 102+000 - Km. 104+000 CARRIL DERECHO | |
| PROGRESIVA INICIAL | | 102+000 | |
| PROGRESIVA FINAL | | 104+000 | |
| DEFLEX. CARACT. x 10 ⁻² | | 66.8 | |
| DEFLEX. ADMISIBLE x 10 ⁻² | 1 | 268.9 | |
| | 2 | 225.1 | |
| | 3 | 202.5 | |
| | 5 | 176.6 | |
| RADIO DE CURVATURA R _c (m) | | 384.7 | |

Fuente: Elaboración propia

ANEXO 13
RESUMEN DE CÁLCULO DE RESULTADOS

| Descripción | Unidad | Carretera Cañete - Yauyos - Chupaca | | | |
|--------------------------------------|-----------------------|------------------------------------------|---------|---------|---------|
| | | Km. 102+000 - Km. 104+000 CARRIL DERECHO | | | |
| AÑO DE ANALISIS (n) | años | 1 | 2 | 3 | 5 |
| DEFLEX. CARACT. (D _c) | x 10 ⁻² mm | 66.785 | 66.785 | 66.785 | 66.785 |
| DEFLEX. ADMISIBLE (D _a) | x 10 ⁻² mm | 268.924 | 225.119 | 202.493 | 176.576 |
| RADIO DE CURVATURA (R _c) | m | 384.737 | 384.737 | 384.737 | 384.737 |
| ESPESOR DE REFUERZO | cm | -23.696 | -18.240 | -16.650 | -14.594 |
| ESP. DE REFUERZO RECOMENDADO | mm | | | | |

Fuente: Elaboración propia

ANEXO 14

LECTURAS DE DEFLEXIONES CON VIGA BENKELMAN

SECTOR : CARRETERA CAÑETE - YAUYOS - HUANCAYO SUPERFICIE
TRAMO : Km. 102+000 - Km. 104+000 CARGA EJE : 8200 KG
FECHA : 15/05/2010 RESPONSABLE : UNI PRESIÓN : 80 PSI
CARRIL : Izquierdo OPERADOR : UNI R. BRAZOS : 1 a 3.99

| Estaca (km) | Lecturas del dial (10 ⁻² mm) | | | |
|----------------|--------------------------------------------|-----------------|-----------------|------------------|
| | L ₂₅ | L ₄₀ | L ₇₀ | L _{max} |
| 102+200 | 2 | 9 | 11 | 29 |
| 102+400 | 3 | 8 | 11 | 25 |
| 102+600 | 2 | 6 | 9 | 20 |
| 102+800 | 2 | 6 | 8 | 10 |
| 103+000 | 4 | 7 | 9 | 10 |
| 103+200 | 1 | 4 | 6 | 21 |
| 103+400 | 1 | 2 | 3 | 22 |
| 103+600 | 3 | 6 | 10 | 29 |
| 103+800 | 2 | 6 | 8 | 14 |
| 104+000 | 1 | 3 | 4 | 5 |

Fuente: Elaboración propia

ANEXO 15

MEDICIÓN DE DEFLEXIONES CON VIGA BENKELMAN

SECTOR : CARRETERA CAÑETE - YAUYOS - HUANCAYO SUPERFICIE : TS
TRAMO : Km. 102+000 - Km. 104+000 CARGA EJE : 8200 KG
FECHA : 15/05/2010 RESPONSABLE : UNI PRESIÓN : 80 PSI
CARRIL : Izquierdo OPERADOR : UNI R. BRAZOS : 1 a 3.99

| Progresiva (km) | Lecturas de Campo (10 ⁻² mm) | | | | Espesor Asfalto (m) | Ahuellamiento (mm) | Temperatura Asfalto (°C) | Obs |
|--------------------|--------------------------------------------|-----------------|-----------------|------------------|---------------------------|-----------------------|-----------------------------|---------------------------|
| | L ₂₅ | L ₄₀ | L ₇₀ | L _{max} | | Ahue 1 | | |
| 102+200 | 2 | 9 | 11 | 29 | 0.011 | 2.0 | 28.0 | MONOCAPA Y SLURRY SEAL |
| 102+400 | 3 | 8 | 11 | 25 | 0.010 | 2.0 | 33.0 | |
| 102+600 | 2 | 6 | 9 | 20 | 0.010 | 3.0 | 35.0 | |
| 102+800 | 2 | 6 | 8 | 10 | 0.012 | 2.0 | 36.0 | |
| 103+000 | 4 | 7 | 9 | 10 | 0.009 | 2.0 | 34.0 | |
| 103+200 | 1 | 4 | 6 | 21 | 0.012 | 2.0 | 34.0 | |
| 103+400 | 1 | 2 | 3 | 22 | 0.011 | 3.0 | 35.0 | |
| 103+600 | 3 | 6 | 10 | 29 | 0.009 | 1.0 | 36.0 | |
| 103+800 | 2 | 6 | 8 | 14 | 0.008 | 2.0 | 37.0 | |
| 104+000 | | | | | | | | |

Fuente: Elaboración propia

ANEXO 16

PROCESAMIENTO DE DATOS DE DEFLEXIONES

SECTOR : CARRETERA CAÑETE - YAUYOS - HUANCAYO CARRIL : Izquierdo
TRAMO : Km. 102+000 - Km. 104+000 SUPERFICIE : TS
FECHA : 15/05/2010 R. BRAZOS : 1 a 3.99

| Est. | Progresiva (km) | Lecturas de Campo (10 ⁻² 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+200 | 0 | 2 | 29 | 0.009 | 28.0 | 0.9929 | 1.1 | 126.37 | 117.66 | 358.57 |
| 2 | 102+400 | 0 | 3 | 25 | 0.010 | 33.0 | 0.9872 | 1.1 | 108.32 | 95.32 | 240.42 |
| 3 | 102+600 | 0 | 2 | 20 | 0.008 | 35.0 | 0.9881 | 1.1 | 86.74 | 78.07 | 360.28 |
| 4 | 102+800 | 0 | 2 | 10 | 0.009 | 36.0 | 0.9858 | 1.1 | 43.27 | 34.61 | 361.13 |
| 5 | 103+000 | 0 | 4 | 10 | 0.007 | 34.0 | 0.9903 | 1.1 | 43.46 | 26.08 | 179.75 |
| 6 | 103+200 | 0 | 1 | 21 | 0.007 | 34.0 | 0.9903 | 1.1 | 91.27 | 86.93 | 718.98 |
| 7 | 103+400 | 0 | 1 | 22 | 0.011 | 35.0 | 0.9838 | 1.1 | 94.99 | 90.67 | 723.76 |
| 8 | 103+600 | 0 | 3 | 29 | 0.014 | 36.0 | 0.9781 | 1.1 | 124.49 | 111.61 | 242.65 |
| 9 | 103+800 | 0 | 2 | 14 | 0.011 | 37.0 | 0.9816 | 1.1 | 60.32 | 51.70 | 362.66 |
| 10 | 104+000 | | | | | | | | | | |

Fuente: Elaboración propia

ANEXO 17

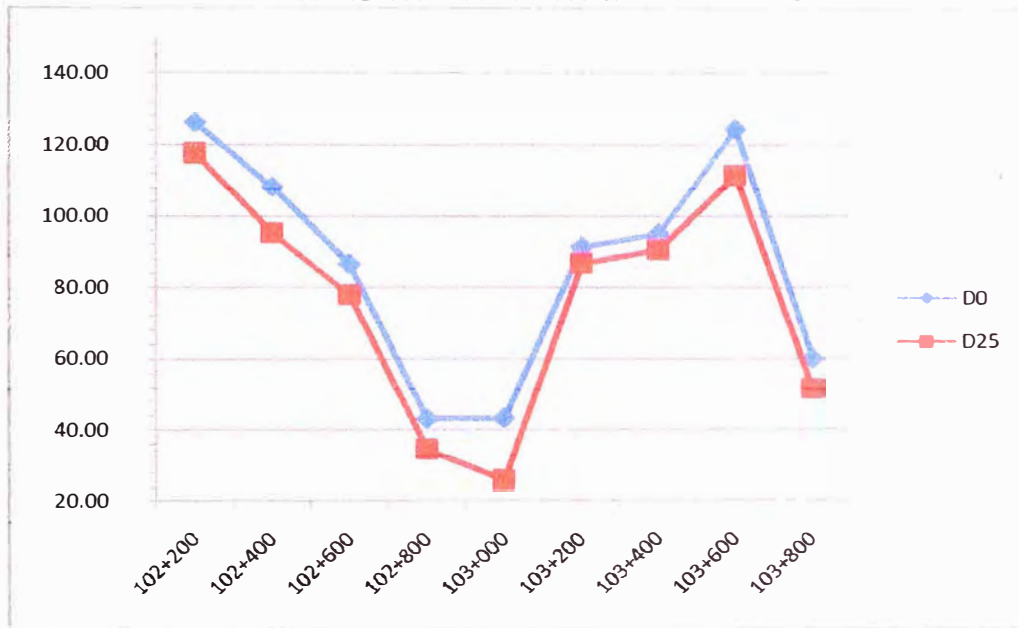
DEFLEXIÓN CARACTERÍSTICA Y RADIO DE CURVATURA

SECTOR: CARRETERA CAÑETE - YAUYOS - HUANCAYO CARRIL : Izquierdo
TRAMO: Km. 102+000 - Km. 104+000 SUPERFICIE : TS
FECHA: 15/05/2010 R. BRAZOS : 1 a 3.99

| TRAMO | | | | |
|-----------------------------|-------------|-------------------------|--------------------|-----|
| (Km. 102+000 - Km. 104+000) | | | | |
| Descripción | Deflexiones | | Radio de Curvatura | |
| Mínimo | 43.27 | (x 10 ⁻² mm) | 179.75 | (m) |
| Máximo | 126.37 | (x 10 ⁻² mm) | 723.76 | (m) |
| Promedio | 86.58 | (x 10 ⁻² mm) | 394.24 | (m) |
| Desviación Estándar | 31.64 | | 197.23 | |
| Coefficiente de Variación | 0.37 | | 0.50 | |
| Característico | 138.64 | (x 10 ⁻² mm) | 718.69 | (m) |

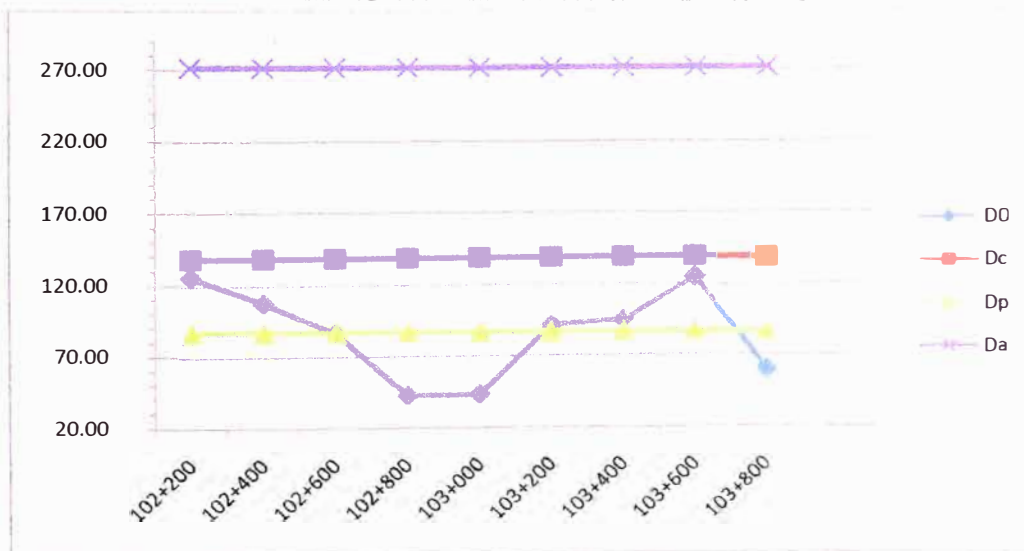
Fuente: Elaboración propia

ANEXO 18
DEFLECTOGRAMA
Km. 102+000 - Km. 104+000 CARRIL IZQUIERDO



Fuente: Elaboración propia

ANEXO 19
DEFLECTOGRAMA
Km. 102+000 - Km. 104+000 CARRIL IZQUIERDO



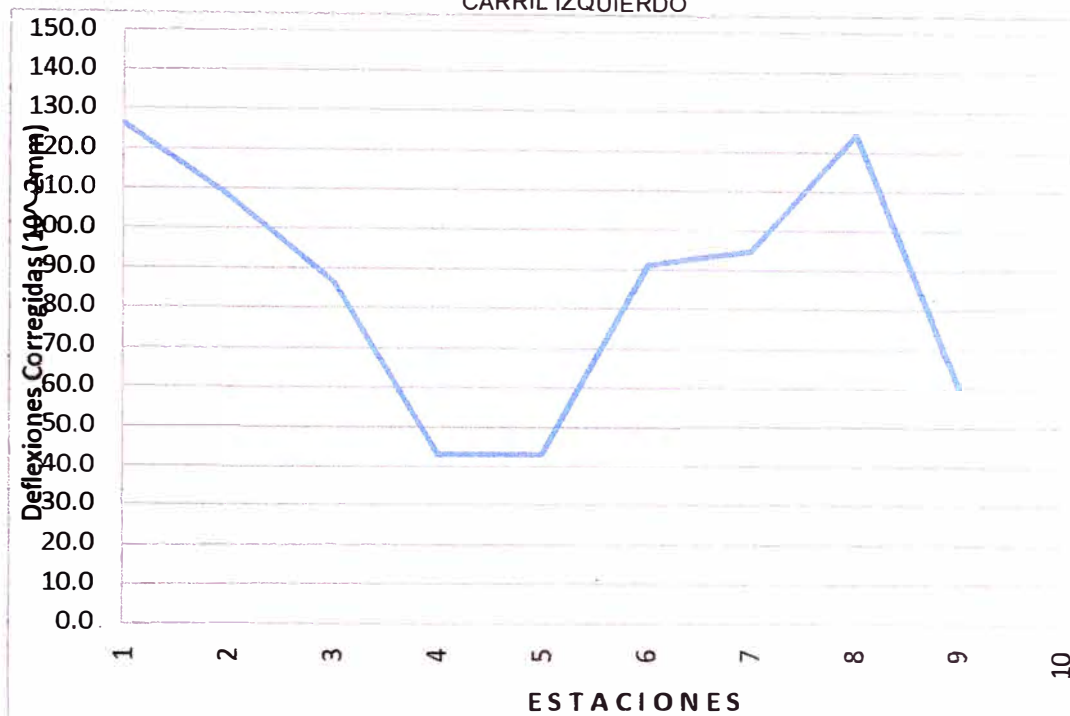
Fuente: Elaboración propia

ANEXO 20

DEFLECTOGRAMA

(Tramo de la Carretera Cañete - Yauyos – Huancayo)

CARRIL IZQUIERDO



Fuente: Elaboración propia

ANEXO 21

CÁLCULO DE N18 Y DEFLEXION ADMISIBLE POR PERIODOS

| Tramo 102+000 - 104+000 CARRIL IZQUIERDO | | | | | | | | | | | | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|----------|--------------------------|----------------------------|----------|--------|----------|--------|----------|--------|----------|--|
| Tipo de vehículo | Factor de Carga | IMD 2009 | Tasa de crecimiento (i%) | Proyección | | | | | | | | |
| | | | | n años | EAL 2010 | n años | EAL 2011 | n años | EAL 2012 | n años | EAL 2015 | |
| Micro | 4.504 | 0 | 1.4 | 1 | 0 | 2 | 0 | 3 | 0 | 5 | 0 | |
| Omnibus 2E | 4.504 | 8 | 1.4 | 1 | 13151 | 2 | 26485 | 3 | 40007 | 5 | 67620 | |
| Omnibus 3E | 3.285 | 0 | 1.4 | 1 | 0 | 2 | 0 | 3 | 0 | 5 | 0 | |
| Camión 2 Ejes | 4.504 | 10 | 4.6 | 1 | 16438 | 2 | 33633 | 3 | 51618 | 5 | 90109 | |
| Camión 3 Ejes | 3.285 | 12 | 4.6 | 1 | 14386 | 2 | 29435 | 3 | 45175 | 5 | 78862 | |
| Camión 4 Ejes | 2.283 | 0 | 4.6 | 1 | 0 | 2 | 0 | 3 | 0 | 5 | 0 | |
| Semi traylers | 6.523 | 0 | 4.6 | 1 | 0 | 2 | 0 | 3 | 0 | 5 | 0 | |
| Traylers | 10.980 | 0 | 4.6 | 1 | 0 | 2 | 0 | 3 | 0 | 5 | 0 | |
| Nota: N ₁₈ , número total de ejes equivalentes a 18 klb o 8.2 ton (en millones) | | | | EAL | 4.40E+04 | | 8.96E+04 | | 1.37E+05 | | 2.37E+05 | |
| | | | | N ₁₈ | 0.022 | | 0.045 | | 0.068 | | 0.118 | |
| | | | | Da (x 10 ⁻² mm) | 268.9 | | 225.1 | | 202.5 | | 176.6 | |

Fuente: Elaboración propia

ANEXO 22

RESUMEN DE VALORES DE DEFLEXIONES Y RADIO DE CURVATURA

| Descripción | n (años) | Carretera Cañete - Yauyos - Chupaca | |
|--------------------------------------|-------------|--------------------------------------------|--|
| | | Km. 102+000 - Km. 104+000 CARRIL IZQUIERDO | |
| PROGRESIVA INICIAL | | 102+000 | |
| PROGRESIVA FINAL | | 104+000 | |
| DEFLEX. CARACT. x 10 ⁻² | | 138.6 | |
| DEFLEX. ADMISIBLE x 10 ⁻² | 1 | 268.9 | |
| | 2 | 225.1 | |
| | 3 | 202.5 | |
| | 5 | 176.6 | |
| RADIO DE CURVATURA Rc (m) | | 394.2 | |

Fuente: Elaboración propia

ANEXO 23

RESUMEN DE CÁLCULO DE RESULTADOS

| Descripción | Unidad | Carretera Cañete - Yauyos - Chupaca Km. 102+000 - Km. 104+000 CARRIL IZQUIERDO | | | |
|------------------------------|-----------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|--------|--------|--------|
| | | 1 | 2 | 3 | 5 |
| AÑO DE ANALISIS (n) | años | 1 | 2 | 3 | 5 |
| DEFLEX. CARACT. (Dc) | x 10 ⁻² mm | 138.6 | 138.6 | 138.6 | 138.6 |
| DEFLEX. ADMISIBLE (Da) | x 10 ⁻² mm | 268.9 | 225.1 | 202.5 | 176.6 |
| RADIO DE CURVATURA (Rc) | m | 394.2 | 394.2 | 394.2 | 394.2 |
| ESPESOR DE REFUERZO | cm | -11.271 | -7.277 | -5.687 | -3.631 |
| ESP. DE REFUERZO RECOMENDADO | mm | | | | |

Fuente: Elaboración propia

ANEXO 24

CÁLCULO DE AÑOS DE SERVICIO PROYECTADO

| Tramo 102+000 - 104+000 CARRIL DERECHO | | | | | | | | | | | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|---------------------|--------------------------|----------------------------|---------------------|--------|---------------------|--------|---------------------|--------|---------------------|
| Tipo de vehículo | Factor de Carga | IMD ₂₀₀₉ | Tasa de crecimiento (i%) | Proyección | | | | | | | |
| | | | | n años | EAL ₂₀₁₀ | n años | EAL ₂₀₁₁ | n años | EAL ₂₀₁₂ | n años | EAL ₂₀₁₅ |
| Micro | 4.504 | 1 | 1.4 | 1 | 1644 | 2 | 3311 | 3 | 5001 | 63 | 164500 |
| Omnibus 2E | 4.504 | 8 | 1.4 | 1 | 1315 1 | 2 | 2648 5 | 3 | 40007 | 63 | 131600 1 |
| Omnibus 3E | 3.285 | 0 | 1.4 | 1 | 0 | 2 | 0 | 3 | 0 | 63 | 0 |
| Camión 2 Ejes | 4.504 | 10 | 4.6 | 1 | 1643 8 | 2 | 3363 3 | 3 | 51618 | 63 | 571834 2 |
| Camión 3 Ejes | 3.285 | 12 | 4.6 | 1 | 1438 6 | 2 | 2943 5 | 3 | 45175 | 63 | 500456 4 |
| Camión 4 Ejes | 2.283 | 0 | 4.6 | 1 | 0 | 2 | 0 | 3 | 0 | 63 | 0 |
| Semi trailers | 6.523 | 0 | 4.6 | 1 | 0 | 2 | 0 | 3 | 0 | 63 | 0 |
| Trailers | 10.980 | 0 | 4.6 | 1 | 0 | 2 | 0 | 3 | 0 | 63 | 0 |
| Nota: N ₁₈ , número total de ejes equivalentes a 18 klb o 8.2 ton (en millones) | | | | EAL | 4.56E+04 | | 9.29E+04 | | 1.42E+05 | | 1.22E+07 |
| | | | | N ₁₈ | 0.023 | | 0.046 | | 0.071 | | 6.102 |
| | | | | Da (x 10 ⁻² mm) | 266.5 | | 223.1 | | 200.7 | | 65.9 |

Fuente: Elaboración propia

ANEXO 25
CÁLCULO DE AÑOS DE SERVICIO PROYECTADO

| Tramo 102+000 - 104+000 CARRIL IZQUIERDO | | | | | | | | | | | | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|----------|--------------------------|-----------------|----------|--------|----------|--------|----------|--------|----------|--|
| Tipo de vehículo | Factor de Carga | IMD 2009 | Tasa de crecimiento (i%) | Proyección | | | | | | | | |
| | | | | n años | EAL 2010 | n años | EAL 2011 | n años | EAL 2012 | n años | EAL 2015 | |
| Micro | 4.504 | 0 | 1.4 | 1 | 0 | 2 | 0 | 3 | 0 | 11 | 0 | |
| Omnibus 2E | 4.504 | 8 | 1.4 | 1 | 13151 | 2 | 26485 | 3 | 40007 | 11 | 155221 | |
| Omnibus 3E | 3.285 | 0 | 1.4 | 1 | 0 | 2 | 0 | 3 | 0 | 11 | 0 | |
| Camión 2 Ejes | 4.504 | 10 | 4.6 | 1 | 16438 | 2 | 33633 | 3 | 51618 | 11 | 228714 | |
| Camión 3 Ejes | 3.285 | 12 | 4.6 | 1 | 14386 | 2 | 29435 | 3 | 45175 | 11 | 200165 | |
| Camión 4 Ejes | 2.283 | 0 | 4.6 | 1 | 0 | 2 | 0 | 3 | 0 | 11 | 0 | |
| Semi traylers | 6.523 | 0 | 4.6 | 1 | 0 | 2 | 0 | 3 | 0 | 11 | 0 | |
| Traylers | 10.980 | 0 | 4.6 | 1 | 0 | 2 | 0 | 3 | 0 | 11 | 0 | |
| Nota: N ₁₈ , número total de ejes equivalentes a 18 klb o 8.2 ton (en millones) | | | | EAL | 4.40E+04 | | 8.96E+04 | | 1.37E+05 | | 5.84E+05 | |
| | | | | N ₁₈ | 0.022 | | 0.045 | | 0.068 | | 0.292 | |
| | | | | Da (x 10-2 mm) | 268.9 | | 225.1 | | 202.5 | | 140.9 | |

Fuente: Elaboración propia

ANEXO 26

DETERMINACION DEL TRAFICO MAXIMO

| Vehículos | Capillucas 94+640 - Dv. Yauyos 127+000 | | |
|---------------|----------------------------------------|-------|-------------------|
| | 2009 | % | 2009 incrementado |
| Automovil | 1 | | 1 |
| Camioneta | 21 | | 21 |
| Combi Rural | 4 | | 4 |
| Micro | 0 | | 0 |
| Omnibus 2E | 8 | 0% | 8 |
| Omnibus 3E | 0 | | 0 |
| Camión 2 Ejes | 10 | 0% | 10 |
| Camión 3 Ejes | 12 | 4000% | 492 |
| Camión 4 Ejes | 0 | | 0 |
| Semitraylers | 0 | | 0 |
| Traylers | 0 | | 0 |
| TOTAL | 56 | | 536 |

| | |
|-------------------------------------|--------|
| Deflexión admisible (x 10-2mm) | 138.81 |
| Deflexión característica (x 10-2mm) | 138.64 |

Fuente: Elaboración propia

ANEXO 27

DETERMINACION DEL TRAFICO MAXIMO

| Vehículos | Capillucas 94+640 - Dv. Yauyos 127+000 | | |
|-------------------------------------|----------------------------------------|-------|-------------------|
| | 2009 | % | 2009 incrementado |
| Automovil | 1 | | 1 |
| Camioneta | 21 | | 21 |
| Combi Rural | 4 | | 4 |
| Micro | 0 | | 0 |
| Omnibus 2E | 8 | 0% | 8 |
| Omnibus 3E | 0 | | 0 |
| Camión 2 Ejes | 10 | 3500% | 360 |
| Camión 3 Ejes | 12 | 0% | 12 |
| Camión 4 Ejes | 0 | | 0 |
| Semitraylers | 0 | | 0 |
| Traylers | 0 | | 0 |
| TOTAL | 56 | | 406 |
| Deflexión admisible (x 10-2mm) | | | 138.82 |
| Deflexión característica (x 10-2mm) | | | 138.64 |

Fuente: Elaboración propia

ANEXO 28

DETERMINACION DEL TRAFICO MAXIMO

| Vehículos | Capillucas 94+640 - Dv. Yauyos 127+000 | | |
|-------------------------------------|----------------------------------------|-------|-------------------|
| | 2009 | % | 2009 incrementado |
| Automovil | 1 | | 1 |
| Camioneta | 21 | | 21 |
| Combi Rural | 4 | | 4 |
| Micro | 0 | | 0 |
| Omnibus 2E | 8 | 4400% | 360 |
| Omnibus 3E | 0 | | 0 |
| Camión 2 Ejes | 10 | 0% | 10 |
| Camión 3 Ejes | 12 | 0% | 12 |
| Camión 4 Ejes | 0 | | 0 |
| Semitraylers | 0 | | 0 |
| Traylers | 0 | | 0 |
| TOTAL | 56 | | 408 |
| Deflexión admisible (x 10-2mm) | | | 138.64 |
| Deflexión característica (x 10-2mm) | | | 138.64 |

Fuente: Elaboración propia

ANEXO 29

DETERMINACION DEL TRAFICO MAXIMO

| Vehiculos | Capillucas 94+640 - Dv. Yauyos 127+000 | | |
|---------------|----------------------------------------|-------|-------------------|
| | 2009 | % | 2009 incrementado |
| Automovil | 1 | | 1 |
| Camioneta | 21 | | 21 |
| Combi Rural | 4 | | 4 |
| Micro | 0 | | 0 |
| Omnibus 2E | 8 | 1300% | 112 |
| Omnibus 3E | 0 | | 0 |
| Camión 2 Ejes | 10 | 1300% | 140 |
| Camión 3 Ejes | 12 | 1300% | 168 |
| Camión 4 Ejes | 0 | | 0 |
| Semitraylers | 0 | | 0 |
| Traylers | 0 | | 0 |
| TOTAL | 56 | | 446 |

| | |
|-------------------------------------|--------|
| Deflexión admisible (x 10-2mm) | 139.03 |
| Deflexión característica (x 10-2mm) | 138.64 |

Fuente: Elaboración propia

ANEXO 30
 RESUMEN DE características encontradas en el tramo estudiado

| Progresiva | Característica | Estado | Observación |
|------------|-----------------------------------------------------|---------|-----------------------------------------------|
| 102+000 | TSM con superficie de lechada asfáltica slarry seal | Regular | Monocapa visible |
| 102+042 | Pintura en pavimento | Malo | Se ha colocado el slarry encima de la pintura |
| 102+072 | Parche por canal de irrigación | Regular | Cruza por la pista |
| 102+079 | Superficie del Pavimento | Regular | Piel de cocodrilo |
| 102+090 | Pavimento - alrededor de giba | Malo | Los vehículos evitan la giba |
| 102+093 | Superficie del Pavimento | Estado | Con peladuras |
| 102+187 | Superficie del Pavimento | Bueno | Con peladuras |
| 102+218 | Superficie del Pavimento | Bueno | Baches |
| 102+280 | Superficie del Pavimento | Bueno | Baches |
| 102+310 | Superficie del Pavimento | Bueno | Agua por filtraciones de canal |
| 102+335 | Alcantarina | Bueno | L: 4.50 m |
| 102+340 | Superficie del Pavimento | Regular | Reparación de baches |
| 102+372 | Superficie del Pavimento | Bueno | Slarry en buen estado |
| 102+445 | Alcantarina | Bueno | L: 5.70 m |
| 102+465 | Superficie del Pavimento | Regular | Presencia de agua por filtraciones de canal |
| 102+490 | Pavimento - alrededor de giba | Malo | Los vehículos evitan la giba |
| 102+500 | Talud de 90° | Regular | Piedras canto rodado |
| 102+740 | Alcantarina | Bueno | L: 5.75 m |
| 102+785 | Pavimento - alrededor de giba | Malo | Los vehículos evitan la giba |
| 102+870 | Alcantarina | Bueno | L: 5.75 m |
| 102+910 | Superficie del Pavimento | Bueno | Slarry en Bueno estado |
| 102+910 | Superficie del Pavimento | Regular | se raparan huellas con slarry |

Fuente: Elaboración propia

PANEL FOTOGRAFICO



Foto N°01: Pircado: sistema de delimitación mediante cercos de piedras, se aprecian las huellas



Foto N°02: Desgaste y formación de baches



Foto N°03: Zona de acopio para agregado fino, no hay cunetas carril izquierdo



Foto N°04: No hay cunetas, giba en mal estado y la pintura desgastada



Foto N°05: Inestabilidad de taludes, no hay cunetas



Foto N°06: No hay cunetas, geometría peligrosa, baches, no hay borde de vía



Foto N°07: No hay cuneta, pintura desgastada, bahces, desprendimiento del tratamiento superficial



Foto N°09 Huellas de maquinaria pesada



Foto N°09: Carpeta expuesta a la erosión del agua, cuneta natural



Foto N°10: Ensayo de viga Benkelman



Foto N°11: Calibración del dial



Foto N°11: Lectura de datos