

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



**APLICACIÓN DE LA VIGA BENKELMAN
MONITOREO DE CONSERVACIÓN CARRETERA
CAÑETE - HUANCAYO KM. 108+000 AL KM. 110+00**

INFORME DE SUFICIENCIA

Para optar el Título Profesional de:

INGENIERO CIVIL

DANIEL ANGEL ILDEFONSO SANCHEZ

Lima- Perú

2010

*A mis padres **Elias y Yolanda**
por su inmenso amor, comprensión,
apoyo y por creer en mí.*

ÍNDICE

RESUMEN	4
LISTA DE FIGURAS	5
LISTA DE TABLAS	5
LISTA DE FOTOS	6
LISTA DE SÍMBOLOS Y DE SIGLAS	7
INTRODUCCIÓN	8
CAPÍTULO I: PERFIL DEL PROYECTO	9
1.1 UBICACIÓN	9
1.2 DESCRIPCIÓN Y ANÁLISIS DEL PROYECTO	9
CAPÍTULO II: LA VIGA BENKELMAN	11
2.1 DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO	11
2.1.1 Principio de medición con la Viga Benkelman	12
2.2 PROCEDIMIENTO PARA TOMA DE DEFLEXIONES	13
2.2.1 Relación de Equipos	13
2.2.2 Relación de personal	14
2.2.3 Procedimiento de medición en campo	15
2.3 MÉTODO CONREVIAL	18
2.3.1 Deflexiones	18
2.3.2 Cálculo de deflexiones recuperables	18
2.3.3 Corrección por temperatura	19
2.3.4 Corrección por estacionalidad	19
2.4 USOS DE LAS MEDIDAS DE DEFLEXIONES	20
2.5 PROCESAMIENTO DE LOS VALORES DEFLECTOMÉTRICOS	21
2.5.1 Recopilación de datos	21
2.5.2 Procesamiento de datos	22
CAPÍTULO III: EVALUACIÓN SUPERFICIAL	23
3.1 METODOLOGÍA CONREVIAL	23
3.2 PROPUESTA DEL MTC	23
3.3. EVALUACIÓN SUPERFICIAL DEL TRAMO KM. 108+00 AL KM. 110+00 .	26
CAPÍTULO IV: EVALUACIÓN ESTRUCTURAL	29

4.1 CONSIDERACIONES DEL MÉTODO.....	29
4.2 DEFLECTOMETRÍA MÉTODO EMPÍRICO (CONREVAL)	29
4.2.1 Cálculo del radio de curvatura (R_c).....	29
4.2.2 Deflexión característica (D_c).....	30
4.2.3 Deflexión Admisible (D_{adm})	32
4.2.4 Deflectogramas.....	33
4.2.5 Juicio de la capacidad estructural del pavimento	33
4.2.6 Espesor de refuerzo.....	35
4.3 MAGNITUD DE LAS DEFORMACIONES (ANÁLISIS DEL RADIO DE CURVATURA)	36
4.4 ANÁLISIS DE DEFLEXIONES.....	40
4.4.1 Procesamiento de datos	40
4.4.2 Análisis de resultados	43
4.5 OTROS MÉTODOS DE EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO	44
4.5.1 Ensayos no destructivos	45
4.5.2 Ensayos destructivos	47
4.6 DETERMINACIÓN DEL ESPESOR DEL REFUERZO EN CARRETERA PAVIMENTADA A NIVEL DE RECUBRIMIENTO BITUMINOSO.....	48
4.6.1 Método TRRL.....	48
4.6.3 Método del Cuerpo de Ingenieros del Ejército Norteamérica (USACE).....	49
4.6.4 Método US FOREST SERVICE	49
4.6.5 Método AASHTO	49
CAPITULO V: EVALUACIÓN DEL CONTRATO DE SERVICIO DE CONSERVACIÓN.....	56
5.1 EVALUACIÓN DE LOS CONTRATO DE SERVICIO DE CONSERVACIÓN VIAL.....	56
5.1.1 Conservación de la Vía	56
5.1.2 Atención de Emergencias	57
5.2 OTROS ASPECTOS.....	61
5.2.1 Ventajas de los contratos de conservación vial.....	61
5.2.2 Desventajas del contrato.....	61
5.2.3 Puntos críticos	62
CONCLUSIONES	68

RECOMENDACIONES.....	70
BIBLIOGRAFÍA	71
ANEXOS.....	72

RESUMEN

En el presente informe se desarrollara la metodología de CONREVIAL para evaluar el comportamiento estructural en pavimentos de bajo volumen de transito. Se evaluará el tramo comprendido entre el Km. 108+00 y el Km. 110+000 de la carretera Cañete - Huancayo.

La evaluación estructural del pavimento se desarrolla mediante ensayos no destructivos (END) y se basa en la interpretación de las deflexiones medidas en la superficie de rodadura, para la medición de estas deflexiones se usará el deflectógrafo conocido como Viga Benkelman, esta equipo portátil permite medir las deformaciones que sufre el pavimento, bajo la acción de una carga rodante estándar, de una manera práctica, sencilla y económica.

Los resultados serán interpretados mediante el método empírico, esta ayudará a conocer el estado situacional de la estructura para así establecer medidas correctivas.

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1.1. Ubicación del Proyecto	9
Figura 2.1. Esquema y principio de operación de la Viga Benkelman	13
Figura 2.2. Deformada del pavimento y parámetros de comparación	13
Figura 2.3. Configuración geométrica del sistema de carga de ensayos con la Viga Benkelman	16
Figura 2.4. Esquematización del proceso de medición con la Viga Benkelman	17
Figura 2.5. Deflexiones en el pavimento	18
Figura 2.6. Formatos de hojas para la recopilación de datos de medidas de deflexiones en campo	21
Figura 2.7. Formatos de hojas para procesamiento de datos	22
Figura 3.1. Adecuación del catálogo de fallas sugeridos por CONREVIAl	24
Figura 4.1. Significado cualitativo de los diferentes tipos de curvas de deflexiones	37
Figura 4.2. Determinación del radio de curvatura - Método de la aproximación parabólica	39
Figura 4.3. Equipo Dynaflec transportado	45
Figura 4.4. Road Rater	46
Figura 4.5. Equipo FWD en prueba	46
Figura 4.6. Equipo KUAB – FWD	47
Figura 4.7. Relación entre el Factor de Condición y la Vida Remanente	51
Figura 4.8. Sección típica del pavimento	52
Figura 4.9. CBR sectorizado	52
Figura 5.1. Sistemas de defensas contra deslizamientos	66

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1.1. Ramificación y características principales	10
Tabla 2.1. Factores de corrección por estacionalidad	20
Tabla 2.2. Empleo de la Viga Benkelman en pavimentos	20
Tabla 3.1. Rangos para definir magnitud de fallas	25
Tabla 3.2. Medición de ahuellamientos	26
Tabla 3.3. Resumen de fallas del tramo en estudio	28

Tabla 4.1. Valor de “t” y probabilidad de ocurrencia de $D > D_c$	31
Tabla 4.2. Análisis combinado de los resultados de evaluación	34
Tabla 4.3. Valores recomendados para R	35
Tabla 4.4. Deflexiones admisibles del tramo en estudio	42
Tabla 4.5. Resumen de resultados del tramo en estudio	44
Tabla 4.6. Recubrimientos bituminosos por tramos	51
Tabla 4.7. Espesores de las capas del pavimento	52
Tabla 4.8. CBR del afirmado	53
Tabla 4.9. Parámetros de diseño	53
Tabla 4.10. Cálculo del Número Estructural Efectivo SN_{eff}	54
Tabla 4.11. Cálculo del espesor de refuerzo	54
Tabla 5.1. Planilla de relevamiento y cálculo del nivel de servicio prestado por Km.	57
Tabla 5.2. Pago de atención de emergencias	59
Tabla 5.3. Análisis de Precios Unitarios de Derrumbes.	59
Tabla 5.4. Análisis de subpartidas de Voladura y Transporte de Roca.	60

LISTA DE FOTOS

	Pág.
Foto 2.1. Viga Benkelman	12
Foto 2.2. Eje trasero del camión volquete	14
Foto 3.1. Fisura longitudinal	27
Foto 3.2. Desintegración superficial del monocapa	28
Foto 5.1. Relleno en la plataforma del Km. 180+000	63
Foto 5.2. Enrocado para proteger socavación y erosión del río	63
Foto 5.3. Construcción de muro de mampostería	64
Foto 5.4. Construcción de muro seco Km. 107+200	64
Foto 5.5. Construcción de cunetas no revestidas	65
Foto 5.6. Derrumbes en la carreta Cañete – Huancayo	64
Foto 5.7. Mallas contra caídas de bloques	67
Foto 5.8. Redes de cable de acero	67
Foto 5.9. Postes delineadores	67

LISTA DE SÍMBOLOS Y DE SIGLAS

AASHTO	: American Association of State Highway and Transportation Officials
CONREVIAl	: Consorcio de Rehabilitación Vial
D _c	: Desviación característica
D _{adm}	: Desviación admisible
EE	: Ejes Equivalentes
EAL	: Número de ejes equivalentes a 8.2 ton en el periodo de diseño.
IMD	: Índice medio diario
IRI	: International Roughness Index(Índice de rugosidad internacional)
IRI _p	: Índice de rugosidad internacional promedio
MDCPBV	: Manual para el Diseño de Carreteras Pavimentadas de Bajo Volumen de Tránsito
R _c	: Radio de curvatura
R _{cp}	: Radio de curvatura promedio
VB	: Viga Benkelman
SN	: Número estructural
TTR	: Transportation & Road Research Laboratory
WASHO	: Western Association of State Highway Organizations

INTRODUCCIÓN

El desarrollo del presente Informe de Suficiencia tiene por objetivo evaluar la condición de la capacidad estructural del pavimento de la carretera Cañete – Huancayo en el tramo Km. 108+000 – Km. 110+000, esta evaluación se basará en el procedimiento del CONREVIAl, el cual dará a conocer el estado de la estructura y establecer medidas correctivas para su conservación.

Este informe es una muestra de cómo se puede evaluar la condición estructural del sistema pavimento – subrasante, usando una metodología sencilla, práctica y no destructiva. Para ello este informe se ha dividido en cinco capítulos.

El capítulo I describe la generalidades de la carretera, sobre la carretera Cañete – Huancayo se describe su ubicación y las características más importantes del tramo Km. 108+000 – Km. 110+000 asimismo sus características más relevantes.

En el capítulo II se explica los conceptos de relacionados a la evaluación estructural con Viga Benkelman mediante el método empírico y los diferentes equipos existentes.

En el capítulo III se explica los conceptos relacionados a la evaluación superficial del pavimento con la metodología CONREVIAl y la propuesta del MTC.

En el capítulo IV se describe lo referente a la recopilación, análisis e interpretación de las medidas de deflexiones realizadas en campo y se recomienda la metodología del AASHTO para calcular el espesor de refuerzo del pavimento. Finalmente en el capítulo V se realiza un análisis al contrato de servicio de conservación.

CAPÍTULO I: PERFIL DEL PROYECTO

1.1 UBICACIÓN

La carretera Cañete - Huancayo pertenece a los siguientes cuadrángulos de la carta nacional: Yauyos (25-I), Huancayo (25-M), Lunahuaná (26-K), Tupe (26-I) y Jauja (24-M); esta forma parte del Corredor Vial N°13 del programa de infraestructura vial Proyecto Perú y forma parte de la Ruta N° PE-24 de la Red Vial Nacional según la clasificación de ruta aprobada mediante DS N°017-2007-MTC, está ubicada en el centro del país y conecta las regiones de Lima y Junín. En la Figura 1.1 se muestra plano de ubicación de la carretera Cañete – Huancayo.



Figura 1.1. Ubicación del Proyecto

1.2 DESCRIPCIÓN Y ANÁLISIS DEL PROYECTO

Las condiciones actuales del sistema vial se limitan a caminos afirmados de tramos angostos y de regulares condiciones, en los cuales, al haberse mejorado la transitabilidad, los vehículos recorren la vía a mayor velocidad, pero por las deficientes condiciones geométricas la vía es propensa a accidentes.

La transitabilidad es difícil para camiones ligeros y casi imposible para vehículos mayores, por lo que no es capaz de atender la demanda actual ni la proyección de la demanda.

Esta situación se transmite a los usuarios, elevando los costos de transporte y encareciendo el costo de vida en la zona, pérdida de productos por llegada inoportuna a los mercados, etc. Además, como se deduce de los estudios, la mayor concentración de tráfico se produce entre Zúñiga y Cañete, y del Desvío Yauyos a Huancayo, no funcionando actualmente como vía alterna de la Carretera Central.

Para efectos del estudio, la carretera se ha dividido en los siguientes tramos:

Tramos	Longitud (km)	Región	Topografía
Cañete - Lunahuaná	40.75	Costa	Ondulada
Lunahuaná – Pacarán	12.49	Costa	Ondulada
Pacarán – Zúñiga	4.15	Costa	Ondulada
Zúñiga – Dv. Yauyos	72.60	Sierra	Accidentada
Dv. Yauyos – Ronchas	135.13	Sierra	Accidentada
Ronchas – Chupaca	16.61	Sierra	Ondulada

Tabla 1.1 Ramificación y características principales

CAPÍTULO II: LA VIGA BENKELMAN

El deflectómetro Viga de Benkelman pertenece al grupo de los ensayos estáticos, fue diseñada como parte del programa de ensayos viales de la WASHO (WASHO Road Test). Llamado así en honor al Ing. A.C. Benkelman, quien lo desarrolló en 1953, es un instrumento simple y versátil, funciona por el principio de palanca.

La Viga Benkelman de brazo doble, fue utilizada desde el año 1981, mediante el método empírico, que considera dos puntos de deflexión distantes 25 cm, y con los cuales se puede establecer la parábola de la deformada.

2.1 DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO

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

Su funcionamiento se basa en el principio de la palanca. La Viga Benkelman consta de dos partes:

1. El sostén que se sitúa directamente con el terreno mediante tres apoyos, dos delanteros y uno trasero regulable.
2. Un brazo móvil acoplado al cuerpo fijo mediante una articulación de giro y pivote, en un extremo se apoya en el terreno y el otro está en contacto sensible con el vástago de un extensómetro de movimiento vertical. Adicionalmente el equipo posee un vibrador incorporado que al ser accionado, durante la realización de los ensayos, evita que el indicador del dial se trabe y/o que cualquier interferencia exterior afecte las lecturas. En la Foto 2.1. se muestra la viga de brazo doble usado en el ensayo del tramo Km. 108+000 al Km. 110+000.



Foto 2.1. Viga Benkelman

2.1.1 Principio de medición con la Viga Benkelman

La "punta de la viga" es de espesor tal que puede ser colocado entre las llantas dobles del eje trasero de un camión cargado. Por el peso aplicado se produce una deformación del pavimento, consecuencia de lo cual la punta (D), ver Figura 2.1, baja una cierta cantidad, con respecto al nivel descargado de la superficie. Como efecto de dicha acción el brazo móvil gira en torno al punto fijo (pivote C), con respecto al cuerpo fijo, produciéndose un movimiento vertical en el vástago del extensómetro (E) apoyado en él, generando así una lectura en el dial indicador. Si se retiran luego las llantas cargadas, el punto de ensayo (D) se recupera en lo que a deformación elástica se refiere y por el mismo mecanismo anterior se genera otra lectura en el dial del extensómetro (E). A continuación se muestra el esquema de funcionamiento de la Viga Benkelman.

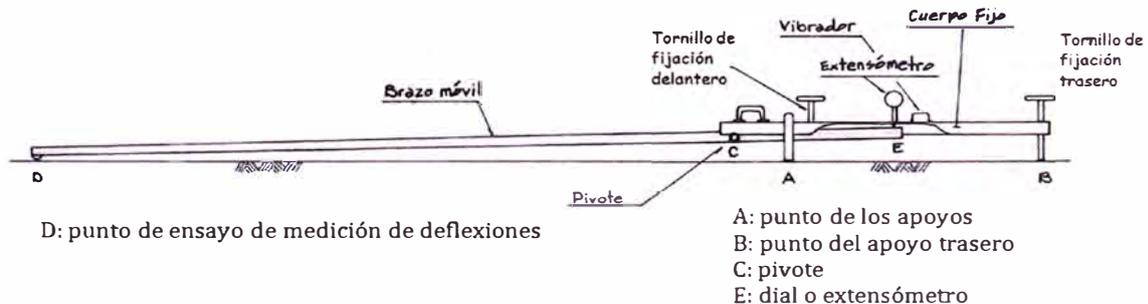


Figura 2.1. Esquema y principio de operación de la Viga Benkelman

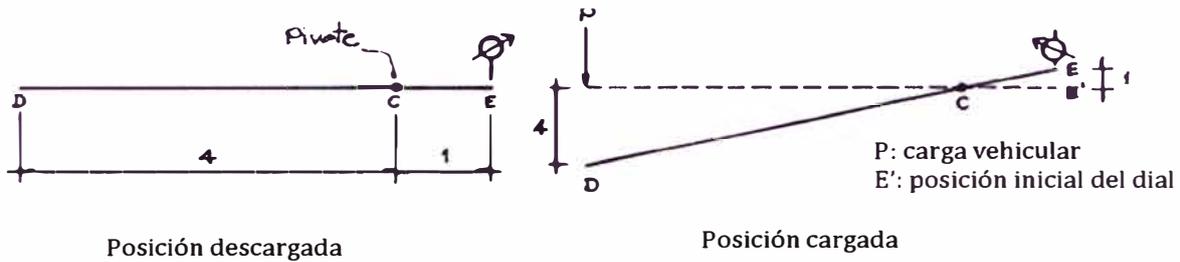


Figura 2.1. Esquema y principio de operación de la Viga Benkelman
(Fuente: Estudio CONREVIAL)

La Viga Benkelman de brazo doble, fue utilizada desde el año 1981, mediante el método empírico, que considera dos puntos de deflexión distantes 25 cm, y con los cuales se puede establecer la parábola de la deformada. En la Figura 2.2 se muestra la deformada del pavimento al aplicar una carga vehicular, además se muestra la parábola de la deformada que para distancias superiores a 25cm sufre una inflexión para tender asintóticamente hacia la horizontal.

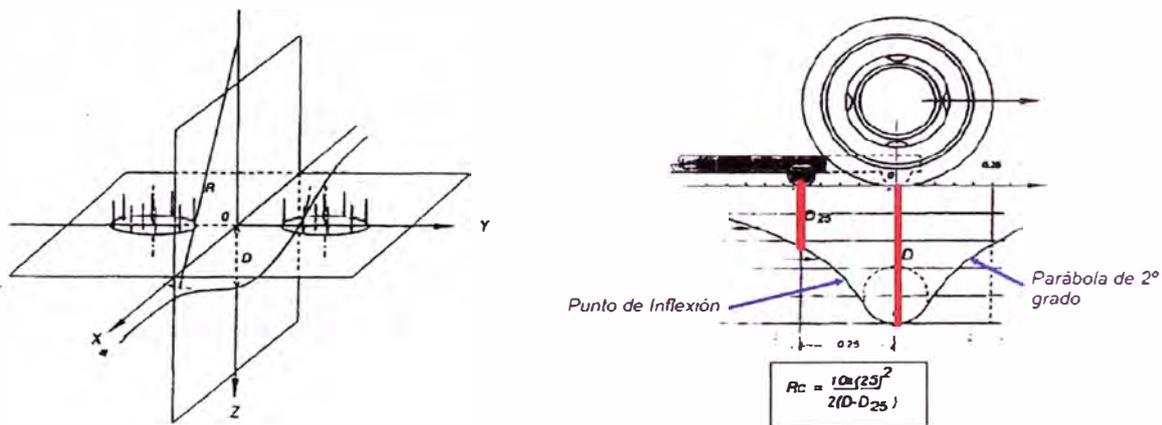


Figura 2.2. Deformada del pavimento y parámetros de comparación
(Fuente: Estudio CONREVIAL)

2.2 PROCEDIMIENTO PARA TOMA DE DEFLEXIONES

2.2.1 Relación de Equipos

- Un camión para ensayo con las siguientes características: El eje trasero pesará en la balanza 8 175 kilogramos, igualmente distribuidos en sus ruedas duales y estará equipado con llantas de caucho y cámaras neumáticas. Camión volquete de 8-12 m³ de capacidad, llantas 12''-20'' (11-20) de 16 lonas en óptimo estado, presión de inflado de llantas de 80 psi.
- Balanza de plataforma para pesado del eje trasero del camión volquete.

- Una Viga Benkelman de doble brazo con sus correspondientes diales registradores, con sistema de bloqueo de brazo pivotante y sistema de vibración.
- Varilla guía para referenciar la medición en los puntos indicados.
- Termómetro electrónico digital para la medición de la temperatura del asfalto.
- Herramientas para medir el espesor del asfalto (cincel y comba).
- Tablero de campo con formatos para toma de datos.
- Juego de herramientas básicas (pintura para pavimento, wincha, regla metálica).
- Elementos de seguridad (chalecos de seguridad, conos de seguridad, cascos).
- Tope de madera para trabar llanta de camión en subidas.

En la Foto 2.2 se muestra el camión y las varillas guías usadas en campo para el ensayo de deflectometría.



Foto 2.2. Eje trasero del camión volquete

2.2.2 Relación de personal

- Anotador de datos de ensayos.
- Técnico de laboratorio para ejecución de lecturas.
- Encargado de medición de temperaturas.

- 2 personas para transportar y colocar la Viga Benkelman.
- Chofer de volquete.

2.2.3 Procedimiento de medición en campo

La Viga Benkelman, de acuerdo a procedimientos estandarizados, no mide la deformación elástica del pavimento en un proceso de carga directa sino que, partiendo de un estado inicial en que el pavimento se encuentra cargado, mide la recuperación que este experimenta al ser descargado progresivamente. El procedimiento seguido en campo se describe a continuación:

- El punto del pavimento a ser ensayado deberá ser marcado convenientemente con una línea transversal al camino. Sobre dicha línea será localizado el punto de ensayo a una distancia prefijada del borde del pavimento. Para el tramo en estudio se marcó el pavimento cada 100m.
- Una vez localizado el lugar donde se realizará el ensayo, se coloca la rueda dual del camión sobre el punto seleccionado. Para esta operación es aceptable una tolerancia en el rango de 3 pulgadas alrededor del punto.
- Estacionados los neumáticos se coloca la viga sobre el pavimento, perpendicularmente al eje de carga, de modo que la punta de prueba del primer brazo coincida con el punto de ensayo y la viga no roce contra las llantas de la rueda dual. En la Figura 2.3 se muestra la ubicación del punto de ensayo (D) entre las ruedas del camión y el esquema inicial del ensayo.

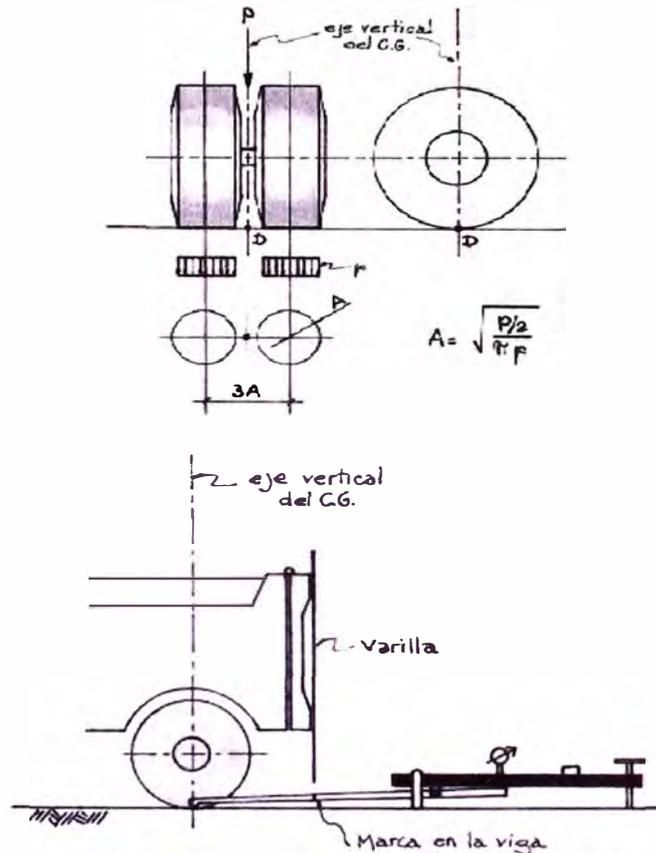


Figura 2.3. Configuración geométrica del sistema de carga de ensayos con la Viga Benkelman

- Se liberan los seguros de los brazos y se ajusta la base de la viga por medio del tornillo trasero (ver Figura 2.1), de manera que los dos brazos de medición queden en contacto con los diales.
- Se ajustan los diales de modo que sus vástagos tengan un recorrido libre. Se giran las esferas de los diales hasta que las agujas queden en cero y se verifica la lectura golpeándolos suavemente con la mano. Girar la esfera si es necesario y repetir la operación hasta obtener la posición "0" (cero).
- Luego el camión avanza a una velocidad muy baja (1 a 3Km/h). Como consecuencia, el punto de ensayo del pavimento donde se apoya la punta de la Viga Benkelman, es liberado progresivamente de la carga a la que inicialmente estaba sometido, y por lo tanto, el pavimento en ese punto empieza a recuperarse del estado de deformación en que se encontraba. Se toma la lectura en la posición inicial.

- Luego el camión avanza 25cm, el punto de ensayo en el pavimento seguirá todavía parcialmente deformado; en esta posición se tomará una segunda lectura.
- De igual forma, se puede efectuar a partir de la primera, sucesivas marcas a distancias elegidas a las cuales se desee medir deflexiones adicionales (puede ser a 25, 50 y 75 cm).
- La llanta del camión se aleja del punto de ensayo dejándolo completamente liberado de la influencia de su carga, condición en la cual se toma una última lectura en el dial del deflectómetro.
- Finalmente se mide la temperatura, el ahuellamiento, el ancho de calzada del pavimento. En la Figura 2.4 se muestra la esquematización del proceso de medición con la VB en las posiciones 0cm, 50cm, 100cm y posición final.

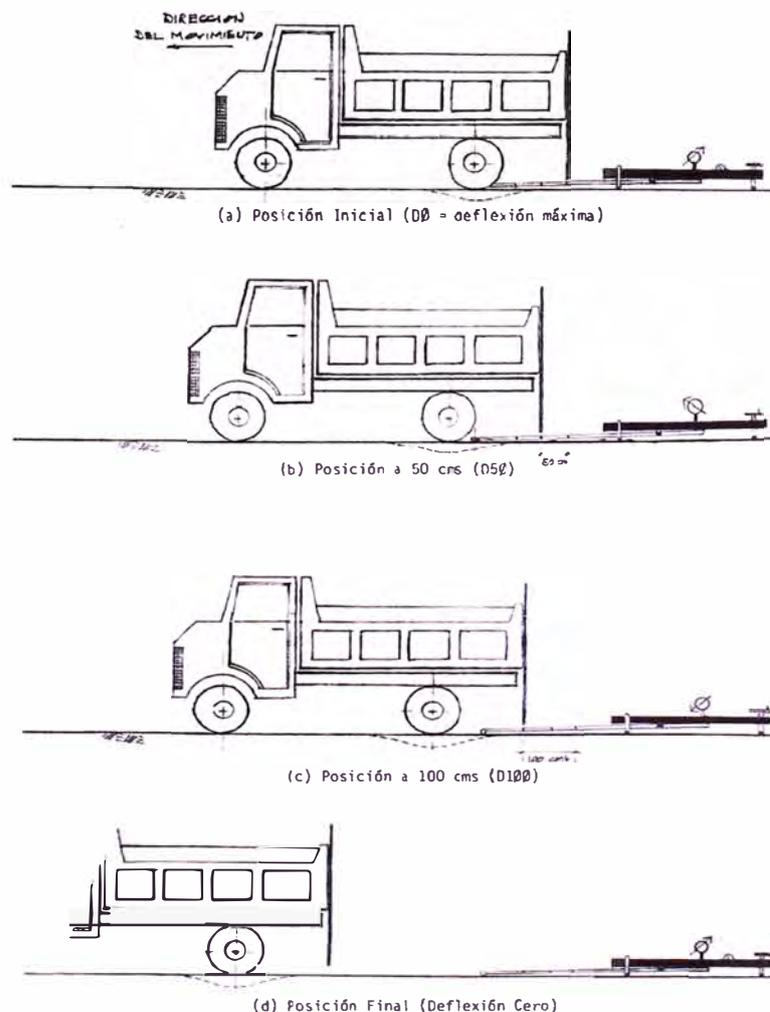


Figura 2.4. Esquematización del proceso de medición con la Viga Benkelman
(Fuente: Estudio CONREVIAL)

2.3 MÉTODO CONREVIAL

2.3.1 Deflexiones

La magnitud de la deflexión deformada producida por la carga, son útiles para investigar las propiedades "in situ" del pavimento. Se trata de aplicar una sollicitación tipo y medir la respuesta de la estructura.

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

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

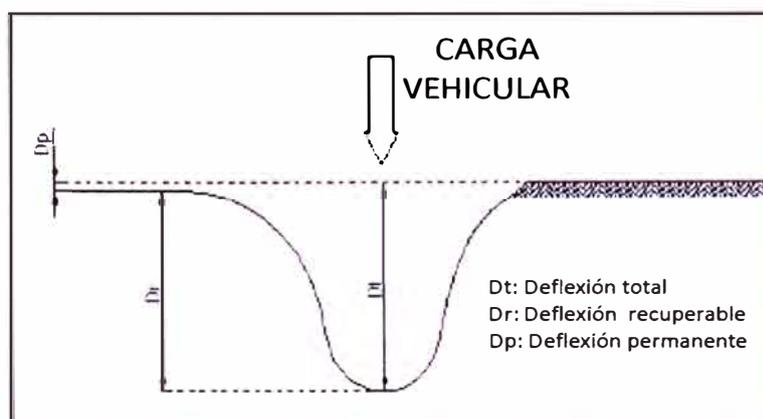


Figura 2.5. Deflexiones en el pavimento

2.3.2 Cálculo de deflexiones recuperables

El cálculo de deflexiones se determina de la siguiente manera:

- Para hallar la deflexión máxima, se calcula la diferencia entre la lectura inicial y la lectura final.

- La deflexión a 25 cm es la diferencia entre la lectura a 25 cm y la lectura final.

Ambas diferencias se multiplican por la relación de brazos de la Viga Benkelman.

2.3.3 Corrección por temperatura

Las deflexiones determinadas, deben ser corregidas por temperatura que se registre en la carpeta asfáltica, ya que ésta afecta el valor de la magnitud de la deflexión. Esto se debe a la disminución de rigidez de las mezclas bituminosas. Esta corrección permite llevar al estándar de 20°C, las deflexiones efectuadas a otras temperaturas.

Para carpetas asfálticas de espesor grueso se especifica que el rango de la temperatura para la ejecución de los ensayos esté entre 5 a 30°C, con la finalidad de que no se produzcan deformaciones plásticas considerables. Para el caso de superficies con tratamiento bituminoso el rango se amplía a 38°C, debido al poco aporte estructural que tiene, CONREVIAl considera no necesario efectuar corrección por temperatura.

Todas las deflexiones se corregirán a una temperatura estándar de 20°C, para ello se usará la expresión según la Metodología de la División Vial (DNV-Argentina):

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

Donde:

D_{20} : Deflexión recuperable a la temperatura estándar 20°C (0.01 mm).

D_t : Deflexión recuperable a la temperatura "t" (0.01 mm).

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

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

e : espesor de la carpeta asfáltica (cm).

2.3.4 Corrección por estacionalidad

No se recomienda realizar las mediciones de las deflexiones en los periodos críticos del año, ya que la capacidad de deformación de los suelos está

influenciada por el grado de saturación que experimenta. Debido a la dificultad que existe en realizar las pruebas en situaciones ambientales críticas se debe realizar la corrección de las medidas.

Para la corrección por estacionalidad se utilizará los factores según estudios basados en Brasil, el cual considera el tipo de suelo de la subrasante y la época en que se realiza los ensayos. En la Tabla 2.1 se muestran los factores de corrección según el tipo de suelo de la subrasante.

Tabla 2.1. Factores de corrección por estacionalidad

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

(Fuente: Estudio CONREVIAl)

2.4 USOS DE LAS MEDIDAS DE DEFLEXIONES

El campo de aplicación de estas mediciones es muy amplio empleándose principalmente para:

- Determinar la vida útil remanente de un pavimento
- Evaluar estructuralmente pavimentos con miras a su rehabilitación.
- Evaluar los métodos de diseño de pavimentos y control de ejecución de obras.
- Determinar la condición de un pavimento con miras a su conservación

En el siguiente cuadro se indican los usos de la Viga Benkelman para pavimentos:

Tabla 2.2: Empleo de la Viga Benkelman en pavimentos

Etapas del pavimento	Objetivos	Superficie de ensayo
Construcción	<ul style="list-style-type: none"> - Determinar la resistencia de las capas de la estructura. - Determinar y ajustar las dimensiones de las capas sucesivas. - Determinar el grado de homogeneidad. 	Nivel de la subrasante sobre la superficie de rodadura

Tabla 2.2: Empleo de la Viga Benkelman en pavimentos

Pavimento terminado	<ul style="list-style-type: none"> - Appreciar la homogeneidad y localizar las áreas débiles susceptibles de observación continua. - Obtener los datos de las deflexiones iniciales para poder interpretar las medidas posteriores. - Comprobar la duración del pavimento. 	Sobre superficie de rodadura
Pavimento en servicio	<ul style="list-style-type: none"> - Appreciar los fenómenos de fatiga. - Señalar la urgencia de operaciones de conservación rutinaria o de refuerzos. - Determinar la variación de la capacidad portante durante los periodos de invierno y verano. - Control de las cargas de los vehículos. 	Sobre superficie de rodadura
Pavimento reforzado	<ul style="list-style-type: none"> - Appreciar el poder de refuerzo de las sobrecapas. - Precisar la validez de las hipótesis obtenidas durante los estudios. - Corregir y mejorar los datos de cálculos iniciales 	Sobre las capas de refuerzo

Fuente: Tesis UNI FIC Percy Mallque Heredia

2.5 PROCESAMIENTO DE LOS VALORES DEFLECTOMÉTRICOS

2.5.1 Recopilación de datos

El día 15 mayo de 2010 se realizó la visita de campo a la carretera en estudio, el tramo evaluado fue Km. 108+000 al Km. 110+000. En esta visita se recopilaron las mediciones de las deflexiones recuperables con la Viga Benkelman de doble brazo y relación de 4:1. También se midió la temperatura, espesor de la carpeta de rodadura, el ahuellamiento en las 11 estaciones de ensayo y el ancho de la vía. A continuación se muestra el formato de la hoja usada para la medición de deflexiones.

MEDICIÓN DE DEFLEXIONES CON VIGA BENKELMAN - HOJA DE CAMPO CARRETERA CAÑETE - YAUYOS - CHUPACA

SECTOR : Km 108+000 al Km. 110+000
CARRIL : Derecho
CAPA : Monocapa

OPERADOR : Varios
RELACIÓN VP : 4:1
DIAL : 0,00 mm

Progresiva (km)	Carril	Lecturas de Campo (10 ² mm)				L.C.B Corto	Espesor (mm)	Ahuellamiento (mm)	Temp (°C)	Ancho de la Vía (m)
		L ₂₅	L ₅₀	L ₇₀	L _{máx}	L _{máx}				

Figura 2.6. Formato de hoja para la recopilación de datos de medidas de deflexiones en campo

Los datos de deflexiones obtenidas en campo se encuentran en el ANEXO 04 del presente informe.

2.5.2 Procesamiento de datos

En esta etapa se corregirán las deflexiones tomadas en campos por la relación de brazos, luego se procederá con la corrección por temperatura y por factor de estacionalidad.

En el Capítulo IV se describirá la teoría del método empírico y se citará un ejemplo completo del procesamiento de datos de medición de deflexiones recuperables. A continuación se muestra el formato de la hoja usada para el cálculo de las deflexiones corregidas por temperatura y estacionalidad.

CARACTERIZACIÓN DEFLECTOMÉTRICA CARRETERA: CAÑETE – CHUPACA

MEDICIÓN DE DEFLEXIONES CON LA VIGA BENKELMAN

SECTOR: Km. 108+000 al Km. 110+000

CARRIL: Derecho

RELACION: 4:1

CAPA: Monocapa

DIAL: 0.00 mm

Est.	Progresiva (km)	Carril	Lecturas de Campo (10 ⁻² mm)		Deflexiones sin Corregir (10 ⁻² mm)		Espesor (mm)	Ahuellamiento (mm)	Temp (°C)	RESULTADOS DEFLECTOMÉTRICOS	
			L ₂₅	L _{máx}	D ₂₅	D _{máx}				Deflexiones Corregidas	
										D ₂₅ x 10 ⁻² mm	D ₀ x 10 ⁻² mm

Figura 2.7. Formato de hojas para el procesamiento de datos

(Fuente: Formato UNI)

Los datos procesados se encuentran en el ANEXO 05 del presente informe.

CAPÍTULO III: EVALUACIÓN SUPERFICIAL

3.1 METODOLOGÍA CONREVIAL

El Consorcio de Rehabilitación Vial (CONREVIAL), presenta una metodología que realiza evaluaciones tanto superficiales como estructurales. Para el primer caso, se basa en un catálogo de fallas del tipo fisuras, que se relevan en un área restringida de la superficie de rodadura y en el entorno al lugar de evaluación estructural. Debido a que las medidas de deflexiones se realizan equidistantes, mínimo tres por kilómetro, las fallas a identificar corresponderán a un sector comprendido 30 m adelante y 30 m atrás del punto de evaluación estructural.

La figura 3.1, se presenta el catálogo de fallas empleado por el método. Las fallas encontradas en la superficie de rodadura, asocia un número con una letra. El número indica el tipo de falla y la letra indicará la magnitud; así una fisura “2E” corresponde a una fisura longitudinal de magnitud escasa, mientras que una “8S” corresponde a una fisura tipo “piel de cocodrilo” de magnitud severa.

3.2 PROPUESTA DEL MTC

Basado en los tipos de fisuras que plantea el catálogo de fallas del CONREVIAL, el MTC propuso la alternativa de emplear otras fallas como deformaciones, desintegraciones, entre otras, que permita realizar una evaluación más completa de la superficie asfáltica.

La Tabla 3.1, se presenta las alternativas de fallas que se asocian a la magnitud, estas se pueden tipificar como escasas, moderadas y severas.

Las fisuras que presenta la Tabla 3.1 guardan correspondencia con el método de CONREVIAL donde cada dígito está asociado a una forma de fisuramiento, con las características siguientes:

Coeficiente asociado 2: Fisura formada en una sola línea.

Coeficiente asociado 4: Fisura ramificada con tendencia a formar una malla.

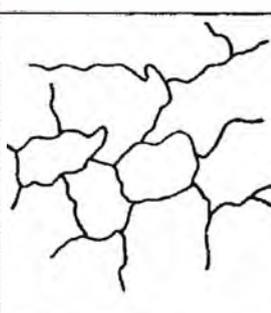
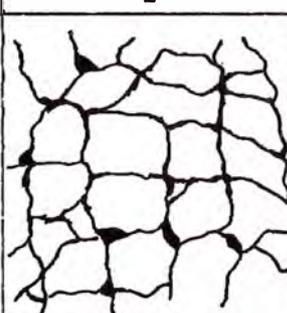
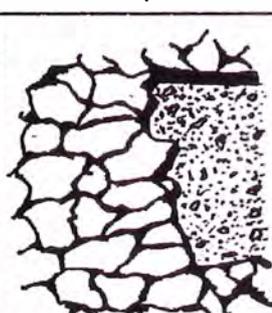
Coeficiente asociado 6: Fisura en forma de malla que no abarca todo el ancho del pavimento.

Coeficiente asociado 8: Fisura en forma de malla que abarca todo el ancho del pavimento.

Coeficiente asociado 10: Fisura totalmente generalizada con desprendimiento de paños de material y formación de baches.

Figura 3.1. Adecuación del catálogo de fallas sugeridas por CONREVIAl

CATALOGO DE FALLAS DE PAVIMENTO
FISURACION
ESTUDIO DE REHABILITACION DE CARRETERAS CONREVIAl
Adaptación : Wilfredo Gutiérrez Lázares

FIGURA TIPO		
DESCRIPCION	FISURA FORMADA EN UNA SOLA LINEA, GENERALMENTE LONGITUDINAL Y AISLADA CON TENDENCIA A RAMIFICARSE	FISURA RAMIFICADA CON TENDENCIA A FORMAR UNA MALLA GENERALIZADA EN SECTORES DE PAVIMENTO
COEF. ASOCIADO	2	4
		
FISURA EN FORMA DE MALLA QUE ABARCA UNA SUPERFICIE MAS AMPLIA DE PAVIMENTO Y CON TENDENCIA A FORMAR LA PIEL DE COCODRILO	FISURA GENERALIZADA EN FORMA DE MALLA CERRADA DE RETICULADO MAS CHICO FORMANDO LA LLAMADA "PIEL DE COCODRILO" DESPRENDIMIENTO DE MATERIAL EN CORRESPONDENCIA CON ALGUNAS FISURAS	FISURA TOTALMENTE GENERALIZADA CON DESPRENDIMIENTO DE PANES DE MATERIAL Y FORMANDO BACHE
6	8	10

NOTA.- LA MAGNITUD DE LAS FISURAS SE DEFINEN COMO : E = ESCASO; M = MODERADO y S = SEVERO (Ejea. 2E, 6M, 8S)

(Fuente: Estudio CONREVIAl)

Tabla 3.1. Rangos para definir magnitud de fallas

TIPO	FALLA	MAGNITUD		
		ESCALA (E)	MODERADO (M)	SEVERO (S)
DEFORMACIONES	AHUELLAMIENTOS (A) (medido con regla 1.20 m.)	6 mm	6 a 12 mm	12 mm
	HUNDIMIENTO (H)	Sólo depresión No hay fisuras	Depresión con fisura hasta tipo 6 o desplazamiento en borde	Fisuración Tipo 8 o más desplazamiento Borde, formación cordón
	DESPLAZAMIENTOS/ DESLIZAMIENTOS (D)			
	ONDULACIONES- LEVANTAMIENTOS Velocidad 60 km/h.	No influyen en la marcha. Localizado en zonas críticas	Se aprecia al andar pero por carácter localizado no resulta molesto	Obliga a graduar velocidad, sumamente molesta
FISURACIONES	LONGITUDINAL/ TRANSVERSAL (LT)	2 Muy finos. < 1 mm	2 Mayor ancho fisura. > 1 mm	2 con ancho fisura > 3mm
	RAMIFICACIONES (R)	4 Muy finos. < 1 mm	4 Mayor ancho fisura. > 1 mm	4 con ancho fisura > 3mm
	BLOQUES (B)	6 Bloque angular de tamaño < 15cm con ancho de fisura < 1 mm.	6 Bloque angular de tamaño 15cm. Con ancho de fisura. 1 mm	6 Bloque angular de tamaño < 15cm. Con ancho de fisura. < 3 mm
	PIEL DE COCODRILO (PC)	8 Bloque angular de tamaño < 15cm con ancho de fisura < de 1 mm	8 Bloque angular de tamaño 15cm. Con ancho de fisura. 1 mm	8 Bloque angular de tamaño < 15cm. Con ancho de fisura. < 3 mm
	IDEM. CON DESINTEGRACION (PCD)	10 Gran degradación en bordes	10 Pérdida de bloques	10 Hundimiento, tendencia o baches
DESINTEGRACIONES	PELADURAS DESINTEGRACION SUPERFICIAL (P)	Visible pero no afecta la marcha incipiente.	Marcha ruidosa	Sensación de gran despiste en marcha profundos
	BACHES (B)	Solo superficial Aislado	Superficiales pero formando equipos. Profundos aislados	Profundos, agrupados obligan a variar velocidad y eludrios
	DESINTEGRACION DE MEZCLA ASFALTICA (falta de adherencia) (D)	Separación de la mezcla en porciones	Separación de la mezcla en porciones menores de 10 cm.	Separación total de agregados
	EXUDACIONES (E)	Aislado. Leve en huellas	Huellas bien diferenciadas	Extensivo en todo ancho calzado
BERMAS	BERMAS DESCALZADAS (BD)	Resalto	Resalto riesgoso	Resalto muy riesgoso por erosión en bordes
	EROSIONADAS (E)	Superficie muy irregular	Marcada erosión en ambos bordes.	Inaceptables

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

3.3. EVALUACIÓN SUPERFICIAL DEL TRAMO KM. 108+00 AL KM. 110+00

Se tiene que tener en cuenta que las metodologías descritas son usadas para la evaluación superficial en pavimentos flexibles, pero estas pueden ser usadas para la evaluación de superficies de rodadura con recubrimiento bituminoso ya que los tipos de fallas de estas superficies son parecidas a las fallas que presenta una carpeta asfáltica. En el tramo en estudio la evaluación superficial le hará con la metodología del MTC ya que esta presenta más alternativas de fallas.

A continuación se desarrolla la evaluación superficial del tramo en estudio. Las fallas a analizar serán el ahuellamiento, fisuras y desintegraciones.

- a) Ahuellamiento: el ahuellamiento consiste en una depresión canalizada en la huella de circulación de los vehículos. La medición del ahuellamiento se hace con una regla metálica de 1.20m, en la siguiente tabla se muestra el ahuellamiento para cada progresiva donde se realizó la evaluación estructural.

Tabla 3.2. Medición de ahuellamientos

Progresiva (km)	Ahuellamiento (mm)	
	Derecho	Izquierdo
108+000	7	10
108+200	6	7
108+400	2	6
108+600	6	8
108+800	6	5
109+000	10	10
109+200	9	8
109+400	7	7
109+600	8	6
109+800	4	8
110+000	9	2

Como se observa las mediciones superan, en su mayoría, el valor de 6 mm. Por lo que el tramo puede ser clasificado como una falla de magnitud moderada, según tabla 3.1.

- b) Fisuras Longitudinales: este tipo de fallas se extiende a través de la superficie del pavimento, paralelamente al eje de la carretera, pudiendo

localizarse en las huellas de canalización de tránsito, en el eje o en los bordes del pavimento. En la foto que se muestra a continuación se muestra una fisura longitudinal causada por el desprendimiento del talud.



Foto 3.1. Fisura longitudinal

En el Km. 108+400 se observa una fisura longitudinal de un ancho mayor a 3mm, por lo que se clasifica como una falla de magnitud severa.

- c) Desintegración superficial: esta falla se debe a la pérdida de ligante bituminoso y del desprendimiento del agregado pétreo, aumentando la textura del pavimento y exponiendo cada vez más los agregados a la acción del tránsito y clima. En la siguiente foto se muestra la desintegración superficial del monocapa.

En tramo Km. 108+000 al Km. 110+000 se observó desintegraciones superficiales en el monocapa que no afectaban a la marcha del vehículo, por tanto esta falla se considera de magnitud escasa.



Foto 3.2. Desintegración superficial del monocapa

A continuación se muestra un resumen de las fallas analizadas:

Tabla 3.3 Resumen de fallas del tramo en estudio

TIPO	FALLA Km. 108+000 al Km. 110+00	MAGNITUD		
		ESCASA (E)	MODERADA (M)	SEVERO (S)
DEFORMACIONES	AHUELLAMIENTOS (A) (medido con regla 1.20m)	< 6 mm		
FISURAMIENTO	LONGITUDINAL			2 con ancho fisura > 3mm
DESINTEGRACIONES	PELADURAS DESINTEGRACIONES SUPERFICIAL (P)	Visible pero no afecta la marcha incipiente.		

(Fuente: Elaboración propia)

CAPÍTULO IV: EVALUACIÓN ESTRUCTURAL

La evaluación de pavimentos permite conocer el estado situacional de la estructura y establecer medidas correctivas para cumplir objetivos de serviciabilidad.

4.1 CONSIDERACIONES DEL MÉTODO

Antes de iniciar con la evaluación estructural del tramo es necesario tener en cuenta que el método empírico (CONREVIAl) ha sido desarrollado para evaluar pavimentos asfálticos. El pavimento del tramo en estudio, que consta de una base estabilizada con recubrimiento bituminoso, será evaluado con el método empírico teniendo en cuenta las siguientes restricciones:

- Para la evaluación estructural, la determinación de los espesores de refuerzo, según el CONREVIAl, no son representativos para los tratamientos superficiales ya que estos no tienen ningún aporte estructural. Para la evaluación del tramo CONREVIAl sólo ayudará a dar un juicio de la capacidad estructural de la subrasante, para ello es necesario calcular la deflexión característica (D_c), deflexión admisible (D_{adm}) y el radio de curvatura promedio (R_{cp}).
- La evaluación superficial, que refiere el método del CONREVIAl, no es aplicable a los tratamientos superficiales ya que estos no tienen ningún comportamiento estructural. Las fallas más comunes en los tratamientos son las fisuras longitudinales y el desgaste.

4.2 DEFLECTOMETRÍA MÉTODO EMPÍRICO (CONREVIAl)

4.2.1 Cálculo del radio de curvatura (R_c)

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

El Método empírico considera dos puntos de deflexión distantes 25cm, y con las cuales se puede establecer la parábola de la deformada. Para distancias superiores a 25 cm la parábola sufre una inflexión para tender asintóticamente hacia la horizontal. El radio de curvatura (R_c) según la metodología francesa se expresa mediante la siguiente fórmula:

$$R_c = \frac{10 \cdot (25^2)}{2(D_0 - D_{25})} = \frac{6250}{2(D_0 - D_{25})}$$

Donde:

R_c : Radio de curvatura (m).

D_0 : Deflexión máxima corregida por temperatura (0.01 mm).

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

10: coeficiente por cambio de unidades.

4.2.2 Deflexión característica (D_c)

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

La deflexión característica (D_c), se define con conceptos de la estadística clásica, el cual es representa por la expresión:

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

Donde:

D_c : Deflexión característica

\bar{D} : Deflexión media de los valores individuales de D_0 corregidos por temperatura y estacionalidad

σ : Desviación estándar

t: coeficiente que representa al porcentaje del área total con probabilidad de presentar deflexiones superiores a la deflexión característica D_c (ver tabla 4.1) .

En la tabla 4.1 se aprecia los valores de “t” en cada probabilidad evaluada. En el diseño de un refuerzo, el espesor deberá ser tal que sólo una pequeña área resulte infradiseñada. Luego “t” es una decisión técnica y económica, que dependerá del número de determinaciones, grado de confiabilidad, relación entre costos de mantenimiento y rehabilitación, variabilidad de capacidad estructural o constructiva, del tráfico, de la ubicación e importancia de la carretera, entre otras.

Para el tramo en estudio se usará $t=1.645$ que corresponde a una 95% probabilidad de diseño, lo que equivale a considerar que, solo un 5% del área total del pavimento, tendrá deflexiones mayores a D_c .

Tabla 4.1. Valor de “t” y probabilidad de ocurrencia de $D > D_c$

Valor de diseño	t	D_c	Área $D > D_c$ %
50	0	\bar{D}	50
75	0.674	$\bar{D} + 0.674\sigma$	25
85	1.0	$\bar{D} + \sigma$	15
90	1.3	$\bar{D} + 1.3\sigma$	10
95	1.645	$\bar{D} + 1.645\sigma$	5
98	2.	$\bar{D} + 2\sigma$	2
99	2.33	$\bar{D} + 2.33\sigma$	1
99.9	3.0	$\bar{D} + 3\sigma$	0.1

En la División de Carreteras de California se considera trabajar con el 80% percentil, mientras que el Instituto del Asfalto y Canadá recomiendan usar el 98%, a lo cual le corresponde una D_c igual a $(D+2\sigma)$.

Las deflexiones tomadas serán procesadas estadísticamente considerando la distribución normal, de acuerdo a la ley de Gauss. Esto permite determinar la deflexión media, la desviación estándar y el coeficiente de variación, para lo cual se usan las siguientes expresiones:

- a. Deflexión media (\bar{D})

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

D_i : Valor individual de un ensayo.

n : número de deflexiones tomadas en campo.

- b. Desviación estándar (σ): distorsión de resultados que posean el mismo valor medio

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

- c. Coeficiente de variación (C_v): indica un mayor o menor grado de dispersión

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

C_v varía entre 10% a 40%

4.2.3 Deflexión Admisible (D_{adm})

La deflexión admisible corresponde a aquella que alcanzará el pavimento al final del tiempo de diseño. Es un parámetro que está en función del tráfico de diseño, que establece un límite para la deflexión característica, indicando que por encima de la D_{adm} no se garantiza un comportamiento satisfactorio de la estructura. La expresión analítica que define este parámetro es según la metodología del Dr. C. Ruiz (Argentina):

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

Donde:

D_{adm} = deflexión admisible (en mm).

N = número esperado de repeticiones de ejes equivalentes a 8.2 ton en el periodo de diseño (en millones).

4.2.4 Deflectogramas

El deflectograma, resultante de graficar las deflexiones máximas obtenidas en cada estación evaluada, permite analizar la variabilidad de la capacidad estructural en el tramo en estudio. Los deflectogramas identifican secciones de diferente capacidad estructural y/o comportamiento, y también permite identificar los sectores donde se recomendable realizar las perforaciones representativas de buen y mal comportamiento estructural (calicatas).

4.2.5 Juicio de la capacidad estructural del pavimento

Luego de la toma y el procesamiento de los datos se realiza un análisis de los mismos. Con estos resultados se conocerá la capacidad estructural del pavimento, en relación al tránsito que debe soportar la calzada. Dependiendo del análisis se establecerá el tipo de rehabilitación, de acuerdo a tres situaciones representativas que se resumen en:

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

En la tabla 4.2 se presenta las recomendaciones a tener en cuenta para el diseño de refuerzo. Para ello previamente se deben calcular R_c , D_c y D_{adm} .

Tabla 4.2. Análisis combinado de los resultados de evaluación

DEFLECTOMETRIA	ESTADO VISUAL	ESTADO ESTRUCTURA	RECOMENDACIÓN
La deflexión característica es superior a la admisible. Los radios de curvatura son elevados o aceptables (en relación a la estructura). $D_c > D_{adm} + R_c$	No hay fallas de origen estructural.	Estructura infradiseñada, pero la capacidad portante de las capas decrece en profundidad. (No existe capa débil inmediatamente debajo capa asfáltica.	Examinar fecha y tipo de las últimas obras ejecutadas, para justificar estado del pavimento. 1° CASO
	Hay fallas de origen estructural generalizadas.		Hay acuerdo entre todas las variables. a) <u>Las deflexiones son empleadas para el cálculo de refuerzo.</u> b) Para deflexiones muy fuertes analizar económicamente reconstrucción. Verificar refuerzo con métodos diseño. 2° CASO
La deflexión característica es superior a la admisible. Los radios de curvatura son pequeños (aun para deflexiones reducidas). $D_c > D_a - R_c$		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. <u>No es conveniente emplear la deflexión ya que puede no ser representativa.</u> 3° CASO
La deflexión característica es inferior a la admisible. Los radios de curvatura son reducidos. $D_c < D_a - R_c$	Hay fallas de origen estructural por fatiga (Fisuras tipo piel de cocodrilo).	Existe una capa débil inmediatamente debajo de las capas asfálticas.	Analizar fecha de mediciones y tipo estructura. Neutralizar el efecto de la capa débil (reconstrucción o refuerzo). <u>De ninguna manera se pueden considerar las deflexiones para el proyecto; emplear métodos de diseño.</u> 3° CASO
La deflexión característica es inferior a la admisible. $D_c < D_a$	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 o refuerzo). <u>La deflexión no es representativa.</u> 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: José Wilfredo Gutiérrez, Modelación Geotécnica de Pavimentos Flexibles con Fines de Análisis y Diseño en el Perú, Lima Perú, 2007)

4.2.6 Espesor de refuerzo

Luego del análisis combinado de los resultados de evaluación la tabla 4.2 hace recomendaciones según el resultado deflectométrico obtenido, para los casos 1 y 2 las deflexiones son usadas para el cálculo de refuerzo. Para el cálculo del espesor de refuerzo la metodología CONREVIAl, en los casos 1° y 2° de la tabla 4.2, sugiere emplear la Fórmula de Ruiz (Argentina):

$$h = \frac{R}{0.434} \log \frac{D_0}{D_h}$$

Donde:

- h: Espesor de refuerzo (cm).
- D₀: deflexión característica antes del refuerzo (1/100mm).
- D_h: Deflexión característica.
- R: Coeficiente con dimensiones de un espesor

El cálculo de los espesores de refuerzo es válido solo para pavimentos flexibles con pocos espesores de carpeta asfáltica que continúan flexibles después del refuerzo, esta condición se presenta en la mayoría de carreteras en su primera rehabilitación.

Para mezclas asfálticas de tipo superior como material de refuerzo CONREVIAl recomienda considerar el valor "R" mostrado en el cuadro. "R" expresa la capacidad del material de refuerzo para reducir la deflexión del pavimento subyacente.

Tabla 4.3. Valores recomendados para R

Deflexión Característica antes del refuerzo (1/100mm)	Espesor de refuerzo "h" (en cm)			
	5	10	15	20
50	20	21.5	(23)	(24.5)
70	18	19.5	21	22.5
90	17	18.0	19.5	21.0
120	15	16.5	18.0	19.5
150	13.5	15.0	16.5	18.0
170	13.0	14.5	16.0	17.5
200	12.0	13.5	15.0	16.5

(Fuente: Estudio CONREVIAl)

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

4.3 MAGNITUD DE LAS DEFORMACIONES (ANÁLISIS DEL RADIO DE CURVATURA)

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

Las primeras tentativas para expresar numéricamente la curvatura se basaron en relacionar la deflexión máxima con el diámetro del área superficial deformada (índice de curvatura), lo que resulta algo aleatorio por las dificultades para fijar el punto donde la línea de deflexión es tangencial a la horizontal. Un análisis de los diversos procedimientos de medición permite comprobar que uno el más simple es el que está basado en la comprobación experimental; así la línea de deflexión se aproxima a una parábola hasta una distancia algo mayor de 25 cm. del eje de carga, para sufrir luego una inflexión y tender asintóticamente hacia la horizontal, la curvatura de la parábola queda definida por su parámetro, que en la zona de máxima curvatura se confunde practicante con el radio del círculo osculador en dicho punto. Con los datos obtenidos en campo se calculará los radios de curvatura para cada progresiva. El análisis se basará en la figura que se muestra a continuación.

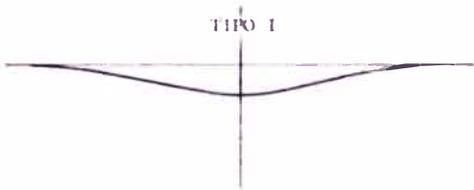
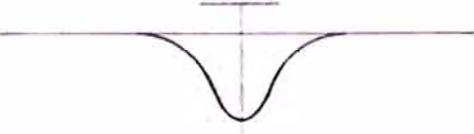
D_{max}	R_c		CURVA MEDIDA	PAVIMENTO EVALUADO
Bajo	Alto	TIPO I 	Curva Extensa Poco Profunda	Buen Pavimento Buena Subrasante
Alto	Alto	TIPO II 	Curva Extensa Profunda	Buen Pavimento Mala Subrasante
Bajo	Bajo	TIPO III 	Curva Corta Poca Profunda	Mal Pavimento Buena Subrasante
Alto	Bajo	TIPO IV 	Curva Corta Profunda	Mal Pavimento Mala Subrasante

Figura 4.1. Significado cualitativo de los diferentes tipos de curvas de deflexiones

Los cálculos y gráficos de los radios de curvatura se muestran en el ANEXO 05 y ANEXO 07. La interpretación de estos resultados se desarrolla a continuación:

Progresiva 108+000:

Tipo de gráfico: Tipo II

Curva Media: curva extensa, profunda.

$$D_{\text{máx.}} = 28, R_c = 714.49$$

Pavimento evaluado: Buen pavimento, mala subrasante.

Progresiva 108+200 y 108+400:

Tipo de gráfico: Tipo I

Curva Media: curva extensa, poco profunda.

$$\text{Km. } 108+200: D_{\text{máx.}} = 15, R_c = 717.68$$

$$\text{Km. } 108+400: D_{\text{máx.}} = 9, R_c = 720.45$$

Pavimento evaluado: Buen pavimento, buena subrasante.

Progresiva 108+600 y 108+800:

Tipo de gráfico: Tipo II

Curva Media: curva extensa, profunda.

$$\text{Km. } 108+600: D_{\text{máx.}} = 26, R_c = 357.03$$

Km. 108+800: $D_{\text{máx.}} = 25$, $R_c = 239.73$

Pavimento evaluado: Buen pavimento, mala subrasante.

Progresiva 109+000:

Tipo de gráfico: Tipo IV

Curva Media: curva corta, profunda.

Km. 109+000: $D_{\text{máx.}} = 23$, $R_c = 79.74$

Pavimento evaluado: mal pavimento, mala subrasante.

Progresiva 109+200:

Tipo de gráfico: Tipo II

Curva Media: curva extensa, profunda.

Km. 109+200: $D_{\text{máx.}} = 32$, $R_c = 239.73$

Pavimento evaluado: Buen pavimento, mala subrasante.

Progresiva 109+400:

Tipo de gráfico: Tipo I

Curva Media: curva extensa, poco profunda.

Km. 109+400: $D_{\text{máx.}} = 17$, $R_c = 360.87$

Pavimento evaluado: Buen pavimento, buena subrasante.

Progresiva 109+600:

Tipo de gráfico: Tipo II

Curva Media: curva extensa, profunda.

Km. 109+600: $D_{\text{máx.}} = 25$, $R_c = 721.59$

Pavimento evaluado: Buen pavimento, mala subrasante.

Progresiva 109+800 y 110+000:

Tipo de gráfico: Tipo I

Curva Media: curva extensa, poco profunda.

Km. 109+800: $D_{\text{máx.}} = 17$, $R_c = 358.84$

Km. 110+000: $D_{\text{máx.}} = 13$, $R_c = 361.86$

Pavimento evaluado: Buen pavimento, buena subrasante.

La siguiente figura se muestra la gráfica de deflexiones a 0cm, 25cm, 50cm y 75cm. En esta se puede apreciar que entre los puntos de deflexión de 0cm y 25cm la forma de la curva es una parábola, para distancias superiores a 25cm la parábola sufre una inflexión para tender asintóticamente hacia la horizontal.

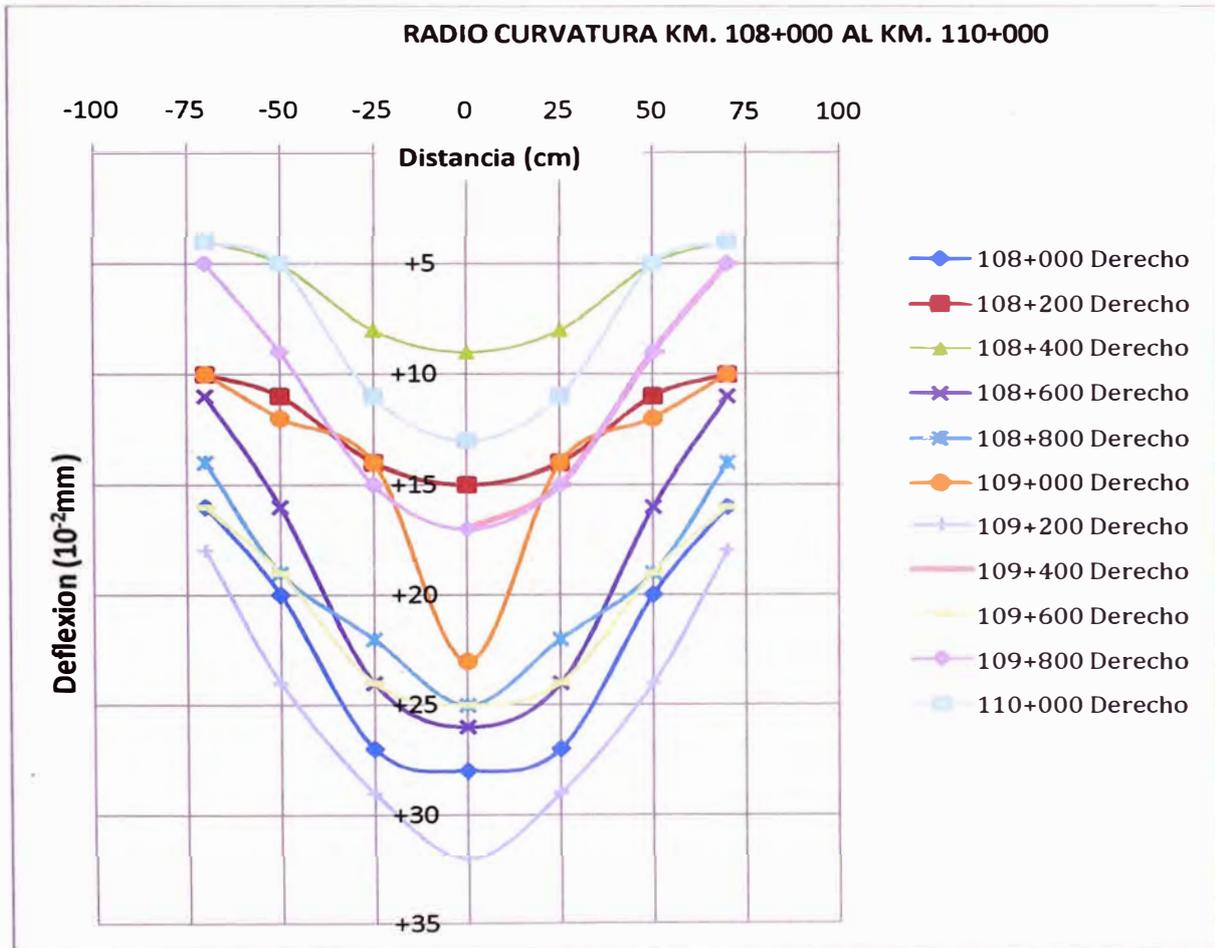


Figura 4.2. Determinación del radio de curvatura - Método de la aproximación parabólica

La mayoría de los resultados arrojan deflexiones altas y mayores radios de curvatura, lo que indica que la estructura presenta una mala subrasante. Como se sabe los contratos de servicio de conservación no establecen como alcance la conformación y mejoramiento del terraplen por que los resultados obtenidos, con relación a la subrasante, eran de esperarse.

Los gráficos de deflexiones por progresiva se encuentran en el ANEXO 07.

4.4 ANÁLISIS DE DEFLEXIONES

4.4.1 Procesamiento de datos

El procesamiento de datos se realizará con la teoría descrita en los capítulos anteriores. Para un mayor entendimiento se cita un ejemplo de procesamiento de datos. Los cálculos de todas las progresivas se encuentran en el ANEXO 05

Paso 1:

Como primer paso se calcula las deflexiones recuperables corregidas por el dial y por la relación de brazos de 4:1.

Para el tramo en estudio para la progresiva Km. 108+000, lado derecho, se tiene que la deflexión máxima es 28×10^{-2} mm, la deflexión inicial (D_0) es cero y la deflexión a 25cm (D_{25}) es de 1×10^{-2} mm.

$$D_{\text{máx.}} = (28.00 - 0.00) \times 10^{-2} = 28.00 \times 10^{-2} \text{ mm} \quad (\text{por dial})$$

$$D_{\text{máx.}} = 28.00 \times 4 \times 10^{-2} = 112.00 \times 10^{-2} \text{ mm} \quad (\text{por relación de brazos})$$

$$D_{25} = (28.00 - 1.00) \times 10^{-2} = 1.00 \times 10^{-2} \text{ mm} \quad (\text{por dial})$$

$$D_{25} = 27.00 \times 4 \times 10^{-2} = 108.00 \times 10^{-2} \text{ mm} \quad (\text{por relación de brazos})$$

Paso 2:

Como en el tramo en estudio existen cambios de temperatura y espesor se realizará la corrección por temperatura a las deflexiones halladas en el paso anterior.

Para la progresiva Km. 108+000, lado derecho, se tiene una temperatura de 32°C y espesor del monocapa de 5mm.

$$D_{\text{máx.}}(20) = 112.00 \times [1 / (10^{-3} \times (32 - 20) \times 0.5 + 1)]$$

$$D_{\text{máx.}}(20) = 112.00 \times 0.994 = 111.33 \times 10^{-2} \text{ mm}$$

$$D_{25}(20) = 108.00 \times [1 / (10^{-3} \times (32 - 20) \times 0.5 + 1)]$$

$$D_{25}(20) = 108 \times 0.994 = 107.35 \times 10^{-2} \text{ mm}$$

Paso 3:

Luego se aplicará el factor de corrección por estacionalidad para una estación seca.

Para el tramo en estudio la progresiva Km. 108+00, pertenece a la región Yunga con presencia de sol casi todo el año. Del cuadro de valores de corrección por estacionalidad se considera el factor de 1.1.

$$D_{\text{máx.}} = 111.33 \times 1.1 = 112.47 \times 10^{-2} \text{ mm}$$

$$D_{25} = 107.35 \times 1.1 = 108.09 \times 10^{-2} \text{ mm}$$

Paso 4:

Con los deflectogramas corregidos y con las progresivas del tramo se grafica el deflectograma. El gráfico para el lado derecho e izquierdo se muestra en el ANEXO 08

Paso 5:

Se calcula la deflexión característica (D_c) para los lados derecho e izquierdo, para ello se procesaran los datos mediante análisis estadísticos.

Para el tramo en estudio se calculó la deflexión característica para cada lado obteniéndose los siguientes resultados:

Lado derecho

$$\bar{D} = 90.95 \times 10^{-2} \text{ mm}$$

$$\sigma = 31.11 \times 10^{-2} \text{ mm}$$

$$C_v = 0.34$$

$$D_c = 90.95 + (1.645 \times 31.11) = 142.12 \times 10^{-2} \text{ mm}$$

Lado izquierdo

$$\bar{D} = 80.36 \times 10^{-2} \text{ mm}$$

$$\sigma = 34.87 \times 10^{-2} \text{ mm}$$

$$C_v = 0.40$$

$$D_c = 80.36 + (1.645 \times 34.87) = 143.73 \times 10^{-2} \text{ mm}$$

Paso 6:

Se calcula la deflexión admisible, en función de tráfico proyectado. Para ello se calcula, el Número esperado de repeticiones de ejes equivalentes a 8.2 ton en el periodo de diseño (N_{18}).

Para el tramo en estudio se usara los IMD del 2010, calculados a partir de los datos de IMD del 2008, obtenidos de los Estudios Técnicos para el cambio de estándar de afirmado a solución básica carretera: Cañete – Lunahuana – Pacarán – dv. Yauyos – Ronchas – Chupaca, estación 4: Zuñiga – Dv. Yauyos – San José de Quero.

Los cálculos de los N_{18} y la deflexión admisible se muestran en el ANEXO 03

Para: $n = 1$ año, $Da = (1.15 / N_{18})^{1/4} = 281.04 \times 10^{-2} \text{ mm}$

Tabla 4.4. Deflexiones admisibles del tramo en estudio

Año	n (año)	EAL	N18 (en millones)	Da (x10-2mm)
2010	1	3.69E+04	0.018435175	281.0364448
2011	2	7.53E+04	0.037644628	235.0978776
2012	3	1.15E+05	0.057660877	211.3265917

(Fuente: Elaboración propia)

Paso 7:

Luego se procede al cálculo del Radio de curvatura usando la siguiente expresión:

$$R_c = 6250 / (2 \times (D_{\max} - D_{25}))$$

Para el tramo en estudio se calculará los radios de curvatura para los lados derecho e izquierdo

Los cálculos de los radios de curvatura del tramo en estudio, Km. 108+00 al Km. 110+000, se presentan en el ANEXO 05.

4.4.2 Análisis de resultados

Gráfico de deflectograma

Este gráfico se encuentra procesado en el ANEXO 08, el gráfico está en función de las estaciones y las deflexiones máximas.

El deflectograma tiene como utilidad sectorizar el tramo de análisis, se pueden hacer varias sectorizaciones a continuación se mencionan algunas:

- Sectorización por homogeneidad de deflexiones.
- Sectorización por tráfico vehicular IMD.
- Sectorización por tipo de tratamiento superficial, según los resultados del Anexo 09, para capas granulares con la mismas características y diferente espesor de monocapa, se obtuvieron deflexiones diferentes, lo que conlleva a asegurar que el recubrimiento bituminoso (sea slurry seal, monocapa) no contribuye estructuralmente al paquete de la estructura del pavimento.
- Sectorización por estratigrafía.

En el tramo en estudio, Km. 108+000 al Km. 110+000, no se realizará la sectorización debido a que las características del suelo no son variables y el tráfico es el mismo.

Evaluación Estructural

Para la evaluación estructural del tramo en estudio Km. 108+000 al Km. 110+000, se calcularon la deflexión característica y el radio de curvatura promedio (R_{cp}), también se determinó la deflexión admisible (D_{adm}) para tres periodos de diseño. A continuación se muestra un cuadro resumen de resultados del tramo en estudio.

Tabla 4.5. Resumen de resultados del tramo en estudio

Descripción	Unidad	Carretera Cañete - Yauyos - Chupaca Km. 108+000 al Km. 110+000		
		1 2010	2 2011	3 2012
AÑO DE ANÁLISIS (n)	años			
DEFLEX. CARACT. (Dc)	$\times 10^{-2}$ mm	131.39	131.39	131.39
DEFLEX. ADMISIBLE (Da)	$\times 10^{-2}$ mm	281.04	235.10	211.33
RADIO DE CURVATURA (Rc)	m	45.28	45.28	45.28
ESPEZOR DE REFUERZO	cm	-13.69	-10.48	-8.56
ESP. DE REFUERZO RECOMENDADO	mm	NR*	NR*	NR*

* NR=no necesita refuerzo

(Fuente: Elaboración propia)

Con los resultados del cuadro anterior se describe el resultado de la evaluación estructural del pavimento:

Para un periodo de diseño de 1 año; en el tramo en estudio, lado derecho, se observa que la deflexión característica ($D_c = 131.39 \times 10^{-2}$ mm), es menor que la deflexión admisible ($D_a = 281.04 \times 10^{-2}$ mm), por lo tanto se considera que la capacidad estructural del pavimento, en el tramo es estudio Km. 108+000 al Km. 110+000, tendrá un comportamiento adecuado.

Para los periodos de diseño de 2 y tres años; al igual que el primer año las deflexiones características son menores que la deflexión admisible, por lo tanto se considera que la capacidad estructural del pavimento tendrá un comportamiento adecuado.

4.5 OTROS MÉTODOS DE EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO

Existen diferentes métodos de evaluación de pavimentos. En muchos casos los resultados de varios ensayos pueden compararse entre sí con el objeto de confirmar las razones del deterioro o de la falla y, de esta manera, entender mejor el comportamiento del mismo.

Los métodos de evaluación estructural se dividen en dos grupos, los Ensayos Destructivos y lo Ensayos No Destructivos.

4.5.1 Ensayos no destructivos

La mayoría de los ensayos no destructivos se basan en la medición de las deflexiones, que son una herramienta importante en el análisis no destructivo de los pavimentos. La magnitud de la deflexión deformada producida por la carga, son útiles para investigar las propiedades "in situ" del pavimento. Se trata de aplicar una sollicitación tipo y medir la respuesta de la estructura.

Entre los ensayos no destructivos el más conocido, y que es tema de estudio de este informe, es la Viga Benkelman. Existen otros equipos modernos para la medición de la capacidad estructural, a continuación se describe algunos de ellos:

- a) **Dynaflec (figura 4.3):** Es un sistema acoplado, montado y puede ser remolcado por un vehículo estándar. Cuenta con un peso estático de 2000 a 2100 libras (8.9 KN a 9.3 KN) se aplica al pavimento con un par de ruedas de acero rígidas. Se utiliza un generador dinámico para producir una fuerza de hasta 4.45 KN. Para más detalle revisar HUANG, Yang H. "Pavement analysis and design".



Figura 4.3. Equipo Dynaflec transportado

(Fuente: Internet, <http://training.ce.washington.edu/PGI/>, Ago. 2010)

- b) **Road Rater (figura 4.4):** Existen varios modelos, que varían sobre todo en la magnitud de las cargas y en las cargas estáticas. Emplea cuatro sensores para medir la deflexión base. El dispositivo se mueve a la localización de la prueba, donde se coloca la placa de carga y los sensores de deflexión se

colocan sobre el pavimento. Después de terminada la prueba, la placa y los sensores se levantan de la superficie, y el dispositivo está listo para moverse al siguiente punto de prueba.



Figura 4.4 Road Rater

(Fuente: Internet, <http://training.ce.washington.edu/PGI/>, Ago. 2010)

- c) **RDD:** El deflectómetro dinámico de blanceo (RDD) es relativamente una nueva herramienta para determinar las condiciones del pavimento. Su principal característica es que trabaja con perfiles continuos de deflexiones.
- d) **FWD (Falling Weight Deflectometer, figura 4.5):** El FWD es empleado frecuentemente en los Estados Unidos en el sistema Dynatest modelo 8000. La fuerza de impulso es creada soltando un peso al pavimento. Este aparato mide las deflexiones del pavimento producidos por una carga senoidal, que impacta al mismo en una placa de carga, esta última posee 07 transductores de medida.



Figura 4.5. Equipo FWD en prueba

(Fuente: Internet, <http://training.ce.washington.edu/PGI/>, Ago. 2010)

- e) **KUAB-FWD (figura 4.6):** La fuerza de impulso es producida por dos pesos soltados de diferentes alturas. El sistema de pesos se emplea para generar una subida gradual de un pulso de fuerza sobre el pavimento y así detectar la rigidez de la subrasante.



Figura 4.6. Equipo KUAB-FWD

(Fuente: Internet, <http://training.ce.washington.edu/PGI/>, Ago. 2010)

4.5.2 Ensayos destructivos

Entre los ensayos destructivos más conocidos están las calicatas que permiten obtener una visualización de las capas de la estructura expuestas, a través de las paredes de ésta y realizar ensayos de densidad "in situ". Estas determinaciones permiten obtener el estado actual del perfil a través de las propiedades reales de los materiales que lo componen.

Las calicatas facilitan además la toma de muestras en cantidad, para su posterior clasificación en el laboratorio, de cuyos resultados se puede establecer el uso más efectivo, al momento de realizarse las tareas de rehabilitación. Los trabajos suministran información adicional como:

- Los espesores de las capas conformantes.
- Los contenidos de humedad.
- La posible causa del deterioro de la capa (agrietamientos)
- La densidad de cada capa
- La capacidad de soporte en el material de subrasante.

Por otro lado se pueden efectuar ensayos mediante perforaciones con la ayuda de equipos de calado, barrenos, saca muestras, etc. Esta metodología, en comparación con las calicatas es más sencilla, menos costosa, más rápida y

provoca menores interrupciones en el tránsito. Como desventaja, no se puede realizar determinaciones de densidad “in situ” por cuestiones de espacio. Sólo puede registrar potencia de cada capa.

4.6 DETERMINACIÓN DEL ESPESOR DEL REFUERZO EN CARRETERA PAVIMENTADA A NIVEL DE RECUBRIMIENTO BITUMINOSO

La metodología del CONREVIAL recomienda la siguiente expresión para calcular el de espesor de refuerzo cuando los resultados de deflectometría pertenecen a los casos 1 y 2 (ver tabla 4.2).

$$h = \frac{R}{0.434} \log \frac{D_0}{D_h}$$

Esta expresión solo es válida para calcular el refuerzo en pavimentos asfálticos, Para el diseño y cálculo de espesores de refuerzo en pavimentos con recubrimientos bituminosos existen diferentes métodos. A continuación se exponen algunos de ellos.

4.6.1 Método TRRL

El método TRRL ha sido desarrollado por el TRRL de Gran Bretaña y consiste en procedimiento de diseño para caminos con tratamiento superficial bituminoso en los países tropicales y subtropicales. Los espesores requeridos se obtienen en función al CBR de la subrasante y número de repeticiones de ejes equivalentes a 8.2 ton.

El método es aplicable para repeticiones de hasta 1'000,000 de ejes equivalentes de 8.2 ton por lo que procede el uso de este método para el presente estudio por tener el número de N_{18} inferior. En el ANEXO 03 se puede apreciar que los valores de N_{18} son menores al número de repeticiones que sugiere el método TRRL.

4.6.3 Método del Cuerpo de Ingenieros del Ejército Norteamérica (USACE)

El procedimiento de este método se basa en ecuaciones que permiten determinar el espesor de material requerido sobre una capa o subrasante de un CBR conocido. La condición es que el CBR del material de la capa superior sea mayor que el de la subyacente.

El espesor del pavimento obtenido mediante este método es tal que permite un cierto número de repeticiones, antes que la estructura alcance un nivel de deformación que corresponda a una serviciabilidad baja.

Este método ha sido desarrollado para los caminos de bajo tránsito con repeticiones de hasta 1'000,000 de ejes equivalentes de 18,000 libras por lo que es aplicable para la carretera en estudio.

4.6.4 Método US FOREST SERVICE

Este método se basa en los siguientes factores básicos:

- Soporte del suelo (SS)- parámetro empírico de resistencia del suelo que se correlaciona con el valor de CBR
- Número Estructural (SN)

$$SN = a_1D_1 + a_2D_2 + a_3D_3$$

Donde:

D_i : el espesor en pulgadas

a_i : coeficiente de equivalencia del espesor

Este método ha sido desarrollado para los caminos de bajo tránsito con repeticiones menores a 1'000,000 de ejes equivalentes de 18,000 libras por lo que no es aplicable para la carretera en estudio.

4.6.5 Método AASHTO

Como se ha visto los métodos convencionales previstos para este tipo de pavimento pueden usarse debido al N_{18} de la carretera Cañete Huancayo es menor al máximo previsto en estos métodos, por lo que cualquiera de los métodos descritos pueden ser usados. Para el tramo en estudio se usará el

Método AASHTO para calcular los espesores de las capas granulares mediante la estimación del número estructural total, tomado en cuenta que los recubrimientos bituminosos no aportan el número estructural al paquete del pavimento.

En el ANEXO 09 se describe la metodología del AASHTO para el diseño de pavimentos.

Cálculo del refuerzo del pavimento:

El cálculo de refuerzo para pavimentos con recubrimiento bituminoso se calculará mediante la fórmula siguiente:

$$SN_{ref} = SN_{req} - SN_{eff}$$

Donde:

- SN_{ref} : Número Estructural de Refuerzo.
 SN_{req} : Número Estructural requerido para el nuevo periodo de diseño.
 SN_{eff} : Número Estructural efectivo en el año del refuerzo.

Número Estructural Efectivo del pavimento:

El Método AASHTO proporciona la formula siguiente para el cálculo del Número Estructural Efectivo del pavimento:

$$RL=100(1-(N_p/ N_{1.5}))$$

Donde:

- RL: Porcentaje de vida remanente
 N_p : EAL a la fecha de refuerzo
 $N_{1.5}$: EAL al término de la vida útil o cuando $p_t=1.5$

El número estructural efectivo se determina mediante la fórmula siguiente:

$$SN_{eff} = CF * SN_0$$

Donde:

- SN_{eff} : Número Estructural efectivo en el año del refuerzo
CF: Factor de condición
 SN_0 : Número Estructural en el año del refuerzo

El factor de condición (CF) se determinará de la siguiente gráfica:

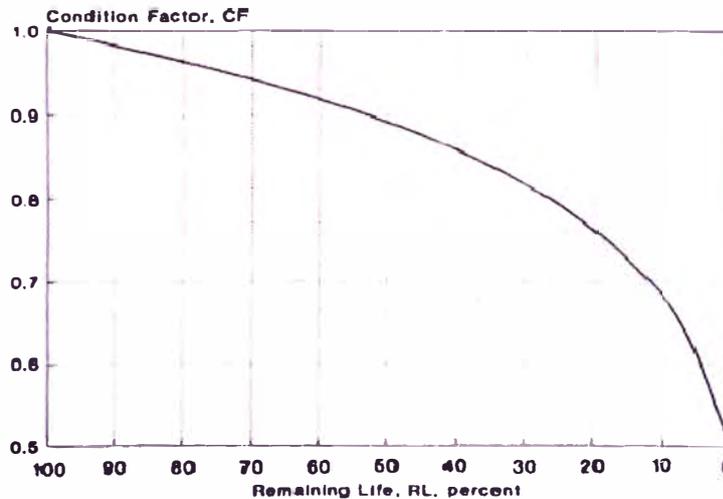


Figura 4.7: Relación entre el Factor de Condición y la Vida Remanente

Como ejemplo se calcula los espesores de refuerzo para dos tramos que tienen diferente recubrimiento bituminoso. Los tramos a analizar son:

Tabla 4.6. Recubrimientos bituminosos por tramos

Tramo	Superficie de rodadura
Km. 108+000 al Km. 110+000	Monocapa
Zuñiga 56+600 - P. Nuevo 66+580	Slurry seal

Para el cálculo del refuerzo es necesario conocer el Número Estructural requerido para el nuevo periodo de diseño SN_{req} y el Número Estructural requerido para el nuevo periodo de diseño SN_{eff} . A continuación se calculará los números estructurales requeridos:

a) Cálculo del SN_{req} , esta se determinará con los espesores de material que recomienda los términos de referencia del contrato de conservación vial de la carretera Cañete – Huancayo. En la siguiente figura se muestra los espesores recomendados en los términos de referencia.



Figura 4.8. Sección típica del pavimento

Para el cálculo del SN_{req} se usará la expresión:

$$SN = a_1 \times D_1 + a_2 \times D_2 \times m_2 + a_3 \times D_3 \times m_3$$

Los espesores (D_i) del pavimento se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 4.7. Espesores de las capas del pavimento

Espesor de capa	Km. 108+000 al Km. 110+000 monocapa	Zuñiga 56+600 - P. Nuevo 66+580 slurry seal
D1	Monocapa D1 = 1cm	Slurry seal D1 = 1cm
D2	Capa granular + afirmado D2 = 18.5 cm	Capa granular + afirmado D2 = 18.5 cm
D3	No aplica Subrasante	Capa rocosa D3= 20cm

Basándonos en la teoría del Anexo 09, diseño de pavimentos, se determinará los parámetros a_i y m_i . Para determinar los coeficientes estructurales (a_i) es necesario obtener los CBR del afirmado y subrasante.

El siguiente cuadro muestra los valores de CBR a una profundidad comprendida entre 1.0 a 1.5m. Por tanto estos valores pueden ser considerados como el CBR de la subrasante.

SUBSECTOR (km – km)	CBR (%) al 95% de MDS	CALIFICACIÓN
57+450 – 130+000	20	Regular
130+000 – 220+000	18	Regular
220+000 – 240+000	5	Malo
240+000 – 248+000	15	Regular
248+000 - 258+000	4	Malo

Figura 4.9. CBR sectorizado

El material afirmado a colocar será de las canteras, por tanto se puede considerar que el CBR de la cantera es igual al del al de la capa de afirmado. En el siguiente cuadro se muestra los CBR del afirmado.

Tabla 4.8. CBR de afirmado

Canteras	CBR afirmado	Tramo
Cantera km 65+000	CBR al 100% de MDS es igual a 99%.	Km. 108+000 al Km. 110+000
Cantera km 113+600	CBR al 100% de MDS es igual a 90%.	Zuñiga 56+600 - P. Nuevo 66+580

Con el CBR de cada capa se puede hallar los coeficientes estructurales.

A continuación se muestra un cuadro resumen con los parámetros para calcular SN_{req} .

Tabla 4.9. Parámetros de diseño

Parámetros	Km. 108+000 al Km. 110+000 monocapa	Zuñiga 56+600 - P. Nuevo 66+580 slurry seal
a_1	0.00 / cm	0.00 / cm
D_1	1.00 cm	1.00 cm
a_2	0.0543 / cm	0.0551 / cm
D_2	18.5 cm	18.50 cm
m_2	1.00	1.00
a_3	0.00 / cm	0.0374 / cm
D_3	0.00 cm	20.00 cm
m_3	1.00	1.00
SN_{req}	1.005	1.768

- b) Cálculo del SN_{eff} , el cálculo depende de la determinación del porcentaje de vida remanente (RL). Para hallar la vida remanente del pavimento se tiene que calcular el número de repeticiones de ejes equivalentes al término de la vida útil $N_{1.5}(W_{18})$, para ello se usará la siguiente expresión:

$$\log W_{18} = Z_r \times S_o + 9.36 \times \log (SN+1) - 0.20 + \frac{\log \left[\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5} \right] + 2.32 \times \log M_R - 8.07}{1094} + \frac{0.40}{(SN+1)^{5.19}}$$

A continuación se muestra un cuadro resumen de los parámetros necesarios para el cálculo de SN_{eff} . El valor de N_{18} en la fecha de refuerzo es tomado del Anexo 03, por ejemplo para el tramo Km. 108+000 al Km 110+000 la última colocación del monocapa fue en los primeros meses del año 2010 por lo que el $N_{18} = 18,435.18$.

Tabla 4.10. Cálculo de Número Estructural Efectivo SN_{eff}

Parámetros	Km. 108+000 al Km. 110+000 monocapa	Zuñiga 56+600 - P. Nuevo 66+580 slurry seal
Zr (90%)	-0.253	-0.253
So	0.45	0.45
ΔPSI	2.5	2.5
CBR (subrasante)	20.00%	20.00%
Mr	21,027.65	21,027.65
SN	1.01	1.77
NP=1.5	29644.18	599330.98
N18 (a la fecha de refuerzo)	18435.18	214000.00
RL	37.81%	64.29%
CF	0.92	0.83
SN_0	1.01	1.77
SN_{eff}	0.834	1.626

Con el Número Estructural requerido para el nuevo periodo de diseño (SN_{req}) y el Número Estructural efectivo en el año del refuerzo (SN_{eff}), se halla el Número Estructural de Refuerzo (SN_{ref}).

En el cuadro siguiente se muestra el cálculo de los espesores de refuerzo

Tabla 4.11. Cálculo de espesor de refuerzo

Número Estructural SN	Km. 108+000 al Km. 110+000 monocapa	Zuñiga 56+600 - P. Nuevo 66+580 slurry seal
SN_{eff}	0.834	1.626
SN_{req}	1.005	1.768
SN_{ref}	0.171	0.141
a_2	0.054	0.055
m_2	1.000	1.000
D2	3.15 cm	2.57 cm

Se tiene que tener en cuenta que los espesores de refuerzo calculados son para la capa granular estabilizada, ya que la superficie de rodadura no tiene ningún aporte estructural. Por ejemplo el tramo Km. 108+000 al Km. 110+000 la capa granular necesita un refuerzo de 3.15cm, mientras en el tramo Zuñiga Puente Nuevo sólo de 2.57 cm.

El refuerzo del pavimento se puede hacer mediante las siguientes acciones:

Fresar la superficie de rodadura, hasta una altura igual al obtenido en el cálculo del refuerzo.

Mezclar el material fresado con una emulsión asfáltica.

Finalmente colocar un recubrimiento bituminoso.

CAPITULO V: EVALUACIÓN DEL CONTRATO DE SERVICIO DE CONSERVACIÓN

5.1 EVALUACIÓN DE LOS CONTRATO DE SERVICIO DE CONSERVACIÓN VIAL

En los contratos de servicio de conservación vial no se consideran trabajos de voladura de roca por derrumbe, en épocas de lluvias se presentan estas emergencias viales por tanto es de importancia incluir los trabajos de voladuras cuando éstas sean necesarias.

5.1.1 Conservación de la Vía

En los contratos de servicio de conservación vial no mencionan realizar una evaluación estructural mediante ensayos de deflectometría, la UNI por su parte hace estos tipos de ensayos (Viga Benkelman) para evaluar la capacidad estructural del pavimento.

En los Términos de Referencia, de la carretera Cañete – Lunahuana- Pacarán- Chupaca, sólo se hace mención a las obligaciones del contratista, que es de conservar la vía en buenas condiciones de transitabilidad desde el inicio del contrato, esto quiere decir que tendrá la obligación de cumplir con los niveles de servicio de transitabilidad exigidos, tanto en vía afirmada como en la vía después de la intervención.

Para verificar los niveles de servicio en los Términos de Referencia establecen criterios según el tipo de mantenimiento a realizar.

Para Conservación Rutinaria, trabajos después de la construcción; el Supervisor maneja una plantilla de verificación de los niveles de servicio. Esta plantilla se base en una tabla de tolerancias y dependen de la variable a evaluar.

La planilla de la tabla 5.1 constituye el documento de registro para comprobar el nivel de servicio prestado o el nivel de incumplimiento de los indicadores. Esta

Planilla será suscrita por el responsable del tramo por parte del contratista y el Supervisor.

Tabla 5.1. Planilla de relevamiento y cálculo del nivel de servicio prestado por Km

ASPECTO INSPECCIONADO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	NUMERO SECTORES CON FALLAS (1)	FACTOR DE PESO (2)	PORCENTAJE DE INCUMPLIMIENTO (3) = (1) * (2) / 10
Calzada												50	
Bermas												10	
Zonas Laterales												5	
Drenaje												25	
Estructuras Viales												10	
PORCENTAJE DE INCUMPLIMIENTO EN EL Km.												Máximo	

En las celdas numeradas del 1 al 10 se colocará una "X" para indicar que al menos existe un incumplimiento en los niveles de servicio.

Conservación Periódica, los Términos de Referencia establecen que luego de la conservación el tramo debe alcanzar un IRIp igual o menor a 2.5 metros/kilómetro.

El método deflectométrico con la Viga Benkelman debe ser usado por el Contratista con fines preventivos de conservación, ya que estos tipos de ensayos son sencillas, rápidos y económicos. A continuación se listan las funciones que puede tener la Viga Benkelman en los contratos de servicio de conservación vial.

- El uso más importante debe ser el de evaluar el estado estructural de la vía para luego establecer y cuantificar las necesidades de conservación.
- Determinar la variación de la capacidad portante durante los periodos de invierno y verano.
- Aprender los fenómenos de fatiga.
- Control de las cargas de los vehículos.

5.1.2 Atención de Emergencias

El contrato considera una emergencia a todo obstáculo o derrumbe mayor a 200 m³ por evento que impida el libre tránsito vehicular sobre la calzada, su pago es por m³, según el precio ofertado por el contratista, la cantidad se determinará una vez quedado libre la vía, deduciéndole los primeros 200 m³, los cuales están considerados dentro de la cuota mensual de conservación rutinaria

En la zona en evaluación, Km. 108+000 al Km. 110+000, se observaron varios puntos críticos de derrumbes, estos taludes en su mayoría son rocosos. Generalmente cuando el derrumbe tiene material rocoso de un volumen tal que no se puede ser transportado es necesario utilizar recurrir a la voladura.

Recomendaciones contractuales

- En los contratos de conservación vial por niveles de servicio deben considerarse los trabajos de voladura para no perjudicar al contratista ya que la entidad sólo paga para derrumbes mayores a 200m³. Los primeros 200m³ se considera dentro de la cuota mensual de conservación rutinaria y la cantidad restante se paga por m³ según el precio ofertado por el contratista
- Estos tipos de contrato deben incorporar una cláusula, que exijan la disponibilidad de equipos en épocas de máximas avenidas.

a) Voladura de roca en derrumbes:

Consideraciones: El supervisor será el encargado en determinar el tipo de material del derrumbe, este también determinará si son necesarios los trabajos de voladura. Esta actividad considera los trabajos de voladura, acarreo de material y eliminación.

Forma de pago: Se pagará por m³ según el precio ofertado por el contratista en su oferta. Si el costo de voladura y remoción supera el monto semestral planteado en los términos de referencia la entidad pagará la diferencia con los precios unitarios del contratista.

A continuación se plantea un precio de voladura que incluye el transporte, si se considera este precio y el pago de atención de emergencias del cronograma de desembolsos, de los Términos de Referencia, se puede determinar la cantidad máxima de derrumbe que debería ocurrir en un semestre.

Según el siguiente cronograma el desembolso

Tabla 5.2. Pago de atención de emergencias

Pago de Atención de Emergencias Extraordinarias			
2011		2012	
Enero - Junio	Julio - Diciembre	Enero - Junio	Julio - Diciembre
S/. 102,550.00	S/. 102,550.00	S/. 102,550.00	S/. 102,550.00

Precio Voladura = S/. 21.54 x m³ (ver tabla 5.2)

Desembolso mensual = S/. 102,550.00

Material Derrumbe a remover = 4,762 m³

Según los cálculos anteriores si hubiera un derrumbe acumulado mayor a 4,762 m³, y sería necesario la utilización de voladura, el presupuesto planteado por el contrato para la atención de emergencias no alcanzaría por lo que se sugiere que a la existencia de derrumbes superiores a 4,762 m³ el estado debería pagar al contratista con la diferencia. Este pago sería por m³ removido, con el precio unitario planteado por el contratista en la firma del contrato. Las tablas 5.2 y 5.3 muestran los análisis de precio unitarios y subpartidas de voladura en roca.

Tabla 5.3. Análisis de precios unitarios de derrumbes



ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS - CONSOLIDADO

Ciente: UNI - FIC

P. Análisis : (01-01)

CP: P-UNI FIC - 1 - A - Trabajos de Voladura de roca por derrumbe

Rubro	Recurso	Descripción Recurso	Unid	Rendimiento	Costo	Costo
					Recurso	Unitario
					Nuevo Sol	Nuevo Sol
01		Trabajos de voladura de roca por derrumbe	m ³	Avance:	0.00	m ³ /día
95	1160	Voladura roca c/compresora	m ³	1.0000	17.1610	17.161
95	3165	Transporte de roca	m ³	1.0000	4.3779	4.3779
Total Rubro:95 - Análisis Auxiliar						21.5389
Costo Directo						21.5389
TOTAL GENERAL						21.5389
TOTAL REDONDEADO						21.54

Tabla 5.4. Análisis de subpartidas de voladura y transporte de roca



ANÁLISIS DE COSTO ESPECIALES CONSOLIDADO

Oferta: P-UNI FIC-Trabajos de Voladura de roca
pro derrumbe

Código	Descripción	Unid	Elem.	Cuad	Rend	M	Costo		
							Recurso	Unitario	
							Nuevo Sol	Nuevo Sol	
95	1160	Voladura roca c/compresora	m3	Rendim:	0.5000	hh/m3	Durac:	0.00	Vol. Met:
				Avance:	300.00	m3/día	Jornada:	10.00	Vol. H-H:
14 Materiales Consumibles									
14	100111	Dinamita Semexsa 65	kg	1.00		0.29		6.15	1.8
14	100151	Cordón detonante 3g	ml	1.00		0.32		0.46	0.1
14	100157	Conector None!	un	1.00		0.03		0.40	0.0
14	100161	Fulminante común N°8	un	1.00		0.00		0.37	0.0
14	100165	Guía naranja de seguridad	ml	1.00		0.01		0.31	0.0
14	100180	Herramientas de perforación	m	1.00		0.00		1.00	0.0
		Total Rubro:14 - Materiales Consumibles							1.9
20 Mano de Obra									
20	101000	Jefe de Grupo Civil	H-H	1.00	C	0.03		18.39	0.6
20	102000	Operario Civil	H-H	2.00	C	0.07		17.52	1.2
20	103000	Oficial Civil	H-H	5.00	C	0.17		14.81	2.5
20	104000	Ayudante Civil	H-H	5.00	C	0.17		13.47	2.2
20	104040	Vigía	H-H	2.00	C	0.07		7.88	0.5
		Total Rubro:20 - Mano de Obra							7.0
31 Equipo Propio									
31	36005060	Perforadora Neumática	H-M	5.00		0.17		13.22	2.2
31	58023002	Camioneta Toyota Hi-Lux 4x4 doble cabina diesel	H-M	0.50		0.02		83.56	1.4
		Total Rubro:31 - Equipo Propio							3.6
34 Equipos Terceros									
34	21030	Compresora 750 PCM	H-M	1.00		0.03		138.18	4.6
		Total Rubro:34 - Equipos Terceros							4.6
		COSTO (ANALISIS AUXILIAR)							17.2
		COSTO HORA HOMBRE VESTIDA							0.00
95	3165	Transporte de roca	m3	Rendim:	0.0333	hh/m3	Durac:	0.00	Vol. Met:
				Avance:	300.00	m3/dia	Jornada:	10.00	Vol. H-H:
20 Mano de Obra									
20	104040	Vigía	H-H	1.00	C	0.03		7.88	0.26
		Total Rubro:20 - Mano de Obra							0.26
31 Equipo Propio									
31	52035126	Camión Volquete 6x4 Scania P124 / Volvo FM 440 15 m3	H-M	1.00		0.03		112.22	3.74
		Total Rubro:31 - Equipo Propio							3.74
34 Equipos Terceros									
34	43004	Cargador Frontal L120/950	H-M	0.06		0.00		187.28	0.37
		Total Rubro:34 - Equipos Terceros							0.37
		COSTO (ANALISIS AUXILIAR)							4.38
		COSTO HORA HOMBRE VESTIDA							0.00

5.2 OTROS ASPECTOS

En esta parte del informe se analizará los contratos de servicio de conservación vial y se listará las ventajas y desventajas que tienen estas.

5.2.1 Ventajas de los contratos de conservación vial

Entre las ventajas de estos tipos de contratos se tiene:

- En estos tipos de contratos se puede trabajar con microempresas, en muchas contratos de conservación se han obtenido buenos resultados. Estas microempresas generan trabajo a los pobladores de la zona.
- Las vías de Proyecto Perú unen pueblos importantes, estas vías se unen a las carreteras de primer orden, trayendo mayor desarrollo al país.
- El presente contrato es controlado por niveles de servicio, no por ejecución ni avance de metrados, por lo que el contratista tendrá que ejecutar todas las actividades necesarias con la finalidad de cumplir con el nivel de servicio exigido y al costo ofertado.
- Estos contratos incentivan a los especialistas en proponer mejoras de intervención en el tiempo que dure el proyecto.
- Con los cambios de estándar en la vía se logra la disminución de los costos de operación vehicular y evita la rehabilitación de las vías.
- Los trabajadores y los empleados de la empresa contratista logran una mayor estabilidad debido a que estos contratos son de 5 años.
- Las emergencias viales son atendidas a la brevedad, por lo que asegura una constante transitabilidad.

5.2.2 Desventajas del contrato

Las desventajas de los contratos de servicio de conservación son los siguientes:

- Existen pocos contratistas especializados en gestión de infraestructura vial, ya que estos contratos son nuevos en el Perú.
- Estos contratos tienen un riesgo por la incertidumbre en los volúmenes reales de la obra necesarios para alcanzar los estándares exigidos.
- No existe un control de pesos, que restrinja el tránsito de vehículos que exceden su peso.

- Estos tipos de contratos no incluyen el servicio de ambulancia y grúas, servicios que en otros países forman parte del contrato.
- Al mejorar la vía los conductores aumentan la velocidad a niveles no deseados.
- La forma de medir los indicadores de servicio no es específica, sino que dependen de la inspección visual del Supervisor.

5.2.3 Puntos críticos

Los principales puntos críticos son:

- Erosión de la plataforma por acción del río.
- Problemas de drenaje.
- Desprendimientos y derrumbes de taludes.
- Falta de señalización.

A continuación se identifica los principales problemas por progresiva.

Km. 108+400: Erosión de la plataforma por acción del río, a causa de la erosión la superficie presenta fisuras longitudinales.

Km. 108+800: Problemas de drenaje por falta de cunetas no revestidas.

Km. 108+800: Desprendimiento de taludes.

Km. 108+900: Taludes rocosos con gran posibilidad de derrumbarse.

Km. 109+000: Curva peligrosa, deberían colocarse señales de tránsito que indiquen un disminución de la velocidad. Taludes rocosos con posibilidad de desprenderse. Erosión de plataforma por acción del río.

Km. 109+800: Taludes rocosos con potencial desprendimiento.

Km. 109+900: Taludes rocosos con potencial desprendimiento.

En el Anexo 10 se muestran las fotos de los puntos críticos identificados en el tramo Km. 108+000 al Km. 110+000.

Posibles soluciones a los principales puntos críticos:

a) Erosión de la plataforma por acción del río. Los tramos que presentan estos problemas son:

Km. 108+400: Fisuras causa de desprendimiento de talud.

Km. 109+000: Erosión de plataforma.

Ante este problema se recomienda las siguientes soluciones:

a.1) Relleno en plataforma: en las siguientes fotos se observa los trabajos de relleno realizado en la progresiva Km. 180+000.



Foto 5.1. Relleno en la plataforma del Km. 180+000

a.2) **Enrocado (foto 5.2)**, se trata de la construcción de una estructura conformada por rocas colocadas o acomodadas con ayuda de equipos mecánicos como tractores, cargadores frontales, retroexcavadoras o grúas, con el objeto de proteger taludes evitando su erosión o desprendimiento; sirviendo de “cuña” al pie de los taludes. Los enrocados también son utilizados para proteger estructuras de la erosión y socavación que producen las aguas (protección de riberas, entradas y salidas de puentes, pontones, alcantarillas, badenes, etc.).



Foto 5.2. Enrocado para proteger socavación y erosión el río

a.3) Muros de mampostería (foto 5.3), Obra de arte que se atiende con carácter de emergencia preventiva evitándose así que la plataforma colapse producto del deslizamiento de huaycos y derrumbes.



Foto 5.3. Construcción de Muro de Mampostería

a.4) Muro seco, en las siguientes fotos se muestra la construcción de un muro seco en la progresiva Km. 107+200. Estas construcciones por su bajo costo son los más usados para evitar desprendimiento de la plataforma.



Foto 5.4. Construcción de muro seco Km. 107+200

b) Problemas de drenaje. La progresiva que presenta problemas de drenaje es el Km. 108+800. En esta progresiva existe un drenaje subterráneo, el problema es que no existe una cuneta que permita llevar el agua hasta el drenaje, por lo que se sugiere construir una cuneta no revestida como se hizo en otros tramos. En la foto 5.15 se observa una cuneta no revestida en proceso de construcción.



Foto 5.5. Construcción de cunetas no revestidas

c) Desprendimientos y derrumbes de taludes. Se refiere a la caída, prácticamente libre, tanto de masas rocosas como de suelos, las que usualmente no son precedidas por ningún movimiento lento. Afectan principalmente a rocas descompuestas que fallan según los planos más débiles. Algunos de los mecanismos que habitualmente conducen al desprendimiento son los que se indican a continuación:

- Erosiones provocadas por aguas lluvias que escurren por el talud, en especial cuando tiene una altura considerable.
- La absorción de aguas lluvias que baja la resistencia al corte del suelo, el que, al secarse posteriormente, experimenta una contracción desigual en la masa provocando planos de falla. Esto ocurre con mayor frecuencia en taludes cuya cara se encuentra expuesta en dirección al viento predominante durante la precipitación.

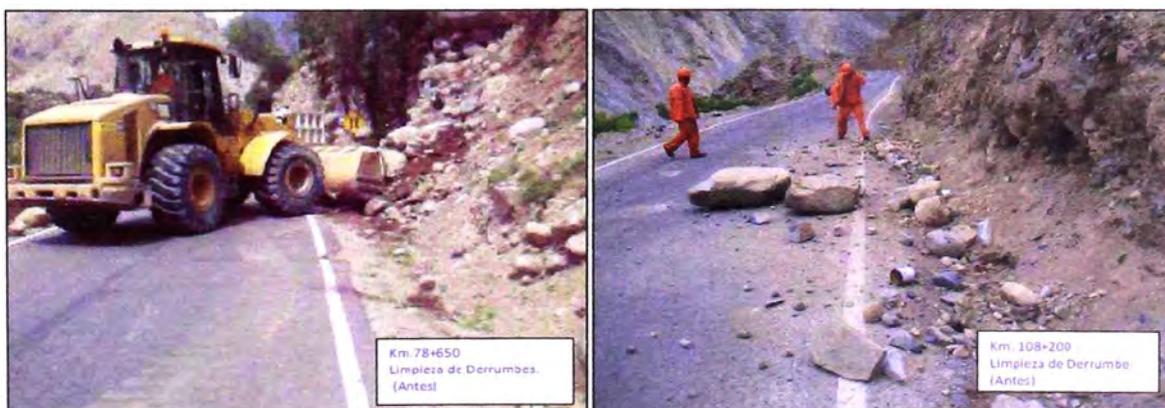


Foto 5.6. Derrumbes en la carreta Cañete - Huancayo

Los problemas de desprendimiento de taludes se dan a lo largo del tramo, se ha identificado los siguientes sectores como los más críticos.

Km. 110+000: Desprendimiento de rocas

Km. 108+900: Taludes rocosos

Km. 109+000: Taludes rocosos

Km. 109+800: Taludes rocosos con potencial desprendimiento

Km.109+900: Taludes rocosos con potencial desprendimiento

Para la protección de las caídas de bloques se recomienda los siguientes sistemas de defensa:

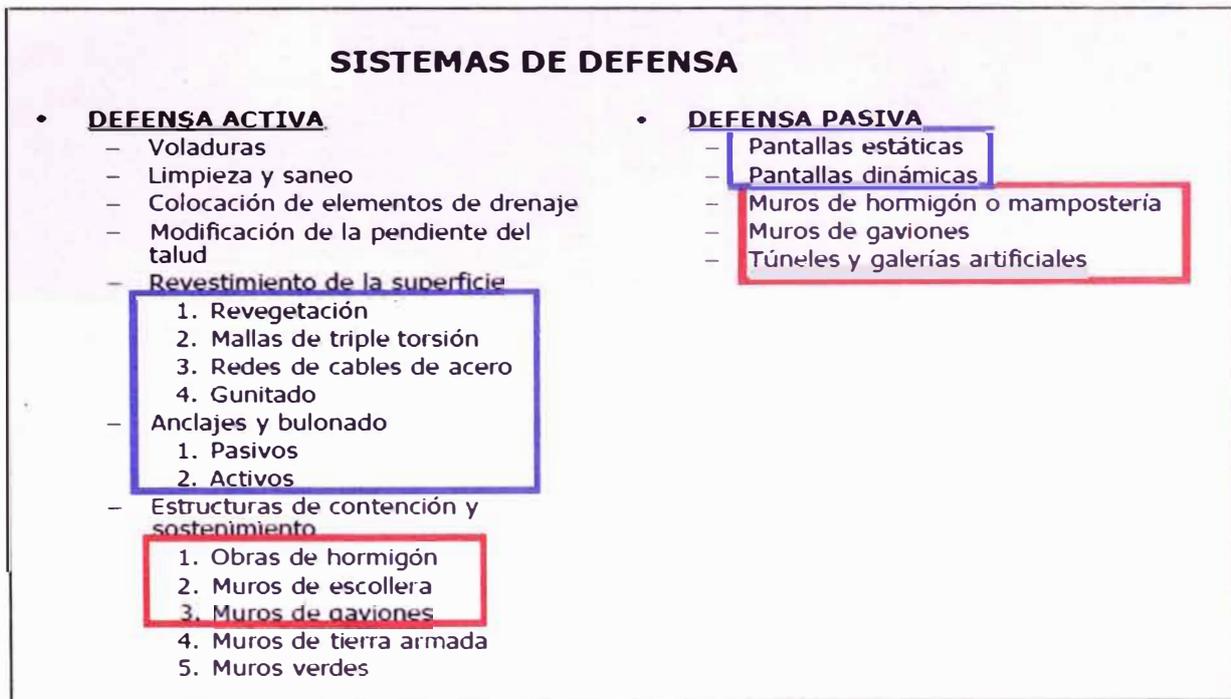


Figura 5.1. Sistemas de defensas contra deslizamientos

A continuación se muestran fotos de los principales sistemas de defensa contra deslizamientos.



Foto 5.7. Mallas contra caídas de bloques



Foto 5.8. Redes de cable de acero

Anclajes

d) Falta de señalización, la progresiva con problema de señalización es el Km. 109+000 en la que el rio representa un peligro, para ello es necesario la colocación de postes delineadores para evitar accidentes sobre todo en las noches. En la siguiente figura de muestra postes delineadores colocados en la progresiva Km. 194+000.



Foto 5.9. Postes delineadores

CONCLUSIONES

- Con respecto a la recopilación de datos tomados en campo, se obtuvo medidas muy altas de temperatura de la carpeta de rodadura, por el cual al procesar los datos y hallar los valores del factor de corrección por temperatura (Ver ANEXO 05), se observa que éstos se aproximan a uno, por lo tanto se concluye que la temperatura tiene una influencia mínima para espesores de carpeta de rodadura con tratamiento superficial.
- La magnitudes de las deflexiones procesadas en el ANEXO 05 y a su vez analizadas en el gráfico del deflectograma (ver ANEXO 08), se observa que las progresivas Km. 108+600, Km. 108+800, Km. 109+000 presentan deflexiones elevadas con respecto a los hallados en otras progresiva, esta diferencia se atribuye a los problemas de drenaje y la cercanía del río, que por infiltración le restan capacidad a la estructura del pavimento.
- En el tramo evaluado, Km. 108+000 al Km. 110+000 del lado derecho, el valor de radio de curvatura promedio ($R_c=442.91$) es elevado lo que indica un adecuado comportamiento de la superficie de rodadura y subrasante. Si se analiza los resultados de cada progresiva del carril derecho (ver ANEXO 05) se puede observa que en el Km. 109+000 el valor de radio de curvatura tiene un valor bajo, curva corta y profunda (ver ANEXO 07), lo que indica un inadecuado comportamiento del pavimento y subrasante, este problema se debe a que en dicha progresiva el río erosiona la plataforma debilitando la capacidad de la estructura del pavimento.
- Del tramo en estudio, para el primer año de análisis, la deflexión característica ($D_c= 142.12 \times 10^{-2}$ mm), es menor que la deflexión admisible ($D_{adm}=281.04 \times 10^{-2}$ mm) y el radio de curvatura promedio ($R_{cp}= 442.91$ m) es aceptable, se concluye que la capacidad estructural del pavimento tiene un adecuado comportamiento.
- Para los años 2 y 3 (2011 y 2012), los valores de la deflexión características son menores que las deflexiones admisibles, por el cual

se concluye, que el comportamiento estructural del pavimento será adecuado al año 3.

- Los objetivos de las mediciones de las deflexiones son: calcular de la vida residual del pavimento, evaluar la capacidad estructural, establecer prioridades para la rehabilitación de carreteras, evaluar la resistencia de cada capa durante la construcción, planificación de la conservación estructural.
- Los resultados de deflexiones y radios de curvatura permiten determinar sectores de comportamiento estructural homogéneo.
- La conservación vial ofrece a las agencias gubernamentales, proteger a largo plazo la infraestructura vial.
- Los contratos de conservación vial por niveles de servicio permiten mejorar la calidad de vida de la población cercana a la carretera.
- Las capas granulares estabilizadas, a diferencia de las carpetas asfálticas, no tienen aporte estructural al pavimento. Si se compara una estructura, con el mismo tipo de suelo de fundación, con asfalto y otra con tratamiento superficial es evidente que la estructura con carpeta asfáltica tendrá menores deflexiones.

RECOMENDACIONES

- En los puntos donde se obtuvieron valores altos de $D_{máx.}$ se recomienda hacer ensayos de calicatas para analizar la estructura que se encuentra debajo y a la vez poner mayor énfasis en la etapa de conservación en estos puntos.
- De los cálculos y análisis, la temperatura de la carpeta de rodadura, se recomienda no realizar la corrección por temperatura, si los pavimentos están compuestos de tratamiento superficial o mezclas asfálticas delgadas, ya que su modulo de rigidez es sensible a los cambios de temperatura.
- Se recomienda que en las entre las progresivas Km. 108+600 al Km. 109+000 se mejore el sistema de drenaje, ya sea con la construcción de cunetas no revestidas entre Km. 108+600 - Km, 108+800 y la construcción de un enrocado o muro seco en la progresiva Km. 109+000.

BIBLIOGRAFÍA

- AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION AASHTO. Guide for Design of Pavement Structures, USA, 1993.
- AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION AASHTO T 256, Standard Method of Test for Pavement Deflection Measurements, USA.
- BOWLES, "MANUAL DE LABORATORIO DE SUELOS EN INGENIERÍA CIVIL", 1º edición, Editorial J.E MC GRAW HILL, México DF 1980.
- Mallque Heredia Percy, TITULACIÓN POR ACTUALIZACIÓN DE CONOCIMIENTOS, Estudio de evaluación estructural de pavimentos basados en la interpretación de deflexiones con el Modelo de Hogg, Lima, Perú.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones - CONREVI, Estudio de Rehabilitación de Carreteras en el País Capítulo VI: Aspectos de Evaluación de Pavimentos, Volumen C, Lima, Perú, 1983.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones, Especificaciones Técnicas Generales para la Construcción de Carreteras (EG-2000), Segunda Edición, Lima, 2000.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones, Manual de ensayos de materiales para carreteras (EM-99), Lima Perú, 2000.

ANEXOS

ANEXOS

ANEXO 01

DETERMINACIÓN DEL NÚMERO DE EJES EQUIVALENTES

ANEXO 02

ESTUDIO DE TRÁFICOS Y CARGAS

ANEXO 03

CÁLCULO DE N18 Y DEFLEXIÓN ADMISIBLE

ANEXO 04

MEDICIÓN DE DEFLEXIONES CON VIGA BENKELMAN - HOJA DE CAMPO

ANEXO 05

PROCESAMIENTO DE DATOS DE DEFLEXIONES

ANEXO 06

DEFLEXIÓN CARACTERÍSTICA Y DEFLEXIÓN ADMISIBLE

ANEXO 07

RADIO DE CURVATURA

ANEXO 08

DEFLECTOGRAMA

ANEXO 09

MÉTODO AASHTO (1993)

ANEXO 10

PUNTOS CRÍTICOS

ANEXO 11

PANEL FOTOGRÁFICO

ANEXO 01

DETERMINACIÓN DEL NÚMERO DE EJES EQUIVALENTES

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

Análisis de tránsito – Ejes Equivalente

En el funcionamiento estructural de las capas de la estructura del pavimento influye el tipo de suelo de la subrasante, el número total de los vehículos pesados por día o durante el periodo de diseño, incluido las cargas por eje y la presión de los neumáticos.

La demanda o volumen de tráfico (IMDA), requiere ser expresado en términos de Ejes Equivalentes acumulados para el periodo de diseño. Un eje equivalente (EE) equivale al efecto de deterioro causado sobre el pavimento, por un eje simple de dos ruedas cargado con 8.2 ton de peso.

Factores de Equivalencia de Carga

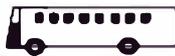
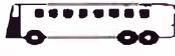
De los estudios experimentales desarrollados, se han obtenido ecuaciones crecientes, de relación exponencial del orden de 4, entre la carga real y la del eje referencial.

Para el cálculo de los EE, se puede tomar el criterio simplificado de la metodología AASHTO, aplicando las siguientes relaciones para vehículos pesados, buses y camiones:

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	

También se considerará un factor de ajuste por presión de neumáticos, de tal manera de computar el efecto adicional de deterioro que producen las altas presiones de los neumáticos en el deterioro del Pavimento.

La determinación del EE por tipo de vehículo pesado, camiones y buses, resulta de la suma de EE por tipo de eje, para cada vehículo específico por ejemplo:

FACTORES DE EQUIVALENCIA DE CARGA LEGAL POR EJE Y VEHICULO								
SIMBOLO	DIAGRAMA	DESCRIPCION	EJE DELANTERO	EJE POSTERIOR				TOTAL
				1er EJE	2° EJE	3er EJE	4° EJE	
C2		Carga (tn)	7	11				18
		F.EE.	1 265	3 238				4 504
C3		Carga (tn)	7	18				25
		F.EE.	1 265	2 019				3 285
2S1		Carga (tn)	7	11	11			29
		F.EE.	1 265	3 238	3 238			7 742
2S2		Carga (tn)	7	11	18			36
		F.EE.	1 265	3 238	2 019			6 523
2S3		Carga (tn)	7	11	25			43
		F.EE.	1 265	3 230	1 420			5 924
B2		Carga (tn)	7	11				18
		F.EE.	1 265	3 238				4 504
B3		Carga (tn)	7	18				25
		F.EE.	1 265	2 019				3 285

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

Determinación del número de repeticiones del eje estándar de 8.2 ton

Para el cálculo del número de repeticiones de ejes equivalentes de 8.2 tn, se usará la siguiente expresión por tipo de vehículo; el resultado final será la sumatoria de los tipos de vehículos considerados.

$$N_{rep \text{ de EE } 8.2 \text{ tn}} = \sum [EE_{\text{día-carril}} \times 365 \times ((1+t)^n - 1)] / t$$

$$EE_{\text{día-carril}} = EE \times \text{Factor Direccional} \times \text{Factor Carril}$$
$$EE = \text{N}^\circ \text{ de vehículos según tipo} \times \text{Factor vehículo} \times \text{Factor de Presión de llantas}$$

Donde:

Nrep de EE 8.2t = Número de Repeticiones de Ejes Equivalentes de 8.2 tn

EE_{día-carril} = Ejes Equivalentes por día para el carril de diseño

365 = Número de días del año

t = tasa de proyección del tráfico, en centésimas

EE = Ejes Equivalentes

Factor Direccional = 0.5, corresponde a caminos de dos direcciones por calzada (recomendable).

Factor Carril = 1, corresponde a un carril por dirección o sentido

Factor de Presión de llantas = en función al censo.

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

ANEXO 02

ESTUDIO DE TRÁFICOS Y CARGAS

CUADRO N°1: DETERMINACIÓN DEL TRÁFICO ACTUAL

Tipo de Vehículo	IMD 2008(*)			Tasa de crecimiento (%)	IMD 2009	IMD 2010
	Zuñiga-Dv. Yauyos-San José de Quero	San José de Quero-Dv, Yauyos-Zuñiga	Ambo s		Zuñiga-Dv. Yauyos-San José de Quero (Ambos)	Zuñiga-Dv. Yauyos-San José de Quero (Ambos)
Auto	0	1	1	1.40%	1	1
Camioneta	10	10	20	1.40%	20	21
C.R.	2	2	4	1.40%	4	4
Micro	0	0	0	1.40%	0	0
Ómnibus 2	4	4	8	1.40%	8	8
Ómnibus +2	0	0	0	1.40%	0	0
Camión 2 Ejes	4	5	9	4.20%	9	10
Camión 3 Ejes	7	4	11	4.20%	11	12
Camión 4 Ejes	0	0	0	4.20%	0	0
Semitraylers	0	0	0	4.20%	0	0
Traylers	0	0	0	4.20%	0	0
TOTAL	27	26	53		54	56

Fuente: Conservación Vial por Niveles de Servicio de la carretera Cañete – Lunahuana – Pacaran – Chupaca.

CUADRO N°2: DETERMINACIÓN DE LOS FACTORES DE EQUIVALENCIA DE CARGA

Tipo de vehículo	Descripción	Eje Delantero	Ejes posteriores			EE8.2TN
			1er eje	2do eje	3er eje	
Ómnibus 2E	Carga (Tn)	7	11			18
	F.E.C.	1.265	3.238			4.504
Camión 2E-L	Carga (Tn)	7	7			14
	F.E.C.	1.265	1.265			2.531
Camión 3E	Carga (Tn)	7	18			25
	F.E.C.	1.265	2.019			3.285

ANEXO 03

CÁLCULO DE *N₁₈ Y DEFLEXIÓN ADMISIBLE

TRAMO: Km. 108+000 al Km. 110+000

Tipo de vehículo	Factor de Carga	IMD ₂₀₀₈	Tasa de crecimiento (%)	PROYECCIÓN						
				n (años)	EAL 2010	n (años)	EAL 2010	n (años)	EAL 2011	
Ómnibus 2E	4.504	8	1.40%	1	13,522.50	2	27,612.95	3	42,295.20	
Camión 2E-L	2.531	10	4.20%	1	9,027.41	2	18,433.96	3	28,235.59	
Camión 3E	3.285	12	4.20%	1	14,320.44	2	29,242.34	3	44,790.96	
*N ₁₈ , número total de ejes equivalentes a 8.2 ton (en millones)				EAL	3.69E+04		7.53E+04		1.15E+05	
				N18	0.0184		0.0376		0.0577	
				Da(x10-2 mm)	281.04		235.10		211.33	

TRAMO: Zuñiga Km. 56+600 al P. Nuevo Km. 66+580

Tipo de vehículo	Factor de Carga	IMD ₂₀₀₉	Tasa de crecimiento (%)	PROYECCION						
				n (años)	EAL 2010	n (años)	EAL 2010	n (años)	EAL 2011	
Micro	4.504	49	1.40%	1	80,009.00	2	243,402.00	3	411,402.00	
Omnibus 2E	4.504	15	1.40%	1	25,003.00	2	76,063.00	3	128,563.00	
Omnibus 3E	3.285	1	1.40%	1	1,216.00	2	3,698.00	3	6,251.00	
Camión 2 Ejes	4.504	49	4.60%	1	80,814.00	2	253,766.00	3	442,995.00	
Camión 3 Ejes	3.285	9	4.60%	1	11,286.00	2	35,440.00	3	61,867.00	
Camión 4 Ejes	2.283	1	4.60%	1	872.00	2	2,737.00	3	4,778.00	
Semitraylers	6.523	29	4.60%	1	69,730.00	2	218,961.00	3	382,237.00	
Traylers	10.980	40	4.60%	1	159,301.00	2	500,225.00	3	873,234.00	
Nota: N18, número total de ejes equivalentes a 8.2 ton (en millones)				EAL	4.28E+05		1.33E+06		2.31E+06	
				N18	0.2140		0.4360		0.6670	

ANEXO 04

MEDICIÓN DE DEFLEXIONES CON VIGA BENKELMAN - HOJA DE CAMPO

CARRETERA CAÑETE - YAUYOS - CHUPACA

SECTOR : Km 108+000 al km 110+000 OPERADOR : Varios
 CARRIL : Izquierdo, Derecho RELACIÓN VP : 4:1
 CAPA : Monocapa DIAL : 0,00 mm

Progresiva (km)	Carril	Lecturas de Campo (10 ⁻² mm)				L.C.B Corto	Espesor (mm)	Ahuellamiento o (mm)	Temp (°C)	Ancho de la Vía (m)
		L ₂₅	L ₅₀	L ₇₀	L _{máx}					
108+000	Derecho	1	8	12	28	21	5	7	32	4.9
108+000	Izquierdo	1	12	14	15	9	10	10	36	
108+200	Derecho	1	4	5	15	13	7	6	35	4.72
108+200	Izquierdo	1	3	6	9	5	10	7	37	
108+400	Derecho	1	4	5	9	5	8	2	38	3.03
108+400	Izquierdo	1	3	5	8	6	10	6	34	
108+600	Derecho	2	10	15	26	18	3	6	38	3.11
108+600	Izquierdo	1	7	12	15	9	5	8	37	
108+800	Derecho	3	6	11	25	14	6	6	41	4.36
108+800	Izquierdo	3	9	14	30	21	6	5	38	
109+000	Derecho	9	11	13	23	20	5	10	41	3.5
109+000	Izquierdo	5	14	19	25	15	8	10	37	
109+200	Derecho	3	8	14	32	20	7	9	38	3.92
109+200	Izquierdo	3	10	15	27	18	5	8	35	
109+400	Derecho	2	8	12	17	9	9	7	38	4.3
109+400	Izquierdo	3	9	11	24	18	8	7	42	
109+600	Derecho	1	6	9	25	19	8	8	40	4.54
109+600	Izquierdo	2	6	7	25	22	10	6	42	
109+800	Derecho	2	8	12	17	14	5	4	41	3.94
109+800	Izquierdo	2	8	10	13	10	10	8	41	
110+000	Derecho	2	8	9	13	6	10	9	39	3.07
110+000	Izquierdo	15	19	24	28	23	8.00	2	38	

ANEXO 05

PROCESAMIENTO DE DATOS DE DEFLEXIONES

Progre. (km)	Carril	Lecturas de Campo (10 ⁻² mm)		Deflexiones sin Corregir (10 ⁻² mm)		e mm	Ahue llamiento (mm)	T (°C)	Factor Corrección		RESULTADOS DEFLECTOMÉTRICOS		Radio Curvatura (m)
		L ₂₅	L _{máx}	D ₂₅	D _{máx}				Factor Temp.	Factor Estación	Deflexiones Corregidas		
											D ₂₅ x 10 ⁻² mm	D ₀ x 10 ⁻² mm	
108+000	Derecho	1	28	108	112	5	7	32	0.994	1.100	118.09	122.47	714.49
108+200	Derecho	1	15	56	60	7	6	35	0.990	1.100	60.96	65.31	717.68
108+400	Derecho	1	9	32	36	8	2	38	0.986	1.100	34.70	39.04	720.45
108+600	Derecho	2	26	96	104	3	6	38	0.995	1.100	105.03	113.79	357.03
108+800	Derecho	3	25	88	100	6	6	41	0.988	1.100	95.60	108.63	239.73
109+000	Derecho	9	23	56	92	5	10	41	0.990	1.100	60.96	100.15	79.74
109+200	Derecho	3	32	116	128	7	9	38	0.988	1.100	126.01	139.05	239.73
109+400	Derecho	2	17	60	68	9	7	38	0.984	1.100	64.95	73.61	360.87
109+600	Derecho	1	25	96	100	8	8	40	0.984	1.100	103.94	108.27	721.59
109+800	Derecho	2	17	60	68	5	4	41	0.990	1.100	65.31	74.02	358.84
110+000	Derecho	2	13	44	52	10	9	39	0.981	1.100	47.50	56.13	361.86
108+000	Izquierdo	1	15	56	60	10	10	36	0.984	1.100	60.63	64.96	721.59
108+200	Izquierdo	1	9	32	36	10	7	37	0.983	1.100	34.61	38.94	722.30
108+400	Izquierdo	1	8	28	32	10	6	34	0.986	1.100	30.37	34.71	720.17
108+600	Izquierdo	1	15	56	60	5	8	37	0.992	1.100	61.08	65.44	716.26
108+800	Izquierdo	3	30	108	120	6	5	38	0.989	1.100	117.53	130.59	239.30
109+000	Izquierdo	5	25	80	100	8	10	37	0.987	1.100	86.82	108.52	143.98
109+200	Izquierdo	3	27	96	108	5	8	35	0.993	1.100	104.81	117.92	238.52
109+400	Izquierdo	3	24	84	96	8	7	42	0.983	1.100	90.80	103.77	240.91
109+600	Izquierdo	2	25	92	100	10	6	42	0.978	1.100	99.02	107.63	362.93
109+800	Izquierdo	2	13	44	52	10	8	41	0.979	1.100	47.40	56.02	362.57
110+000	Izquierdo	15	28	52	112	8	2	38	0.986	1.100	56.39	121.45	48.03

ANEXO 06

DEFLEXIÓN CARACTERÍSTICA Y DEFLEXIÓN ADMISIBLE

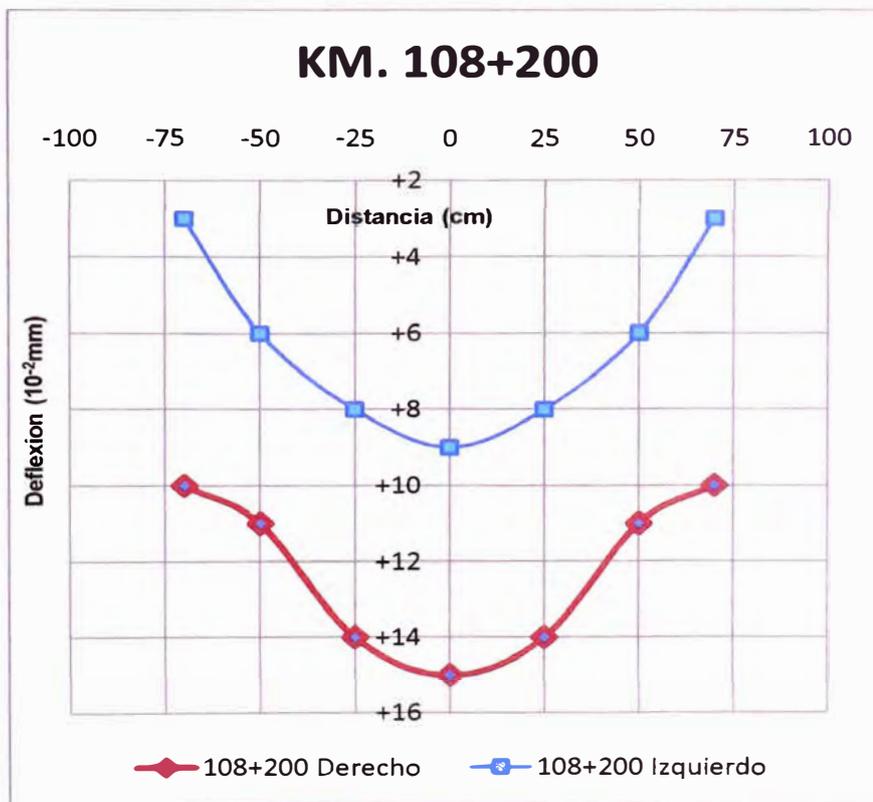
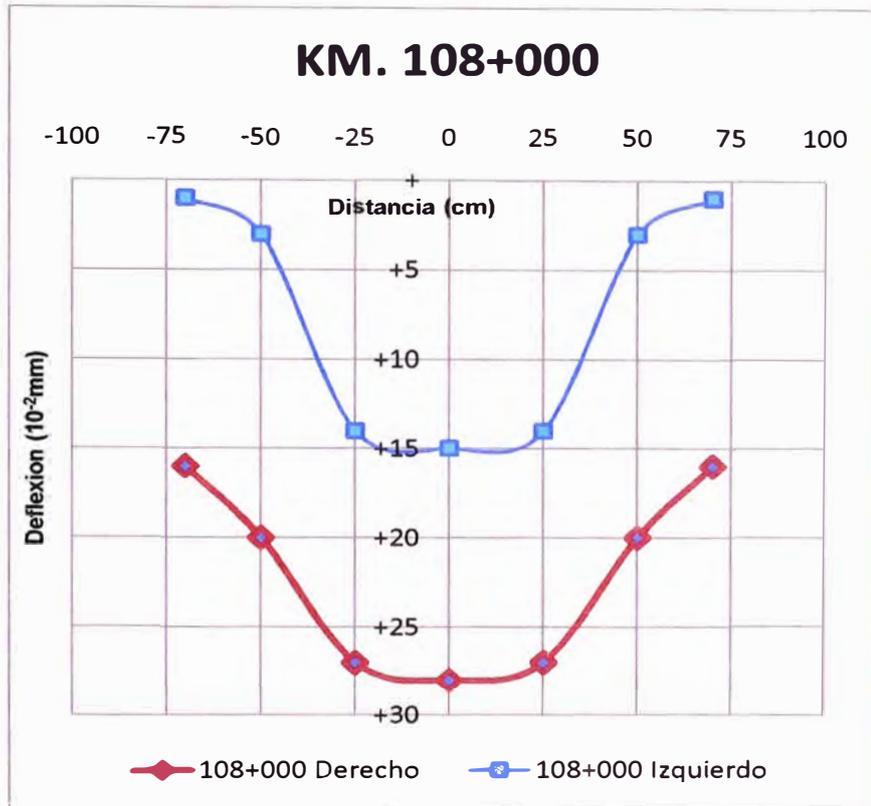
Descripción	Unidad	Carretera Cañete - Yauyos - Chupaca Km. 108+000 al Km. 110+000		
		1	2	3
AÑO DE ANALISIS (n)	años	1	2	3
DEFLEX. CARACT. (D_c)	$\times 10^{-2}$ mm	142.12	142.12	142.12
DEFLEX. ADMISIBLE (D_{adm})	$\times 10^{-2}$ mm	281.04	235.10	211.33
RADIO DE CURVATURA (R_{cp})	m	442.91	442.91	442.91
ESPEZOR DE REFUERZO	cm	-12.28	-9.07	-7.15

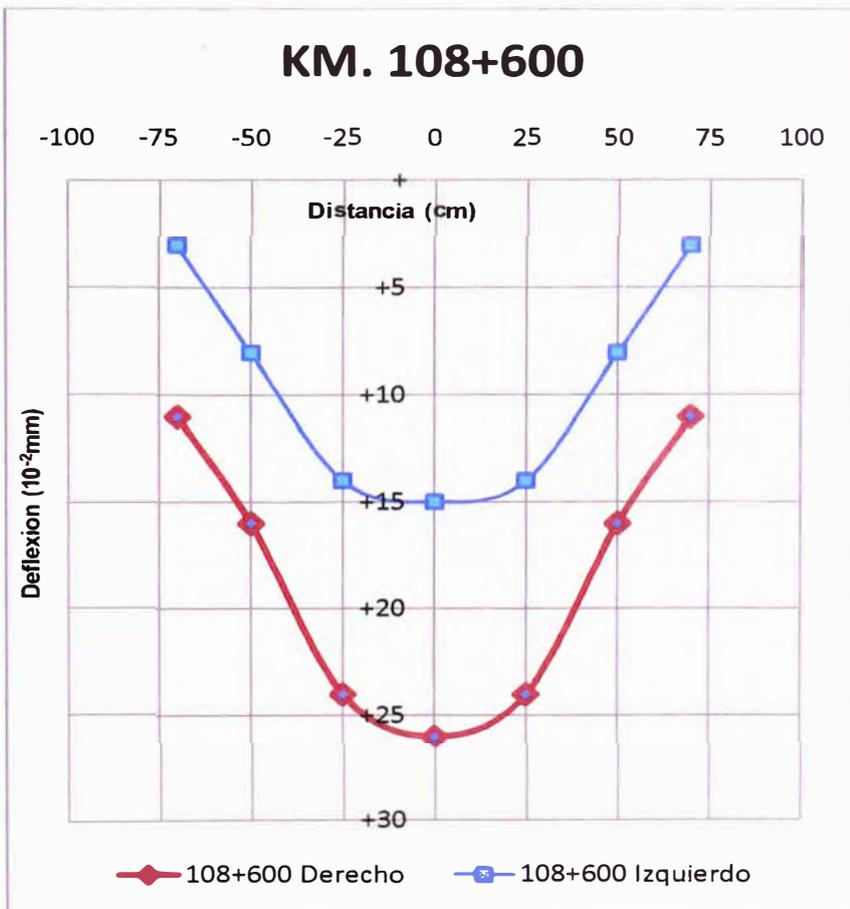
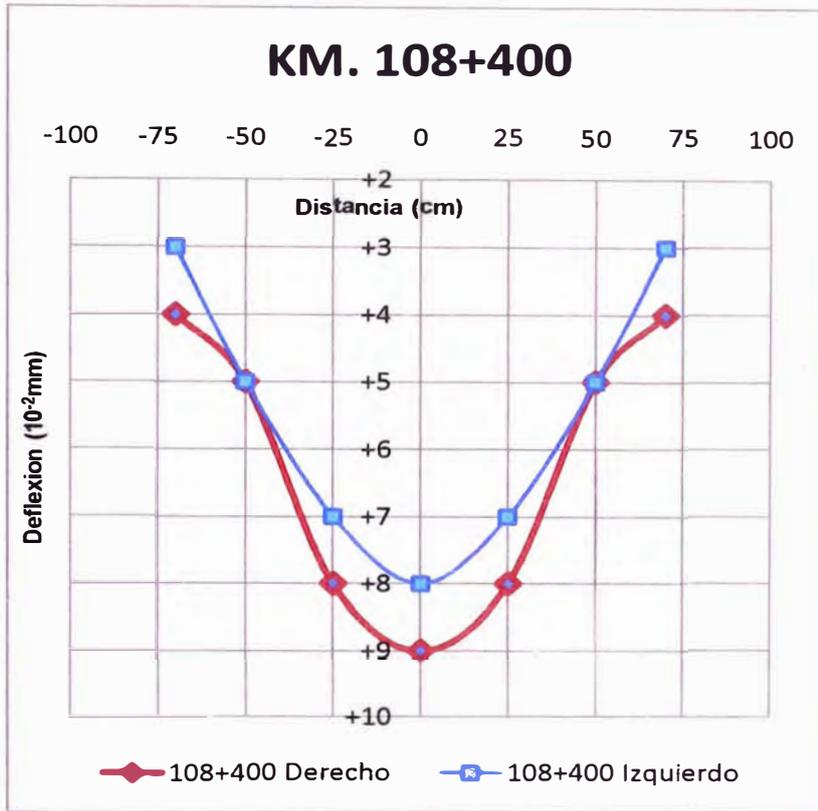
ESP. DE REFUERZO RECOMENDADO	mm	*NR	NR	NR
------------------------------	----	-----	----	----

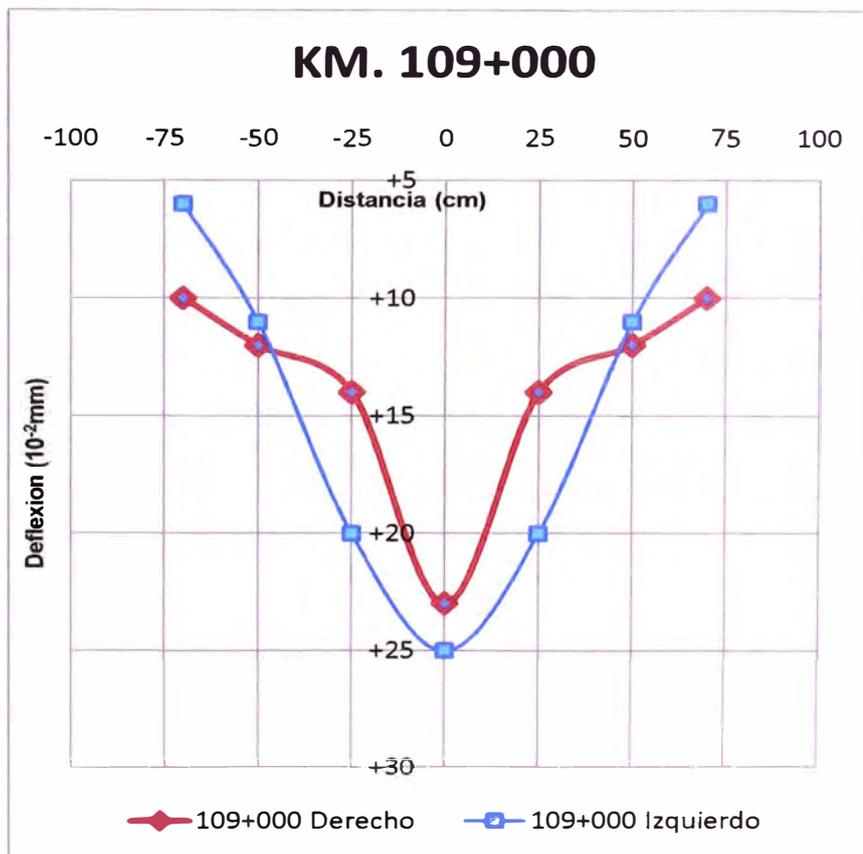
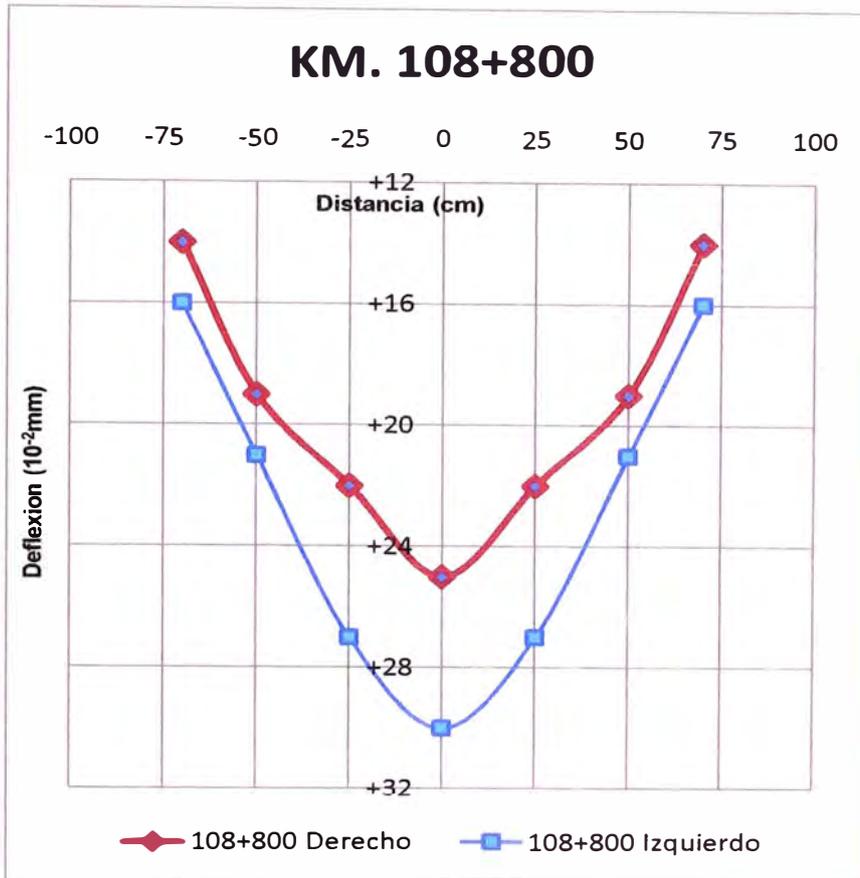
***NR: no necesita refuerzo**

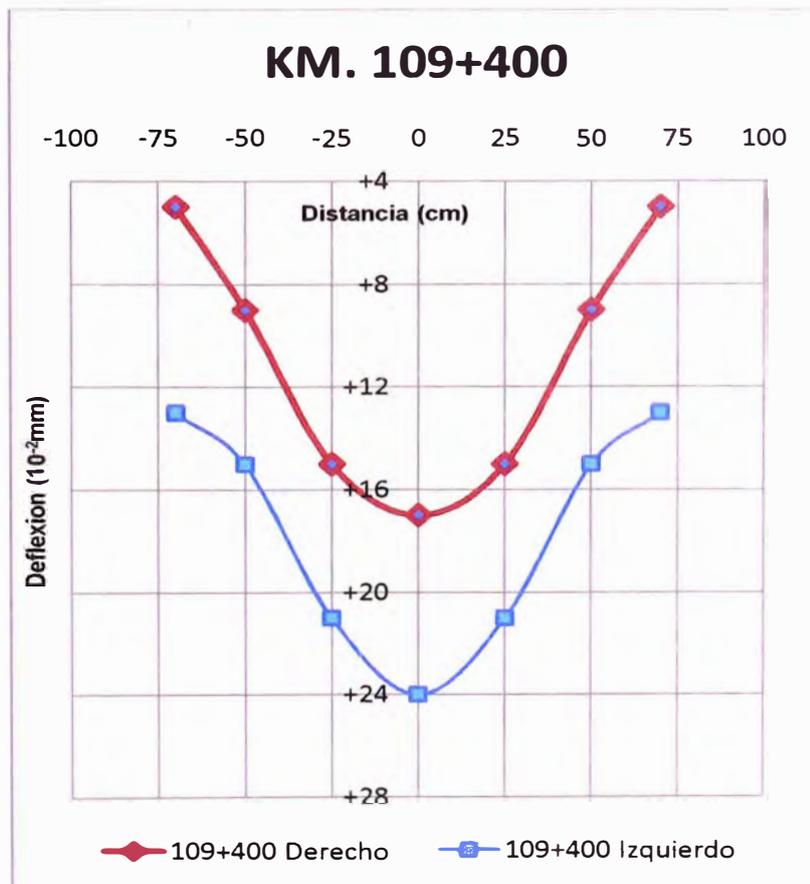
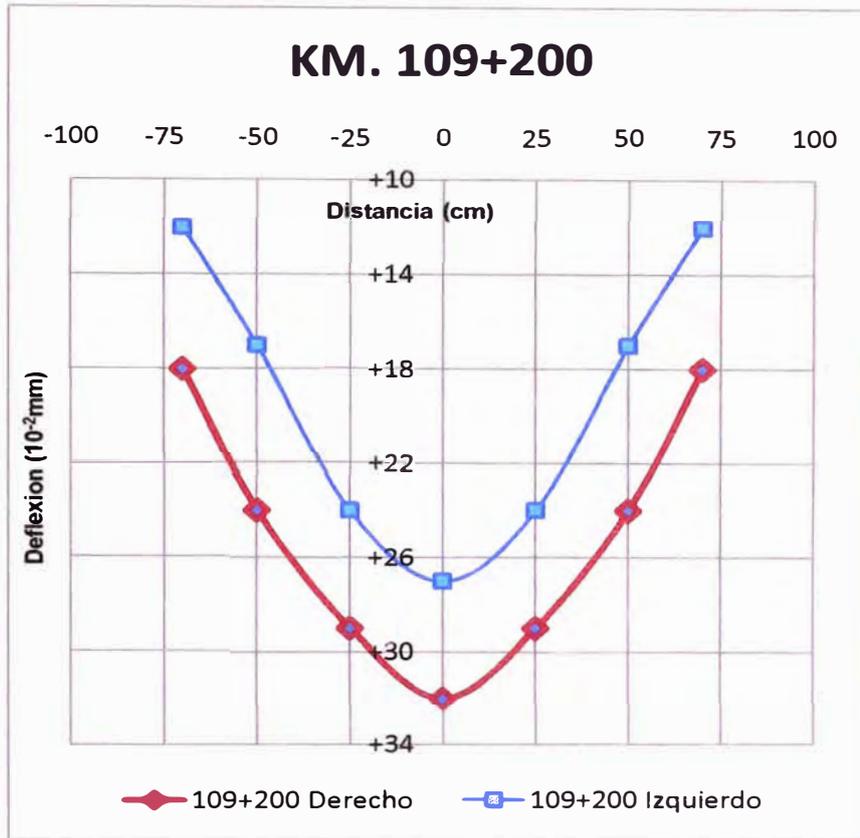
ANEXO 07

RADIO DE CURVATURA







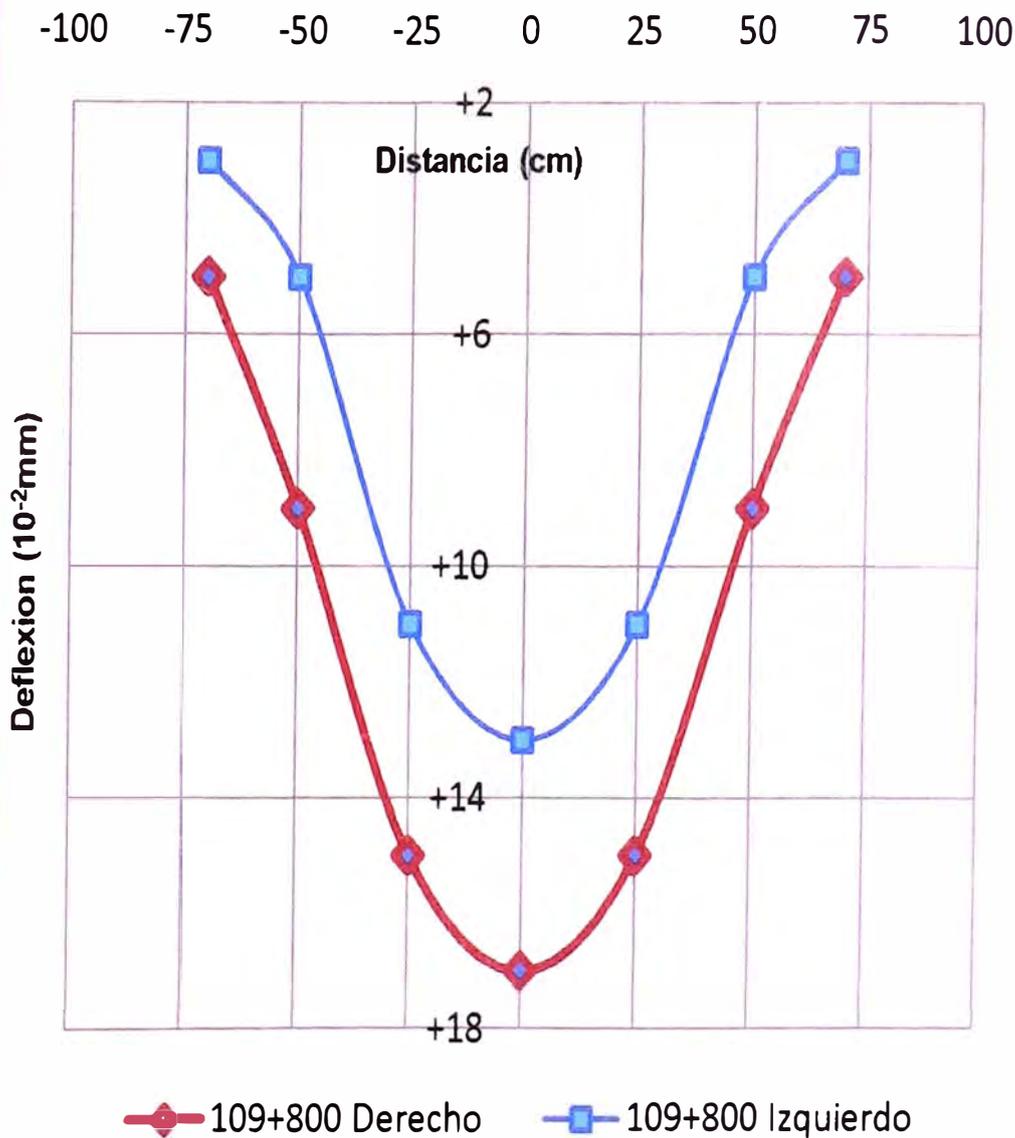


+27

109+600 Derecho

109+600 Izquierdo

KM. 109+800



ANEXO 08

DEFLECTOGRAMA



ANEXO 09

MÉTODO AASHTO (1993)

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

El diseño del pavimento, utilizando el Método AASHTO, versión 1993 (GUIDE FOR DESIGN OF PAVEMENT STRUCTURE 1993). basado en AASHTO Road Test, consiste en determinar el Número Estructural (SN) en función del Módulo Resiliente de la subrasante (M_r), número de ejes equivalentes a 8.2 ton (N_{18}), Confiabilidad (R%), Desviación Standard total (S_0), pérdida de serviciabilidad (Δ PSI) e índices estructurales del pavimento.

Los valores del número estructural se determinan mediante la aplicación de la ecuación de diseño indicada en la siguiente figura del método de diseño.

$$\log W_{18} = Z_r \times S_0 + 9.36 \times \log (SN+1) - 0.20 + \frac{\log \left[\frac{\Delta \text{ PSI}}{4.2 - 1.5} \right]}{1094} + 2.32 \times \log M_R - 8.07 - \frac{0.40}{(SN+1)^{5.19}}$$

Fuente: AASHTO

Donde:

W_{18} : Número total de ejes equivalentes, para el período de diseño

Z_R : Coeficiente estadístico asociado a la confiabilidad respecto a la predicción del tráfico. AASHTO recomienda para vías rurales de bajo volumen tránsito un nivel de confiabilidad en el rango de 50% - 80%.

En el Manual Para el Diseño de Carreteras Pavimentadas de Bajo Volumen de Tránsito el coeficiente estadístico depende de la clase tráfico de la vía. Para determinar la clase de tráfico es necesario determinar el número de ejes equivalentes (EE), los rangos en números de repeticiones de ejes equivalentes son los siguientes:

Tipo de grafico según EE

Clase de Tráfico	Números de repeticiones de ejes equivalentes (EE)
T1	50,000 a 150,000 EE
T2	150,000 a 300,000 EE
T3	300,000 a 600,000 EE
T4	600,000 a 1'000,000 EE

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

El coeficiente estadístico está asociado a la clase de tráfico según la siguiente consideración:

Para Tráfico T1: confiabilidad 60% (-0.253)

Para Tráfico T2: confiabilidad 70% (-0.524)

Para Tráfico T3: confiabilidad 75% (-0.674)

Para Tráfico T4: confiabilidad 80% (-0.841)

S₀: Desviación estándar combinada en la estimación de los parámetros y del comportamiento del modelo (0.45)

SN: Número estructural.

Δ PSI: Diferencial de Serviciabilidad (Serviciabilidad inicial pi, depende del tipo de superficie de rodadura – Serviciabilidad final pf 1.5).

M_R: Módulo de resiliencia de la subrasante.

La capacidad de soporte de la subrasante está representada por los valores de CBR determinados mediante los ensayos de laboratorio realizados con las muestras de suelos obtenidas en el campo.

El Método AASHTO 1993 requiere el uso del Modulo de Resiliencia, el cual se obtiene de la correlación con los CBR mediante las siguientes formulas:

Para los CBR < 10% $M_R = 1500 * CBR \text{ (psi)}$

Para los CBR de 10% a 20% $M_R = 3000 * CBR^{0.65} \text{ (psi)}$

Para los CBR > 20%

$$M_R = 4326 * \ln CBR + 241 \text{ (psi)}$$

El número estructural de resistencia del pavimento flexible viene dado por la fórmula:

$$SN = a_1 \times D_1 + a_2 \times D_2 \times m_2 + a_3 \times D_3 \times m_3$$

Donde:

a_1 : Coeficiente estructural de la capa de rodadura.

D_1 : Espesor de la capa de rodadura (cm).

a_2 : Coeficiente estructural de la capa de base granular.

D_2 : Espesor de la capa de base granular (cm).

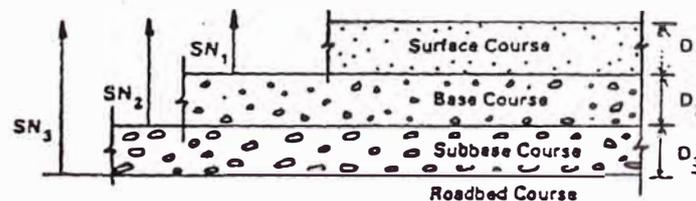
m_2 : Coeficiente que refleja el drenaje de la capa 2.

a_3 : Coeficiente estructural de la capa de sub base granular.

D_3 : Espesor de la capa de sub base granular (cm).

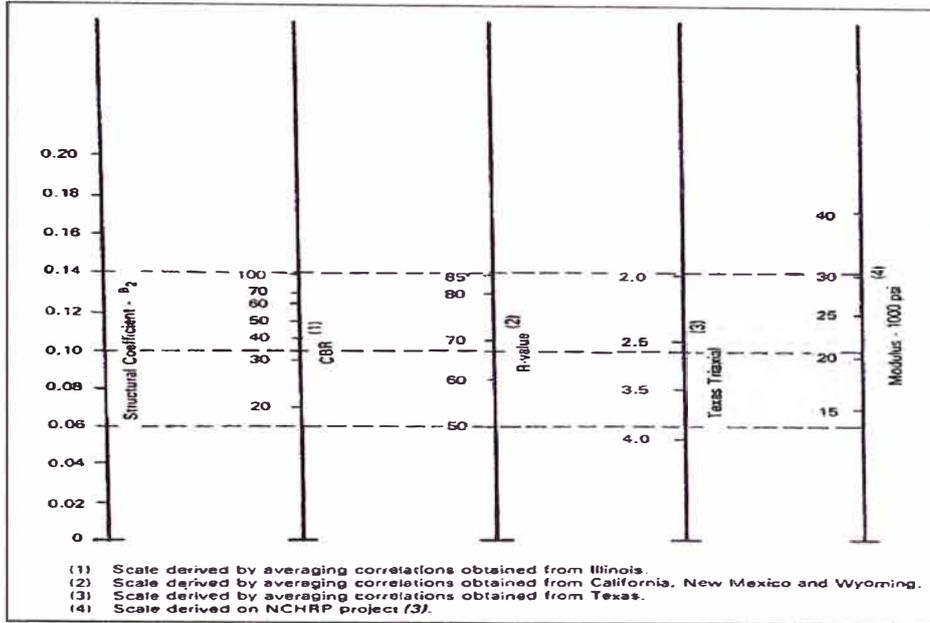
m_3 : Coeficiente que refleja el drenaje de la capa 3.

En la siguiente figura se muestra la sección del pavimento donde se muestra las 3 capas



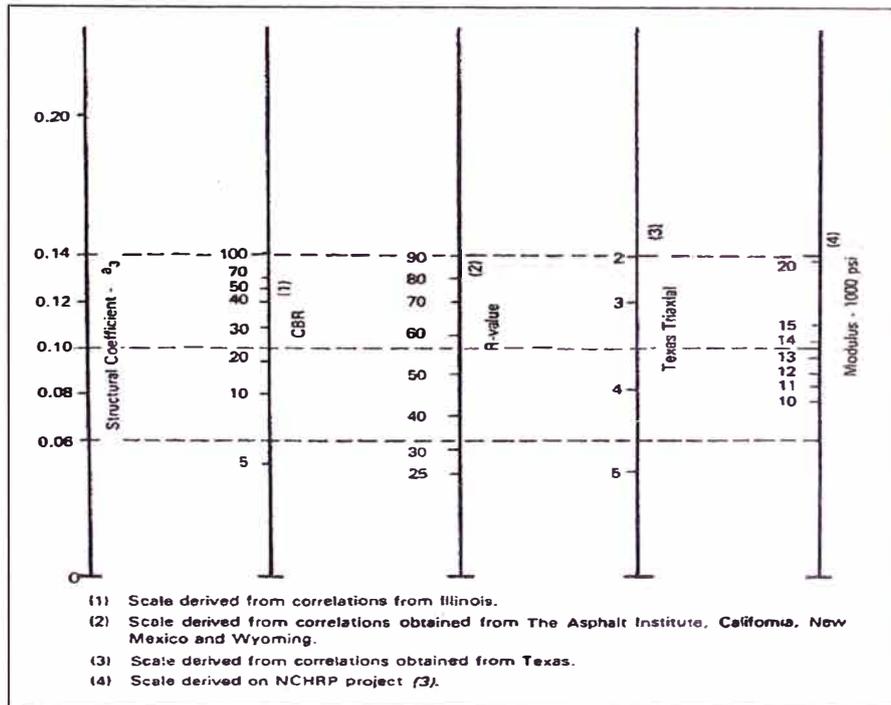
Estructuración del Pavimento

Los coeficientes de equivalencia de las capas de base y subbase se obtienen de las siguientes figuras para los valores de CBR especificados.



Coefficiente estructural en base granular (a_2)

(Fuente: manual AASHTO 1993)



Coefficiente estructural en subbase granular (a_3)

(Fuente: manual AASHTO 1993)

Coeficiente de drenaje se obtendrá de la siguiente tabla, este coeficiente dependerá de las características de drenaje.

CARACTERÍSTICAS DE DRENAJE	AGUA ELIMINADA EN	Porcentaje de tiempo en el año, que la estructura del Pavimento está expuesta a un nivel de humedad próxima a la saturación			
		< 1%	1% - 5%	5% - 25%	> 25%
Excelente	2 horas	1.40-1.35	1.35-1.30	1.30-1.20	1.20
Bueno	1 día	1.35-1.25	1.25-1.15	1.15-1.00	1.00
Regular	1 semana	1.25-1.15	1.15-1.05	1.00-0.80	0.80
Pobre	1 mes	1.15-1.05	1.05-0.80	0.80-0.60	0.60
Muy Malo	No drena	1.05-0.95	0.95-0.75	0.75-0.40	0.40

ANEXO 10

PUNTOS CRÍTICOS



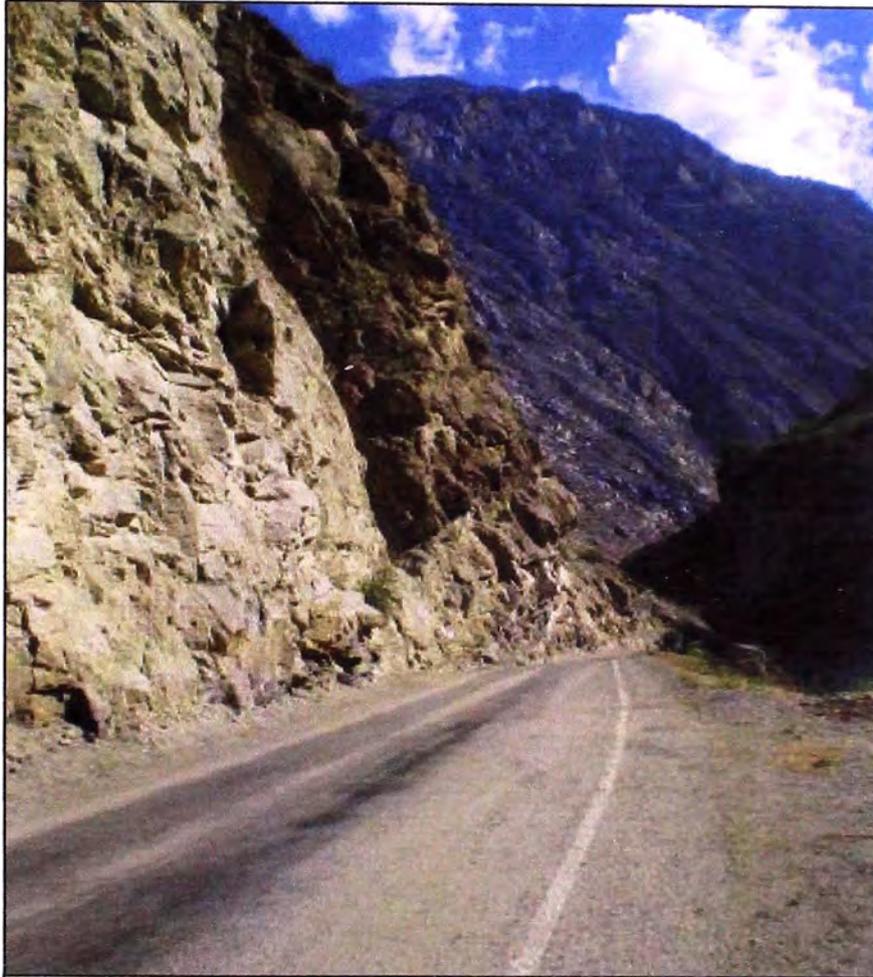
**FOTO 1. Km. 108+400: Fisuras causa de desprendimiento de talud
Solución: Enrocado.**



**FOTO 2. Km. 108+800: Falta de drenaje que genera erosión.
Solución: Alcantarilla, cunetas no revestidas.**



**FOTO 3. Km. 108+800: desprendimiento de roca
Solución: Mallas de protección**



**FOTO 4. Km. 108+900: Taludes rocoso
Solución: Demolición con voladuras**



**FOTO 5. Km. 109+000: Falta de señalización
Solución: Colocación de postes delineadores, Señal reducir velocidad.**

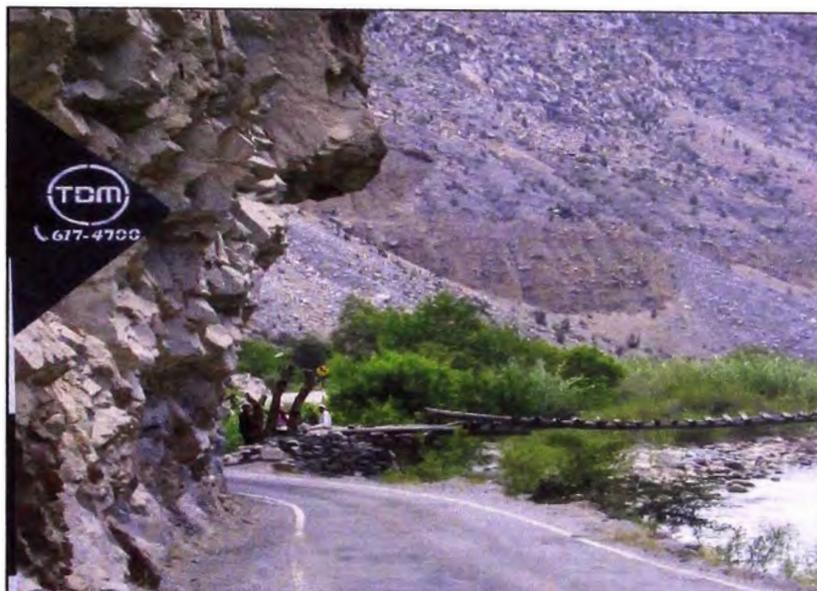


FOTO 6. Km. 109+000: taludes rocosos
Solución: Demolición con voladuras



FOTO 7. Km. 109+000: Erosión de plataforma
Solución: Relleno en plataforma, enrocado, muro seco.



**FOTO 8. Km. 109+800: Taludes rocosos con potencial desprendimiento
Solución: Mallas de protección**



**FOTO 9. Km.109+900: Taludes rocosos con potencial desprendimiento
Solución: Mallas de protección**



**FOTO 10. Km. 110+000: Desprendimiento de rocas
Solución: Malla de protección**

ANEXO 11

PANEL FOTOGRÁFICO



FOTO 11: Km. 108+200: parchado en tratamiento superficial monocapa.



FOTO 12: Km. 108+500: Talud con posible desprendimiento de material.



FOTO 13: Km. 108+700: caída de huayco, inadecuada limpieza de las cunetas no revestidas.



FOTO 14: Km. 109+200: muros secos para evitar caídas de rocas a la vía.



FOTO 15: Km. 109+600: deterioro de la superficie de rodadura (monocapa)

PANEL FOTOGRÁFICO DE LA MEDICIÓN DE DEFLEXIONES CON LA VIGA BENKELMAN



FOTO 16: Se define los puntos de ensayo con una marca transversal al pavimento. Punto Km. 110+000



FOTO 17: Colocación de la Viga Benkelman en el punto de ensayo



FOTO 18: Se nivelan las bases y se ajustan los diales



FOTO 19: Una vez colocado el equipo de la VB se procede a la toma de mediciones a 0, 25, 50, 75cm.



FOTO 20: Luego se realiza la medición del ahuellamiento en el punto de ensayo



FOTO 21: Finalmente se realiza un hueco en el pavimento para la medición de la temperatura.