

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



**EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO
EMPLEANDO VIGA BENKELMAN
MONITOREO DE CONSERVACIÓN CARRETERA
CAÑETE - HUANCAYO Km. 108+000 AL Km. 110+000**

INFORME DE SUFICIENCIA

Para optar el Título Profesional de:

INGENIERO CIVIL

MARIELA EDITH SORIA ROBLES

Lima- Perú

2010

Dedico el presente trabajo a mis padres Constantina Robles e Hildebrando Soria, como fruto del esfuerzo y apoyo que siempre representaron para mí durante todos estos años. Para ellos con mucho cariño.

Mariela E. Soria Robles

ÍNDICE

RESUMEN.....	4
LISTA DE CUADROS	5
LISTA DE GRÁFICOS.....	6
LISTA DE FOTOS.....	7
LISTA DE FÓRMULAS	8
LISTA DE SÍMBOLOS Y SIGLAS	9
INTRODUCCIÓN.....	11
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTOS INICIALES	13
1.1 ASPECTOS GENERALES.....	13
1.1.1 Ubicación.....	13
1.1.2 Marco de Referencia.....	13
1.2 SITUACIÓN ACTUAL DE LA VIA	15
1.3 OBJETIVOS.....	18
1.3.1 Objetivo General.....	18
1.3.2 Objetivos Específicos.....	19
CAPÍTULO II: CARACTERISTICAS DEL SECTOR A ANALIZAR	20
KM. 108+000 AL KM. 110+000	20
2.1 SUPERFICIE DE RODADURA	20
2.2 DRENAJE	22
2.3 TALUDES	23
2.4 SEÑALIZACION.....	23
2.5 SECCION TIPICA DE LA ESTRUCTURA.....	25
CAPÍTULO III: MARCO TEORICO	26
3.1. DEFLECTOMETRIA	26
3.2 CAMPO DE APLICACION	26
3.3 EQUIPOS PARA MEDICION DE DEFLEXIONES DE USO FRECUENTE...	26
3.4 METODOS DE CÁLCULO	27

3.4.1 Método Empírico	27
3.4.2 Método Analítico	27
3.5 MEDICIÓN DE DEFLEXIONES CON VIGA BENKELMAN	28
3.6 VENTAJAS DE VIGA BENKELMAN DOBLE ANTE LA VIGA SIMPLE	30
3.7 PROCEDIMIENTO DE CAMPO	31
3.7.1 Equipo requerido.....	31
3.7.2 Metodología para medición de deflexiones	31
CAPÍTULO IV: EVALUACIÓN ESTRUCTURAL POR DEFLECTOMETRÍA	37
4.1 DEFLEXIONES RECUPERABLES	37
4.2 RADIO DE CURVATURA (Rc).....	38
4.3 CORRECCION POR EFECTO DE LA TEMPERATURA.....	39
4.4 CORRECCION POR PERIODO ESTACIONAL	40
4.5 DEFLECTOGRAMAS	48
4.6 ANALISIS ESTADISTICO DE LOS RESULTADOS	49
4.7 DEFLEXION CARACTERÍSTICA.....	50
4.8 DEFLEXIÓN ADMISIBLE	51
4.9 RELACION DEL TRAMO EVALUADO CON TODA LA CARRETERA	53
CAPÍTULO V: PROYECCIÓN DEL TRÁFICO	55
5.1 IMPORTANCIA DEL TRÁFICO.....	55
5.2 FACTORES DE EQUIVALENCIA	56
5.3 NUMERO DE REPETICIONES DE EJE EQUIVALENTE (N ₁₈)	57
CAPÍTULO VI: PARAMETROS QUE INFLUYEN EN LA DURACION DEL PAVIMENTO	60
6.1 CONDICIONES CLIMATICAS	61
6.1.1 Temperatura	61
6.1.2 Corrección de las deflexiones por efecto de la temperatura.	62
6.1.3 Precipitaciones.....	64

6.1.4 Corrección de las Deflexiones por Estacionalidad.....	66
6.2 CONDICIONES DE DRENAJE	67
CAPÍTULO VII: VIDA UTIL DEL PAVIMENTO.....	69
7.1 ESTRUCTURA ACTUAL	69
7.2 EVALUACION DE LA ESTRUCTURA	69
7.3 PARAMETROS DE DISEÑO	71
7.3.1 Tráfico.....	71
7.3.2 Modulo Resiliente (M_r)	71
7.3.3 Confiabilidad (Z_r)	72
7.3.4 Desviación estándar total (S_o)	72
7.3.5 Índice de serviciabilidad (P_i).....	72
7.3.6 Coeficientes estructurales de la capa (a_i).....	73
7.3.7 Coeficiente de drenaje (m_i)	73
7.4 CAPACIDAD ESTRUCTURAL ACTUAL Y PROYECTADA	74
CAPÍTULO VIII: METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN Y MEJORAMIENTO DE VÍAS DE BAJO VOLUMEN DE TRÁNSITO	77
8.1 MONITOREO DEL ESTADO DEL PAVIMENTO.....	77
8.1.1 Monitoreo periódico de la deflexión.....	77
8.1.2 Monitoreo periódico del tráfico	77
8.1.3 Intervención en el pavimento	78
8.2 MONITOREO DEL ESTADO DE LA SUPERFICIE DE RODADURA... 79	
8.2.1 Monitoreo del IRI	79
8.2.2 Monitoreo de fallas en la superficie.....	79
CONCLUSIONES	80
RECOMENDACIONES.....	82
BIBLIOGRAFÍA.....	85
ANEXOS	87

RESUMEN

Actualmente el Ministerio de Transportes y Comunicaciones mediante el Proyecto Perú está encaminando la rehabilitación y mantenimiento de las carreteras de bajo volumen de tránsito mediante la tercerización de éstas por contrato de mantenimientos de periodos de 5 años.

Las carreteras beneficiadas con este programa son aquellas que antes no podían ser consideradas en el grupo de construcción por no tener un alto tránsito por la vía a pesar de tener un potencial de incremento de vehículos solo con un mejoramiento de la vía, este es el caso de la carretera “Cañete – Yauyos – Huancayo”, ubicada al Sur Este del país y conecta las regiones de Lima y Junín.

Mediante el convenio que firmó la Universidad Nacional de Ingeniería con el MTC se procede a monitorear el tramo de la carretera comprendido entre el km. 108+000 al km. 110+000, el cual se encuentra entre los distritos de Pacarán y Dv. Yauyos.

Como parte del cambio estándar del tramo en evaluación a inicios del 2010 colocaron una capa de material granular con un recubrimiento superficial Monocapa, el cual se espera proyecte la vida del pavimento en 2 años; esto depende del crecimiento de vehículos, de la calidad de los materiales, del proceso constructivo, de la variación del clima, entre otros factores que pueden aumentar o disminuir considerablemente el periodo de duración estimado.

Es bajo este contexto que solo se usaban equipos como la Viga Benkelman durante la construcción para determinar las deflexiones de la compactación de las distintas capas como la sub base o la base, y descuidaban la etapa de mantenimiento en cual se debía controlar las deflexiones post construcción.

Es así que debido a la falta de control post construcción el pavimento no alcanzaba el periodo de diseño ya sea por condiciones de drenaje mal procedimiento constructivo o incremento desproporcional del tráfico, entre otras causas, lo que generaba que se requieran grandes inversiones para su rehabilitación.

En el presente informe se plantea monitorear constantemente la condición estructural del pavimento, a fin de detectar el problema a tiempo proponer una solución con la menor inversión.

LISTA DE CUADROS

Cuadro N°1.1: Características principales de la carretera.....	15
Cuadro N°1.2: Estado actual de la carretera por tramos	16
Cuadro N°2.3: Estructura del pavimento	25
Cuadro N°3.4: Equipos para la medición de deflexiones de uso frecuente	27
Cuadro N°3.5: Datos de campo	36
Cuadro N°4.6: Factor de estacionalidad.....	40
Cuadro N°4.7: Deflexiones y radio de curvatura	42
Cuadro N°4.8: Resultados estadísticos.....	50
Cuadro N°4.9: Deflexión característica	50
Cuadro N°4.10: Proyección de Tráfico y determinación de Ejes Equivalentes ...	51
Cuadro N°5.11: Criterio para el cálculo de equivalencia de carga.....	56
Cuadro N°5.12: Determinación de los factores de equivalencia de carga	57
Cuadro N°5.13: Tasas de Crecimiento Vehicular	58
Cuadro N°5.14: Tráfico Zúñiga – Dv. Yauyos	58
Cuadro N°5.15: Resumen de Ejes Equivalentes	59
Cuadro N°6.16: Variaciones de temperatura en campo	63
Cuadro N°6.17: Factor de estacionalidad.....	67
Cuadro N°7.18: Estructura del pavimento	69
Cuadro N°7.19: Valores de Confiabilidad (Z_r)	72
Cuadro N°7.20: Aporte estructural de las capas componentes del pavimento ...	73
Cuadro N°7.21: Coeficiente de drenaje.....	74
Cuadro N°7.22: Parámetros de diseño inicial.....	74
Cuadro N°7.23: Determinación del Número estructural (SN) del pavimento	75
Cuadro N°7.24: Número de Repeticiones de Ejes equivalente	75
Cuadro N°7.25: Vida Útil Remanente.....	76

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico N° 1.1: Carretera Cañete-Chupaca.....	13
Gráfico N° 1.2: Vías alternativas de la carretera central.....	14
Gráfico N° 1.3: Estado actual de la carretera – PLANO CLAVE.....	17
Gráfico N° 2.4: Sección típica del km 108+000 al km. 110+000.....	25
Gráfico N° 3.5: Esquema y principio de operación de la Viga Benkelman.....	29
Gráfico N° 3.6: Determinación de la deflexión recuperable	34
Gráfico N° 3.7: Secuencia de toma de datos con Viga Benkelman	35
Gráfico N° 4.8: Deflexiones recuperables	37
Gráfico N° 4.9: Relación Deflexión - Radio de Curvatura	39
Gráfico N° 4.10: Comparación de radios.....	43
Gráfico N° 4.11: Deflexiones por variación de carga aplicada (Km 108+000 y 108+200)	44
Gráfico N° 4.12: Deflexiones por carga aplicada (Km 108+400 y 108+600).....	44
Gráfico N° 4.13: Deflexiones por carga aplicada (Km 108+800 y 109+000).....	45
Gráfico N° 4.14: Deflexiones por carga aplicada (Km 109+200 y 109+400).....	45
Gráfico N° 4.15: Deflexiones por carga aplicada (Km 109+600 y 109+800)	46
Gráfico N° 4.16: Deflexiones por carga aplicada (Km 110+000)	46
Gráfico N° 4.17: Variación de Deflexiones por carga aplicada (todas las secciones)	47
Gráfico N° 4.18: Caracterización deflectométrica.....	49
Gráfico N° 4.19: Deflexiones máximas.....	52
Gráfico N° 4.20: Deflexiones registradas en toda la vía	54
Gráfico N° 6.21: Variación de la temperatura.....	64
Gráfico N° 8.22: Relación de tráfico y deflexión en el tiempo.....	78

LISTA DE FOTOS

Foto N°2.1: Superficie de rodadura con presencia de exudación	20
Foto N°2.2: Bache en el hombro de la vía.....	21
Foto N°2.3: Descascaramiento al costado de bache en vía	21
Foto N°2.4: Caída natural de agua – Drenaje	22
Foto N°2.5: Acercamiento del ingreso de agua hacia el pavimento.....	22
Foto N°2.6: Taludes pronunciados.....	23
Foto N°2.7: Señalización horizontal (rompe muelle) y Señalización vertical (señal preventiva).....	24
Foto N°3.8: Toma de datos con la Viga Benkelman	30
Foto N°3.9: Instalación del instrumento	32
Foto N° 3.10: Lectura de temperatura.....	33
Foto N° 3.11: Lectura de Ahuellamiento.....	33
Foto N° A4.12: Superficie de rodadura - Km 108+200	107
Foto N° A4.13: Superficie de rodadura - Km 108+400	107
Foto N° A4.14: Superficie de rodadura - Km 108+600	108
Foto N° A4.15: Superficie de rodadura - Km 108+800	108
Foto N° A4.16: Superficie de rodadura - Km 109+000	109
Foto N° A4.17: Superficie de rodadura - Km 109+200	109
Foto N° A4.18: Superficie de rodadura - Km 109+400	110
Foto N° A4.19: Superficie de rodadura - Km 109+600	110
Foto N° A4.20: Superficie de rodadura - Km 109+800	111
Foto N° A4.21: Superficie de rodadura - Km 110+000	111
Foto N° A5.22: Equipo discontinuo para la determinación de deflexiones (Viga Benkelman)	114
Foto N° A5.23: Esquema del equipo semicontínuo para la determinación de deflexiones (deflectómetro Lacroix)	115
Foto N° A5.24: Equipo semicontínuo para la determinación de deflexiones (deflectómetro Lacroix)	115

Foto N° A5.25: Equipo dinámico para la determinación de deflexiones (Dynaflect)	116
Foto N° A5.26: Equipo dinámico para la determinación de deflexiones (Road Rater)	116
Foto N° A5.27: Deflectómetro de impacto para la determinación de deflexiones (Kuab)	116

LISTA DE FÓRMULAS

Fórmula N°4.1	38
Fórmula N°4.2	40
Fórmula N°4.3	49
Fórmula N°4.4	50
Fórmula N°4.5	51
Fórmula N°5.6	58
Fórmula N°7.7	70
Fórmula N°7.8	71
Fórmula N°7.9	72

LISTA DE SÍMBOLOS Y SIGLAS

- MTC : Ministerio de Transporte y Construcción.
- psi : Unidad de medida de presión (lb/pulg²).
- L₀ : Lectura inicial en el eje de carga (llanta posterior) es igual a cero.
- L₂₅ : Lectura del dial a 25 cm del eje de carga.
- L₅₀ : Lectura del dial a 50 cm del eje de carga.
- L₇₀ : Lectura del dial a 70 cm del eje de carga.
- L_{máx.} : Lectura máxima en el dial, cuando el eje de carga se encuentra considerablemente alejado del punto de control
- °C : Unidad de temperatura expresada en grados centígrados.
- D_t : Deflexión total.
- D_r : Deflexión recuperable o elástica.
- D_p : Deflexión permanente o residual.
- R_c : Radio de curvatura.
- D₀ : Deflexión recuperable en el eje vertical de la carga (10⁻² mm)
- D₂₅ : Deflexión recuperable a 25 cm del eje vertical de la carga (10⁻² mm).
Medida con el brazo doble de la Viga.
- D_{max} : Deflexión recuperable a una distancia lejana del eje vertical de la carga (10⁻² mm).
- D_t : Deflexión recuperable medida en centésimas de mm a la temperatura t en grados centígrados.
- D₂₀ : Deflexión recuperable a la temperatura estándar de 20 grados centígrados.
- e : Espesor de mezclas asfálticas en cm medido en el borde del pavimento.
- D_m : Deflexión media.
- σ : Desviación estándar.
- C_v : Coeficiente de variación.
- n : Número de datos.
- D_c : Deflexión característica.
- k₁ : 1.15
- K₂ : 4
- N₁₈ : Número de repeticiones de Ejes equivalentes (8.2 tn).
- D_{adm} : Deflexión Admisible (mm).

- EE : Ejes equivalentes.
- F.E.C : Factor equivalente de carga.
- Mr : Módulo resiliente.
- SN : Número estructural.
- R : Factor regional.
- W_{18} : Número esperado de repeticiones de ejes equivalentes a 8.2 tn en el periodo de diseño.
- Z_r : Desviación Estándar del error combinado en la predicción del tráfico y comportamiento estructural. Confiabilidad
- S_o : Desviación Estándar Total.
- ΔPSI : Diferencia entre la Serviciabilidad Inicial (P_o) y Final (P_f).
- P_i : Índice de serviciabilidad.
- a_i : Coeficiente estructural de la capa i.
- m_i : Coeficiente de Drenaje de la Capa Granular i
- D_i : Espesor de la Capa i
- M_r : Módulo Resiliente de la Sub-rasante (psi).
- CBR : California Bearing Ratio. Coeficiente que indica la capacidad de soporte del suelo.
- CONREVAL : Consorcio de Rehabilitación Vial.
- ICCGSA : Consorcio constructor que está realizando actualmente el mantenimiento de la carretera Lunahuaná – Chupaca.
- AASHTO : American Association of state highways and transportation official.
- IRI : Índice de Rugosidad Internacional.
- PCI : Pavement Condition Index. Método de evaluación del pavimento.

INTRODUCCIÓN

El presente informe es un primer monitoreo que evalúa estructuralmente el pavimento entre los km 108+000 al km110+000, con el objetivo de determinar la vida útil remanente, teniendo en cuenta el estado actual de vía las condiciones de drenaje y estabilidad de taludes, proyección del tráfico entre otros. Para lo cual se estructuró el informe de la siguiente manera:

En el CAPÍTULO I, se define los objetivos de este informe detallándose uno a uno los objetivos a lograr.

En el CAPÍTULO II, Se describe las características del sector a analizar, condiciones de drenaje, taludes, y superficie de rodadura.

En el CAPÍTULO III, se define la teoría de deflectometría, deflexiones recuperables, radio de curvatura, coeficiente de corrección de datos y deflectogramas.

En el CAPÍTULO IV, se calculan los parámetros definidos teóricamente con el objetivo de caracterizar numéricamente el pavimento mediante una deflexión característica y radio de curvatura característico.

En el CAPÍTULO V, a partir de los índices de crecimiento de vehículo liviano y pesado se proyecta el tráfico para determinar los ejes equivalentes y el número de repeticiones, para con lo cual se procede al diseño del pavimento y al cálculo de la deflexión admisible.

En el CAPÍTULO VI, se muestran los factores que influyen de forma considerable en el pavimento como son los factores climáticos, entre los cuales se analiza la variación de la temperatura del tramo analizado, condiciones de drenaje y el factor regional.

En el CAPÍTULO VII, a falta del diseño original, se diseña el pavimento para dos años hallando el número estructural (S_n), necesario para soportar el tráfico proyectado, luego se halla el número estructural real. A partir de estos cálculos se determina la vida útil remanente del pavimento bajo los las proyección del número de repeticiones de ejes equivalentes y de deflexiones admisibles.

Finalmente se muestran las conclusiones, recomendaciones y anexos, por ejemplo el uso de los nuevos instrumentos de deflectometría, fotos del sector de evaluación y tablas detalladas de cálculos.

CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTOS INICIALES

1.1 ASPECTOS GENERALES

El presente capítulo tiene por objetivo recoger algunos aspectos generales vinculados con el proyecto a evaluar.

1.1.1 Ubicación

La carretera Cañete – Yauyos - 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). Está ubicado al sureste del país y conecta las regiones de Lima y Junín. Ver Gráfico N°1.

Gráfico N° 1.1: Carretera Cañete-Chupaca



Fuente: MTC-Provias Nacional

1.1.2 Marco de Referencia

La presente carretera forma parte del Corredor Vial N°13 del programa de infraestructura vial del Proyecto Perú y forma parte de la Ruta N° PE-24 de la Red Vial Nacional.

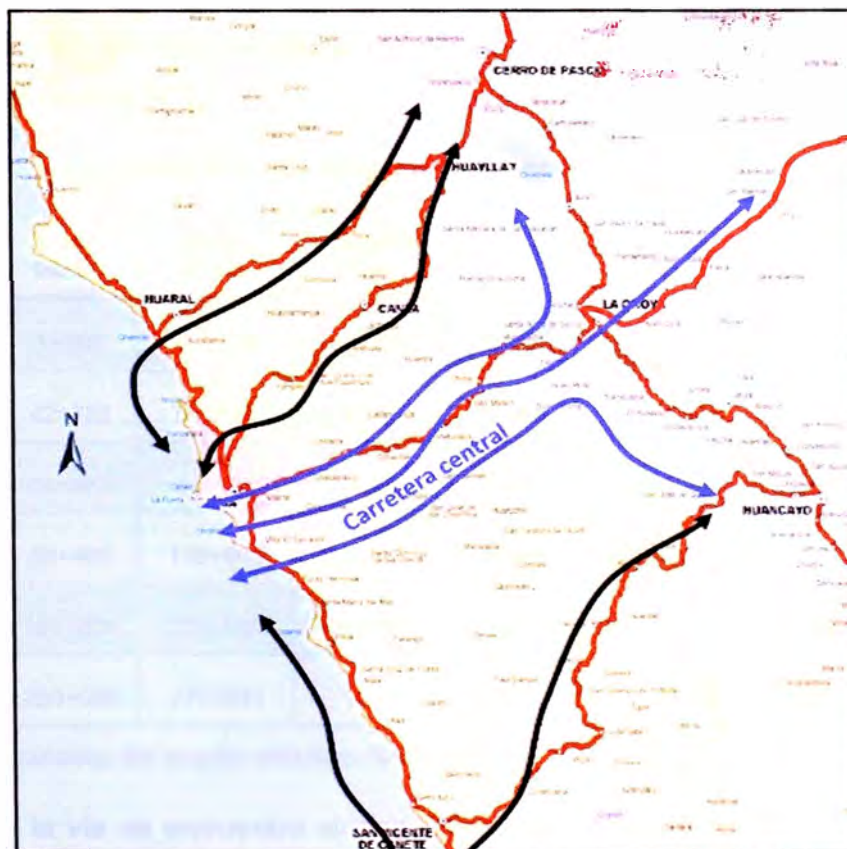
El Programa de Desarrollo Vial “Proyecto Perú” tiene la finalidad de mejorar las vías de integración de corredores económicos, conformando ejes de desarrollo sostenido con el fin de elevar el nivel de competitividad de las zonas rurales, en la Red Vial Nacional, Departamental y Vecinal.

La carretera en evaluación nace como alternativa a la Carretera Central, la cual es una vía de conexión entre los corredores económicos Costa, Sierra y Selva del país, mediante la cual se hace posible el intercambio comercial entre Lima, los valles interandinos y la selva peruana.

Las alternativas a la carretera central que pertenecen al programa de desarrollo vial “Proyecto Perú” se muestran a continuación y en el Grafico N°2.

- Carretera Huaral-Accos-Huallay-Cerro de Pasco
- Carretera Lima-Canta-Huallay-Cerro de Pasco
- Carretera Cañete-Lunahuaná-Yauyos-Huancayo (carretera objeto del presente informe)

Gráfico N° 1.2: Vías alternativas de la carretera central



Fuente: MTC-PVN

El mejoramiento de la carretera en estudio nace de la necesidad de optar por un desvío alternativo para la Carretera Central, que actualmente no cuenta con un tránsito fluido y rápido debido a características propias de clima y topografía.

El proyecto se enmarca dentro de los lineamientos y funciones de las regiones en lo referente a la atención de las necesidades básicas de la población a través del desarrollo de obras de infraestructura social y económica que contribuyan con el mejoramiento de la calidad de vida de la población.

El proyecto integral para la Ruta N°24 consiste en: La rehabilitación y mejoramientos de los tramos. La conservación vial de todos los tramos, la cual será evaluada periódicamente por niveles de servicio.

1.2 SITUACIÓN ACTUAL DE LA VIA

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.

Para efectos del estudio, la carretera se ha dividido en 6 tramos según se muestra en el cuadro N°1.

Cuadro N°1.1: Características principales de la carretera

Tramos	Prog. Inicial	Prog. Final	Longitud (km)	Región	Topografía	Altitud Inicial (msnm)	Altitud Final (msnm)
Cañete – Lunahuaná	1+805	42+755	40.75	Costa	Ondulada	71	523
Lunahuaná – Pacarán	42+755	54+662	12.49	Costa	Ondulada	523	710
Pacarán – Zúñiga	54+662	58+405	4.15	Costa	Ondulada	710	821
Zúñiga – Dv. Yauyos	58+405	128+805	72.6	Sierra	Accidentada	821	2289
Dv. Yauyos – Ronchas	128+805	253+000	135.13	Sierra	Accidentada	2289	3458
Ronchas – Chupaca	253+000	273+531	16.61	Sierra	Ondulada	3458	3270

Fuente: Datos tomados del estudio definitivo de la carretera

Actualmente la vía se encuentra siendo mejorada por la subcontratista ICCGSA que realiza trabajos de cambio estándar a lo largo de toda la carretera.

Las condiciones actuales de la superficie del pavimento se muestra en el Cuadro N°2.

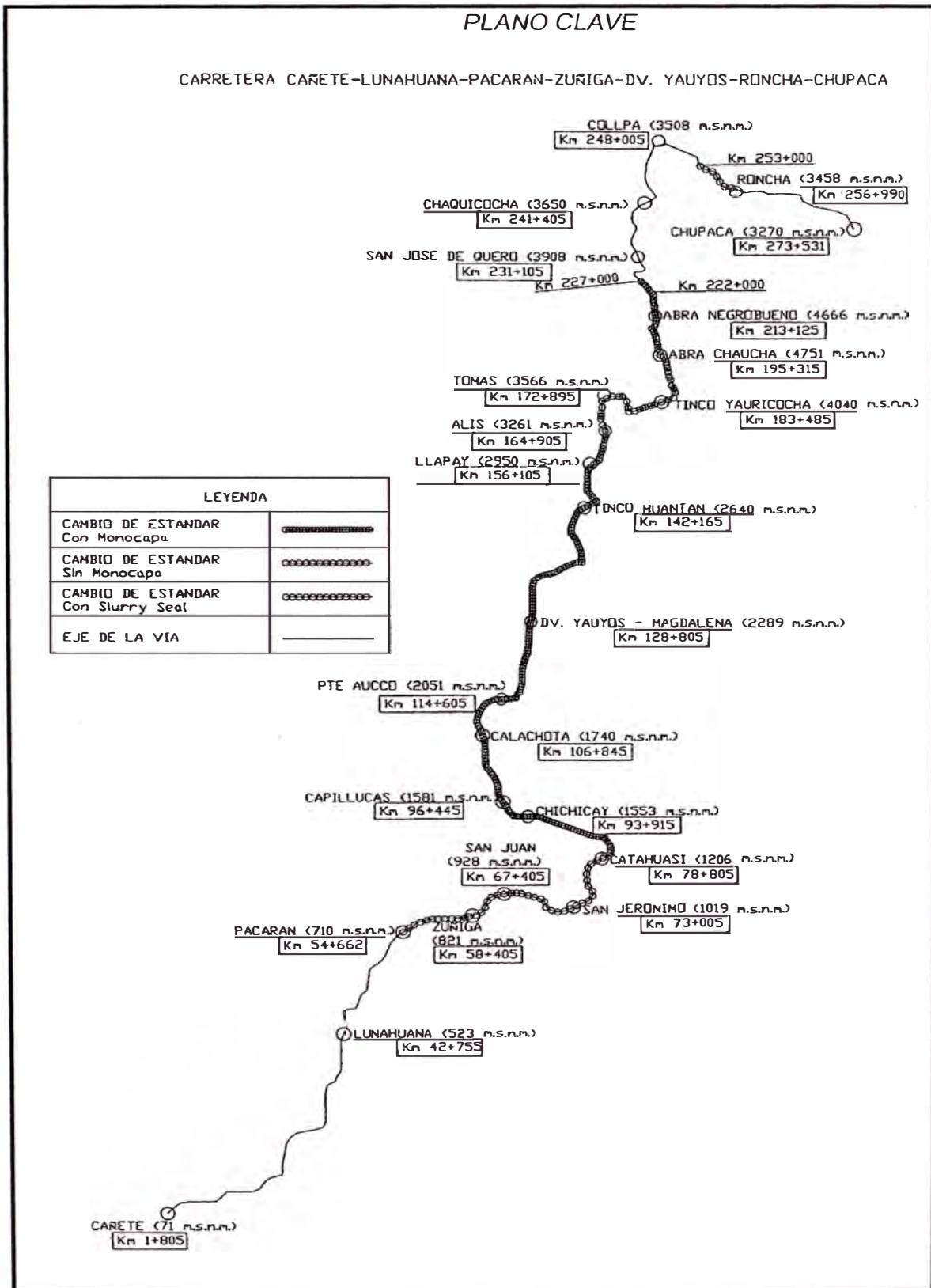
Cuadro N°1.2: Estado actual de la carretera por tramos

TRAMO	CONDICION ACTUAL
Cañete – Lunahuaná	Longitud : 40.75 Km Superficie: Carpeta Asfáltica
Lunahuaná – Pacarán	Longitud : 12.49 Km Superficie: Tratamiento Superficial Bicapa
Pacarán – Zúñiga	Longitud : 4.15 Km Superficie: Tratamiento Superficial Monocapa
Zúñiga – Yauyos	Longitud : 72.6 Km Superficie: Tratamiento Superficial Monocapa Y tramo de Monocapa con Slurry.
Yauyos – Ronchas	Longitud : 135.13 Km Superficie: Sub tramo de Monocapa con Slurry. Sub tramo de monocapa Sub tramo de afirmado.
Ronchas - Chupaca	Longitud : 16.71 Km Superficie: Afirmado.

Fuente: Avance de obra del mes de enero presentado por el contratista.

A continuación en el Gráfico N°3 “PLANO CLAVE”, se muestra la distribución longitudinal de los tramos: Cañete-Lunahuaná-Pacarán-Zúñiga-Yauyos-Ronchas-Chupaca, en el cual se muestra los recubrimientos actuales a lo largo de la carretera.

Gráfico N° 1.3: Estado actual de la carretera – PLANO CLAVE



Fuente: Dirección de Escuela Profesional de la FIC - UNI

1.3 OBJETIVOS

Enmarcados en un contexto de contratos de mantenimiento que duren sólo 5 años, se hace necesario plantear soluciones económicas de inversión que me permita mantener la vía en buenas condiciones por el periodo establecido.

En algunos casos se consideraran inversiones iniciales altas para poner a punto la vía y olvidarse del monitoreo y mantenimiento por el resto del tiempo, lo cual es un grave error, pues la vida útil del pavimento no solo depende del espesor de las capas que coloquemos sino también de otros factores tales como drenaje deficiente o incremento de tránsito los que hacen que su tiempo de vida estimada no se cumpla.

Es por esto que se hace imprescindible evaluar constantemente las condiciones de la estructura del pavimento y no sólo al inicio, para que de esta manera se pueda detectar cualquier variación importante y plantear una solución que permita alcanzar el periodo de diseño.

Con esto se busca tratar el problema en sus inicios con una inversión mínima y no esperar que se llegue a un punto crítico.

Es por ello que en el presente informe caso se realiza la evaluación de esta estructura empleando la Viga Benkelman mediante mediciones de deflexiones y cálculos de radios de curvatura, luego con los datos obtenidos se calculará el estado del pavimento para proyectar la vida útil del mismo.

Bajo estas premisas en el presente informe se busca lograr los siguientes objetivos:

1.3.1 Objetivo General

Desarrollar una metodología para monitorear un pavimento de bajo volumen de tránsito empleando las deflexiones obtenidas con la Viga Benkelman, con el objetivo de establecer el inicio de los trabajos de mejoramiento y así poder ampliar el horizonte de vida del pavimento.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Identificar mediante datos deflectométricos recogidos en campo con la Viga Benkelman el estado actual de la estructura del pavimento para identificar aquellas zonas que necesitan un mejoramiento o rehabilitación.
- Aportes sobre la evaluación del pavimento en el marco del contrato de Conservación de la Carretera Cañete – Huancayo.

Para lograr los objetivos mencionados se considera que la Viga Benkelman puede usarse para evaluar vías de bajo volumen de tránsito mediante las deflexiones producidas en ella.

Bajo esta premisa, en los próximos capítulos se procede a evaluar las deflexiones en la Carretera Cañete- Huancayo, tramo comprendido del Km 108+000 al Km 110+000 empleando la Viga Benkelman para analizar el estado del pavimento.

CAPÍTULO II: CARACTERÍSTICAS DEL SECTOR A ANALIZAR

KM. 108+000 AL KM. 110+000

El sector a analizar km. 108+000 al km. 110+000 forma parte del tramo Zúñiga – Dv. Yauyos que inicia en el km. 58+405 y termina en el km. 128+805, tal como se muestra en el Gráfico N°3.

Durante el recorrido realizado en la zona de evaluación se observaron las condiciones de la superficie de rodadura, drenaje, estabilidad de taludes y señalización, los cuales se detallan a continuación:

2.1 SUPERFICIE DE RODADURA

A lo largo de la vía existe la presencia de exudación en la superficie, la cual ocurre por un mal diseño o una mala preparación de la mezcla bituminosa debido al exceso de ligante en ésta.

Foto N°2.1: Superficie de rodadura con presencia de exudación



Fuente: Elaboración propia

Además se observan pequeños “huecos” formados al costado de la vía, en la mayoría de casos este problema se debe a una débil compactación durante la construcción en los hombros de la vía, tal como se ve en la Foto N°2.

Foto N°2.2: Bache en el hombro de la vía



Fuente: Elaboración propia

También se observaron problemas de descascamiento de la superficie en zonas que antes se habían realizado parches. Lo que significa que esta solución no resolvió el problema.

Foto N°2.3: Descascamiento al costado de bache en vía



Fuente: Elaboración propia

2.2 DRENAJE

Si bien el mayor factor que afecta el estado estructural de un pavimento es el tráfico, el drenaje también tiene gran importancia en su comportamiento, ya que una demora excesiva en la evacuación del agua de la superficie de rodadura provocará que discurra hasta la falla o grieta más cercana y se infiltre lavando así los finos de las capas inferiores y debilitando la estructura, este proceso constante hace que la grieta sea mayor en cada repetición agravando y haciendo más vulnerable las superficie del pavimento.

Foto N°2.4: Caída natural de agua – Drenaje



Fuente: Elaboración propia

En la Foto N°5 se puede apreciar el paso de la caída del agua bajo el pavimento. El cual por capilaridad asciende a las capas del pavimento deteriorándolo.



Fuente: Elaboración propia

Foto N°2.5: Acercamiento del ingreso de agua hacia el pavimento.

Como ejemplo se puede observar la Foto N° 4, en la cual se aprecia como en ciertos sectores el drenaje no está siendo bien canalizado; esta caída de agua llega a un canal de piedra ubicado debajo del pavimento el cual conduce el agua hasta el otro extremo de la vía, cuando el agua ingresa al canal de piedra por capilaridad asciende a todas las capas, humedeciendo y debilitando la estructura. Ver Foto N°5.

2.3 TALUDES

Otro factor importante son los taludes, ya que en el tramo evaluado hay zonas de taludes muy pronunciados, en la cual es constante la caída de pequeñas rocas que deterioran la superficie del pavimento acelerando la aparición de grietas superficiales. En el tramo en evaluación se encontraron taludes de piedra muy pronunciados como el de la Foto N° 5 en el km. 109+100.

Foto N°2.6: Taludes pronunciados



Fuente: Elaboración propia

2.4 SEÑALIZACION

La señalización se evaluó básicamente con fines informativos, para juzgar la correcta ubicación de éstas. A lo largo del sector evaluado se pudo observar la correcta colocación de la señalización horizontal (líneas continuas color blanco

sobre el pavimento, gibas, etc.) y la señalización vertical (postes con señales preventivas y reglamentarias), a continuación se cita las señalizaciones encontradas.

En la siguiente Foto N°7, se observa el ingreso a una curva pronunciada, antes de la cual se ubican rompe muelles o gibas, esta medida de seguridad es adecuada para que el conductor disminuya la velocidad al entrar a una curva cerrada y así evitar accidentes.

También se puede observar la correcta ubicación de las señales verticales, por ejemplo la señal preventiva de curva en U voltear a la izquierda.

Foto N°2.7: Señalización horizontal (rompe muelle) y Señalización vertical (señal preventiva)



Fuente: Elaboración propia

2.5 SECCION TIPICA DE LA ESTRUCTURA

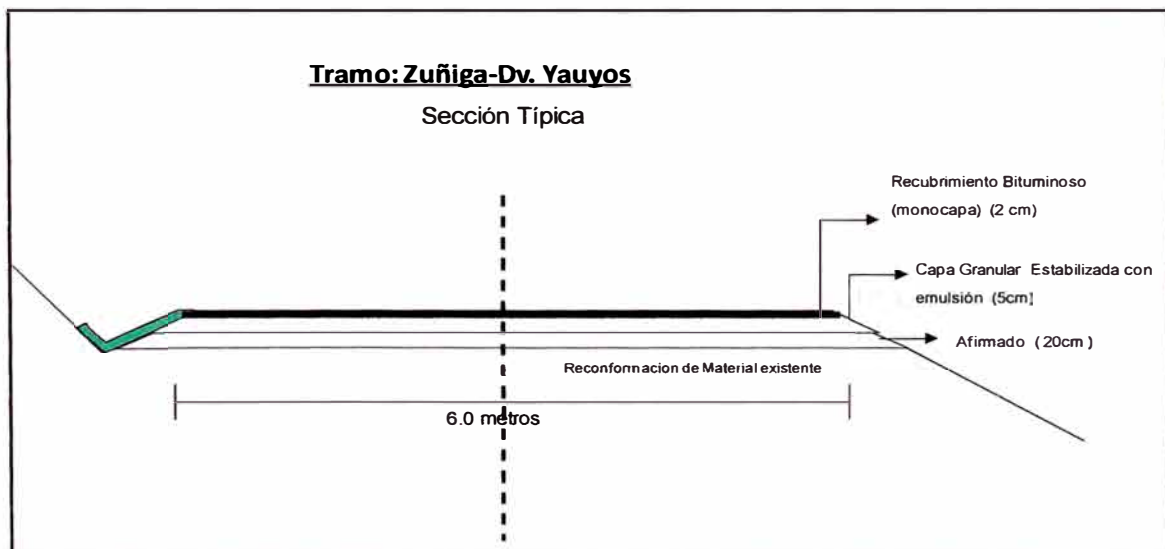
Inicialmente no se contaba con la información de diseño ni construcción del pavimento del tramo en evaluación, es por ello que se utilizó los datos del “Estudio técnico para el cambio de estándar” presentado por el contratista al MTC y los datos que recopilados en campo, consolidando esta información se obtiene un pavimento de 27 cm de espesor con la siguiente distribución. Ver Cuadro N° 3 y Grafico N°4.

Cuadro N°2.3: Estructura del pavimento

Capa	Tipo de material	Espesor (cm)
Superficie	Monocapa Asfáltica	2
Capa 1	Base mas emulsión	5
Capa 2	Afirmado	20

Fuente: Estudio técnico para el cambio estándar de la vía, realizado por el contratista.

Gráfico N° 2.4: Sección típica del km 108+000 al km. 110+000



Fuente: Elaboración propia

Más adelante se evaluará la confiabilidad de estos datos mediante la capacidad del soporte del pavimento.

CAPÍTULO III: MARCO TEORICO

3.1. DEFLECTOMETRIA

La deflectometría es el estudio de las deformaciones verticales de la superficie de una calzada, a consecuencia de la acción de una determinada carga estándar.

Las fallas estructurales fundamentales dependen de la magnitud y frecuencia de las deformaciones recuperables y de la acumulación de las deformaciones permanentes en las estructuras bajo la acción de las cargas móviles y estáticas. Es por esto que el criterio de capacidad estructural se basa en la deformabilidad de las calzadas bajo cargas normalizadas.

3.2 CAMPO DE APLICACION

El campo de aplicación de las deflexiones es muy amplio y se emplea principalmente para:

- Determinar la vida útil remanente del pavimento.
- Evaluar estructuralmente pavimentos (tiene la ventaja de evaluar todas las condiciones localizadas como drenaje, calidad pobre de la base, etc.) 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 algunas regiones, se puede seleccionar la carga por rueda permitida en periodos críticos (generalmente deshielos).

3.3 EQUIPOS PARA MEDICION DE DEFLEXIONES DE USO FRECUENTE

Existen una gran variedad de equipos para medir deflexiones de un pavimento, encontrándose desde los más simples y versátiles (Viga Benkelman), hasta los más sofisticados y costosos, pero de gran rendimiento operacional (FWD, Deflectógrafo La Croix, etc).

A continuación en el Cuadro N°4, se indica una lista de equipos más comúnmente utilizados en diferentes países. Estos equipos miden la deflexión bajo una carga que puede ser estática, de baja velocidad o dinámica.

Cuadro N°3.4: Equipos para la medición de deflexiones de uso frecuente

AGENCIA U ORGANISMO	DYNAFLECT	VIGA BENKELMAN	LA CROIX	ROAD RATER	TRAVELLING DEFLECTOMETER	DEHLEN METER	VBRADOR SHELL	FALLING WEIGHT	OTROS
F.H.W.A. USA							*		
T.R.R.L (U.K.)		*	*						
SHELL IntL		*						*	
ASPHALT INSTITUTE		*							
L.C.P.C (FRANCIA)		*	*						*
CANADA	*	*							
ESPAÑA		*	*					*	
ARGENTINA		*	*						
AUSTRALIA		*	*	*					
CALIFORNIA	*	*		*	*	*			
UTAH	*								
KENTUCKI	*	*		*					
LOUISIANA	*								
PENNSYLVANIA	*			*					
OKLAHOMA	*								
VIRGINIA	*								
TEXAS	*								
OHIO	*								

Fuente: Manual de CONREVIAL

3.4 METODOS DE CÁLCULO

El procesamiento de las deflexiones obtenidas con la Viga Benkelman se puede realizar por dos métodos: el Método Empírico y el Método Analítico.

3.4.1 Método Empírico

Las deflexiones convenientemente procesadas, se relacionan con los valores admisibles, esto se realiza empleando el Método de CONREVIAL, el cual será el método utilizado en el presente informe.

3.4.2 Método Analítico

Es un método moderno, basado en la teoría de la elasticidad, se usan para ajustar los módulos elásticos de las estructuras.

3.5 MEDICIÓN DE DEFLEXIONES CON VIGA BENKELMAN

3.5.1 Generalidades

La Viga Benkelman es un deflectómetro, llamado así en honor a Daniel Benkelman, quien la desarrolló en 1955. Desde entonces su uso se ha difundido ampliamente en proyectos de evaluación estructural de pavimentos flexibles, tanto por su practicidad como por la naturaleza directa y objetiva de los resultados que proporciona.

Es un instrumento completamente mecánico que mide los desplazamientos de un punto de contacto colocado entre las ruedas duales de un camión bajo el eje de la carga con una determinada presión de inflado en los neumáticos y una carga preestablecida en el eje, es decir mide la deflexión máxima de la línea de deformación bajo una carga constante.

3.5.2 Principio de funcionamiento

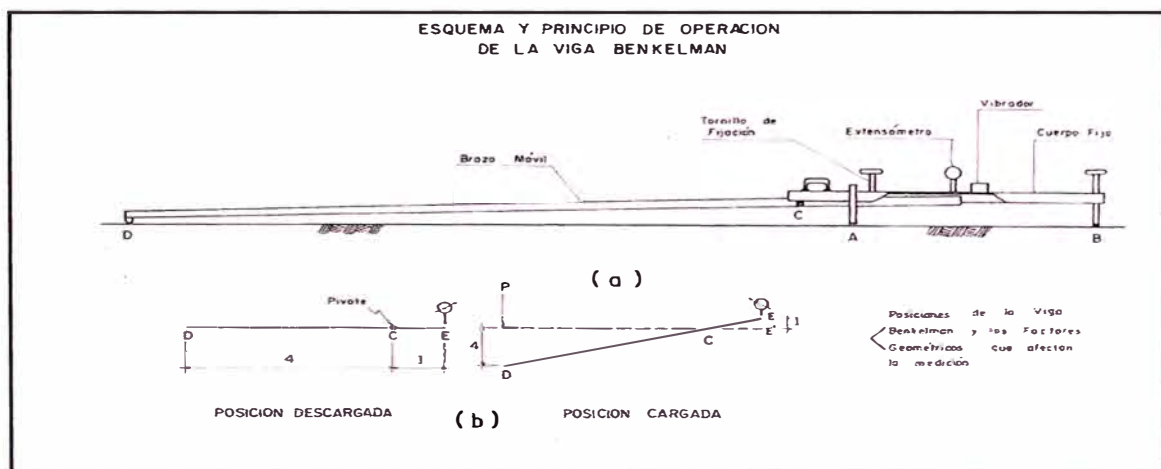
El deflectómetro Benkelman funciona según el principio de la palanca. Según se esquematiza en el Gráfico N°5, la Viga consta esencialmente de dos partes: (1) un cuerpo de sostén que se sitúa directamente sobre el terreno mediante 3 apoyos (dos delanteros fijos "A" y uno trasero regulable "B"), y (2) Un brazo móvil acoplado al cuerpo fijo mediante una articulación de giro o pivote "C", uno de cuyos extremos apoya sobre el terreno (Punto D) y el otro se encuentra en contacto sensible con el vástago de un extensómetro de movimiento vertical (Punto E).

Adicionalmente el equipo posee un vibrador incorporado que al ser accionado, durante la realización de los ensayos, evita que el indicador del dial se trabe y/o que cualquier interferencia exterior afecte las lecturas.

El extremo D ó "punta de la Viga" es de espesor tal que puede ser colocado entre una de 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 baja una cierta cantidad, con respecto al nivel descargado de la superficie.

Como efecto de dicha acción el brazo DE gira en torno al punto fijo "C", con respecto al cuerpo AB, determinando que el extremo "E" produzca un movimiento vertical en el vástago del extensómetro apoyado en él, generando así una lectura en el dial indicador. Si se retiran luego las llantas cargadas, el punto 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. La operación expuesta representa el "principio de medición" con la Viga Benkelman, es cual se esquematiza en el Grafico N° 5.

Gráfico N° 3.5: Esquema y principio de operación de la Viga Benkelman



Fuente: Presentación del Viga Benkelman – Ing. Quiñones

Lo que se hace después son sólo cálculos en base a los datos recogidos. Así, con las dos lecturas obtenidas es posible determinar cuánto deflectó el pavimento en el lugar subyacente al punto D de la Viga, durante el procedimiento descrito. Es de notar que en realidad lo que se mide es la recuperación del punto D al remover la carga (rebote elástico) y no la deformación total al colocar ésta. Para calcular la deflexión deberá considerarse la geometría de la Viga, toda vez que los valores dados por el extensómetro (EE') no están en escala real sino que dependen de la relación de brazos existentes.

3.6 VENTAJAS DE VIGA BENKELMAN DOBLE ANTE LA VIGA SIMPLE:

La conveniencia de la Viga Benkelman doble con ventajas tanto en operación como en precisión frente a una Viga simple se pueden resumir en:

- Mayor precisión y seguridad en las lecturas. Ello debido a que las palancas poseen la misma base y que la Viga por construcción asegura el correcto distanciamiento de 25 cm. Ver Foto N°8.
- Mayor rapidez en la toma de datos. El tiempo utilizado es prácticamente igual al requerido para determinar la deflexión máxima exclusivamente. Esto trae como consecuencia la posibilidad de medir siempre el radio de curvatura.
- Menor personal requerido para operarla en relación al necesario cuando se emplean dos Vigas.

Foto N°3.8: Toma de datos con la Viga Benkelman



Fuente: Elaboración propia

3.7 PROCEDIMIENTO DE CAMPO

3.7.1 Equipo requerido

El equipo mínimo para la realización de ensayos de medición de deflexiones es el siguiente:

- Deflectómetros Viga Benkelman, con relación de brazos 1:4.
- Extensómetro con dial indicador de divisiones cada 0.01 mm.
- Camión cargado, con eje trasero de 18,000 lbs. Igualmente distribuidas en un par de llantas dobles infladas a una presión de 75 a 85 psi.
- Balanza portátil para pesaje del camión, con capacidad de 10 toneladas.
- Vehículo auxiliar para transportar al personal, y accesorios de medición los cuales se mencionan a continuación.
- Accesorios de medición y varios (cinta métrica de 3 mts, plumones de punta gruesa, plomada, destornillador, alicates, hojas de campo, lápices, señales de seguridad, termómetro, cincel, martillo, varilla de metal ó madera de 2m., alambre de amarre, etc.).

3.7.2 Metodología para medición de deflexiones

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

- La carga aplicada al pavimento para la realización de ensayos de deflexiones ha sido estandarizada en 9,000 lbs. (4,090 Kg) y es proporcionada por una de las llantas dobles del eje trasero de un camión.
- Se procede a realizar pequeñas marcas con orientación transversal a la vía cada 2 km. Para luego ubicar el eje de la llanta posterior sobre esta marca.
- Se coloca la Viga entre las llantas duales, detrás del camión perpendicularmente al eje de carga de modo que la punta coincida con la marca realizada para el ensayo. Se tiene especial cuidado para que la Viga no roce contra las cubiertas de la llanta dual. Ver Foto N°9.

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

Foto N°3.9: Instalación del instrumento



Fuente: Elaboración propia

- El extensómetro se ajusta de modo tal que el vástago tenga un recorrido libre comprendido entre 4 y 6mm. Luego se gira la esfera del extensómetro hasta que la aguja quede en cero y se verifica la lectura golpeando suavemente con un lápiz y poniendo en marcha el vibrador de la regla y repetir la operación hasta obtener la posición "0" (cero). El ensayo comenzará cuando se compruebe que dicha lectura permanece constante, asegurando el equilibrio del pavimento bajo carga. Las divisiones para medición que se especifican en el dial son de 0.01mm. Luego el camión avanza lentamente hasta una distancia de 5.0 m. ó más hasta que la aguja ya no registre variación, en este momento se toma la última lectura que será la recuperación máxima para ambos brazos.
- Con el fin de medir la temperatura del pavimento se practica un orificio, con dimensiones promedio de 0.4 a 2 cm de profundidad emplazado sobre la línea demarcada, se llena con agua el orificio y una vez pasado el tiempo necesario para permitir que el líquido adquiriera la temperatura del pavimento,

se inserta un extremo del cable del termómetro digital y se lee la temperatura. Ver foto N° 10.

Foto N° 3.10: Lectura de temperatura



Fuente: Elaboración propia

Paralelamente también se mide el ahuellamiento, una vez retirado el camión se coloca la regla metálica perpendicular a la vía sobre la ubicación inicial de la Viga y se mide el hundimiento máximo al centro de la regla, la cual viene a ser el ahuellamiento. Como último paso se mide el ancho de la vía. Ver Foto N° 11.

Foto N° 3.11: Lectura de Ahuellamiento

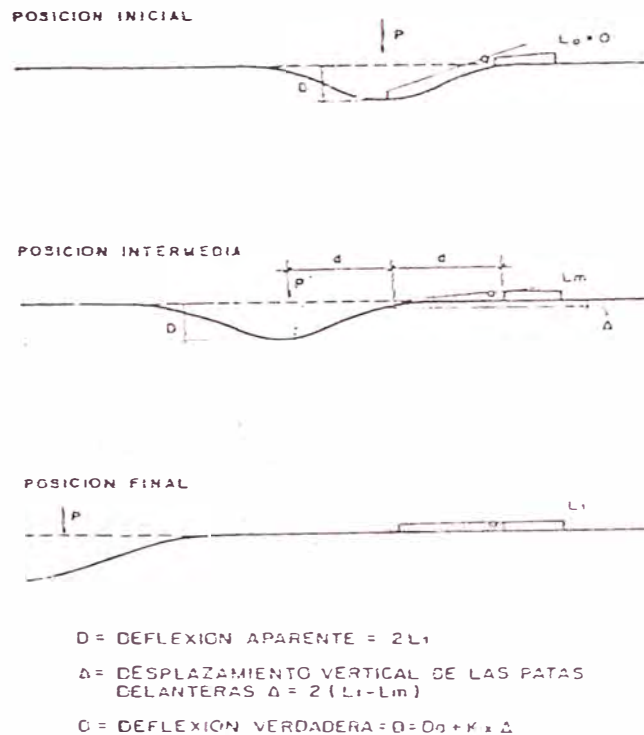


Fuente: Elaboración propia

El procedimiento más usado para la medición de la deflexión recuperable es el Método Canadiense, el cual consiste en ubicar primero la carga representada por el volquete y luego ubicar la Viga en las llantas posteriores, de esta manera la posición inicial representa la deformación máxima, conforme la carga se va alejando del punto de medición el equipo registra datos de deflexiones recuperables (posición intermedia) y finalmente cuando el volquete esté en un punto lejano se obtendrá la deflexión recuperable máxima (posición final). Ver Grafico N°6.

Gráfico N° 3.6: Determinación de la deflexión recuperable

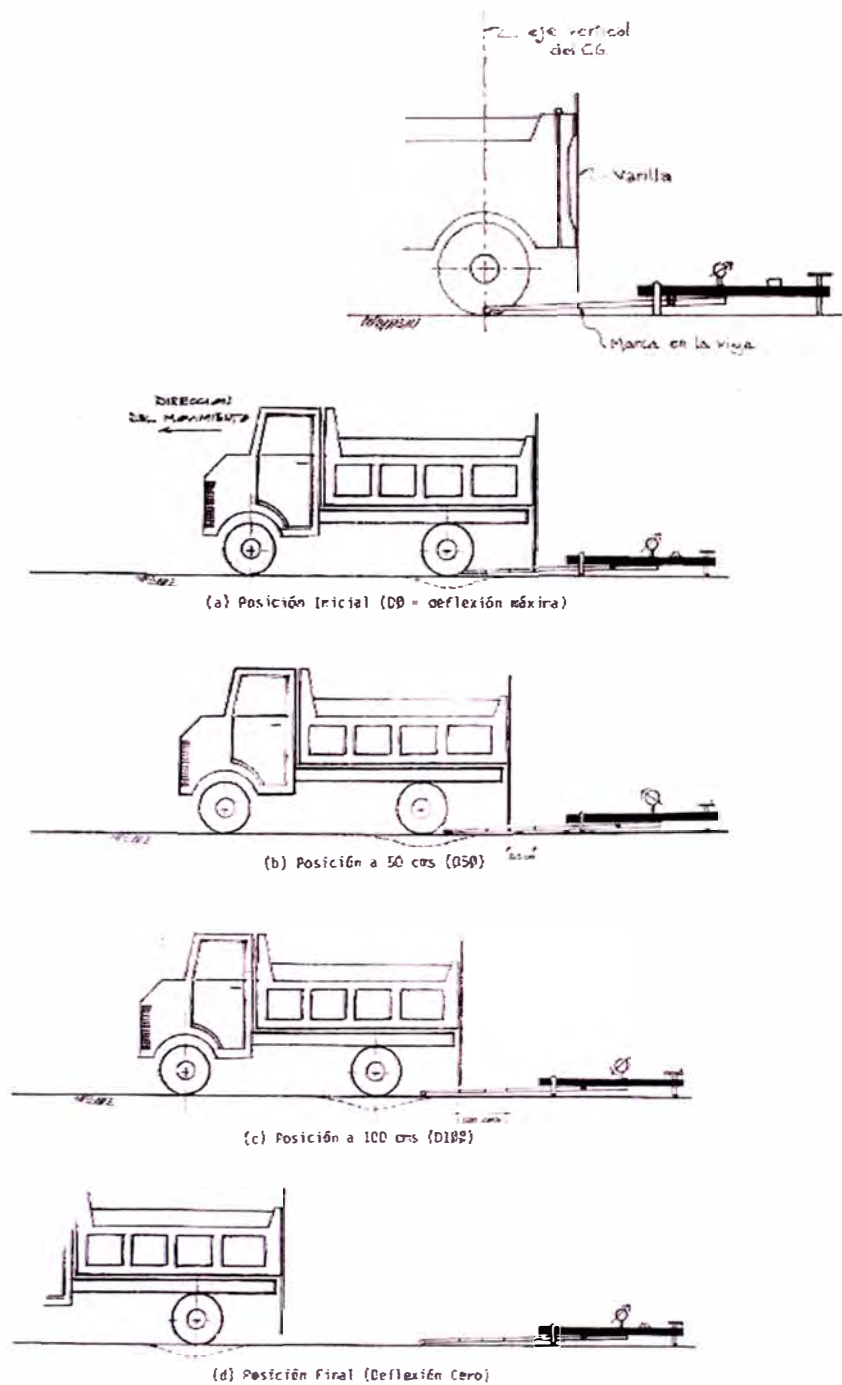
DETERMINACION DE LA DEFLEXION RECUPERABLE
 (Metodo Canadiense)



Fuente: Manual CONREVIAl

La toma de datos normalmente se hace cada 500 metros, para poder cubrir completamente la longitud del tramo a estudiar, en este caso las medidas se tomaron cada 200 mts. en un sector de 2 km obteniéndose un total de 20 datos en cada lado. En cada punto se repite el procedimiento citando en el ítem 3.7.2, la secuencia gráfica del volquete se puede apreciar en el Grafico N° 7.

Gráfico N° 3.7: Secuencia de toma de datos con Viga Benkelman



Fuente: Presentación del Viga Benkelman – Ing. Quiñones

3.8 INFORMACION DE CAMPO

Siguiendo el procedimiento descrito anteriormente se procedió a recoger en forma ordenada la información de campo en una plantilla de deflexiones Benkelman. Los datos registrados en la plantilla se muestran a continuación en el cuadro N°5:

Cuadro N°3.5: Datos de campo

MEDICION DE DEFLEXIONES CON VIGA BENKELMAN
DATOS DE CAMPO
CARRETERA: CAÑETE - CHUPACA

SECTOR : km 108+000 al km 110+000
 CARRIL : Derecho - Izquierdo
 SUPERFICIE : Monocapa

RELACIÓN BRAZOS: 1 a 4
 Relación Promedio de Brazo Corto: 4.01
 Relación Promedio de Brazo Largo: 3.99

N°	Progresiva (km)	Carril	Lecturas de Campo (10 ⁻² mm)					L.C.B* Corto L _{máx}	Espesor (mm)	Ahuellamientos (mm)	Temp. (°C)	Ancho de Carril
			L ₀	L ₂₅	L ₅₀	L ₇₀	L _{máx}					
1	108+000	Derecho	0	1	8	12	28	21	5	7	32°	4.96
2	108+200	Derecho	0	1	4	5	15	13	7	6	35°	4.96
3	108+400	Derecho	0	1	4	5	9	5	8	2	38°	3.03
4	108+600	Derecho	0	2	10	15	26	18	3	6	38°	3.11
5	108+800	Derecho	0	3	6	11	25	14	6	6	41°	4.36
6	109+000	Derecho	0	9	11	13	23	20	5	10	41°	3.5
7	109+200	Derecho	0	3	8	14	32	20	7	9	38°	3.92
8	109+400	Derecho	0	2	8	12	17	9	9	7	38°	4.3
9	109+600	Derecho	0	1	6	9	25	19	8	8	40°	4.54
10	109+800	Derecho	0	2	8	12	17	14	5	4	41°	3.94
11	110+000	Derecho	0	2	8	9	13	6	10	9	39°	3.07
12	108+000	Izquierdo	0	7	12	14	15	9	10	10	36°	4.72
13	108+200	Izquierdo	0	1	3	6	9	5	10	7	37°	4.72
14	108+400	Izquierdo	0	1	3	5	8	6	10	6	34°	3.03
15	108+600	Izquierdo	0	1	7	12	15	9	5	8	37°	3.11
16	108+800	Izquierdo	0	3	9	14	30	21	6	5	38°	4.36
17	109+000	Izquierdo	0	5	14	19	25	15	8	10	37°	3.5
18	109+200	Izquierdo	0	3	10	15	27	18	5	8	35°	3.92
19	109+400	Izquierdo	0	3	9	11	24	18	8	7	42°	4.3
20	109+600	Izquierdo	0	2	6	7	25	22	10	6	42°	4.54
21	109+800	Izquierdo	0	2	8	10	13	10	10	8	41°	3.94
22	110+000	Izquierdo	0	15	19	24	28	23	8	2	38°	3.07

* LCB: Lectura de campo con viga de brazo corto

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO IV: EVALUACIÓN ESTRUCTURAL POR DEFLECTOMETRÍA

4.1 DEFLEXIONES RECUPERABLES

La deflexión es de carácter elástico pero también interviene esfuerzos plásticos, los primeros desaparecen en cuanto se remueve la carga mientras que los segundos son permanentes y su acumulación a través de las reiteraciones de las cargas produce las distorsiones y ahuellamientos en la superficie del pavimento.

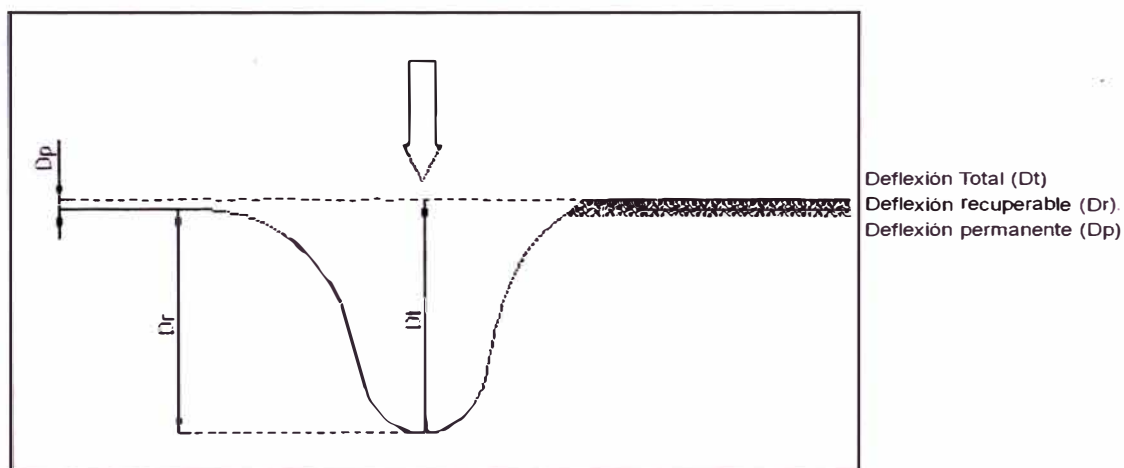
Es por ellos que se distinguen tres deflexiones:

La deflexión total (D_t): flecha hacia abajo, es la deformación producida por la carga.

La deflexión recuperable o elástica (D_r): flecha hacia arriba, es la recuperación de la superficie que se produce al retirar la carga.

La deflexión permanente o residual (D_p): diferencia entre la posición original de la superficie antes de aplicar la carga y después de retirada.

Gráfico N° 4.8: Deflexiones recuperables



Fuente: Elaboración propia

La deflexión depende de un conjunto de variables; espesores de capas estructurales, rigidez de la subrasante y fundación, rigidez relativa de cada capa con respecto a la subyacente, historia previa de la estructura, y corresponde a la deformación del pavimento y su apoyo hasta profundidades que superan el metro siendo en la subyacente donde ocurre la mayor parte de la misma.

4.2 RADIO DE CURVATURA (R_c)

El significado de las medidas de deflexiones puede ser ampliado introduciendo la magnitud de la curvatura de la línea de deflexión en la zona donde es mayor, es decir bajo el eje vertical de la carga. Dicha curvatura se expresa por el radio de curvatura (R_c).

Para determinar la deformación por tracción en las capas asfálticas se relaciona con el espesor de la capeta y el radio de curvatura de la deformación.

Teniendo en cuenta las características y espesor de las capas asfálticas se pueden diferenciar dos casos límites:

- Si la mayor parte de la deflexión se produce en la subrasante se obtendrán grandes radios de curvatura (en relación con la magnitud de la deflexión).
- Si la mayor parte ocurre en las capas superiores (situación que indica la deficiente calidad de estas) se obtendrán pequeños radios de curvatura aun a veces con deflexiones tolerables.

Esta característica se puede ver en el Grafico N°9.

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

Para determinar el radio de curvatura se emplea una deflexión auxiliar a 25 cm del extremo de la Viga donde está colocada la carga, y se emplea la siguiente fórmula:

Fórmula N°4.1

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

Donde:

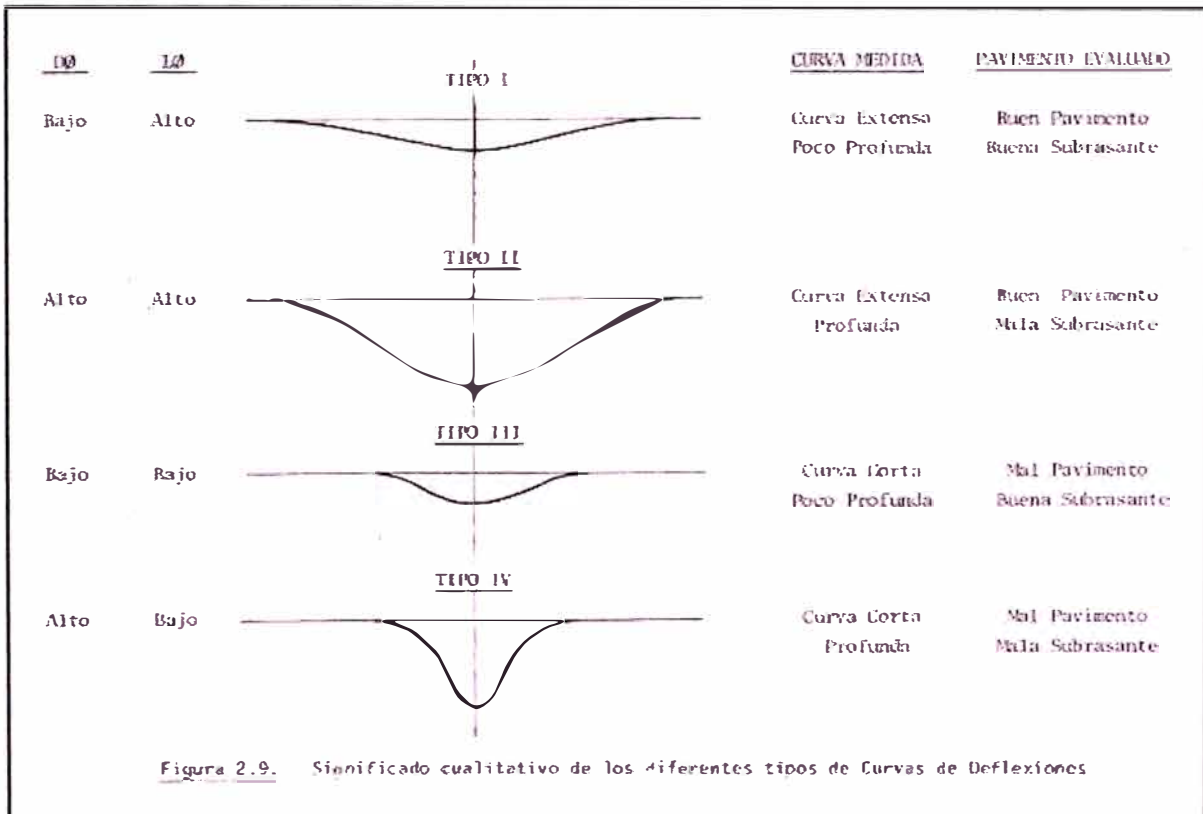
R_c = Radio de curvatura en metros.

D_0 = Deflexión recuperable en el eje vertical de la carga (10^{-2} mm).

D_{25} = Deflexión recuperable a 25 cm del eje vertical de la carga (10^{-2} mm).

10 = Coeficiente por cambio de unidades.

Gráfico N° 4.9: Relación Deflexión - Radio de Curvatura



Fuente: Manual del CONREVIAL

4.3 CORRECCION POR EFECTO DE LA TEMPERATURA

La temperatura del pavimento afecta las deflexiones recuperables de forma tal que dos mediciones realizadas en el mismo punto pero a distinta temperatura indican resultados diferentes. La magnitud de la deflexión aumenta con un incremento en la temperatura de las capas asfálticas. Esto debido a una disminución en la rigidez de las mezclas bituminosas por lo que el efecto

dependerá del espesor de dichas capas y de la rigidez de las capas subyacentes.

Para corregir las deflexiones por efecto de la temperatura se ha aplicado la siguiente fórmula:

Fórmula N°4.2

$$D_{20} = \frac{D_t}{1 * 10^{-3} \frac{1}{cm^{\circ}C} * e * (t - 20) + 1}$$

Donde:

D_t : Deflexión recuperable medida en centésimas de mm a la temperatura t en grados centígrados.

D_{20} : Deflexión recuperable a la temperatura estándar de 20 grados centígrados.

e: Espesor de mezclas asfálticas en cm medido en el borde del pavimento.

En el denominador la ecuación indica las unidades de los parámetros.

4.4 CORRECCION POR PERIODO ESTACIONAL

La deflexión de un pavimento varia a través del año a lo largo de los ciclos estacionales, particularmente cuando la diferencia de los mismos es marcada.

Para fines prácticos se ha propuesto el uso de los siguientes factores de corrección según cita el manual de CONREVIAl. Considerando el tipo de suelo de la subrasante y la época en la que se realizan los ensayos. Ver Cuadro N°6.

Cuadro N°4.6: Factor de 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: Manual del CONREVIAl

Obtenidas las deflexiones en campo que son deflexiones recuperables medidas bajo el procedimiento Canadiense, se procede a determinar las deflexiones reales causadas por la carga a distancias de D_{25} , D_{50} , D_{70} y $D_{m\acute{a}x}$ del punto de control.

La deflexión real se calcula como una simple diferencia entre la deflexión máxima ($D_{m\acute{a}x}$) y la deflexión recuperable en cada punto y multiplicada por la relación de brazos, por ejemplo para D_{25} sería $D_{m\acute{a}x} - D_{25}$ y este resultado se multiplica por 4 (relación de brazos 4:1). Este mismo procedimiento se realiza para todos los puntos tomados.

Luego se realiza la corrección de las deflexiones por temperatura y periodo estacional usando un factor de 1.1 debido a que se tomaron los datos en estación seca.

Con el objetivo de comprar los R_c obtenidos con una Viga simple y doble se calculó dos radios de curvatura:

- Radio de curvatura 1: hallado con BL: $D_{m\acute{a}x}$, deflexión máxima obtenida con la Viga Simple y BC: $D_{m\acute{a}x}$ deflexión máxima obtenida con el brazo doble.
- Radio de Curvatura 2: obtenido con los datos de la Viga simple el $D_{m\acute{a}x}$ y D_{25} .

Realizado todos estos cálculos se muestran los datos a continuación en el cuadro N° 7.

Cuadro N°4.7: Deflexiones y radio de curvatura

CARACTERIZACIÓN DEFLECTOMÉTRICA
MEDICIÓN DE DEFLEXIONES CON VIGA BENKELMAN
CARRETERA: CAÑETE - CHUPACA

SECTOR : km 108+000 al km 110+000
CARRIL : Derecho - Izquierdo
SUPERFICIE : Monocapa

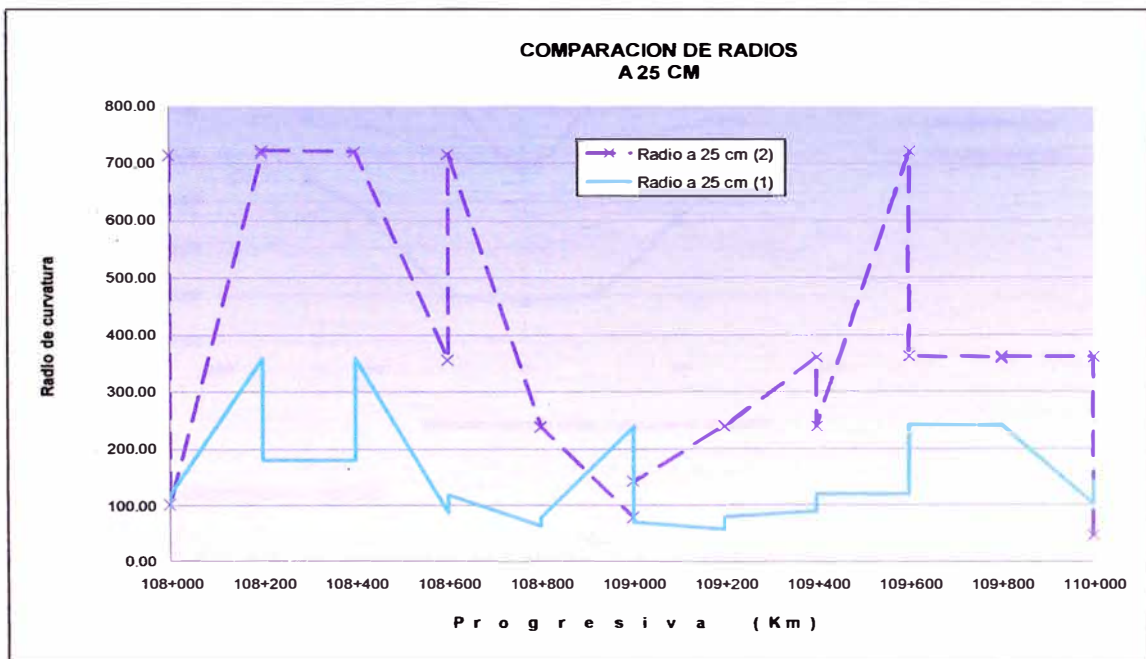
RELACIÓN BRAZOS: 1 a 4
Relación Promedio de Brazo Corto: 4.01
Relación Promedio de Brazo Largo: 3.99

Progresiva (km)	Carril	Espesor (mm)	Ahuellamientos (mm)	Temp (°C)	Deflexiones corregidas - Brazo Largo (10 ⁻² mm)					Deflexiones corregidas Brazo Corto		RESULTADOS DEFLECTOMÉTRICOS		Radio Curvatura 1 - (m)	Radio Curvatura 2 - (m)	
					D ₀	D ₂₅	D ₅₀	D ₇₀	D _{máx}	D ₀	D _{máx}	Deflexiones Corregidas				
												BL: D _{máx} x 10 ⁻² mm	BC: D _{máx} x 10 ⁻² mm			
108+000	Derecho	5	7	32	122.47	118.09	87.48	69.98	0.00	91.85	0.00	122.47	91.85	102.07	714.49	
108+000	Izquierdo	10	10	36	64.96	34.65	12.99	4.33	0.00	38.98	0.00	64.96	38.98	120.27	103.08	
108+200	Derecho	7	6	35	65.31	60.96	47.90	43.54	0.00	56.61	0.00	65.31	56.61	358.84	717.68	
108+200	Izquierdo	10	7	37	38.94	34.61	25.96	12.98	0.00	21.63	0.00	38.94	21.63	180.58	722.30	
108+400	Derecho	8	2	38	39.04	34.70	21.69	17.35	0.00	21.69	0.00	39.04	21.69	180.11	720.45	
108+400	Izquierdo	10	6	34	34.71	30.37	21.70	13.02	0.00	26.04	0.00	34.71	26.04	360.09	720.17	
108+600	Derecho	3	6	38	113.79	105.03	70.02	48.14	0.00	78.77	0.00	113.79	78.77	89.26	357.03	
108+600	Izquierdo	5	8	37	65.44	61.08	34.90	13.09	0.00	39.27	0.00	65.44	39.27	119.38	716.26	
108+800	Derecho	6	6	41	108.63	95.60	82.56	60.83	0.00	60.83	0.00	108.63	60.83	65.38	239.73	
108+800	Izquierdo	6	5	38	130.59	117.53	91.41	69.65	0.00	91.41	0.00	130.59	91.41	79.77	239.30	
109+000	Derecho	5	10	41	100.15	60.96	52.25	43.54	0.00	87.09	0.00	100.15	87.09	239.23	79.74	
109+000	Izquierdo	8	10	37	108.52	86.82	47.75	26.05	0.00	65.11	0.00	108.52	65.11	71.99	143.98	
109+200	Derecho	7	9	38	139.05	126.01	104.29	78.21	0.00	86.90	0.00	139.05	86.90	59.93	239.73	
109+200	Izquierdo	5	8	35	117.92	104.81	74.24	52.41	0.00	78.61	0.00	117.92	78.61	79.51	238.52	
109+400	Derecho	9	7	38	73.61	64.95	38.97	21.65	0.00	38.97	0.00	73.61	38.97	90.22	360.87	
109+400	Izquierdo	8	7	42	103.77	90.80	64.86	56.21	0.00	77.83	0.00	103.77	77.83	120.45	240.91	
109+600	Derecho	8	8	40	108.27	103.94	82.28	69.29	0.00	82.28	0.00	108.27	82.28	120.27	721.59	
109+600	Izquierdo	10	6	42	107.63	99.02	81.80	77.50	0.00	94.72	0.00	107.63	94.72	241.95	362.93	
109+800	Derecho	5	4	41	74.02	65.31	39.19	21.77	0.00	60.96	0.00	74.02	60.96	239.23	358.84	
109+800	Izquierdo	10	8	41	56.02	47.40	21.55	12.93	0.00	43.10	0.00	56.02	43.10	241.71	362.57	
110+000	Derecho	10	9	39	56.13	47.50	21.59	17.27	0.00	25.91	0.00	56.13	25.91	103.39	361.86	
110+000	Izquierdo	8	2	38	121.45	56.39	39.04	17.35	0.00	99.76	0.00	121.45	99.76	144.09	48.03	
Promedio					38.09	88.66	74.84	52.93	38.50	0.00	62.20	0.00	88.66	62.20	154.90	398.64
Desv. Estándar					2.67	32.33	30.71	27.58	24.87	0.00	26.32	0.00	32.33	26.32	89.57	242.05
Coef. V variación					7%	36%	41%	52%	65%	0%	42%	0%	36%	42%	58%	61%

Fuente: Elaboración propia.

Es usual el uso de una Viga simple en la medición de deflexiones en la cual el D_{25} obtenido cuando el vehículo esta en movimiento es usado para hallar el radio de curvatura, cuyo resultado se muestra en la columna "Radio de Curvatura 2" del cuadro N°7. Sin embargo cuando se determina el D_{25} con apoyo de una Viga doble es decir la lectura exactamente a 25 cm del punto de control, este valor es muy diferente del obtenido bajo el primer método. Los resultados con estos datos se muestran en la columna de "Radio de Curvatura 1" del cuadro N°7. En la grafica N°10 se muestra la variación de los radios de curvatura calculados bajo los dos métodos.

Gráfico N° 4.10: Comparación de radios



Fuente: Elaboración propia

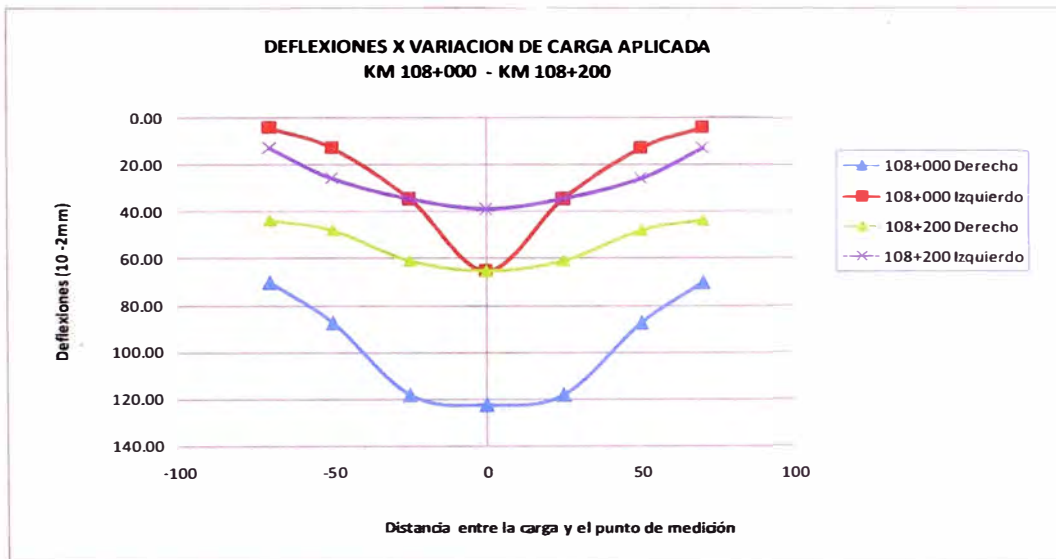
Se puede observar que con la Viga simple se obtienen radios de curvatura mayores cuyo promedio es de 398.64 m contra un promedio de 154.9 m obtenido con la Viga doble.

Debido a que el modo de obtener el D_{25} con una Viga simple es impreciso debido al aviso verbal es muy probable que se produzca errores, es por ello que se considera a la Viga doble de mayor precisión sobre todo porque garantiza la exacta de 25 cm entre el extremo de la Viga y la lectura auxiliar. Por este motivo, en este informe se usara los resultados de radios de curvatura obtenidos con la Viga de doble brazo.

A continuación se muestra las deflexiones obtenidas en ambos carriles en los km 108+000 y 108+200.

En el gráfico N°11, se observa que el comportamiento de la sección km 108+000 carril izquierdo es diferente de las demás secciones, al tener la forma de una parábola cerrada el radio de curvatura es menor lo que preliminarmente se puede interpretar como un debilitamiento de la subrasante en este sector.

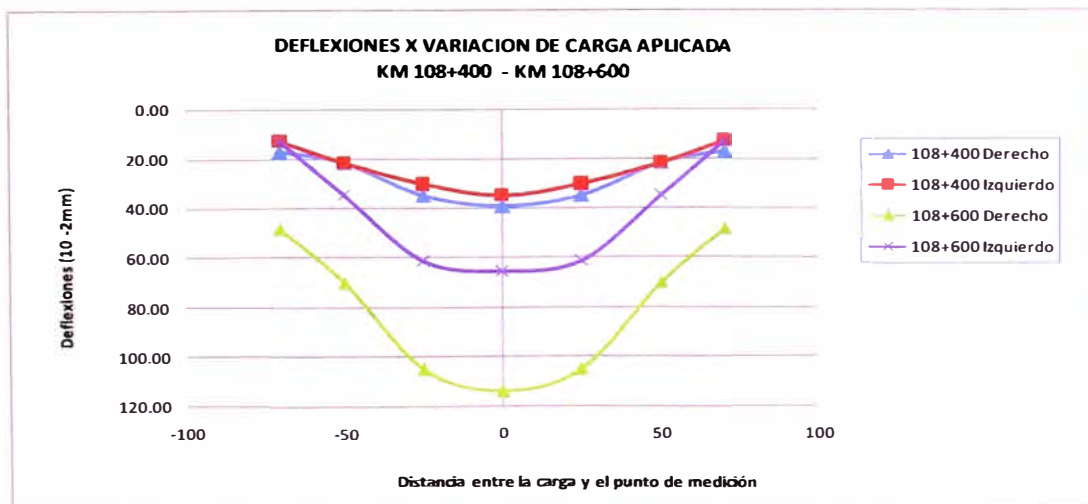
Gráfico N° 4.11: Deflexiones por variación de carga aplicada (Km 108+000 y 108+200)



Fuente: Elaboración propia

En el Gráfico N° 12, se muestra las deflexiones obtenidas en ambos carriles en los km 108+400 y 108+600. En la grafica se puede observar que la sección del km 108+600 lado derecho, tiene un radio de curvatura menor, indica debilitamiento de la subrasante en este sector.

Gráfico N° 4.12: Deflexiones por carga aplicada (Km 108+400 y 108+600)

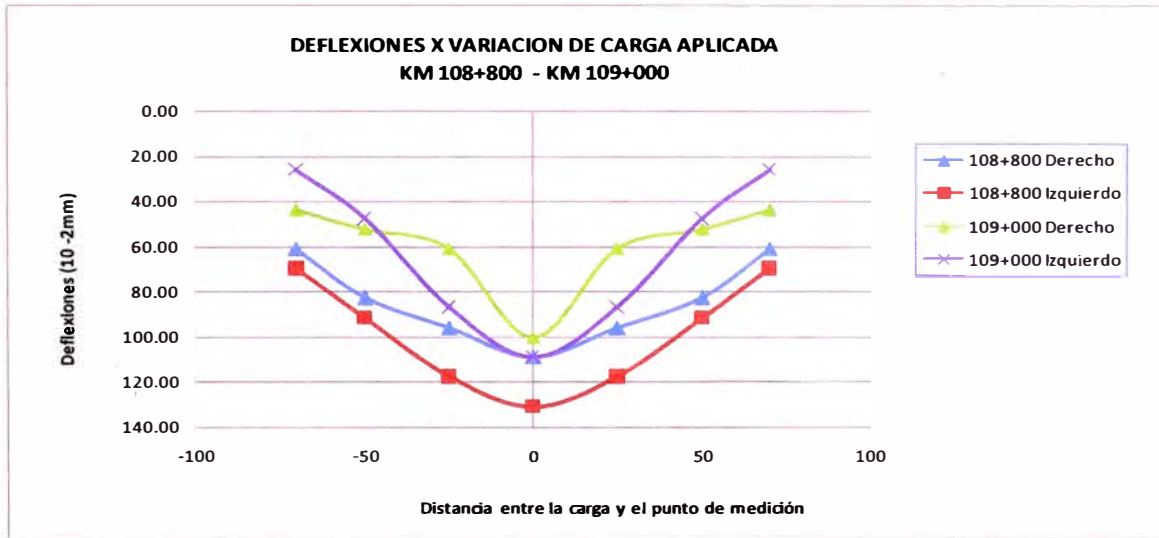


Fuente: Elaboración Propia

En el Grafico N° 13, se muestra las deflexiones obtenidas en ambos carriles en los km 108+800 y 109+000.

En las secciones evaluadas se puede observar el km 109+000 lado derecho e izquierdo tienen la forma de una parábola cerrada, es probable la presencia de humedad que este debilitando la subrasante.

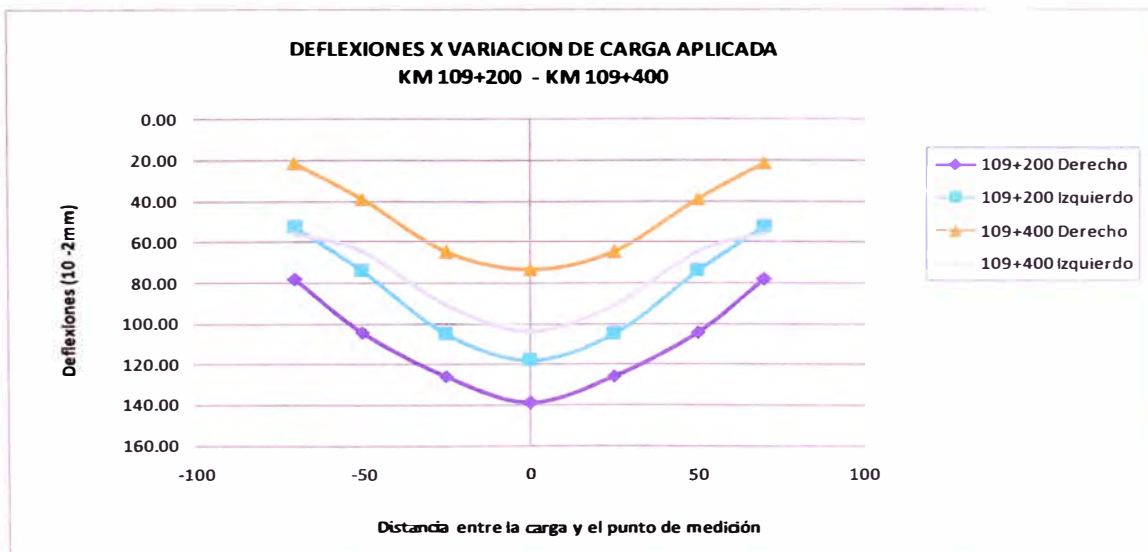
Gráfico N° 4.13: Deflexiones por carga aplicada (Km 108+800 y 109+000)



Fuente: Elaboración propia

El en gráfico N°14, se muestra las deflexiones obtenidas en ambos carriles en los km 109+200 y 109+400. Las secciones son paralelas mostrando cierta homogeneidad entre ellas, lo que indicaría buen estado de la subrasante y pavimento.

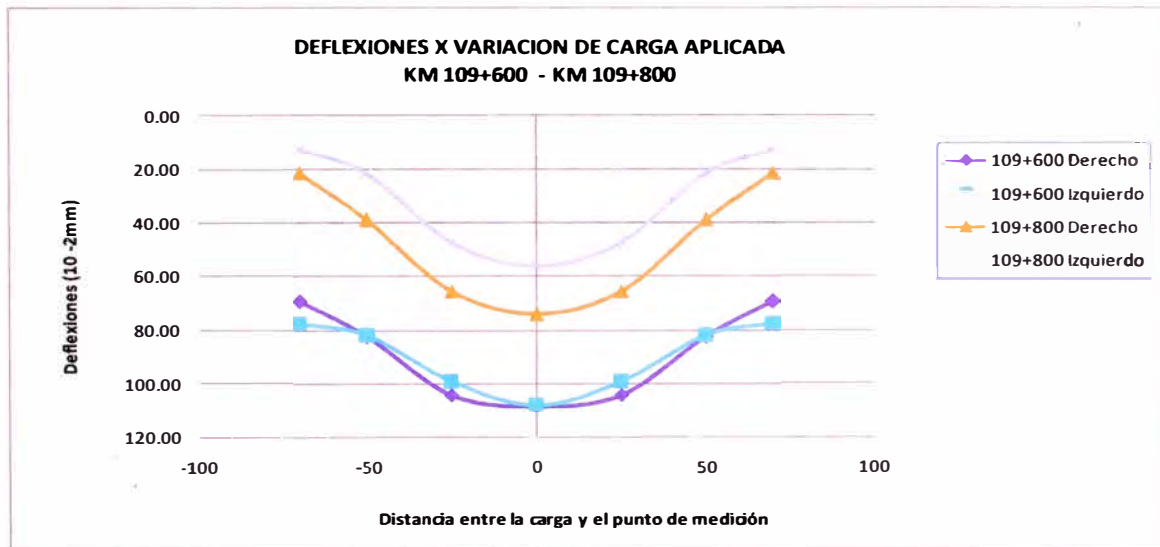
Gráfico N° 4.14: Deflexiones por carga aplicada (Km 109+200 y 109+400)



Fuente: Elaboración propia

En el gráfico N° 15, se muestra las deflexiones obtenidas en ambos carriles en los km 109+600 y 109+800. Las deflexiones recuperables del km 109+600 tienen un valor de 120×10^{-2} mm y son mayores que la deflexión del km 109+800. Se ven parábolas anchas lo que indicaría buen estado de la subrasante.

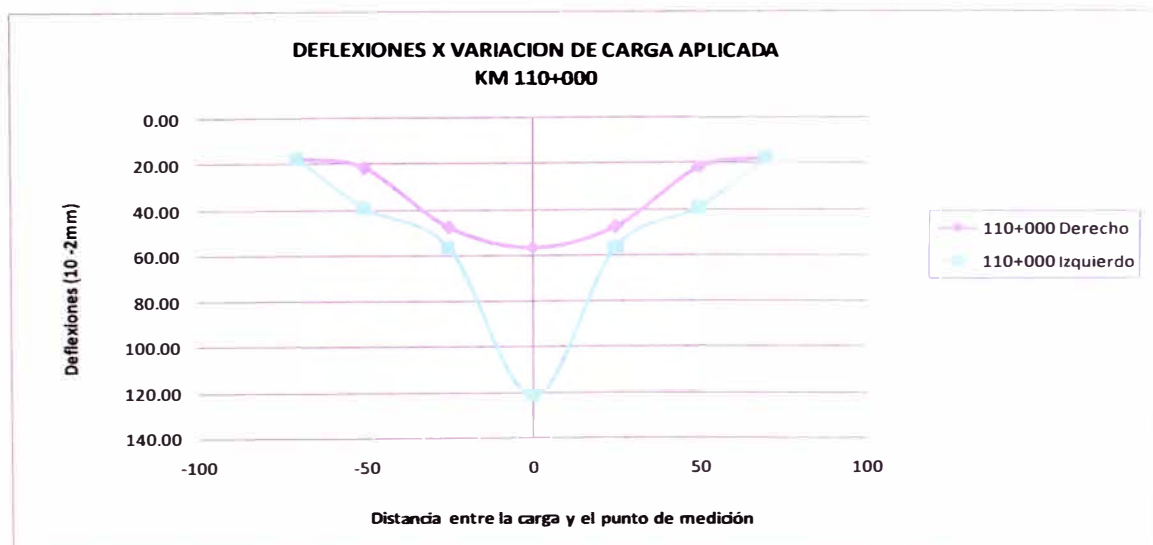
Gráfico N° 4.15: Deflexiones por carga aplicada (Km 109+600 y 109+800)



Fuente: Elaboración propia

En el Gráfico N° 16, se muestra las deflexiones obtenidas en ambos carriles en el km 110+000. Revisando la superficie del pavimento y drenaje del km 110+000 se observa que no hay problemas en el pavimento por lo que se obviara la sección izquierda. Y analizando la curva derecha se observa que el radio de curvatura es ancho lo que indica una subrasante sin problemas en la zona.

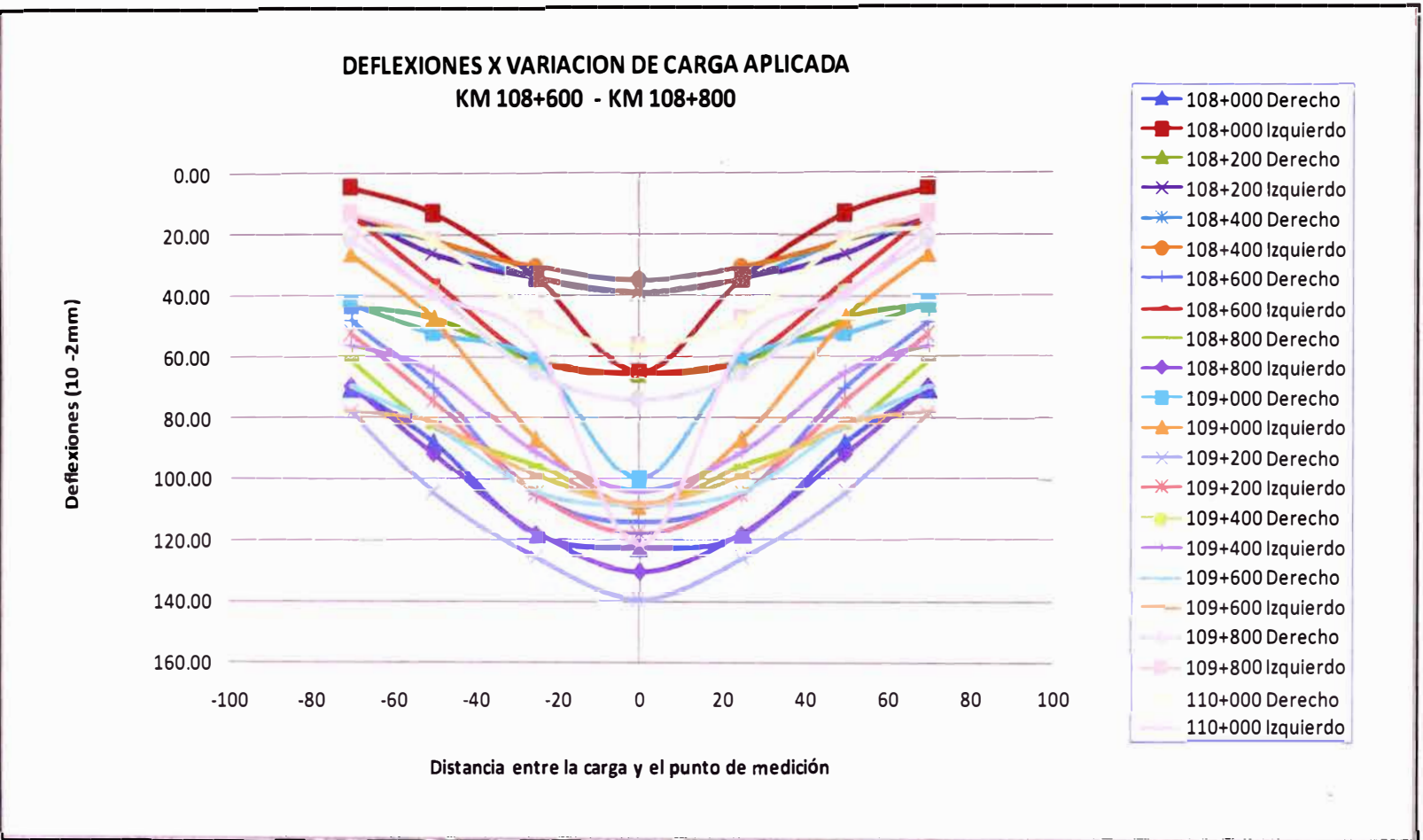
Gráfico N° 4.16: Deflexiones por carga aplicada (Km 110+000)



Fuente: Elaboración Propia

A continuación se muestra la grafica N° 17, que es la acumulada de todas las secciones evaluadas entre el km 108+000 al km 110+000. En la cual se puede observar que las deflexiones máximas varían de 38 hasta 140×10^{-2} mm.

Gráfico N° 4.17: Variación de Deflexiones por carga aplicada (todas las



Fuente: Elaboración propia

4.5 DEFLECTOGRAMAS

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

Con este propósito los resultados obtenidos se vuelcan en un gráfico en función de las progresivas que se denomina deflectograma. Aquí se incluyen todos los datos de interés obtenidos en el campo: los resultados de deflexiones y radios de curvatura, son representados en correspondencia con las progresivas de medición permitiendo una visión global de datos obtenidos.

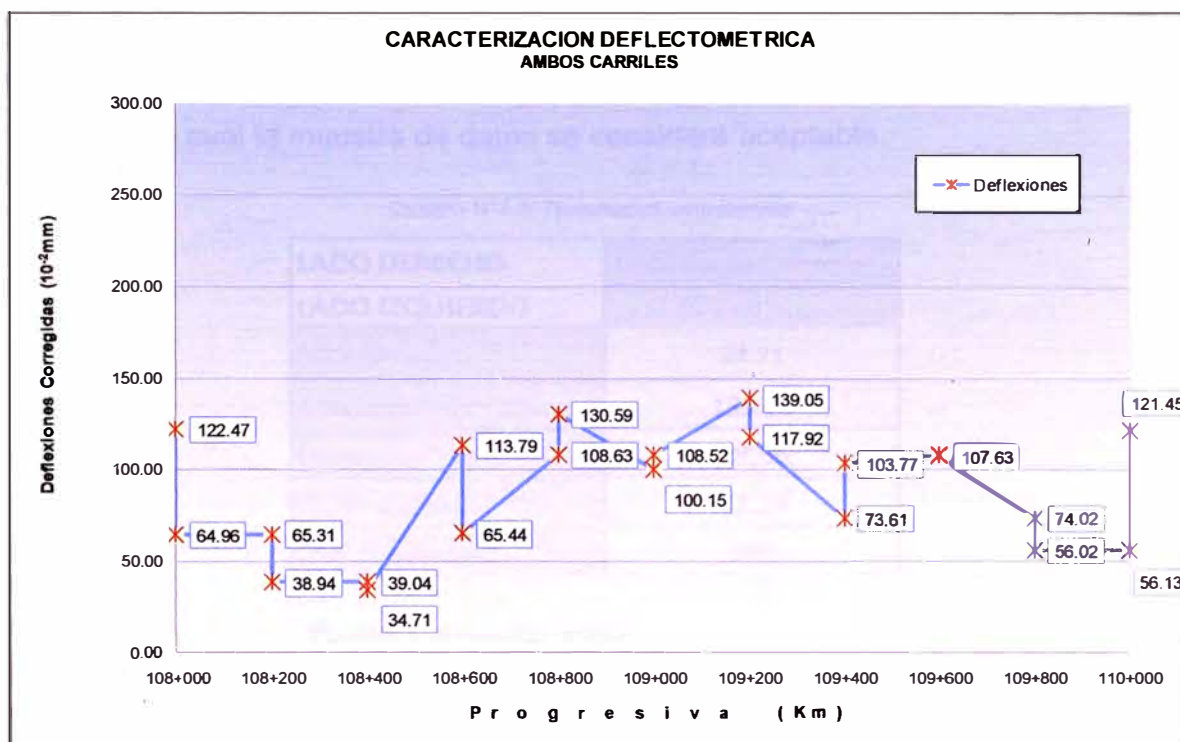
El deflectograma constituye un elemento fundamental para el análisis de la variabilidad de la capacidad estructural. En este sentido cabe destacar que el principal objetivo de la medición de deflexiones radica en poder diferenciar secciones de distinta capacidad estructural en un mismo tramo.

Por lo tanto en base al deflectograma se procede a:

- Diferenciar secciones de distinta capacidad estructural y comportamiento considerando deflexiones, fallas observadas y estructuras del pavimento.
- Eliminar valores extremos aislados no representativos y que distorsionan los resultados.
- Obtenidos los parámetros estadísticos ubicar las perforaciones requeridas para interpretar los resultados en zonas representativas de buen y mal comportamiento.
- Delimitar secciones en las que se requiere intensificar los estudios a realizar, estudios especiales.

A continuación se muestra el deflectograma obtenido en los dos carriles (derecho e izquierdo), entre los km 108+000 y km 110+000. Ver Grafico N° 18.

Gráfico N° 4.18: Caracterización deflectométrica



Fuente: Elaboración propia

Debido a la pequeña muestra y variación de los datos se podría decir que estos son dispersos sin embargo cuando se revise estadísticamente se verá que el coeficiente de variación de la muestra es aceptable, por lo tanto todos los datos serán considerados en los análisis.

4.6 ANALISIS ESTADISTICO DE LOS RESULTADOS

Los estudios de deflexiones recuperables (D_i) de cantidad de datos (n) han demostrado que las deflexiones medidas en unas secciones de pavimentos presentan una distribución de frecuencias que se asemeja a una distribución normal.

Por ello a partir de las deflexiones individuales se calcula la deflexión media (D_m), desviación estándar (σ), coeficiente de variación (C_v).

Fórmula N°4.3

$$D_m = \frac{\sum_{i=1}^n D_i}{n} \quad \sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (D_i - D)^2}{n - 1}} \quad C_v = \frac{\sigma}{D} \times 100$$

Según el manual de CONREVIAl (Consortio de Rehabilitación Vial) el coeficiente de variación puede llegar hasta 30 o 40% como máximo.

En el cuadro N°8 se observa que la variación de la población de datos es de 36%, con lo cual la muestra de datos se considera aceptable.

Cuadro N°4.8: Resultados estadísticos

LADO DERECHO	Deflexiones Corregidas
LADO IZQUIERDO	$D_0 \times 10^{-2} \text{mm}$
Mínimo	34.71
Máximo	139.05
Dprom	88.66
Desv. Estándar	32.33
Coef. V variación	36%

Fuente: Elaboración propia

4.7 DEFLEXION CARACTERÍSTICA

Al procesar los datos, de acuerdo al Estudio realizado por el MTC-CONREVIAl las deflexiones (D) se asemejan a una distribución normal por lo que la Deflexión característica (D_c) la define como:

Fórmula N°4.4

$$D_c = D_m + 1.3 \sigma$$

Donde:

D_m = Deflexión Media,

σ = Desviación Estándar,

D_c = Deflexión Característica del tramo

Utilizando la desviación estándar de 32.33 y la deflexión media de 88.66×10^{-2} mm se procedió a reemplazar estos valores en la fórmula, mostrándose el valor para la Deflexión característica (D_c) en el Cuadro N° 9.

Cuadro N°4.9: Deflexión característica

AMBOS	Deflexiones Corregidas
CARRILES	$D_0 \times 10^{-2} \text{mm}$
Deflexion Caracteristica	141.84

Fuente: Elaboración propia

4.8 DEFLEXIÓN ADMISIBLE

El principio en este caso es que el comportamiento de un Pavimento hasta alcanzar niveles críticos es inversamente proporcional a su Deflexión, lo que representa de la siguiente manera:

Fórmula N°4.5

$$N_{18} = k_1 / D_{adm}^{k_2}$$

Donde:

$k_1 = 1.15$

$k_2 = 4$

$N_{18} =$ Número de repeticiones de Ejes equivalentes (8.2 tn)

$D_{adm} =$ Deflexión Admisible (mm)

Utilizando los resultados de tráfico que se explicaran más detalladamente en el capítulo de tráfico, se calculó la deflexión admisible. Los resultados se detallan a continuación en el cuadro N°10:

Cuadro N°4.10: Proyección de Tráfico y determinación de Ejes Equivalentes

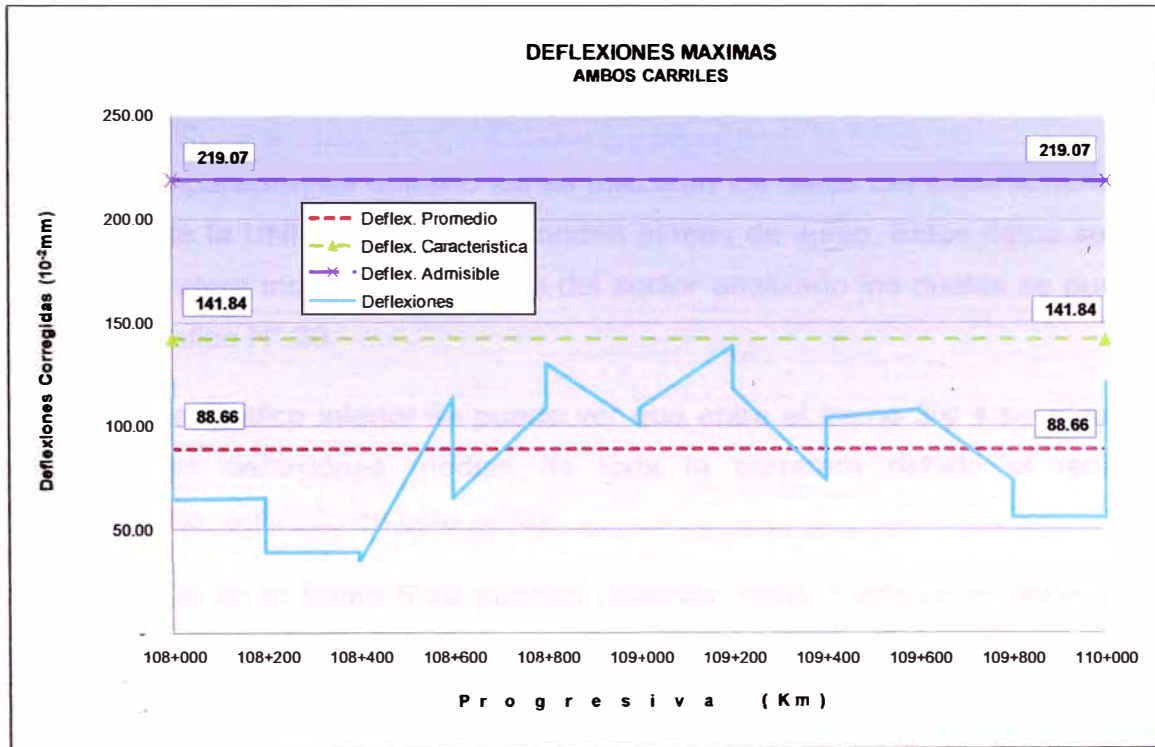
Proyección de Trafico y Determinacion de Ejes Equivalentes								
Tipo de Vehículo		C.R.	Ómnibus 2	Camión 2 Ejes	Camión 3 Ejes	Ejes Equivalentes	N18	Da (x10 -2)
MDa	2008	4	8	9	11			
Tasa de Crecimiento		1.40%	1.40%	4.24%	4.24%			
MDa	2009	4.1	8.1	9.4	11.5			
Factor de carga (FEC)		4.504	4.504	4.504	3.285			
Ejes equivalentes	2009	6,667.9	13,335.8	15,423.0	13,748.5	49,175.18	24,587.59	261.514
Ejes Equiv. (EAL)	2010	6,667.9	13,335.8	15,423.0	13,748.5	49,175.18	24,587.59	261.514
	2011	13,429.2	26,858.3	31,499.9	28,079.9	99,867.28	49,933.64	219.067

Fuente: Elaboración propia

La estructural fue diseñada para 2 años, es por ello que la deflexión admisible seria la proyectada al 2011, resultando un valor de 219.067 x 10⁻² mm.

Plasmando los valores de deflexión media, característica y admisible en un deflectograma se observa lo siguiente:

Gráfico N° 4.19: Deflexiones máximas



Fuente: Elaboración propia

Todos los puntos evaluados están por debajo de la deflexión admisible, el valor medio es de 88.66×10^{-2} mm, la deflexión característica representa el 65% de la deflexión admisible.

4.9 RELACION DEL TRAMO EVALUADO CON TODA LA CARRETERA

El tramo evaluado km 108+000 al km 110+000 pertenece al tramo Zúñiga – Dv. Yauyos.

Para la comparación de deflexiones se utilizaron los datos del departamento de proyectos de la UNI los que corresponden al mes de Junio. Estos datos son de toda la carretera incluyendo el tramo del sector analizado los cuales se pueden ver en el grafico N° 20.

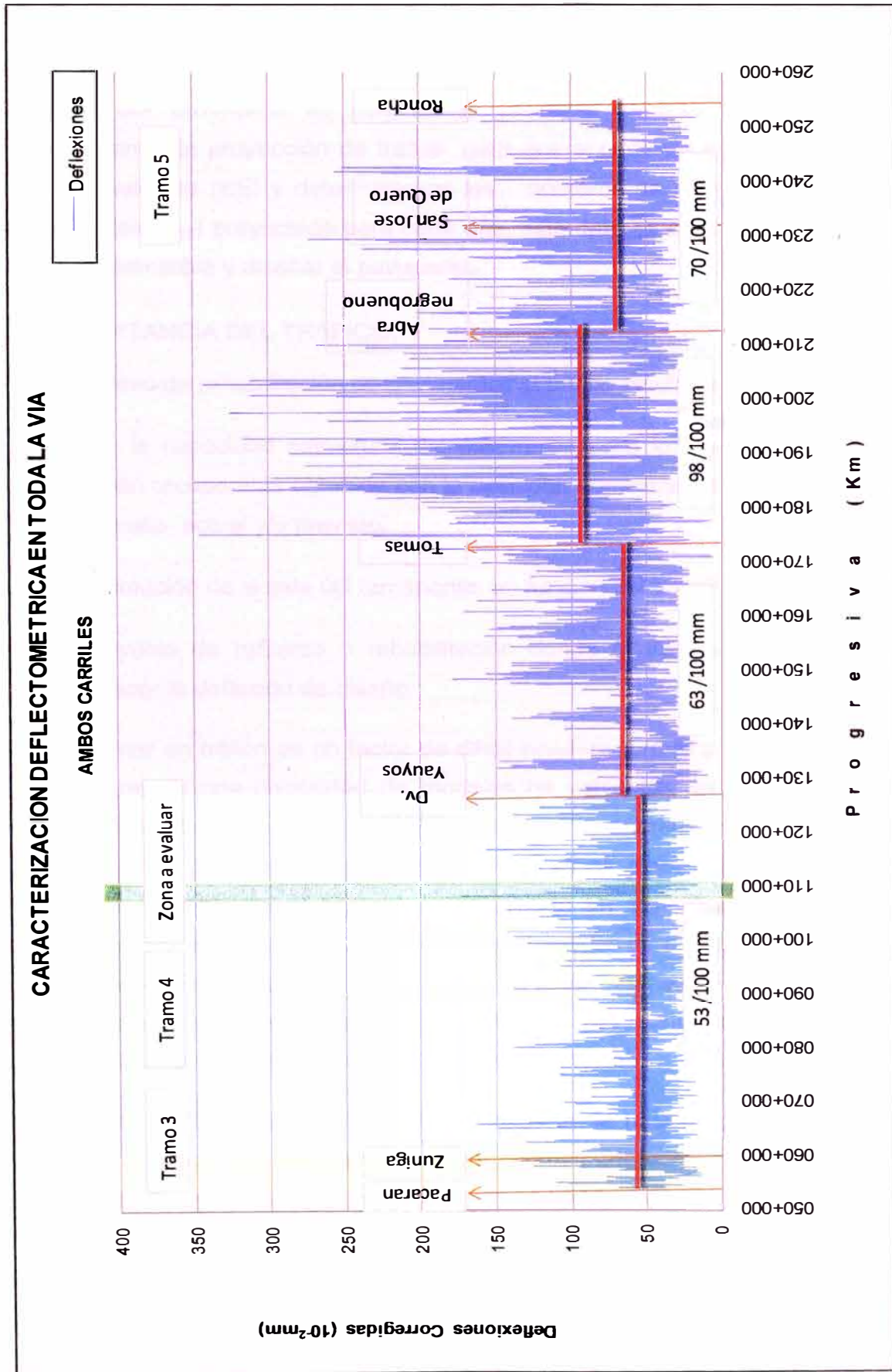
Revisando el grafico inferior se puede ver que entre el tramo 3 y 4 se registran las menores deflexiones medias de toda la carretera debido al reciente mejoramiento realizado en este sector.

Mientras que en el tramo 5 se pueden observar hasta 3 diferentes deflexiones medias por subsectores, la mayor deflexión de 98 /100 mm corresponde desde el Pueblo Turístico de Tomas hasta el Abra Negrobueno,

También se registraron deflexiones de 70 y 62 centésimas de milímetros en los subtramos Abra Negrobueno – Roncha y Dv. Yauyos- Tomas respectivamente.

Cabe resaltar que en el tramo 5 aun faltan realizar trabajos de puesta a punto en algunos sectores y es por ello las deflexiones altas. Ver Grafico N° 20.

Gráfico N° 4.20: Deflexiones registradas en toda la vía



Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO V: PROYECCIÓN DEL TRÁFICO

Debido a la importancia que tiene una adecuada estimación del tráfico para la duración del pavimento es que en el presente capítulo se detallará el procedimiento de proyección de tráfico, para que a partir de este hallemos los ejes equivalentes (EE) y determinemos los números de repeticiones de ejes equivalentes (N_{18}) proyectado para cada año, este dato se emplea para hallar la deflexión admisible y diseñar el pavimento.

5.1 IMPORTANCIA DEL TRÁFICO:

En el proceso de rehabilitación de pavimentos el tráfico se utiliza para:

- Juzgar la capacidad estructural del pavimento, para lo cual se compara la deflexión recuperable obtenida con la deflexión admisible o tolerable, función del tránsito actual y/o previsto.
- La estimación de la vida útil remanente, en función del tránsito futuro.
- El proyecto de refuerzo o rehabilitación donde el tránsito futuro permite establecer la deflexión de diseño.

El determinar un tráfico es un factor de difícil ponderación. El parque automotor se compone de una diversidad de modelos de vehículos, caracterizados por distintos números de ejes de diferente configuración, número, tipo y separación de llantas, etc. Esta diversidad de características se combinan en una cierta proporción (variable en el tiempo) constituyendo un espectro de cargas. La transformación de la totalidad de los ejes comprendidos en el espectro de cargas de una determinada cantidad equivalente de ejes estándar o de referencias permite comparar la carga que soportan distintos pavimentos aunque circulen por ellos volúmenes y composiciones distintas de tránsito.

El concepto de ejes equivalentes (EE) se basa en la posibilidad de evaluar el daño que produce una determinada carga y compararlo con otra de referencia. El eje equivalente estándar es el eje único que produce efectos críticos o daños en el pavimento equivalentes a aquellos producidos por los distintos ejes mixtos que conforman el espectro de cargas. En razón de la equivalencia mencionada un incremento en los niveles de carga tiene como consecuencia un aumento

mayor en el número de ejes equivalentes aunque permanezca constante el volumen de tránsito.

Es evidente que una carretera puede comenzar a deteriorarse rápidamente y reducir inesperadamente su vida de servicio por el abuso que se haga de ella al someterla a la acción de ejes que exceden en mucho los valores de carga esperados.

5.2 FACTORES DE EQUIVALENCIA:

Se trabajará como eje estándar o referencial, un eje simple de 8.2 tn determinándose los factores de equivalencia siguiendo la metodología AASTHO que tiene por criterio de comparación, la valorización de la pérdida de la serviciabilidad del pavimento por efecto de la carga, para lo cual se usará las relaciones del cuadro N°10 para determinar los ejes equivalentes:

Cuadro N°5.11: Criterio para el cálculo de equivalencia de carga

Tipo de eje	Eje equivalente (EE _{8.2 TN})
Eje Simple de ruedas simples	$EES1 = [P / 6.6]^4$
Eje Simple de ruedas dobles	$EES2 = [P / 8.2]^4$
Eje Tándem de ruedas dobles	$EETA = [P / 15.1]^4$
Ejes Tridem de ruedas dobles	$EETR = [P / 22.9]^4$

P = peso real por eje en toneladas

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

También se considera un factor de ajuste por presión de neumáticos, para calcular el efecto adicional de deterioro que producen las altas presiones de los neumáticos.

Teniendo en consideración las características de cada vehículo y los pesos se determina el factor de equivalencia de carga (F.E.C) por cada tipo de vehículo. EL MTC ha estandarizado el uso de estos factores los cuales se muestran en el Cuadro N°11:

Cuadro N°5.12: Determinación de los factores de equivalencia de carga

Nro.	Tipo de vehículo	Descripción	Eje delantero	Ejes posteriores				EE _{8.2 TN}
				1er eje	2do eje	3er eje	4to eje	
1	Ómnibus 2E	Carga (Tn)	7	11				18
		F.E.C.	1.265	3.238				4.504
2	Ómnibus 3E	Carga (Tn)	7	18				25
		F.E.C.	1.265	2.019				3.285
3	Camión 2E-L	Carga (Tn)	7	7				14
		F.E.C.	1.265	1.265				2.531
4	Camión 2E-P	Carga (Tn)	7	11				18
		F.E.C.	1.265	3.238				4.504
5	Camión 3E	Carga (Tn)	7	18				25
		F.E.C.	1.265	2.019				3.285
6	Camión 4E	Carga (Tn)	7	23				30
		F.E.C.	1.265	1.018				2.283
7	Semitrayler 2S2	Carga (Tn)	7	11	18			36
		F.E.C.	1.265	3.238	2.019			6.523
8	Semitrayler 2S3	Carga (Tn)	7	11	25			43
		F.E.C.	1.265	3.238	1.42			5.924
9	Semitrayler 3S1	Carga (Tn)	7	18	11			36
		F.E.C.	1.265	2.019	3.238			6.523
10	Semitrayler >= 3S3	Carga (Tn)	7	18	25			50
		F.E.C.	1.265	2.019	1.42			4.705
11	Traylers C2R2	Carga (Tn)	7	11	11	11		40
		F.E.C.	1.265	3.238	3.238	3.238		10.98

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

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

5.3 NUMERO DE REPETICIONES DE EJE EQUIVALENTE (N_{18}):

Para el cálculo del número de repeticiones de ejes equivalentes de 8.2 tn (N_{18}), se usará la Formula N° 3, por tipo de vehículo. El resultado final será la sumatoria de los tipos de vehículos considerados y este será el número de repeticiones de ejes equivalentes (N_{18}):

Fórmula N°5.6

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

- EE_{día-carril}** = EE x factor direccional x factor carril
EE = N° de vehículos según tipo x factor vehículo x 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 carreteras 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:

Presentación de Diseño de Pavimentos Flexibles – Ing. Melchor

Para determinar el número de repeticiones de ejes equivalentes del tramo evaluado se realizó primero la proyección del tráfico en función a tasas de crecimiento del PBI y del Ingreso Per cápita promedio de los años 2009 al 2013 de Lima y Junín.

Cuadro N°5.13: Tasas de Crecimiento Vehicular

PERIODO	TRANSPORTE DE PASAJEROS	TRANSPORTE DE CARGA
2009-2013	1.40%	4.24%

Fuente: Elaboración propia

Se utilizarán los valores de tráfico registrados en el Estudio de Tráfico del 2008 elaborado por la empresa ICCGSA. Los valores se muestran en el cuadro N° 13.

Cuadro N°5.14: Tráfico Zúñiga – Dv. Yauyos

Tipo de Vehículo	Zúñiga-Dv. Yauyos-San José de Quero	San José de Quero-Dv., Yauyos-Zúñiga	Ambos	%
Camioneta	10	10	20	38%
C.R.	2	2	4	8%
Ómnibus 2	4	4	8	15%
Camión 2 Ejes	4	5	9	17%
Camión 3 Ejes	7	4	11	21%
TOTAL	27	25	52	100%
% sentido	51%	49%	100%	

Fuente: Estudio de tráfico 2008

La determinación del EE por tipo de vehículo pesado, camiones y buses, resulta de la suma de EE de cada vehículo por la cantidad de vehículos. Luego se hallaron los EE y N_{18} totales al año 2009 porque fue el inicio de trabajos del tramo en evaluación. Luego se proyectaron año por año hasta el décimo año 2024, esto con el objetivo de analizar la variación de los N_{18} debido al incremento de tráfico, los cuales serán empleados en el cálculo de la vida útil remanente del pavimento en el capítulo VII. En el cuadro N° 14 se muestran los resultados obtenidos:

Cuadro N°5.15: Resumen de Ejes Equivalentes

Tipo de Vehículo		C.R.	Ómnibus 2	Camión 2 Ejes	Camión 3 Ejes	Ejes Equivalentes	N18
IMDa	2008	4	8	9	11		
Tasa de Credimiento		1.40%	1.40%	4.24%	4.24%		
IMDa	2009	4.1	8.1	9.4	11.5		
Factor de carga (FEC)		4.504	4.504	4.504	3.285		
Ejes equivalentes	2009	6,667.9	13,335.8	15,423.0	13,748.5	49,175.18	24,587.59
Ejes Equiv. (EAL)	2010	6,667.9	13,335.8	15,423.0	13,748.5	49,175.18	24,587.59
	2011	13,429.2	26,858.3	31,499.9	28,079.9	99,867.28	49,933.64
	2012	20,285.1	40,570.1	48,258.5	43,019.0	152,132.67	76,066.34
	2013	27,237.0	54,473.9	65,727.6	58,591.5	206,029.99	103,015.00
	2014	34,286.2	68,572.4	83,937.4	74,824.3	261,620.26	130,810.13
	2015	41,434.1	82,868.2	102,919.3	91,745.4	318,966.95	159,483.48
	2016	48,682.1	97,364.1	122,706.1	109,383.9	378,136.15	189,068.07
	2017	56,031.5	112,063.0	143,331.8	127,770.2	439,196.59	219,598.29
	2018	63,483.9	126,967.7	164,832.0	146,936.2	502,219.82	251,109.91
	2019	71,040.5	142,081.1	187,243.9	166,914.8	567,280.30	283,640.15
	2020	78,703.0	157,406.0	210,606.0	187,740.5	634,455.51	317,227.75
	2021	86,472.7	172,945.5	234,958.7	209,449.2	703,826.11	351,913.05
	2022	94,351.3	188,702.5	260,343.9	232,078.3	775,476.04	387,738.02
	2023	102,340.1	204,680.2	286,805.5	255,667.0	849,492.67	424,746.34
2024	110,440.7	220,881.5	314,389.0	280,255.7	925,966.97	462,983.48	

Fuente: Elaboración propia

De los resultados obtenidos se tiene que el numero de ejes equivalentes (N_{18}) proyectado al 2011 es de 49 933.64, este dato será usado para hallar la deflexión admisible y para realizar el diseño del pavimento.

En el cuadro N°14 también se muestran datos proyectados hasta el 2024 esto para determinar en el capítulo VII la vida útil del pavimento.

CAPÍTULO VI: PARAMETROS QUE INFLUYEN EN LA DURACION DEL PAVIMENTO

Los pavimentos están expuestos directa e intensamente a la acción de ciertas variables ambientales, siendo sus propiedades físicas y mecánicas influenciadas por éstas desde el momento mismo de la construcción y, principalmente, durante los años de servicio.

Los factores ambientales pueden agruparse en razón de sus características en:

- Condiciones climáticas: temperatura, precipitación, condiciones solares y atmosféricas.
- Condiciones de drenaje: características del drenaje superficial y profundo del pavimento y fundación.
- Condiciones geológicas del área, o bien la existencia de factores desfavorables de carácter localizado.

Desde el punto de vista del comportamiento del pavimento, la consideración de dichas variables es de interés por su influencia y correlación con factores tales como la temperatura de los distintos componentes estructurales (principalmente ligadas con asfalto), contenido de humedad de las distintas capas (especialmente capas granulares), fluctuación de la napa freática, penetración de las heladas, fenómeno de congelamiento, etc.

En relación con el proceso de evaluación de los pavimentos con miras a su rehabilitación, la influencia de los factores mencionados se manifiesta principalmente en:

- El comportamiento de los materiales que constituyen la subrasante, las distintas capas y la superficie de rodamiento del pavimento.
- La evaluación de la repuesta del pavimento frente a una determinada carga, es decir, en la medición de deflexiones con la Viga Benkelman u otro equipo.
- En el proyecto de las obras de mejoramiento o rehabilitación en las condiciones geométricas del perfil transversal, obra básica y sistema de drenaje, en la elección de soluciones y materiales para el mejoramiento del pavimento.

6.1 CONDICIONES CLIMATICAS

Los dos factores que mejor representan la acción climática sobre los pavimentos son la temperatura y las precipitaciones.

6.1.1 Temperatura

La temperatura ambiental es de interés por su correlación con la temperatura del pavimento, también otros factores afectan también dicha relación, tales como la radiación solar, nubosidad, etc.

Una vez en servicio el pavimento, la temperatura se manifiesta en forma crítica cuando se alcanza valores extremos, excesivamente altos o bajos, o frente a bruscas y amplias variaciones de la misma. Su efecto está asociado a las características del tráfico particularmente a la velocidad de aplicación de las cargas.

Dado el comportamiento visco-elástico de las mezclas bituminosas, éstas resultan sensibles a gradientes térmicos. El asfalto se ablanda con el aumento de temperatura y se rigidiza cuando la temperatura decrece, lo que afecta marcadamente la repuesta del revestimiento por la variación de su viscosidad y módulo de deformación, con la consecuente alteración de la razón modular de las capas que constituyen el pavimento.

A altas temperaturas de servicio, la disminución de rigidez de las mezclas asfálticas puede llegar a ser causante de deformaciones permanentes en el pavimento cuando son solicitadas por cargas pesadas o bajas velocidades. Dichas deformaciones pueden localizarse en el revestimiento, o bien pueden llegar a afectar a la subrasante, dependiendo del aporte estructural de las capas asfálticas en relación a la totalidad de la estructura.

Por el contrario a muy bajas temperaturas un gran incremento en módulo de elasticidad (deformación), es decir en la rigidez de las capas asfálticas, puede tener como consecuencia una rápida fisuración por fatiga por efecto de la repetición de cargas. En algunos casos, en condiciones extremas, puede ser

responsable de importantes tensiones que provoquen la fisuración por contracción de las mezclas bituminosas, (fisuración/debilitamiento estructural en el deshielo) que puede afectar las distintas capas del pavimento y fundación.

Los factores que influyen en la temperatura del pavimento son principalmente, la temperatura del aire, el grado de insolación, radiación, lluvia, viento y la profundidad a la que se la considera; cuanto mayor es la profundidad considerada mayor es el tiempo necesario para llegar a la temperatura máxima o mínima en relación a la superficie, y menores son las variaciones diarias. Por ejemplo en el caso de las experiencias consideradas en el estudio de CONREVIAl dicha profundidad fue de aproximadamente 4 cm.

El grado de radiación solar varia con las estaciones del año y con la localización del punto considerado (latitud, longitud y altitud).

6.1.2 Corrección de las deflexiones por efecto de la temperatura.

La influencia de la temperatura en el módulo resiliente (M_r) o deformación de las mezclas asfálticas explica teóricamente la variación de las medidas de deflexión obtenidas con la Viga Benkelman u otro equipo.

Se comprueba que dicha influencia es mas manifiesta con un incremento del espesor y/o susceptibilidad térmica de las mezclas asfálticas y con la contribución o aporte estructural de las mismas en relación al resto de la estructura.

De esta manera con el doble propósito de permitir la comparación entre deflexiones de un mismo tramo obtenidas a distinta temperatura, y de obtener un valor para diseño, las deflexiones son corregidas y llevadas a una temperatura estándar o de referencia de 20°C.

En virtud de lo expuesto dicha corrección será proporcional al espesor de las mezclas asfálticas existentes y a nivel de deflexión del pavimento. Dado que el

radio de curvatura depende principalmente de las capas Superiores, la influencia de la temperatura será aún mayor en el caso de las deflexiones.

En el recorrido de campo se tomaron de datos de temperatura sobre el pavimento alrededor del medio día, los datos obtenidos se muestran en el cuadro N°15.

Cuadro N°6.16: Variaciones de temperatura en campo

SECTOR : km 108+000 al km 110+000
 CARRIL : Derecho - Izquierdo
 SUPERFICIE : Monocapa

Progresiva (km)	Carril	Espesor (mm)	Temp (°C)
108+000	Derecho	5	32
108+000	Izquierdo	10	36
108+200	Derecho	7	35
108+200	Izquierdo	10	37
108+400	Derecho	8	38
108+400	Izquierdo	10	34
108+600	Derecho	3	38
108+600	Izquierdo	5	37
108+800	Derecho	6	41
108+800	Izquierdo	6	38
109+000	Derecho	5	41
109+000	Izquierdo	8	37
109+200	Derecho	7	38
109+200	Izquierdo	5	35
109+400	Derecho	9	38
109+400	Izquierdo	8	42
109+600	Derecho	8	40
109+600	Izquierdo	10	42
109+800	Derecho	5	41
109+800	Izquierdo	10	41
110+000	Derecho	10	39
110+000	Izquierdo	8	38

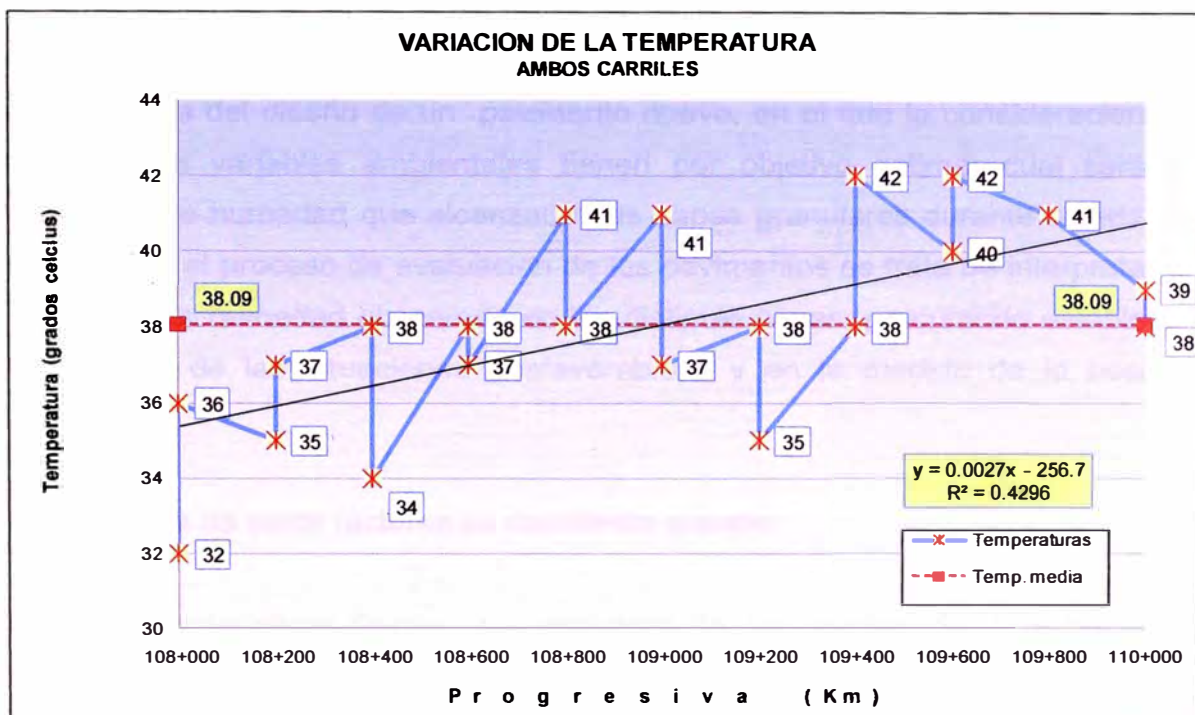
Promedio	38.09
Desv. Estándar	2.67
Coef. V variación	7%

Fuente: Elaboración propia

De los datos obtenidos se puede ver que el coeficiente de variación es solo 7%. Todo el ensayo se realizó en aproximadamente 30 minutos alrededor del medio día.

Es por ello la cercanía de las temperaturas sin embargo a pesar de una variación corta de tiempo se puede ver la tendencia creciente de la temperatura de 32 grados en el km 108+000 a las 12:00 pm hasta los 42 grados en el km 109+800 cerca las 12:30 pm.

Gráfico N° 6.21: Variación de la temperatura



Fuente: Elaboración propia

La tendencia lineal de crecimiento de la temperatura solo se realizó con la finalidad de mostrar el crecimiento de la temperatura mas no como aproximación estadística ya que el coeficiente de correlación (R^2) es de solo 0.4296.

6.1.3 Precipitaciones

El otro factor climático de gran importancia está constituido por las precipitaciones, y más precisamente, el régimen de lluvias. Su importancia radica en la relación con el contenido de humedad de las capas granulares del pavimento y de la subrasante, particularmente porque la humedad influye en el

comportamiento de los materiales, y la repuesta frente a las cargas, y porque puede ser responsable de los cambios volumétricos indeseables en los mismos. Lógicamente que la variación del contenido de humedad no depende exclusivamente de las precipitaciones, sino de un conjunto de factores:

- Condiciones climáticas;
- Altura de la rasante;
- Condiciones de drenaje longitudinal y transversal;
- Profundidad y fluctuaciones de la napa freática;
- Congelamiento y deshielo;
- Condiciones de la superficie del pavimento (fisuración – permeabilidad).

A diferencia del diseño de un pavimento nuevo, en el que la consideración de las distintas variables ambientales tienen por objetivo estimar cual será el contenido de humedad que alcanzaran las capas granulares durante la vida de servicio, en el proceso de evaluación de los pavimentos se trata de interpretar el contenido de humedad observado en las distintas capas, procurando establecer las causas de las situaciones desfavorables y en la medida de lo posible corregirlas.

La influencia de estos factores se manifiesta cuando:

- Las características físicas y mecánicas de los suelos de la subrasante son susceptibles de variar significativamente por el incremento del contenido de humedad en aquella; particularmente si las condiciones de drenaje son deficientes.
- La calidad de los agregados que integran las capas de base o subbase varía por degradación física y/o química en presencia de agua y la acción de las cargas de tránsito. Ello ocurre cuando se emplean agregados pétreos provenientes de rocas en proceso de descomposición, en las que el efecto mencionado se traduce en un momento de la fracción fina y/o un aumento de plasticidad en dichas capas granulares, causando el debilitamiento de la estructura.

- En las capas de base y/o subbase se emplean agregados con granulometrías cerradas o con exceso de finos, en zonas de corte en las que se observa afloramientos de agua subterránea y la necesidad de un drenaje sub – superficial o profundo.
- Cuando se emplean agregados pétreos en los revestimientos particularmente tratamientos superficiales – que no poseen buena adherencia con el asfalto por diversas circunstancias, y cuando la textura de dicho agregado es muy abierta y en consecuencia la impermeabilización de la capa asfáltica es deficiente.

Asimismo, la consideración del régimen de lluvias interesa desde el punto de vista de su variación estacional, básicamente porque el afectar la respuesta de los materiales, influirá en los resultados obtenidos al determinar las deflexiones del pavimento.

6.1.4 Corrección de las Deflexiones por Estacionalidad

Para correcta evaluación estructural del pavimento resulta de gran importancia considerar el valor de las deflexiones en el periodo más desfavorables del año, durante el cual la estructura se encuentra más solicitada.

Para tener en cuenta esta circunstancia existen tres alternativas:

- Realizar las mediciones de deflexiones en el periodo más crítico del año, en relación a los factores ambientales predominantes esta alternativa plantea dificultades para la programación y ejecución de los estudios.
- Realizar las mediciones de deflexión en cualquier época del año y aplicar un coeficiente de ajuste o corrección, que las lleve a condiciones críticas, conocido a través de medidas sistemáticas previas, realizadas sobre pavimentos similares en la región.

- Establecer el factor de corrección en forma subjetiva con conocimiento del clima de la región y del comportamiento de pavimentos flexibles en ella.

El elemento de mayor efecto sobre el factor de corrección por estacionalidad es el fenómeno de congelamiento – deshielo. Como una primera aproximación entre la estación del año en que se realizaron las mediciones y la que ofrece las condiciones más críticas debe limitarse al régimen de lluvias, distinguiendo básicamente estación seca y lluviosa.

Asumiendo este criterio el manual de CONREVIAl recomienda los coeficientes de corrección mostrados en el cuadro N°16, según el periodo en el se lleven a cabo las mediciones.

Cuadro N°6.17: Factor de estacionalidad

Tipo de suelo Subrasante	Estación Lluviosa	Estación Seca
Arenosa - permeable	1,0	1,1 a 1,3
Arcillosa – sensible al agua	1,0	1,2 a 1,4

Fuente: Manual del CONREVIAl

Para la presente evaluación se uso el valor de 1.1 ya que los datos fueron tomados en estación seca.

6.2 CONDICIONES DE DRENAJE

El drenaje, tanto superficial y sub superficial, es un factor de gran importancia. Frecuentemente se le atribuye escasa significación en razón de que se adopta para diseño la capacidad portante de los materiales granulares evaluada a través de ensayos realizados en la condición de saturación.

En el caso de la evaluación de pavimentos en servicio se trata de determinar a qué grado de humedad se ha llegado en las capas inferiores, particularmente en el suelo de fundación, por causa de un mal drenaje.

La corrección de las fallas ocasionadas por la falta de drenaje profundo obliga, en la generalidad de los casos, a la reconstrucción, solución costosísima que puede plantearse en secciones de corta longitud. En este sentido se considera prioritario el mejoramiento de las secciones de corte, donde se observa con más frecuencia esta situación.

Sin embargo, en algunos casos se puede considerar el mejoramiento, o construcción, del sistema de drenaje completo, como parte de una solución por etapas, en la que la rehabilitación del pavimento es demorada hasta que se hayan mejorado las condiciones y drenado todo exceso de agua. El tiempo necesario y eficacia dependerá de cada caso.

La utilización de telas “no tejidas” constituye una alternativa conveniente para el problema de los filtros, cada vez más usada.

La evolución del drenaje se ha realizado en forma cualitativa, apreciando subjetivamente la condición del mismo en correspondencia con los ensayos de deflexión Benkelman, cada 500 m.

Por último, la evaluación del drenaje implica el estado de conservación, tanto de taludes y cunetas como de drenes y obras de arte menores que requieren mantenimiento periódico.

CAPÍTULO VII: VIDA UTIL DEL PAVIMENTO

En este capítulo se evaluará la estructura actual del pavimento para determinar cuánto tráfico soporta, y así proyectar la vida útil que le queda al pavimento en función de la proyección del tráfico.

7.1 ESTRUCTURA ACTUAL

De acuerdo al estudio presentado por la empresa ICCGSA, se realizaron varios tramos de prueba en los sectores donde iba a ejecutarse el cambio estándar para definir la mejor alternativa.

Finalmente se decidió colocar en el sector de análisis Km 108+000 al Km 110+000 la estructura mostrada en el cuadro N°18.

Cuadro N°7.18: Estructura del pavimento

Capa	Tipo de material	Espesor (cm)
Superficie	Monocapa Asfáltica	2
Capa 1	Base mas emulsión	5
Capa 2	Afirmado	20

Fuente: Elaboración propia

Teniendo como espesor total de la estructura 27 cm.

7.2 EVALUACION DE LA ESTRUCTURA:

Para evaluar la capacidad de la estructura se empleará el Método AASHTO, la cual consiste en determinar un número estructural (SN) requerido por el pavimento para que pueda soportar el volumen de tránsito satisfactoriamente durante su periodo de diseño.

Dentro de las consideraciones del método se encuentran:

- El Índice de serviciabilidad final de diseño deberá ser tal que culminado el periodo de diseño, la vía (superficie de rodadura), ofrezca una adecuada serviciabilidad.
- El diseño considera un contenido de humedad igual a la condición más húmeda que pueda ocurrir en la subrasante, luego que la vía sea puesta en servicio.
- El coeficiente de drenaje (m_i) ha reemplazado al factor regional (R) y es introducido para el cálculo del número estructural, estos coeficientes son considerados de acuerdo a las propiedades del material granular que serán utilizados.
- Se contempla el uso de determinados parámetros estadísticos, que funcionan como factores de seguridad que garantizan que la solución obtenida cumple con un determinado nivel de confianza.

El número estructural (SN) del pavimento es obtenido mediante la siguiente expresión:

Fórmula N°7.7

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

Donde:

W_{18} = Número esperado de repeticiones de ejes equivalentes a 8.2 tn en el periodo de diseño.

Z_r = Desviación Estándar del error combinado en la predicción del tráfico y comportamiento estructural. Confiabilidad.

S_o = Desviación Estándar Total.

ΔPSI = Diferencia entre la Serviciabilidad Inicial (P_o) y Final (P_f).

M_r = Módulo Resiliente de la Sub-rasante (psi).

SN = Número Estructural, indicador de la Capacidad Estructural requerida (materiales y espesores).

Y la ecuación que relaciona el número estructural con los espesores de capa es:

Fórmula N°7.8

$$SN = a_1D_1 + a_2D_2 + a_3D_3$$

Donde:

a_i : Coeficiente estructural de la capa i.

m_i : Coeficiente de Drenaje de la Capa Granular i

D_i : Espesor de la Capa i

7.3 PARAMETROS DE DISEÑO

7.3.1 Tráfico:

Se ha realizado el cálculo de los N_{18} (número de repeticiones de ejes equivalentes) para varios periodos, estos resultados han sido mostrados en el cuadro N°14.

7.3.2 Modulo Resiliente (M_r)

Debido que no se contaban con datos actuales de CBR de la subrasante, se usaron los datos de la elaboración del estudio definitivo del año 2005.

El estudio definitivo del MTC, evaluó la subrasante en toda la vía mediante la ejecución de 425 calicatas ubicadas en la zona, distanciadas entre 80m y 1160 m con una profundidad variable que oscila entre 0.40 m y 1.80m. Los resultados se muestran en el Anexo 3, de los cuales para un percentil del 75% el valor del CBR resulto 10.5%

A partir del CBR obtenido se determino el módulo resiliente (M_r) con la siguiente ecuación:

Fórmula N°7.9

$$M_r = 3000 \times \text{CBR}^{0.65} \quad 7.2\% - \text{CBR} - 20\%$$

7.3.3 Confiabilidad (Zr):

La confiabilidad del diseño depende de la importancia de la vía. En este caso debido a que es una vía de bajo volumen de tránsito asumiremos que tiene la misma importancia que una vía local, con un nivel de confiabilidad del 70%. Este también es el valor que recomienda el Manual de Diseño de Pavimentos de bajo Volumen de Tránsito del MTC para vías de clase 2. Los valores de Z_r se muestran en el Cuadro N°19.

Cuadro N°7.19: Valores de Confiabilidad (Zr)

Clasificación General	Nivel de Confiabilidad	
	Urbano	Rural
Autopista y carreteras interestatales	85 – 99.9	80 – 99.9
Otras arterias principales	80 – 99	75 – 95
Colectoras	80 – 95	75 – 95
Locales	50 – 80	50 - 80

Fuente: Presentación de diseño de pavimentos flexibles del Ing. José Melchor

7.3.4 Desviación estándar total (So):

Para determinar este parámetro la guía AASHTO nos presenta los siguientes valores:

So: 0.30 - 0.45 Pavimentos Rígidos

So: 0.40 - 0.45 Pavimentos Flexibles

7.3.5 Índice de serviciabilidad (Pi):

Para la serviciabilidad inicial se ha adoptado un valor de P_o=4.0 en la cual se tiene en cuenta la capacidad real de las empresas contratistas para lograr un

acabado satisfactorio de la superficie y para los requerimientos de rugosidad de un pavimento nuevo.

La serviciabilidad final ha sido considerada $P_f=2.0$ conforme a las recomendaciones de la norma AASHTO.

7.3.6 Coeficientes estructurales de la capa (a_i):

Para hallar dicho coeficientes se tendrán en cuenta los valores mostrados en el Manual de diseño de pavimentos de bajo volumen de tránsito del MTC. Los coeficientes usados para el diseño se muestran en círculos en el cuadro N° 20.

Cuadro N°7.20: Aporte estructural de las capas componentes del pavimento

Capa del pavimento	Aporte estructural
Capa 1 – Superficie de rodadura	
Carpeta concreto asfáltico tipo superior – Alta estabilidad	0.170/cm
Mezcla asfáltica en frío, con asfalto emulsionado	0.100/cm
Tratamientos superficiales	---
Capa 2 – Bases	
Base granular, CBR 80% compactada al 100% de los MDS	0.052/cm
Base granular, CBR 100% compactada al 100% de la MDS	0.056/cm
Base granular tratada con asfalto	0.135/cm
Base granular tratada con cemento	0.120/cm
Base granular tratada con cal	0.060 – 0.120/cm
Capa 3 – Sub bases	
Sub Base granular, CBR 25% compactada al 100% de la MDS	0.039/cm
Sub Base granular, CBR 30% compactada al 100% de la MDS	0.043/cm
Sub Base granular, CBR 40% compactada al 100% de la MDS	0.047/cm
Sub Base granular, CBR 60% compactada al 100% de la MDS	0.050/cm

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

7.3.7 Coeficiente de drenaje (m_i):

Para la elección del coeficiente de drenaje (m_i) se utiliza el cuadro N° 21, en el cual considerando una condición de drenaje regular y un porcentaje de exposición a la saturación entre el 5 al 25% (para zona de Sierra), del cuadro

resulta que se pueden usar valor coeficiente desde 0.8 a 1.0, para el presente diseño se usará m_2 (coeficiente de la base) y m_3 (coeficiente de la subbase) igual al promedio de 0.9.

Cuadro N°7.21: Coeficiente de drenaje

CARACTERISTICAS 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

Fuente: Presentación de diseño de pavimentos flexibles del Ing. José Melchor

7.4 CAPACIDAD ESTRUCTURAL ACTUAL Y PROYECTADA

Primero se hallará el número estructural (SN) para el año 2011, pues está previsto que la estructura actual dure hasta fines del 2011. Para ello se usa los parámetros de diseño antes mencionados y la proyección de tráfico para el periodo de diseño, Los resultados se muestran en el cuadro N°22.

Cuadro N°7.22: Parámetros de diseño inicial

Parametros de diseño: 2011	
<i>W18 (2011)</i>	49,933.64
<i>CBR</i>	10.5%
<i>Mr</i>	13830
<i>Confiabilidad</i>	70%
<i>S0</i>	0.45
<i>PSI inicial</i>	4
<i>PSI final</i>	2
SN req	1.44

Fuente: Elaboración propia

Con lo cual se observó que para soportar el tráfico actual era necesario un pavimento con un número estructural de 1.44.

A continuación se analiza la estructura actual de 27 cm de altura, la cual es una combinación de sub base, base tratada y recubrimiento asfáltico. Se muestran los resultados de cada capa en el cuadro N° 23.

Cuadro N°7.23: Determinación del Número estructural (SN) del pavimento

Recubrimiento / Capa	Coficiente de Aporte	Coficiente de Drenaje	Espesor (cm)	Numero Estructural SN
Monocapa asfáltica	0		2	0.00
Base con emulsion	0.135	1	5	0.68
Subbase	0.05	0.8	20	0.80
			27	1.48

Fuente: Elaboración propia

Con lo cual se obtuvo que el número estructural del pavimento existente de 1.48, mayor al requerido de 1.44.

Teniendo en consideración los parámetros anteriores y el número estructural del pavimento, se calculó el N_{adm} (número de repeticiones de ejes equivalentes admisible) que puede soportar la estructura. En el cuadro N° 24 se muestra los N_{18} (número de repeticiones) admisibles y N_{18} actuales al 2010.

Cuadro N°7.24: Número de Repeticiones de Ejes equivalente

$N_{18 adm}$	60,300.00
$N_{18 2010}$	24,587.59

Fuente: Elaboración propia

Y como solo se han considerado variación de tráfico las cuales se asumen son las mismas que al iniciar el proyecto entonces el N_{18} actual de 24 587.59 es soportado sin problema alguno por la estructural real. Este tráfico representa el 41% del tráfico límite.

Estos parámetros han sido evaluados después de 6 meses de realizados los trabajos de mejoramiento en la vía, los resultados de la comparación se muestran en el cuadro N°25.

Cuadro N°7.25: Vida Útil Remanente

Evaluación avance de deterioro	A 6 meses	Tiempo restante de vida útil
Por diseño AASHTO	41%	14 meses
(1) Deflexión	65%	9 meses

(1) Este porcentaje es resultado de la relación de la deflexión característica actual con la deflexión admisible.

Fuente: Elaboración propia

Asumiendo el plazo más crítico que es el de deflexiones se tiene que el pavimento solo soportaría hasta los primeros meses del 2011. Después de lo cual el parámetro de deflexiones ya no se cumpliría pero sin embargo la vía todavía estaría en uso hasta fines del 2011.

CAPÍTULO VIII: METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN Y MEJORAMIENTO DE VÍAS DE BAJO VOLUMEN DE TRÁNSITO

En este capítulo se plantea una metodología de monitoreo para el mejoramiento oportuno de una vía de bajo volumen de tránsito mediante el control periódico de las deflexiones sobre la superficie de rodadura.

8.1 MONITOREO DEL ESTADO DEL PAVIMENTO

8.1.1 Monitoreo periódico de la deflexión

Inicialmente se plantea tomar los datos de deflexiones cada 6 meses, pues no se tiene periodos de variación de deflexiones para vías de bajo volumen de tránsito. Estos datos serán procesados empleando el Método de CONREVIAl.

Cada deflexión en un determinado periodo conformara un punto en el grafico de deflexión vs tiempo, la cual se compara con la deflexión admisible de diseño del pavimento.

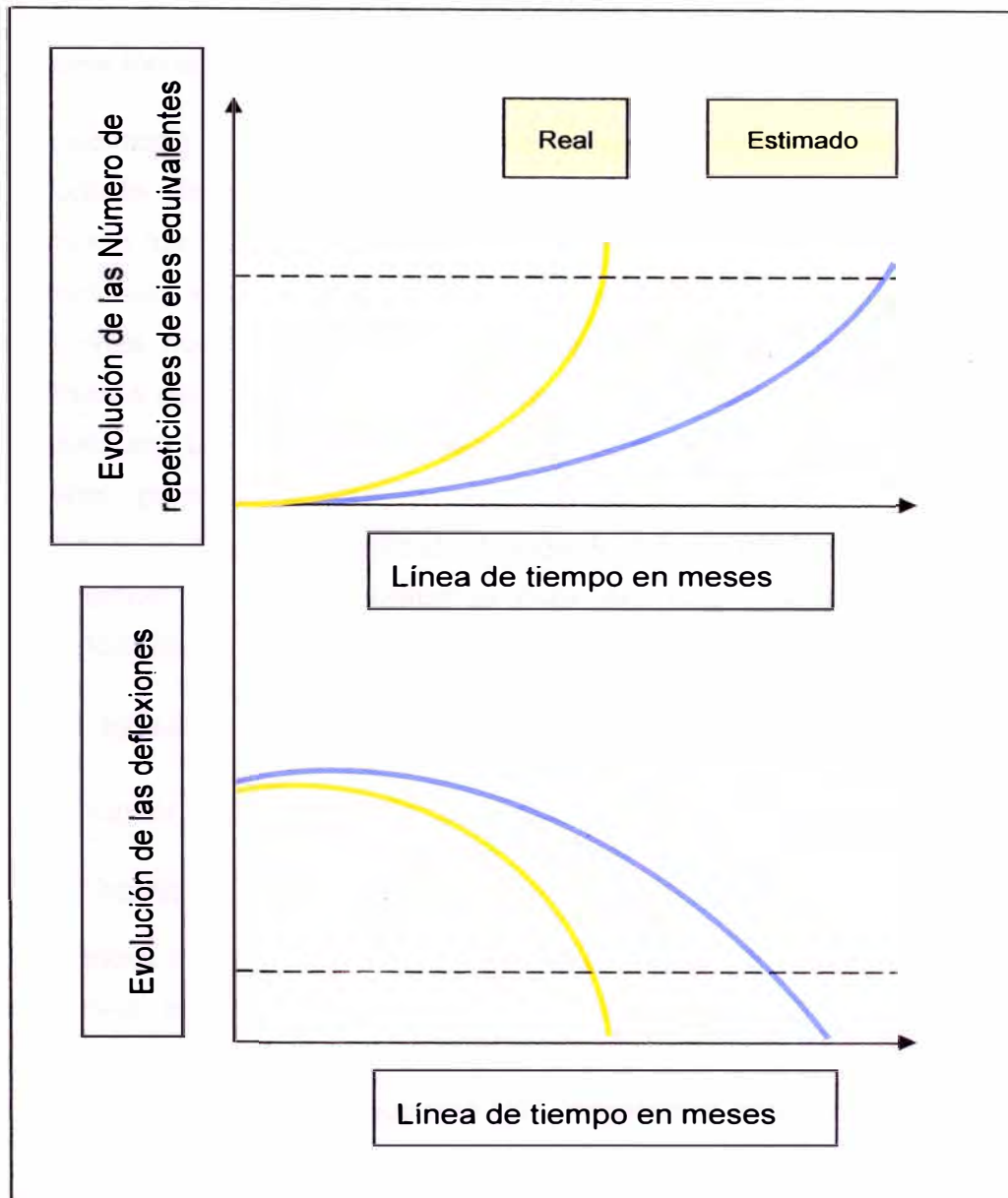
Se busca formar una grafica del avance real de la deflexión en el tiempo para así poder proyectar y estimar el tiempo en el cual el pavimento alcanzara la deflexión máxima permisible para un adecuado nivel de serviciabilidad. Ver Grafica N° 22.

8.1.2 Monitoreo periódico del tráfico

Se recomienda que el monitoreo del tráfico se realice con la misma frecuencia que el de deflexiones. En caso este periodo no fuera posible se podría realizar cada año pero en el mismo mes que el monitoreo de deflexiones para que los datos puedan ser correlacionados correctamente.

Lo que se busca es a partir del tráfico obtener el número de repeticiones de ejes equivalentes en cada periodo de evaluación. Y este plasmarlo en un grafico para así poder proyectar y estimar el tiempo en el cual el tráfico alcanzara el número de repeticiones de diseño del pavimento. Ver Grafica N° 22.

Gráfico N° 8.22: Relación de tráfico y deflexión en el tiempo



Fuente: Elaboración propia

8.1.3 Intervención en el pavimento

De acuerdo a los resultados se plantean dos casos:

Reparación Profunda

Esta solución sería plantada cuando el problema sea puntual, y consistiría en reparar solo el área afectada, reemplazando los materiales de las capas de pavimento hasta el nivel de subrasante, y en caso el problema persista aun en

este nivel entonces se plantearía un mejoramiento antes de colocar nuevamente dichos materiales.

Renovación de la superficie

Esta solución se plantea cuando el problema de deflexión excesiva se presenta en toda la vía. La renovación es decir rehabilitación de la vía se puede hacer utilizando los mismos materiales del pavimento en caso cumpla los parámetros de calidad, este proceso se llama reciclado, o de lo contrario utilizando materiales nuevos de canteras. Para esta rehabilitación se removerá todo el pavimento dejando expuesta la subrasante y en caso se encuentre deteriorada se realizara un mejoramiento sobre esta reemplazando parte de ella con un material granular de mejor calidad o adicionando alguna emulsión para conformar una base estabilizada. Luego de esto se procede con el procedimiento constructivo normal de conformar capa por capa hasta colocar finalmente la superficie de rodadura.

8.2 MONITOREO DEL ESTADO DE LA SUPERFICIE DE RODADURA

Este monitoreo se plantea de dos maneras bajo dos métodos diferentes.

8.2.1 Monitoreo del IRI

Se plantea inicialmente realizar la medición del IRI cada 6 meses, para poder determinar el avance del deterioro de la superficie de rodadura. Al ser solo un recubrimiento de 1 a 2 cm unidos por un ligante, el desgaste que se produce en esta superficie es más rápido que si lo compramos con una carpeta asfáltica.

8.2.2 Monitoreo de fallas en la superficie

Se plantea el monitoreo de fisuras, baches, huecos, sobre la superficie de rodadura. La idea es llevar el método del PCI a pavimento de bajo volumen de tránsito. Para esto es necesario monitorear las fallas y su avance para relacionarlo con la vida remanente del pavimento obtenida con el monitoreo de deflexiones.

Resultados

Con este monitoreo se busca hallar un periodo de intervención para que el desgaste de la superficie de rodadura no afecte el pavimento.

CONCLUSIONES

- Durante el recorrido realizado en la zona de evaluación se observaron fallas en la superficie del pavimento como por ejemplo: huecos continuos, hundimientos pronunciados. Cercana a esta zona se observaron caídas de agua no encausadas adecuadamente, dren natural hecho de piedra no recubierto lo que hace que el agua por capilaridad suba hasta las capas del pavimento y lo debilite, también se vio fisuras longitudinales por media vía y laterales, y cercana a esta un talud pronunciado e inestable de material suelto. Con lo cual se puede concluir inicialmente que las fallas en la zona en evaluación no serian producidas por problemas en la calidad de los materiales sino por una falta de implementación de sistemas adecuados de drenaje y estabilización de taludes.
- Normalmente las deflexiones se miden con una Viga simple, obteniéndose el D_{25} con el brazo largo para reemplazar a la lectura de una Viga doble y con estos datos se calculan los radios de curvatura de cada progresiva. Con el objetivo de determinar la semejanza entre los radios calculados con estas dos lecturas se procedió a comparar ambas y como se observa en el grafico N°10. El radio promedio calculado con el brazo corto es de 154.9 m mientras que el radio promedio con el brazo largo resulta ser 398.64 m siendo la diferencia del 61%, si se exageran estos resultados los resultados serian los siguientes, con el brazo corto resulta que las capas del pavimento tienen problemas mientras que si se analiza con el brazo largo se concluiría que la subrasante se encuentra en mal estado, teniendo en ambos casos diagnósticos diferentes. Con lo que se concluye que los datos D_{25} tomados en una Viga simple en este tipo de pavimentos no podrían ser usados en el cálculo del radio de curvatura pues distorsionan los diagnósticos finales de la estructura del pavimento y solo podrían ser usados como referencia en la forma de la deflexión de cada punto de medición.
- Observando el gráfico N°17 se puede concluir que la envolvente de deflexiones máximas varía desde una mínima de 40 hasta un máximo de 140×10^{-2} mm. Con lo que se concluye que la subrasante no se está comportando en forma similar en todos los tramos, y que se encuentra muy

debilitada en algunas zonas. Por ejemplo esto se puede ver en el gráfico N°15 en el cual la deflexión máxima es 112×10^{-2} mm o en el grafico N° 14 del KM 109+200 que tiene una máxima deflexión de 140×10^{-2} mm, zonas puntuales en los que un mal drenaje empeora las condiciones actuales y lo que generaría una pronta reparación profunda del sector crítico.

- Revisando el gráfico N°19 se observa que la deflexión característica de 141.84×10^{-2} mm está por debajo de la deflexión admisible 219.07×10^{-2} mm prevista a alcanzar el próximo año. Sin embargo la deflexión actual representa ya el 65% de la deflexión límite y la vía tan solo tiene 4 meses de uso después de realizado el cambio estándar, es decir menos de la cuarta parte de vida prevista, con lo cual se concluye que el pavimento tendría que ser reparado antes del tiempo provisto, esto probablemente debido a un incremento adicional del tránsito estimado.
- Como no se disponía del diseño inicial del pavimento ni tampoco del tiempo de diseño, se procedió a calcular la capacidad estructural requerida en función al tráfico proyectado al año 2011, y los parámetros empleados inicialmente en el estudio definitivo del proyecto. Se obtuvo que el pavimento requerido debía tener un número estructural (SN) de 1.44. Evaluando la estructura realmente colocada de espesor total 27 cm se obtuvo un número estructural de 1.48. Con lo cual se concluye que el tiempo de diseño del pavimento es de 2 años, es decir el pavimento está diseñado para soportar el tráfico del 2010 y 2011.
- En función a las deflexiones máximas obtenidas y al periodo diseño del pavimento comparados en el cuadro N° 26 se obtiene lo siguiente: comparando los Números de repeticiones (N_{18}) se tiene que la vida remanente del pavimento es de 14 meses, mientras que con el análisis deflectométrico se obtuvo un periodo de 9 meses, comparación de la deflexión admisible con la deflexión admisible. Y asumiendo el periodo más crítico se concluye que la vida remanente del pavimento es de 9 meses, es decir hasta inicios del 2011.

RECOMENDACIONES

- Para prolongar la vida del pavimento se recomienda colocar drenes recubiertos con geomalla en los puntos críticos indicados, que si bien tiene un costo mayor ayuda a evitar la degradación rápida del pavimento. En caso de permanecer con el dren natural se recomienda mejorar esta solución encausando el agua al ingreso y salida del subdrén para que no se siga afectando el pavimento. Se recomienda también evaluar la estabilidad de los taludes con pendiente fuerte antes de plantear una solución superficial, pues la grieta a media vía da la impresión que la falla del talud pase justo por ese punto.
- Con el objetivo de aproximar una relación de D_{25} entre el brazo corto y largo, se recomienda analizar una población mayor de datos, puesto que, para fines de este informe sólo se utilizaron 22 datos del tramo en evaluación km 108+000 al km 110+000.
- Se recomienda hacer una inspección minuciosa en las progresivas con deflexiones máximas pronunciadas como son km 108+000, 108+800, 109+200. A fin de encontrar una solución para que las deflexiones en estos puntos no continúen incrementándose. Pues sino terminaría en una pronta reparación profunda de los sectores críticos indicados.
- Se recomienda realizar un seguimiento periódico de la deflexión en la vía con el objetivo de observar y analizar el avance progresivo de las deflexiones residuales, y así poder definir con mayor exactitud cuándo será necesario reparar la vía.
- Al momento de diseñar un pavimento se debe tener presente el tráfico generado y elegir un adecuado valor de M_r ya que estos parámetros son los que caracterizarán al futuro pavimento, si bien es cierto se puede obtener el M_r a partir del CBR y este a partir de las deflexiones, no es tan confiable como realizar calicatas, es por ello que se recomienda verificar primero la relación que existe entre el M_r y el CBR para luego determinar si tienen buena correlación recién, solo en caso que la correlación sea mayor a 0.85 (valor mínimo aceptado estadísticamente) se podría usar con toda confianza el CBR obtenido por deflexión.

- En el presente trabajo se ha monitoreado solo una vez, con lo que se obtiene el estado actual del pavimento. Sin embargo para una adecuada proyección de la vida útil remanente del pavimento, se recomienda hacer un estudio de tráfico periódico con el objetivo de hallar la evolución del deterioro del pavimento en el tiempo y así relacionar las deflexiones con el incremento real del tráfico, de este modo se podrá obtener con más precisión el comportamiento real del pavimento y se podrá establecer mejor el periodo a rehabilitar.
- Aun no se ha establecido ni normado la frecuencia del monitoreo de deflexiones para pavimentos de bajo volumen de tránsito, se recomienda inicialmente monitorear cada 3 meses y si no hay una variación considerable ir ampliando el periodo de monitoreo hasta que se encuentre una variación considerable en las deflexiones, y poder establecer puntos que formen parte de la evolución de la deflexión en el tiempo. Esta variación en las frecuencias de monitoreo es para determinar el periodo de medición.
- Se recomienda tener cuidado en el uso de las formulas del método de CONREVIAl pues éstos han sido formulados en base a valores históricos de carreteras asfaltadas, es por ello que no todas las fórmulas de dicho método son posible usarlas para este análisis. Se recomienda utilizar solo las formulas correspondientes a la corrección y determinación de la deflexión admisible y no las que se refieren a la determinación de la vida útil remanente o determinación de espesor de capa de refuerzo, ya que estas últimas formulas se basan mayormente en las características de elasticidad de la carpeta asfáltica, y es esta capa la que no se tiene en este tipo de vías. De lo mencionado anteriormente se ve la necesidad de realizar un estudio integral para definir la validez del método para este tipo de vías o establecer una nueva forma de análisis.
- Con el objetivo de proponer y desarrollar nuevos métodos de análisis en vías de bajo volumen de tránsito, se recomienda periódicamente analizar de forma completa al pavimento es decir, realizar un análisis estructural por medio de las deflexiones con Viga Benkelman, realizar un análisis superficial de serviciabilidad mediante el Índice de condición del pavimento (PCI), y la superficie del pavimento mediante el IRI (Índice de Rugosidad Internacional). Es por ello muy importante que todos los datos sean tomados en el mismo

mes de estudio de tal manera que puedan correlacionarse uno con otro posteriormente y así obtener relaciones válidas exclusivamente para este tipo de pavimentos.

BIBLIOGRAFÍA

- Instituto Mexicano del Transporte
Uso y calibración deflectómetros de impacto en la evaluación estructural de pavimentos. México, 2004.
- Ministerio de Transporte y Comunicaciones.
Bases del concurso del Contrato de Servicio de conservación vial de la carretera: Cañete – Lunahuaná – Pacarán - Chupaca y rehabilitación del tramo Zúñiga – Dv. Yauyos - Ronchas. MTC. Lima - Perú, 2005.
- Ministerio de Transporte y Comunicaciones.
Contrato de Servicio de conservación vial de la carretera: Cañete–Lunahuaná–Pacarán - Chupaca y rehabilitación del tramo Zúñiga – Dv. Yauyos - Ronchas. MTC. Lima - Perú, 2005.
- Ministerio de Transporte y Comunicaciones.
Especificaciones Técnicas generales del MTC para construcción de carreteras (EG -2000). Lima - Perú, 2000.
- Ministerio de Transporte y Comunicaciones.
Estudio de pre inversión a nivel de factibilidad-Proyecto Mejoramiento y Rehabilitación de la carretera Cañete-Huancayo Ruta 22-Tramo Lunahuaná-Dv. Yauyos. Chupaca.MTC. Lima –Perú, 2005.
- Ministerio de Transporte y Comunicaciones.
Estudio de Rehabilitación de carreteras en el país-Aspecto de evaluación de pavimentos. CONREVIAl-Consortio de Rehabilitación Vial. Lima - Perú.

- Ministerio de Transporte y Comunicaciones.

Manual de Diseño de carreteras pavimentadas de bajo volumen de tránsito. MTC. Lima - Perú, 2008.

- Ministerio de Transporte y Comunicaciones.

Términos de referencia del Contrato de Servicio de conservación vial de la carretera: Cañete – Lunahuaná – Pacarán - Chupaca y rehabilitación del tramo Zúñiga – Dv. Yauyos - Ronchas. MTC. Lima - Perú, 2005.

ANEXOS

ANEXO 1

Resumen del Estudio de Tráfico 2008

Resumen del Estudio de Tráfico 2008

En el año 2008, la empresa CGC2 (Consortio de Gestión de Carreteras 2) contratista a cargo de la conservación vial por niveles de servicio de la carretera Cañete-Lunahuaná-Pacarán-Chupaca y rehabilitación del tramo Zúñiga-Dv. Yauyos -Ronchas, elaboro un estudio de tráfico cuyo contenido y resultados se resumen a continuación.

ESTUDIO VOLUMETRICO

El estudio volumétrico comprende la determinación de las características actuales y futuras del tráfico, estas características varían a lo largo de la carretera, existiendo tramos de características más o menos iguales llamados tramos homogéneos, como principales zonas generadoras de viajes. No sería posible, ni necesario, determinar el volumen ni la composición del tráfico en cada uno de los tramos en los que existan pequeñas variaciones, solamente se determinarán los indicadores para los tramos en los que las variaciones en la composición y volumen sean significativas.

Tramos Homogéneos

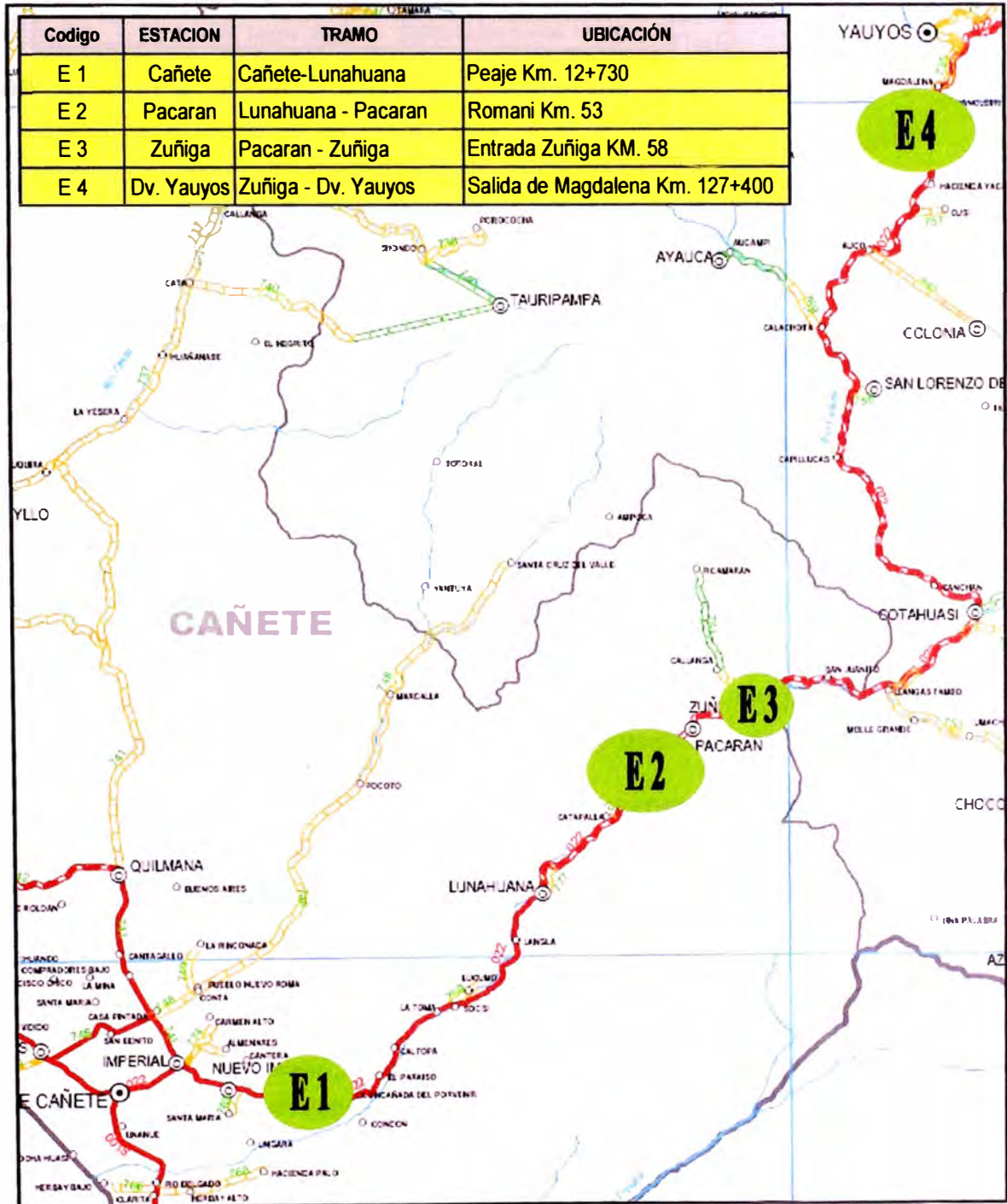
Sobre la base de los antecedentes e información existente se determinaron los tramos homogéneos en la carretera comprendida en la carretera "Cañete-Dv. Yauyos-Ronchas", considerando que cada tramo contiene características más o menos homogéneas en volumen y composición del tráfico vehicular.

Estos tramos denominados tramos homogéneos de tráfico, no coinciden necesariamente con los tramos con características orográficas similares, sino que obedece al comportamiento del tráfico.

Estaciones de control

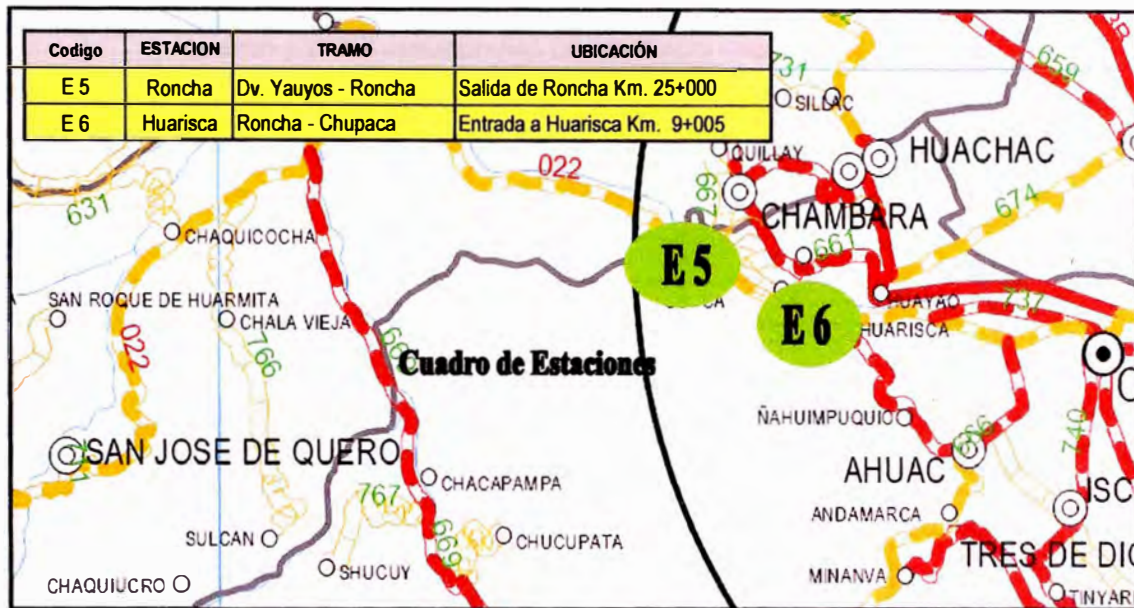
La programación de estaciones de control vehicular, se efectuó de acuerdo a los antecedentes entregados por el Consorcio Gestión de Carreteras 2, considerando las actividades de mantenimiento requeridas y según los tramos más o menos homogéneos en volumen y composición vehicular, en que se subdivide el Eje Vial en estudio, los cuales se indican a continuación:

GRAFICO 2-1 - GRAFICO DE UBICACIÓN DE LAS ESTACIONES DE CONTROL REGION LIMA



Fuente: CGC2

GRAFICO 2-2 GRAFICO DE UBICACIÓN DE LAS ESTACIONES DE CONTROL REGION JUNIN



Fuente: CGC2

Resultados de los Conteos Vehiculares

Se obtiene el IMDs (Índice medio diario), el cual será afectado por el factor de corrección mensual (FCm), obteniendo el Índice medio diario anual (IMDa)

Los resultados obtenidos, indican que el mayor volumen vehicular, se da en el tramo Imperial-Lunahuaná”, con 1,010 veh/día; sigue el “Chupaca-Ronchas”, con 454 veh/día, “Lunahuaná-Pacarán” y Pacarán-Zúñiga con casi similar tráfico de 417 y 418 veh/día, respectivamente” y “San José de Quero-Ronchas”, con 317 veh/día y por último el tráfico de larga distancia entre Zúñiga-San José de Quero con 53 veh/día. Cabe hacer mención al Trafico Temporal que se presenta en el Tramo “San Juan-Capilluca”, debido a la construcción de la Hidroeléctrica del Platanal, con un volumen vehicular entre 569 y 461 veh/día.

El transporte de carga de vehículos acoplados, en el tramo “Chupaca-Ronchas-Dv. Yauyos”, corresponde esencialmente al servicio de las minas de su área de influencia física, hacia las provincias de Concepción, Huancayo y Lima.

Los cuadros siguientes desde 3-2 al 3.-8, contienen el resumen del volumen clasificado diario de las Estaciones de control vehicular comprendidas E1 a E 7.

**CUADRO 3-2 VOLUMEN DIARIO CLASIFICADO – ESTACIÓN (E 1)
 TRAMO IMPERIAL-LUNAHUANA**

Tipo de Vehiculo	Imperial-Lunahuana	Lunahuana-Imperial	Ambos	%
Auto	177	124	301	30%
Camioneta	203	203	406	40%
C.R.	104	105	209	21%
Micro	6	5	11	1%
Ómnibus 2	6	5	11	1%
Ómnibus +2	0	0	0	0%
Camión 2 Ejes	23	22	45	4%
Camión 3 Ejes	4	4	8	1%
Camión 4 Ejes	0	0	0	0%
Semitraylers	10	9	19	2%
Traylers	0	0	0	0%
TOTAL	533	477	1010	100%
% sentido	53%	47%	100%	

Fuente: Estudio de tráfico 2008

**VOLUMEN DIARIO CLASIFICADO – ESTACIÓN (E 2)
 TRAMO LUNAHUANA-PACARAN**

Tipo de Vehiculo	Lunahuana-Pacaran	Pacaran-Lunahuana	Ambos	%
Auto	12	9	21	5%
Camioneta	93	96	189	45%
C.R.	62	58	120	29%
Micro	5	7	12	3%
Ómnibus 2	5	5	10	2%
Ómnibus +2	0	0	0	0%
Camión 2 Ejes	22	22	44	11%
Camión 3 Ejes	3	2	5	1%
Camión 4 Ejes	0	0	0	0%
Semitraylers	9	7	16	4%
Traylers	0	0	0	0%
TOTAL	211	206	417	100%
% sentido	51%	49%	100%	

Fuente: Estudio de tráfico 2008

**CUADRO 3-4 VOLUMEN DIARIO CLASIFICADO – ESTACIÓN (E 3)
 TRAMO PACARAN-ZUÑIGA**

Tipo de Vehiculo	Pacaran-Zuñiga	Zuñiga-Pacaran	Ambos	%
Auto	35	41	76	18%
Camioneta	73	74	147	35%
C.R.	52	53	105	25%
Micro	9	8	17	4%
Ómnibus 2	4	4	8	2%
Ómnibus +2	0	0	0	0%
Camión 2 Ejes	18	18	36	9%
Camión 3 Ejes	4	4	8	2%
Camión 4 Ejes	1	1	2	0%
Semitraylers	9	10	19	5%
Traylers	0	0	0	0%
TOTAL	205	213	418	100%
% sentido	49%	51%	100%	

Fuente: Estudio de tráfico 2008

**VOLUMEN DIARIO CLASIFICADO – ESTACIÓN (E 4)
 ZUÑIGA-DV. YAUYOS—SAN JOSE DE QUERO (TRAFICO NORMAL DE LARGA DISTANCIA)**

Tipo de Vehiculo	Zuñiga-Dv. Yauyos-San José de Quero	San José de Quero-Dv, Yauyos-Zuñiga	Ambos	%
Auto	0	1	1	2%
Camioneta	10	10	20	38%
C.R.	2	2	4	8%
Micro	0	0	0	0%
Ómnibus 2	4	4	8	15%
Ómnibus +2	0	0	0	0%
Camión 2 Ejes	4	5	9	17%
Camión 3 Ejes	7	4	11	21%
Camión 4 Ejes	0	0	0	0%
Semitraylers	0	0	0	0%
Traylers	0	0	0	0%
TOTAL	27	26	53	100%
% sentido	51%	49%	100%	

Fuente: Estudio de tráfico 2008

**CUADRO 3-6 VOLUMEN DIARIO CLASIFICADO – ESTACIÓN (E 5)
- TRAMO SAN JOSE DE QUERO-RONCHAS**

Tipo de Vehículo	San Jose de Quero-Roncha	Roncha-San José de Quero	Ambos	%
Auto	5	4	9	3%
Camioneta	106	102	208	60%
C.R.	19	18	37	11%
Micro	3	2	5	1%
Ómnibus 2	4	4	8	2%
Ómnibus +2				
Camión 2 Ejes	19	18	37	11%
Camión 3 Ejes	3	4	7	2%
Camión 4 Ejes				
Semitraylers	25	11	36	10%
Traylers				
TOTAL	184	163	347	100%
% sentido	53%	47%	100%	

Fuente: Estudio de tráfico 2008

**VOLUMEN DIARIO CLASIFICADO – ESTACIÓN (E 6)
TRAMO RONCHAS-CHUPACA**

Tipo de Vehículo	Chupaca-Ronchas	Ronchas-Chupaca	Ambos	%
Auto	8	9	17	4%
Camioneta	164	155	319	70%
C.R.	18	15	33	7%
Micro	3	2	5	1%
Ómnibus 2	6	3	9	2%
Ómnibus +2				
Camión 2 Ejes	20	16	36	8%
Camión 3 Ejes	3	2	5	1%
Camión 4 Ejes				
Semitraylers	9	21	30	7%
Traylers				
TOTAL	231	223	454	100%
% sentido	51%	49%	100%	

Fuente: Estudio de tráfico 2008

Los gráficos y tablas incluidas a continuación, contienen el resumen por grandes tipos de vehículos, la curva de variación horaria por sentido de circulación y el porcentaje de participación de cada gran grupo de vehículos en el IMDa, para cada punto de control vehicular y el resumen del volumen diario clasificado, por sentido de circulación, por cada Estación de Control.

RESUMEN CLASIFICADO POR GRANDES GRUPOS DE VEHICULOS DEL IMDA POR ESTACION DE CONTROL (veh/día)

Tramo	Cañete-Lunahuana	Lunahuana-Pacaran	Pacaran-Zuñiga	Zuñiga-Dv. Yauyos-San Jose de Quero	San Jose de Quero-Ronchas	Ronchas-Chupaca	Chichicay-Pueblo Nuevo	Pueblo Nuevo-San Juan	Chichicay-Capilluca
Tipo Vehículo	E1	E 2	E 3	E 4	E5	E6	E7	E 8	E 7A
VL (Auto+SW+Camioneta)	707	210	223	21	217	336	292	200	60
Camta Rural+Micro	220	132	122	4	42	38	129	122	26
Ómnibus	11	10	8	8	8	9	14	16	14
Camión Unitario (2,3,4 Ejes)	53	49	46	20	44	41	48	57	34
Camión Acoplado	19	16	19	0	36	30	86	66	98
IMDa (Veh/día)	1010	417	418	53	347	454	569	461	232

Fuente: Estudio de tráfico 2008

RESUMEN DEL PORCENTAJE DESAGREGADO DEL IMDA POR ESTACION DE CONTROL (veh/día)

Tramo	Cañete-Lunahuana	Lunahuana-Pacaran	Pacaran-Zuñiga	Zuñiga-Dv. Yauyos-San Jose de Quero	San Jose de Quero-Ronchas	Ronchas-Chupaca	Chichicay-Pueblo Nuevo	Pueblo Nuevo-San Juan	Chichicay-Capilluca
Tipo Vehículo	E1	E 2	E 3	E 4	E5	E6	E7	E 8	E 7A
VL (Auto+SW+Camioneta)	70%	50%	53%	40%	63%	74%	51%	43%	26%
Camta Rural+Micro	22%	32%	29%	8%	12%	8%	23%	26%	11%
Ómnibus	1%	2%	2%	15%	2%	2%	2%	3%	6%
Camión Unitario (2,3,4 Ejes)	5%	12%	11%	38%	13%	9%	8%	12%	15%
Camión Acoplado	2%	4%	5%	0%	10%	7%	15%	14%	42%

Fuente: Estudio de tráfico 2008

RESUMEN DEL VOLUMEN VEHICULAR ESTACION E 1 TRAMO "IMPERIAL-LUNAHUANA" – RN 22

Dia	Sentido	Auto	Station Wagon	Camta pick up	Camta Rural	Micro	Omnib 2 Ejes	Omnib +2 Ejes	Camion 2 Ejes	Camion 3 Ejes	Camion 4 Ejes	Semitrayer				Trayler				C 7 Ejes	TOTAL	%	
												2S1/2 S2	2S3	3S1/3S2	3S3	2T2	2T3	3T2	3T3				
Lunes	Cañete-Lunahuana	70	119	65	133	8	6	0	26	3	2	0	1	2	5	0	0	0	0	0	0	440	50.5%
	Lunahuana-Cañete	67	150	49	125	8	4	0	24	3	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	432	49.6%
	Ambos	137	269	114	258	16	10	0	50	6	2	0	1	3	5	0	0	0	0	0	0	871	100.1%
Martes	Cañete-Lunahuana	66	94	65	87	0	5	0	27	5	0	1	6	0	5	0	0	0	0	0	0	361	49.8%
	Lunahuana-Cañete	54	103	58	101	5	4	0	23	1	0	1	3	0	10	0	0	1	0	0	0	364	50.2%
	Ambos	120	197	123	188	5	9	0	50	6	0	2	9	0	15	0	0	1	0	0	0	725	100.0%
Miercoles	Cañete-Lunahuana	79	88	85	80	7	12	1	34	5	0	1	6	2	9	0	0	0	0	0	0	409	53.1%
	Lunahuana-Cañete	50	94	74	89	1	6	0	31	5	1	2	3	1	5	0	0	0	0	0	0	362	47.0%
	Ambos	129	182	159	169	8	18	1	65	10	1	2	9	3	14	0	0	0	0	0	0	770	100.1%
Jueves	Cañete-Lunahuana	701	252	103	111	11	3	0	28	2	0	1	2	0	9	0	0	0	0	0	0	1223	59.1%
	Lunahuana-Cañete	364	210	105	119	4	4	0	22	5	1	2	0	1	2	0	0	0	0	0	0	839	40.6%
	Ambos	1065	462	208	230	15	7	0	50	7	8	3	2	1	11	0	0	0	0	0	0	2069	99.7%
Viernes	Cañete-Lunahuana	58	97	80	99	3	9	0	34	8	0	2	6	0	5	0	0	0	0	0	0	401	47.6%
	Lunahuana-Cañete	59	106	96	99	6	8	1	46	9	0	1	2	2	7	0	0	0	0	0	0	442	52.4%
	Ambos	117	203	176	198	9	17	1	80	17	0	3	8	2	12	0	0	0	0	0	0	843	100.0%
Sabado	Cañete-Lunahuana	154	127	70	105	9	9	0	33	6	0	1	3	4	6	0	0	0	0	0	0	527	57.3%
	Lunahuana-Cañete	78	111	65	84	4	4	0	24	5	0	2	3	4	9	0	0	0	0	0	0	393	42.7%
	Ambos	232	238	135	189	13	13	0	57	11	0	3	6	8	15	0	0	0	0	0	0	920	100.0%
Domingo	Cañete-Lunahuana	113	133	46	113	15	9	0	17	4	0	0	1	0	6	0	0	0	0	0	0	457	43.7%
	Lunahuana-Cañete	202	145	62	122	16	11	0	19	3	0	0	2	0	6	0	0	0	0	0	0	588	56.3%
	Ambos	315	278	108	235	31	20	0	36	7	0	0	3	0	12	0	0	0	0	0	0	1045	100.0%

Fuente: Elaboracion Propia

VOLUMEN Y CLASIFICACION VEHICULAR - IMD (Veh/ia)

IMD	Sentido	Auto	Station Wagon	Camta pick up	Camta Rural	Micro	Omnib 2 Ejes	Omnib +2 Ejes	Camion 2 Ejes	Camion 3 Ejes	Camion 4 Ejes	Semitrayer				Trayler				C 7 Ejes	TOTAL	%	
												2S1/2 S2	2S3	3S1/3S2	3S3	2T2	2T3	3T2	3T3				
IMD	Cañete-Lunahuana	177	130	73	104	6	6	0	23	4	0	1	3	1	5	0	0	0	0	0	0	533	53%
	Lunahuana-Cañete	124	131	72	105	5	5	0	22	4	0	1	2	1	5	0	0	0	0	0	0	477	47%
	Ambos	301	261	145	209	11	11	0	45	8	0	2	5	2	10	0	0	0	0	0	0	1010	100%

Fuente: Estudio de trafico del 2008.

RESUMEN DEL VOLUMEN VEHICULAR ESTACION E2 - LUNAHUANA-PACARAN - RN 22

Dia	Sentido	Auto	Station Wagon	Camta pick up	Camta Rural	Micro	Omnib 2 Ejes	Omnib +2 Ejes	Camion 2 Ejes	Camion 3 Ejes	Camion 4 Ejes	Semitrayler				Trayler				C 7 Ejes	TOTAL	%	
												2S1/2 S2	2S3	3S1/3S2	3S3	2T2	2T3	3T2	3T3				
Lunes	Lunahuana-Pacaran	9	31	52	65	12	8	1	21	1	0	1	9	1	5	0	0	0	0	0	0	216	49.7%
	Pacaran-Lunahuana	6	52	55	62	16	5	0	14	3	0	1	4	0	1	0	0	0	0	0	0	219	50.3%
	Ambos	15	83	107	127	28	13	1	35	4	0	2	13	1	6	0	0	0	0	0	0	435	100.0%
Martes	Lunahuana-Pacaran	11	25	69	46	3	5	0	27	6	0	0	4	0	3	0	0	0	0	0	0	199	52.8%
	Pacaran-Lunahuana	6	28	53	49	5	5	0	21	2	0	0	2	2	5	0	0	0	0	0	0	178	47.2%
	Ambos	17	53	122	95	8	10	0	48	8	0	0	6	2	8	0	0	0	0	0	0	377	100.0%
Miercoles	Lunahuana-Pacaran	8	19	85	49	10	7	0	30	2	1	0	8	4	7	0	0	1	0	0	0	231	50.7%
	Pacaran-Lunahuana	6	35	78	48	10	9	0	27	2	0	0	6	1	2	0	0	1	0	0	0	225	49.3%
	Ambos	14	54	163	97	20	16	0	57	4	1	0	14	5	9	0	0	2	0	0	0	456	100.0%
Jueves	Lunahuana-Pacaran	6	25	56	53	5	8	0	18	8	0	0	6	1	2	0	0	0	0	0	0	188	47.4%
	Pacaran-Lunahuana	4	28	58	44	9	7	0	36	5	0	0	5	5	8	0	0	0	0	0	0	209	52.6%
	Ambos	10	53	114	97	14	15	0	54	13	0	0	11	6	10	0	0	0	0	0	0	397	100.0%
Viernes	Lunahuana-Pacaran	8	28	58	66	0	5	0	34	3	0	0	3	2	5	0	0	0	0	0	0	212	45.7%
	Pacaran-Lunahuana	5	30	76	65	11	7	0	42	3	0	1	3	2	7	0	0	0	0	0	0	252	54.3%
	Ambos	13	58	134	131	11	12	0	76	6	0	1	6	4	12	0	0	0	0	0	0	464	100.0%
Sabado	Lunahuana-Pacaran	17	24	78	76	6	9	0	30	3	0	0	2	2	4	0	0	0	0	0	0	251	55.0%
	Pacaran-Lunahuana	6	22	66	68	3	5	0	27	3	0	1	1	1	2	0	0	0	0	0	0	205	45.0%
	Ambos	23	46	144	144	9	14	0	57	6	0	1	3	3	6	0	0	0	0	0	0	456	100.0%
Domingo	Lunahuana-Pacaran	23	35	68	80	11	5	0	29	3	0	0	2	0	8	0	0	0	0	0	0	264	52.6%
	Pacaran-Lunahuana	28	23	74	72	6	8	0	19	2	0	0	2	0	4	0	0	0	0	0	0	238	47.4%
	Ambos	51	58	142	152	17	13	0	48	5	0	0	4	0	12	0	0	0	0	0	0	502	100.0%

Fuente: Elaboracion Propia

VOLUMEN Y CLASIFICACION VEHICULAR - IMD (Veh/a)

IMD	Sentido	Auto	Station Wagon	Camta pick up	Camta Rural	Micro	Omnib 2 Ejes	Omnib +2 Ejes	Camion 2 Ejes	Camion 3 Ejes	Camion 4 Ejes	Semitrayler				Trayler				C 7 Ejes	TOTAL	%	
												2S1/2 S2	2S3	3S1/3S2	3S3	2T2	2T3	3T2	3T3				
IMD	Lunahuana-Pacaran	12	27	66	62	5	5	0	22	3	0	0	4	1	4	0	0	0	0	0	0	211	51%
	Pacaran-Lunahuana	9	31	65	58	7	5	0	22	2	0	0	3	1	3	0	0	0	0	0	0	206	49%
	Ambos	21	58	131	120	12	10	0	44	5	0	0	7	2	7	0	0	0	0	0	0	417	100%

Fuente: Estudio de trafico del 2008.

RESUMEN DEL VOLUMEN VEHICULAR ESTACION E3 - "PACARAN-ZUÑIGA" - RN 22

Dia	Sentido	Auto	Station Wagon	Camta pick up	Camta Rural	Micro	Omnib 2 Ejes	Omnib +2 Ejes	Camion 2 Ejes	Camion 3 Ejes	Camion 4 Ejes	Semitrailer				Trayler				C 7 Ejes	TOTAL	%	
												2S1/2 S2	2S3	3S1/3S2	3S3	2T2	2T3	3T2	3T3				
Viernes	Pacaran-Zuñiga	105	47	58	64	10	3	0	25	4	6	0	3	0	5	0	0	0	0	0	0	330	50.2%
	Zuñiga-Pacaran	65	49	61	78	9	6	2	35	5	6	0	3	2	6	0	0	0	0	0	0	327	49.8%
	Ambos	170	96	119	142	19	9	2	60	9	12	0	6	2	11	0	0	0	0	0	0	657	100.0%
Sabado	Pacaran-Zuñiga	58	30	56	60	11	9	1	31	6	0	0	3	1	6	0	0	0	0	0	0	272	47.7%
	Zuñiga-Pacaran	102	33	60	57	7	3	0	23	5	0	1	0	0	7	0	0	0	0	0	0	298	52.3%
	Ambos	160	63	116	117	18	12	1	54	11	0	1	3	1	13	0	0	0	0	0	0	570	100.0%
Domingo	Pacaran-Zuñiga	22	25	22	67	10	6	1	11	5	0	0	1	1	4	0	0	0	0	0	0	175	39.1%
	Zuñiga-Pacaran	76	32	48	67	14	11	0	11	4	0	0	3	1	5	0	0	0	0	0	0	272	60.9%
	Ambos	98	57	70	134	24	17	1	22	9	0	0	4	2	9	0	0	0	0	0	0	447	100.0%
Lunes	Pacaran-Zuñiga	7	18	47	67	14	3	1	15	4	0	1	2	1	8	0	0	0	0	0	0	188	53.3%
	Zuñiga-Pacaran	6	17	31	61	12	4	1	19	4	0	0	3	1	6	0	0	0	0	0	0	165	46.7%
	Ambos	13	35	78	128	26	7	2	34	8	0	1	5	2	14	0	0	0	0	0	0	353	100.0%
Martes	Pacaran-Zuñiga	17	15	55	42	6	4	0	19	5	0	0	4	2	7	0	0	0	0	0	0	176	51.5%
	Zuñiga-Pacaran	11	14	56	39	10	3	0	16	4	0	2	2	1	8	0	0	0	0	0	0	166	48.5%
	Ambos	28	29	111	81	16	7	0	35	9	0	2	6	3	15	0	0	0	0	0	0	342	100.0%
Miercoles	Pacaran-Zuñiga	19	23	48	30	16	4	0	25	4	0	0	7	0	10	0	0	0	0	0	0	186	54.7%
	Zuñiga-Pacaran	12	21	37	32	9	2	0	25	3	0	0	4	2	7	0	0	0	0	0	0	154	45.3%
	Ambos	31	44	85	62	25	6	0	50	7	0	0	11	2	17	0	0	0	0	0	0	340	100.0%
Jueves	Pacaran-Zuñiga	15	16	48	35	8	3	0	25	6	0	1	0	1	9	0	0	0	0	0	0	167	47.0%
	Zuñiga-Pacaran	19	14	47	36	12	4	0	25	8	0	2	4	1	16	0	0	0	0	0	0	188	53.0%
	Ambos	34	30	95	71	20	7	0	50	14	0	3	4	2	25	0	0	0	0	0	0	355	100.0%

Fuente: Elaboracion Propia

VOLUMEN Y CLASIFICACION VEHICULAR - IMD (Veh/la)

IMD	Sentido	Auto	Station Wagon	Camta pick up	Camta Rural	Micro	Omnib 2 Ejes	Omnib +2 Ejes	Camion 2 Ejes	Camion 3 Ejes	Camion 4 Ejes	Semitrailer				Trayler				C 7 Ejes	TOTAL	%	
												2S1/2 S2	2S3	3S1/3S2	3S3	2T2	2T3	3T2	3T3				
IMD	Pacaran-Zuñiga	35	25	48	52	9	4	0	18	4	1	0	2	1	6	0	0	0	0	0	0	205	49%
	Zuñiga-Pacaran	41	26	48	53	8	4	0	18	4	1	1	2	1	6	0	0	0	0	0	0	213	51%
	Ambos	76	51	96	105	17	8	0	36	8	2	1	4	2	12	0	0	0	0	0	0	418	100%

Fuente: Estudio de trafico del 2008.

RESUMEN DEL VOLUMEN VEHICULAR ESTACION E4 - ZUÑIGA-DV. YAUYOS-SAN JOSE DE QUERO" -
RN 22

Dia	Sentido	Auto	Station Wagon	Camta pick up	Camta Rural	Micro	Omnib 2 Ejes	Omnib +2 Ejes	Camion 2 Ejes	Camion 3 Ejes	Camion 4 Ejes	Semitrayer				Trayler				C 7 Ejes	TOTAL	%	
												2S1/2 S2	2S3	3S1/3S2	3S3	2T2	2T3	3T2	3T3				
Miercoles	Zuñiga-Dv. Yauyos-Colpa	0	0	14	2	0	3	0	2	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	29	50.9%
	Colpa-Dv. Yauyos-Zuñiga	2	2	8	3	0	4	0	6	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	28	49.1%
	Ambos	2	2	22	5	0	7	0	8	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	57	100.0%
Jueves	Zuñiga-Dv. Yauyos-Colpa	2	0	10	1	1	4	0	5	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	29	35.4%
	Colpa-Dv. Yauyos-Zuñiga	1	1	18	6	1	4	0	14	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	53	64.6%
	Ambos	3	1	28	7	2	8	0	19	14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	82	100.0%
Viernes	Zuñiga-Dv. Yauyos-Colpa	0	0	10	0	0	4	0	6	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	26	49.1%
	Colpa-Dv. Yauyos-Zuñiga	1	0	16	1	0	4	0	4	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	27	50.9%
	Ambos	1	0	26	1	0	8	0	10	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	53	100.0%
Sabado	Zuñiga-Dv. Yauyos-Colpa	0	2	5	5	0	4	0	4	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	28	53.8%
	Colpa-Dv. Yauyos-Zuñiga	1	0	4	1	0	3	0	5	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	19	36.5%
	Ambos	1	2	9	6	0	7	0	9	13	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	52	90.4%
Domingo	Zuñiga-Dv. Yauyos-Colpa	1	1	5	1	0	6	0	6	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	25	53.2%
	Colpa-Dv. Yauyos-Zuñiga	2	2	3	3	0	5	0	2	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	22	46.8%
	Ambos	3	3	8	4	0	11	0	8	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	47	100.0%
Lunes	Zuñiga-Dv. Yauyos-Colpa	0	0	7	2	0	3	0	3	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	22	59.5%
	Colpa-Dv. Yauyos-Zuñiga	1	0	3	0	0	3	0	3	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15	40.5%
	Ambos	1	0	10	2	0	6	0	6	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	37	100.0%
Martes	Zuñiga-Dv. Yauyos-Colpa	0	1	8	1	0	5	0	4	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	27	57.4%
	Colpa-Dv. Yauyos-Zuñiga	0	1	8	0	0	3	0	3	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	42.6%
	Ambos	0	2	16	1	0	8	0	7	13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	47	100.0%

Fuente: Elaboracion Propia

VOLUMEN Y CLASIFICACION VEHICULAR - IMD (Veh/ia)

IMD	Sentido	Auto	Station Wagon	Camta pick up	Carrita Rural	Micro	Omnib 2 Ejes	Omnib +2 Ejes	Camion 2 Ejes	Camion 3 Ejes	Camion 4 Ejes	Semitrayer				Trayler				C 7 Ejes	TOTAL	%	
												2S1/2 S2	2S3	3S1/3S2	3S3	2T2	2T3	3T2	3T3				
IMD	Zuñiga-Dv. Yauyos-Colpa	0	1	9	2	0	4	0	4	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	27	51%
	Colpa-Dv. Yauyos-Zuñiga	1	1	9	2	0	4	0	5	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	26	49%
	Ambos	1	2	18	4	0	8	0	9	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	53	100%

Fuente: Estudio de trafico del 2008.

RESUMEN DEL VOLUMEN VEHICULAR ESTACION E5 - "SAN JOSE DE QUERO-RONCHAS" - RN 22

Día	Sentido	Auto	Station Wagon	Camta pick up	Camta Rural	Micro	Omnib 2 Ejes	Omnib +2 Ejes	Camion 2 Ejes	Camion 3 Ejes	Camion 4 Ejes	Semitrayer				Trayer				C 7 Ejes	TOTAL	%
												2S1/2 S2	2S3	3S1/3S2	3S3	2T2	2T3	3T2	3T3			
Martes	Dv. Yauyos-Roncha	5	79	15	14	2	0	0	18	4	0	0	9	1	21	0	0	0	0	0	168	48.7%
	Roncha-Dv. Yauyos	4	96	24	15	0	0	0	18	4	1	1	5	2	7	0	0	0	0	0	177	51.3%
	Ambos	9	175	39	29	2	0	0	36	8	1	1	14	3	28	0	0	0	0	0	345	100.0%
Miercoles	Dv. Yauyos-Roncha	5	69	17	12	1	1	0	16	2	0	3	7	1	23	0	0	0	0	0	157	53.0%
	Roncha-Dv. Yauyos	4	70	16	11	1	0	0	21	4	0	2	1	0	9	0	0	0	0	0	139	47.0%
	Ambos	9	139	33	23	2	1	0	37	6	0	5	8	1	32	0	0	0	0	0	296	100.0%
Jueves	Dv. Yauyos-Roncha	3	67	17	12	1	1	0	20	4	0	0	5	0	23	0	0	0	0	0	153	50.5%
	Roncha-Dv. Yauyos	3	75	12	14	2	3	0	19	5	1	0	6	0	10	0	0	0	0	0	150	49.5%
	Ambos	6	142	29	26	3	4	0	39	9	1	0	11	0	33	0	0	0	0	0	303	100.0%
Viernes	Dv. Yauyos-Roncha	2	117	25	33	11	5	0	42	1	0	0	6	0	11	0	0	0	0	0	253	51.0%
	Roncha-Dv. Yauyos	6	112	22	33	7	7	0	33	2	0	0	2	0	7	0	0	0	0	0	231	46.6%
	Ambos	8	229	47	66	18	12	0	75	3	12	0	8	0	18	0	0	0	0	0	496	97.6%
Sabado	Dv. Yauyos-Roncha	11	96	14	25	2	14	0	18	7	0	0	6	0	21	0	0	0	0	0	214	55.7%
	Roncha-Dv. Yauyos	5	83	10	21	3	16	0	18	6	0	1	0	0	7	0	0	0	0	0	170	44.3%
	Ambos	16	179	24	46	5	30	0	36	13	0	1	6	0	28	0	0	0	0	0	384	100.0%
Domingo	Dv. Yauyos-Roncha	3	81	11	18	1	5	1	8	1	0	0	3	1	19	0	0	0	0	0	152	57.8%
	Roncha-Dv. Yauyos	1	71	5	16	3	0	0	7	1	0	0	1	0	6	0	0	0	0	0	111	42.2%
	Ambos	4	152	16	34	4	5	1	15	2	0	0	4	1	25	0	0	0	0	0	263	100.0%
Lunes	Dv. Yauyos-Roncha	3	90	13	14	1	5	0	13	1	0	0	6	0	20	0	0	0	0	0	166	53.4%
	Roncha-Dv. Yauyos	3	84	6	10	2	2	0	18	6	0	1	3	3	7	0	0	0	0	0	145	46.6%
	Ambos	6	174	19	24	3	7	0	31	7	0	1	9	3	27	0	0	0	0	0	311	100.0%

Fuente: Elaboracion Propia

VOLUMEN Y CLASIFICACION VEHICULAR - IMD (Veh/la)

IMD	Sentido	Auto	Station Wagon	Camta pick up	Camta Rural	Micro	Omnib 2 Ejes	Omnib +2 Ejes	Camion 2 Ejes	Camion 3 Ejes	Camion 4 Ejes	Semitrayer				Trayer				C 7 Ejes	TOTAL	%
												2S1/2 S2	2S3	3S1/3S2	3S3	2T2	2T3	3T2	3T3			
IMD	Dv. Yauyos-Roncha	5	89	17	19	3	4	0	19	3	0	0	6	0	19	0	0	0	0	0	184	53%
	Roncha-Dv. Yauyos	4	88	14	18	2	4	0	18	4	0	1	2	1	7	0	0	0	0	0	163	47%
	Ambos	9	177	31	37	5	8	0	37	7	0	1	8	1	26	0	0	0	0	0	347	100%

Fuente: Estudio de trafico del 2008.

RESUMEN DEL VOLUMEN VEHICULAR ESTACION EG - RONCHAS-CHUPACA - RN 22

Dia	Sentido	Auto	Station Wagon	Camta pick up	Camta Rural	Micro	Omnib 2 Ejes	Omnib +2 Ejes	Camlon 2 Ejes	Camlon 3 Ejes	Camlon 4 Ejes	Semitrayer			Trayler				C 7 Ejes	TOTAL	%
												2S1/2 S2	2S3	3S1/3S2	3S3	2T2	2T3	3T2			
Jueves	Chupaca-Ronchas	5	106	19	14	4	5		21	4				7						185	51.0%
	Ronchas-Chupaca	5	110	13	11	2	2		16	2	1		4		12					178	49.0%
	Ambos	10	216	32	25	6	7		37	6	1		4		19					363	100.0%
Viernes	Chupaca-Ronchas	5	131	16	23	5	7		31	3	1		2	2	10					236	50.0%
	Ronchas-Chupaca	7	133	16	17	4	6		19	1		1	6	2	26					238	50.4%
	Ambos	10	264	32	40	9	13		50	4	1	1	8	4	36					472	100.4%
Sabado	Chupaca-Ronchas	13	211	10	29	3	16		23					1	8					314	52.5%
	Ronchas-Chupaca	11	189	9	23	3	9		22	2	1		1	2	12					284	47.5%
	Ambos	24	400	19	52	6	25		45	2	1		1	3	20					598	100.0%
Domingo	Chupaca-Ronchas	13	152	6	16	1	1		6	1		1	3		5					205	49.0%
	Ronchas-Chupaca	17	147	3	13	1	5		11	4			4	1	7					213	51.0%
	Ambos	30	299	9	29	2	6		17	5		1	7	1	12					418	100.0%
Lunes	Chupaca-Ronchas	9	138	14	9	3	5		16	2			3	1	11					211	52.0%
	Ronchas-Chupaca	8	133	8	14				13	3			2		14					195	48.0%
	Ambos	17	271	22	23	3	5		29	5			5	1	25					406	100.0%
Martes	Chupaca-Ronchas	2	121	17	13	2	7		25	7			2		7					203	49.2%
	Ronchas-Chupaca	6	119	19	13	2	1		22	2		2	4	1	19					210	50.8%
	Ambos	8	240	36	26	4	8		47	9		2	6	1	26					413	100.0%
Miercoles	Chupaca-Ronchas	9	148	15	19	1	3		25	2					6					228	52.5%
	Ronchas-Chupaca	7	126	11	12		2		16	3			5	1	23					206	47.5%
	Ambos	16	274	26	31	1	5		41	5			5	1	29					434	100.0%

Fuente: Elaboracion Propia

VOLUMEN Y CLASIFICACION VEHICULAR - IMD (Veh/la)

IMD	Sentido	Auto	Station Wagon	Camta pick up	Camta Rural	Micro	Omnib 2 Ejes	Omnib +2 Ejes	Camlon 2 Ejes	Camlon 3 Ejes	Camlon 4 Ejes	Semitrayer			Trayler				C 7 Ejes	TOTAL	%
												2S1/2 S2	2S3	3S1/3S2	3S3	2T2	2T3	3T2			
IMD	Chupaca-Ronchas	8	150	14	18	3	6		20	3			1	1	7					231	51%
	Ronchas-Chupaca	9	143	12	15	2	3		16	2			4	1	16					223	49%
	Ambos	17	293	26	33	5	9		36	5			5	2	23					454	100%

Fuente: Estudio de trafico del 2008.

ANEXO 2

Índice de crecimiento de PBI e Ingreso Percápita

Índice de crecimiento de PBI e Ingreso Percápita

El MTC ha calculado el índice de crecimiento del PBI bajo un escenario optimista y pesimista para cada año durante el periodo 2009 - 2013. Los resultados utilizados son los del escenario optimista cuyos valores se muestran en la tabla inferior:

PBI - Escenario Optimista

Año	Tasa de crecimiento	
	Junín	Lima
2009	4.4	4.2
2010	4.3	4.2
2011	4.1	4.3
2012	4.4	4.1
2013	4.2	4.2

Fuente: Estudio estadístico publicado por el MTC

Promedio: 4.2%

El MTC también publicó valores de crecimiento del Índice Percápita para el periodo 2009 al 2013, estos valores son mostrados en el cuadro inferior:

Ingreso percapita

Año	Tasa de crecimiento	
	Junín	Lima
2009	1.1	1.7
2010	1.1	1.7
2011	1.1	1.7
2012	1.1	1.7
2013	1.1	1.7

Fuente: Estudio estadístico publicado por el MTC

Promedio: 1.40%

ANEXO 3

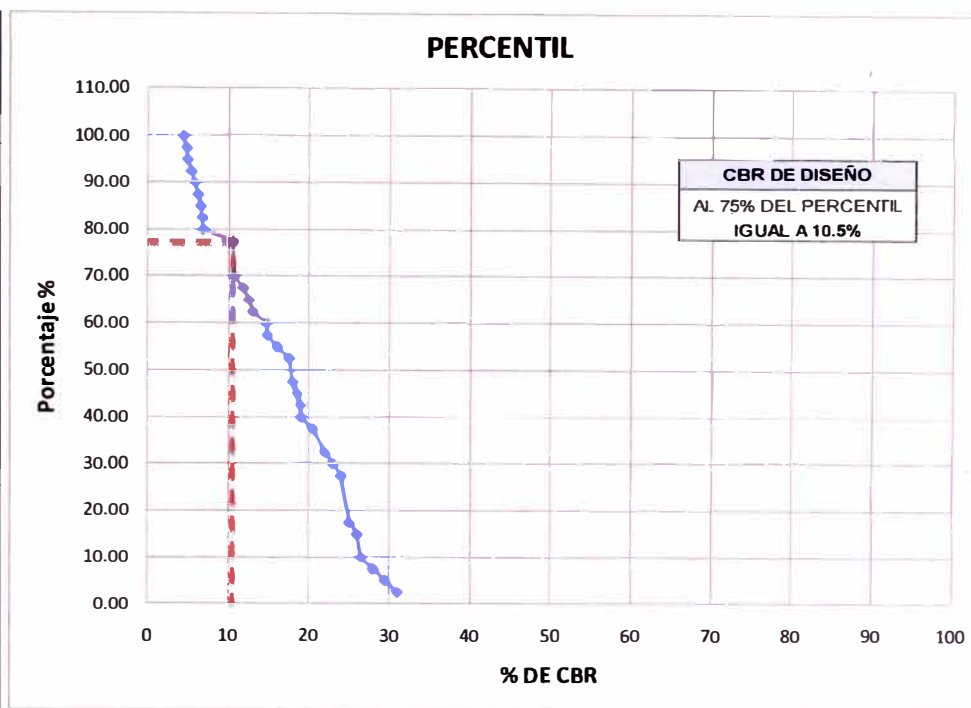
Datos de CBR correspondientes al Informe final del Estudio de Pre inversión de la carretera

Cañete – Huancayo

Datos de CBR – carretera Cañete - Huancayo

Los presentes datos fueron extraídos del anexo de Estudios de suelo y pavimentos del Informe final del Estudio de Pre inversión a Nivel de factibilidad del Proyecto Mejoramiento y Rehabilitación de la carretera Cañete- Huancayo.

DATOS	
PROGRESIVA	CBR
43+500	10.70
44+000	14.80
46+480	22.00
47+505	24.00
49+150	24.00
49+500	16.00
50+020	19.00
52+000	31.00
53+500	18.90
53+980	18.50
54+500	20.50
55+000	17.50
59+500	11.80
61+000	13.00
64+500	26.50
73+000	6.70
74+020	5.40
76+000	23.00
79+500	20.50
82+580	24.00
84+500	26.00
87+200	14.70
105+495	28.00
107+080	17.50
116+350	10.50
117+280	18.00
124+170	24.00
132+625	26.00
139+845	4.90
142+400	29.50
160+800	6.80
165+200	6.20
166+290	4.80
175+280	10.50
191+100	10.50
216+500	6.50
221+500	4.40
231+920	12.50
235+580	5.80
258+300	25.00
N	40.00



CBR	NÚMEROS IGUALES O MAYORES QUE	PORCENTAJE IGUAL O MAYOR QUE	CBR	NÚMEROS IGUALES O MAYORES QUE	PORCENTAJE IGUAL O MAYOR QUE
4.4	40	100.00	18.5	18	45.00
4.8	39	97.50	18.9	17	42.50
4.9	38	95.00	19	16	40.00
5.4	37	92.50	20.5	15	37.50
5.8	36	90.00	20.5	15	37.50
6.2	35	87.50	22	13	32.50
6.5	34	85.00	23	12	30.00
6.7	33	82.50	24	11	27.50
6.8	32	80.00	24	11	27.50
10.5	31	77.50	24	11	27.50
10.5	31	77.50	24	11	27.50
10.5	31	77.50	24	11	27.50
10.7	28	70.00	25	7	17.50
11.8	27	67.50	26	6	15.00
12.5	26	65.00	26	6	15.00
13	25	62.50	26.5	4	10.00
14.7	24	60.00	28	3	7.50
14.8	23	57.50	29.5	2	5.00
16	22	55.00	31	1	2.50
17.5	21	52.50			
17.5	21	52.50			
18	19	47.50			

Fuente: Informe final del Estudio de Pre inversión a Nivel de factibilidad del Proyecto Mejoramiento y Rehabilitación.

ANEXO 4

Panel Fotográfico

Foto N° 12: Superficie de rodadura - Km 108+200



Fuente: Elaboración propia

Foto N° 13: Superficie de rodadura - Km 108+400



Fuente: Elaboración propia

Foto N° 14: Superficie de rodadura - Km 108+600



Fuente: Elaboración propia

Foto N° 15: Superficie de rodadura - Km 108+800



Fuente: Elaboración propia

Foto N° 16: Superficie de rodadura - Km 109+000



Fuente: Elaboración propia

Foto N° 17: Superficie de rodadura - Km 109+200



Fuente: Elaboración propia

Foto N° 18: Superficie de rodadura - Km 109+400



Fuente: Elaboración propia

Foto N° 19: Superficie de rodadura - Km 109+600



Fuente: Elaboración propia

Foto N° 20: Superficie de rodadura - Km 109+800



Fuente: Elaboración propia

Foto N° 21: Superficie de rodadura - Km 110+000



Fuente: Elaboración propia

ANEXO 5

Deflectómetros de Impacto en la evaluación estructural de pavimentos

Deflectómetros de Impacto en la evaluación estructural de pavimentos

La medición de las deflexiones se utiliza ampliamente para conocer la capacidad estructural de los pavimentos en campo, y dentro de la tecnología de pavimentos, particularmente en la evaluación estructural de los mismos existen diversas metodologías y equipos para tales propósitos.

La literatura especializada en pavimentos proporciona información acerca de la medición de deflexiones en pavimentos localizadas directamente en el punto de aplicación de la carga o alejadas de él, a partir de una carga estática conocida, de una vibratoria o de una por impulso. Las deflexiones se miden con transductores que determinan el movimiento vertical de la superficie de un pavimento ante un impacto. Actualmente, existen diversos procedimientos para la medición de deflexiones en pavimentos de concreto asfáltico, en concreto hidráulico, e incluso en una combinación de ellos. Los pavimentos rígidos pueden ser sin refuerzo, con juntas, con refuerzo en las juntas, o concretos reforzados de manera continua.

Los ensayos realizados mediante esta metodología, son por su naturaleza denominada no destructivo NDT (Non Destructive Test). Los ensayos no destructivos de deflexiones proporcionan información que se utiliza para la evaluación estructural de los pavimentos. Además, los resultados de dichas deflexiones pueden emplearse a su vez en las siguientes características de los pavimentos.

- a. Módulo de elasticidad de cada capa
- b. Rigidez combinada de los sistemas de pavimentos.
- c. Eficiencia en la transferencia de carga en las juntas de pavimentos de concreto hidráulico.
- d. Módulos de reacción de la subrasante
- e. Espesor efectivo, número estructural o valor de soporte del suelo

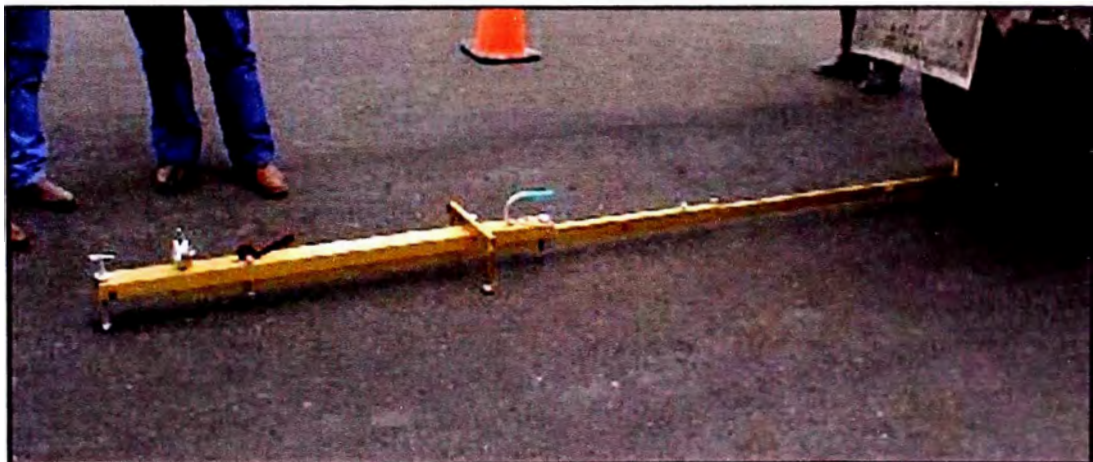
f. Capacidad de carga o capacidad de soporte del pavimento

Dichos parámetros pueden utilizarse en el análisis y diseño de la rehabilitación y reconstrucción de pavimentos rígidos y flexibles; valoración de la capacidad estructural, incluyendo la eficiencia de las juntas en pavimentos de concreto hidráulico; detección de oquedades en pavimentos de concreto hidráulico; y/o para fines de inventario estructural de la red.

Los equipos más comunes para determinar la capacidad estructural de los pavimentos son:

- a) Equipo discontinuo de medición Opera con el principio de brazo de palanca simple (por ejemplo, Foto N° 21, Viga Benkelman).

Foto N° 22: Equipo discontinuo para la determinación de deflexiones (Viga Benkelman)



- b) Equipo estático semicontinuo (Foto N° 22 y 23) actúa con el principio de doble brazo de palanca (por ejm, Deflectógrafo Lacroix).

Foto N° 23: Esquema del equipo semicontinuo para la determinación de deflexiones (deflectómetro Lacroix)

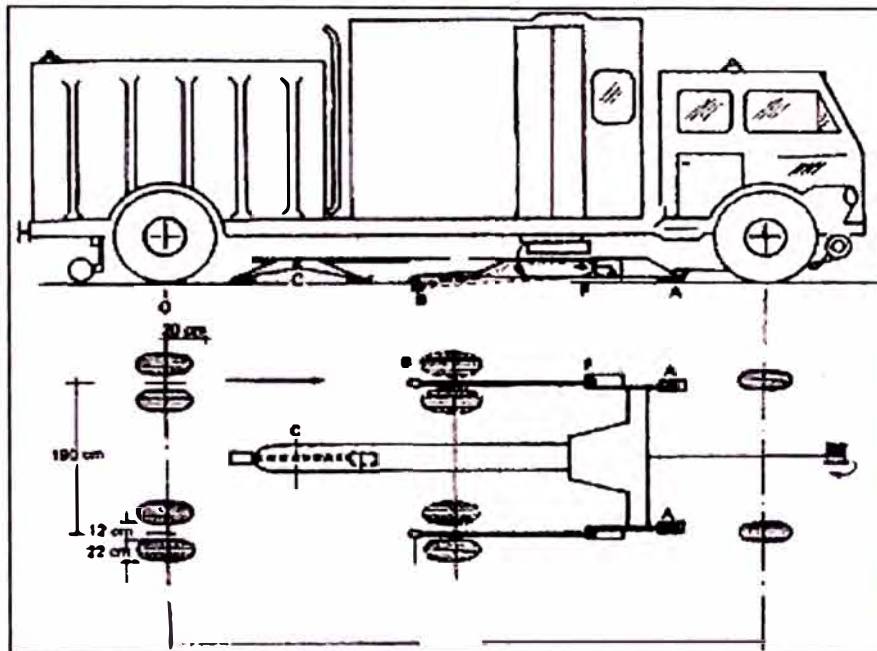


Foto N° 24: Equipo semicontinuo para la determinación de deflexiones (deflectómetro Lacroix)



- c) Equipo dinámico de aplicación de carga (Foto N°24 y 25). Utiliza un generador de fuerza dinámica, el cual puede ser una masa giratoria o un mecanismo actuador servo hidráulicamente controlado (por ejm. Dynaflect, Road Rater)

Foto N° 25: Equipo dinámico para la determinación de deflexiones (Dynalect)



Foto N° 26: Equipo dinámico para la determinación de deflexiones (Road Rater)



d) Equipo de impacto (Foto N° 26). Crea un impulso de carga sobre el pavimento, dejando caer una masa a partir de alturas variables sobre un sistema de resortes o caucho. Conocido generalmente como Fallig Weight Deflectómetro, FWD (por ejm. Dynatest, Kuab, Jils). En la presente investigación se realizará principalmente un análisis de los equipos de impacto por ser los de uso común en el medio.

Foto N° 27: Deflectómetro de impacto para la determinación de deflexiones (Kuab)



1.1 Características de los deflectómetros de impacto

El sistema de los equipos de impacto tiene que cumplir con los siguientes requerimientos:

1.1.1 Sistema de instrumentación

Durante su operación debe soportar temperaturas de entre -10 y 50 °C; tolerar humedad relativamente alta, lluvia o niebla; y otras condiciones adversas tales como polvo, golpes, o vibraciones que se pueden presentar normalmente en campo.

Los instrumentos no deben estar expuestos a los elementos (dentro del vehículo), y deben ser capaces de operar en un rango de temperaturas de entre 5 y 40 °C.

1.1.2 Dispositivo generador de impacto

El dispositivo generador de impacto debe ser del tipo de masa en caída libre con un sistema de guía. El dispositivo generador de impacto tiene que ser capaz de levantar una o varias masas predeterminadas, y soltarlas en caída libre. La onda generada por el impacto de la masa, y transmitida al pavimento. La onda debe tener aproximadamente la forma haversine y aplicarse con una amplitud de pico a pico de 50 kN. La duración del impulso de fuerza habrá de permanecer entre 20 y 60 ms, o un tiempo de incremento de la carga de 0 a 30 ms. Es importante que el sistema de guía presente una fricción despreciable y diseñada de tal manera que las masas caigan perpendiculares a la superficie del pavimento.

1.1.3 Placa de carga

La placa de carga debe ser capaz de distribuir uniformemente la carga sobre la superficie del pavimento. Los diámetros más comunes de las placas son de 300 y 450 mm de diámetro para realizar mediciones sobre autopistas y aeropistas, respectivamente. La placa será capaz de permitir mediciones de deflexión en los pavimentos, al centro de la placa.

1.1.4 Transductor de deflexión

Debe ser capaz de medir el desplazamiento vertical máximo, y estar montado de tal manera que minimice la rotación angular con respecto a su plano de medición en el movimiento máximo esperado. El número y espaciado de los sensores es opcional, y dependerá de los propósitos de la prueba y de las características de cada capa del pavimento. El espaciado adecuado entre sensores es de 300 mm. Los sensores pueden ser de varios tipos: transductores de desplazamiento, de velocidad, o de aceleración (acelerómetros).

1.1.5 Celda de carga

La celda tiene que ser colocada de tal manera que no restrinja la capacidad de obtener mediciones de deflexión, bajo el centro de la placa de carga. Además, debe ser resistente al agua y a los impactos en carretera durante el desarrollo del ensayo o transporte.

2 Uso de los deflectómetros de impacto

Antes de utilizar el deflectómetro de impacto es necesario realizar la calibración de los diferentes transductores que forman parte del equipo de medición. La calibración propiamente dicha de los transductores, consiste en una comparación de sus mediciones contra patrones nacionales o internacionales de la misma magnitud por definir.

Posteriormente, es importante verificar que la señal que emite el equipo y su sistema de registro cumpla con las siguientes especificaciones.

2.1 Especificaciones de la señal, y del sistema de registro

Las especificaciones de la señal, y del sistema de registro deben permitir una resolución tal que cumpla con requerimientos como:

El despliegado del medidor de carga y el almacenamiento deben tener una resolución de 200 N, o menos.

El despliegado de las mediciones de la deflexión y el almacenamiento habrán de manejar una resolución de $\pm 1 \mu\text{m}$, o menos.

Las mediciones de la carga y la deflexión requieren registrarse como se especifica en los párrafos anteriores, dentro de un periodo de tiempo o ventana de medición como mínimo de 60 ms, para una precisión de un tiempo de carga máxima y deflexión de $\pm 2 \%$, y la precisión de las deflexiones de $\pm 2 \mu\text{m}$.

8.3 Procedimiento para la determinación de deflexiones en sitio

- a. Coloque el dispositivo de prueba y la placa de carga sobre el punto que se desee probar. El lugar de prueba debe estar libre, en lo posible, de gravas, gravillas y escombros para asegurar que la placa quede apoyada completamente. Las superficies de grava o suelo tienen que estar lo más niveladas posible, y remover todo el material suelto para asegurar que la placa de carga haga contacto perfecto con la superficie del pavimento que se pretende evaluar.
- b. Mida la temperatura ambiente y la del pavimento. Si la prueba se desarrolla por un periodo largo de tiempo, tome temperaturas del pavimento cada hora para establecer una correlación directa entre la temperatura ambiente y la de la superficie del pavimento.
- c. Registre la siguiente información para cada pavimento evaluado: nombre del operador; fecha y hora; factores de calibración; inicio y fin de la estación o localización física del tramo evaluado; localización de cortes o terraplenes; ubicación de alcantarillas, puentes y otras características de control vertical; límites y extensión de los deterioros superficiales; condiciones ambientales, y descripción del tipo de pavimento.
- d. Inicie el programa de adquisición de datos, e introduzca la información que requiera la configuración del equipo de deflexión al momento del ensaye. La configuración del equipo se almacena en un archivo de salida, y constituye un insumo para el programa de análisis. Esta información, normalmente incluye el diámetro de la placa de carga, número y posición de los transductores de

deflexión y la orientación de los transductores de deflexión con respecto a la placa de carga. Seleccione el formato de archivo de datos adecuado; existen diferentes formatos.

- e. Baje la placa de carga y los transductores para asegurarse de que se encuentran en una superficie estable y firme.

- f. Levante el dispositivo generador de impacto a la altura deseada, y deje caer el peso. Registre la deflexión máxima de la superficie y la carga máxima. En caso de que ocurra una deformación permanente bajo la placa de carga, mueva el aparato, y reduzca el impacto aplicado hasta que la deformación permanente no sea significativa para el primer ensayo en campo.

- g. Ejecute como mínimo dos secuencias de carga (c), y compare los resultados. Si las diferencias son mayores del 3 % en cualquier transductor, registre la variabilidad en el reporte. Los ensayos adicionales se pueden hacer con la misma o diferente carga. Con la finalidad de determinar la no linealidad de un sistema de pavimento es factible desarrollar ensayos para diferentes niveles de carga. El analista puede utilizar cuencas promediadas si se presentan errores aleatorios de importancia.