

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



**EVALUACIÓN DEFLECTOMÉTRICA APLICANDO LA VIGA
BENKELMAN**

MONITOREO DE CONSERVACIÓN CARRETERA CAÑETE-HUANCAYO

Km. 100+000 AL Km. 102+000

INFORME DE SUFICIENCIA

Para optar el Título Profesional de:

INGENIERO CIVIL

DAVIES ROGERS CARRANZA CHAVEZ

Lima- Perú

2010

A ti mi Divino Dios pues me dirigiste por el mejor camino de mi vida, y me distes la salud y sabiduría para alcanzar todas mis metas.

A mis padres y familiares quienes siempre creyeron en mí y me dieron todo el apoyo que necesitaba.

Los quiero inmensamente.

ÍNDICE

RESUMEN	2
LISTA DE CUADROS	3
LISTA DE FIGURAS	5
LISTA DE SÍMBOLOS Y DE SIGLAS	6
INTRODUCCIÓN	7
CAPITULO I: RESUMEN DEL PERFIL	
1.1. ASPECTOS GENERALES.	8
1.2. IDENTIFICACIÓN.....	10
1.3. FORMULACIÓN Y EVALUACIÓN.....	13
CAPITULO II: EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO	
2.1. DESCRIPCIÓN DE LA EVALUACIÓN DEL PAVIMENTO.	22
2.2. EVALUACIÓN CON ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS.....	23
CAPITULO III: VIGA BENKELMAN	
3.1. CONCEPTO DE LA VIGA BENKELMAN.....	24
3.2. PRINCIPIOS DE OPERACIÓN.....	26
3.3. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA VIGA BENKELMAN.....	29
3.4. PROCEDIMIENTO PARA LA TOMA DE DEFLEXIONES.....	30
CAPITULO IV: ANÁLISIS DE DEFLEXIONES	
4.1 ANÁLISIS DE DEFLEXIONES DE UN PAVIMENTO.....	35
4.2 PROCESAMIENTO DE LOS VALORES DEFLECTOMETRICOS.	41
4.3 DEFLEXIONES ADMISIBLES O TOLERABLES.....	43
4.4 CÁLCULO DE LAS DEFLEXIONES ADMISIBLES..	45
4.5 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS.	55
4.6 PROGRAMACIÓN PARA LA TOMA DE MEDICIONES.....	66
CONCLUSIONES	69
RECOMENDACIONES	70
BIBLIOGRAFÍA	71
ANEXOS	

RESUMEN

El presente informe ha sido desarrollado con la finalidad de evaluar la estructura del pavimento de la obra Carretera Cañete - Huancayo del Km. 100+000 al Km.102+000 que forma parte del Programa de Desarrollo Vial "Proyecto Perú.

La evaluación del pavimento, se realizó mediante el método de las deflexiones utilizando la Viga Benkelman, que se usa frecuentemente en la rehabilitación de carreteras en nuestro país, por consiguiente el presente informe pretende ser un instrumento de utilidad cuando se aplique este método detallando los criterios a utilizar.

Se incluye en el presente informe, los datos de las deflexiones medidos en campo, así como la descripción de la Viga Benkelman, su funcionamiento el procedimiento para realizar las mediciones de las deformaciones de la estructura de dicho pavimento y para el análisis deflectométrico se utilizo el Método Empírico para establecer la capacidad estructural actual del pavimento en relación al tránsito que debe soportar la calzada.

En el estudio de transito, se recopiló información del IMD y se determino los parámetros para la proyección del trafico y los factores destructivos del pavimento máximos permitidos para calcular el Numero de Ejes Equivalente y las Deflexiones Admisibles o Tolerables para la comparación con las Deflexiones Características.

Se analizó cualitativamente las curvas de deflexiones de los puntos de estación medidas en campo, comparándolas con un patrón para la evaluación del pavimento y la subrasante.

Se realizó un programa de toma de mediciones deflectométricas realizadas en campo para la evaluación estructural del pavimento, en base a costos de los ensayos con la Viga Benkelman, determinándose los periodos de los ensayos en las estaciones lluviosas.

LISTA DE CUADROS

Cuadro Nro. 1.01: Unidad Formuladora y Ejecutora	9
Cuadro Nro. 1.02: IMD proyectado al 2010, tramo Zúñiga-Dv. Yauyos.....	14
Cuadro Nro. 1.03: Costo de mantenimiento situación sin proyecto Monocapa.....	15
Cuadro Nro. 1.04: Costo de Inversión y mantenimiento anual.	16
Cuadro Nro. 1.05: Costos Incrementales para el tramo considerando según alternativas (Moneda en US\$ a Precios Sociales).....	17
Cuadro Nro. 1.06: Valores Actuales Netos, TIR (%) y B/C.....	18
Cuadro Nro. 1.07: Acciones impactantes.....	19
Cuadro Nro. 1.08: Factores Ambientales Impactables	20
Cuadro Nro. 4.01: Coeficientes de Corrección.....	38
Cuadro Nro. 4.02: Uso de las medidas deflectométricas	40
Cuadro Nro. 4.03: Hoja de registro de deflexiones con la Viga Benkelman carril izquierdo	41
Cuadro Nro. 4.04: Deflexiones Corregidas Carril Izquierdo.....	42
Cuadro Nro. 4.05: Criterio para el cálculo de equivalencia de carga	45
Cuadro Nro. 4.06: Pesos y medidas máximas permitidas.....	46
Cuadro Nro. 4.07: Pesos y medidas máximas permitidas	47
Cuadro Nro. 4.08: Determinación de los factores de equivalencia de carga....	48
Cuadro Nro. 4.09: Volumen diario clasificado, estación (E4) Zúñiga - Dv. Yauyos (tráfico normal de larga distancia).....	50
Cuadro Nro. 4.10: Tasa de crecimiento anual de la población total por departamentos	50
Cuadro Nro. 4.11: Tasa de crecimiento de la población económicamente activa.....	51
Cuadro Nro. 4.12: Tasa de crecimiento del PBI.....	52
Cuadro Nro. 4.13: Tasas de crecimiento por cada tipo de vehículo	52
Cuadro Nro. 4.14: Proyección del IMD al 2010	53
Cuadro Nro. 4.15: Cálculo de N18 y Deflexión Admisible (Da)	54
Cuadro Nro. 4.16: Juicio de la capacidad estructural del pavimento.....	56
Cuadro Nro. 4.17: Resumen de valores de las deflexiones y radio de curvatura.....	57
Cuadro Nro. 4.18: Datos estadísticos de las deflexiones	60

Cuadro Nro. 4.19: Datos estadísticos de los radios de curvatura.....	60
Cuadro Nro. 4.20: Casos según el tipo de curvatura.....	62
Cuadro 4.21: Medición de deflexiones con la Viga Benkelman.....	63
Cuadro 4.22: Descripción de costos y rendimiento de los equipos.....	66
Cuadro Nro. 4.23: Costos totales de cada tipo de ensayo deflectométrico.....	67
Cuadro Nro. 4.24: Programación de los ensayos con la Viga Benkelman.....	68
Cuadro Nro. 4.25: Programación de los ensayos con el Deflectómetro de Impacto (Falling Weight Deflectometers, FWD).....	68

LISTA DE FIGURAS

Figura Nro. 1.01: Plano de Ubicación de la Zona.....	8
Figura Nro. 3.01: Viga Benkelman modificada	25
Figura Nro. 3.02: Esquema y principio de operación de la Viga Benkelman.....	27
Figura Nro. 3.03: Equipo Falling Weight Deflectometer (FWD).....	29
Figura Nro. 3.04: Posición inicial del ensayo dial marcando en cero.....	33
Figura Nro. 3.05: Procedimiento de mediciones deflectométricas.....	34
Figura Nro. 4.01: Ubicación de las estaciones de control región Lima.....	49
Figura Nro. 4.02: Deflectograma Carretera Cañete-Huancayo km 100+000 al km102+000.....	60
Figura Nro. 4.03: Grafico del Radio de curvatura vs Progresiva.....	61
Figura Nro. 4.04: Significado Cualitativo de los diferentes tipos de Curvas de Deflexiones.....	62
Figura Nro. 4.05: Curvas de Deflexiones Km 100+000 al Km 100+400.....	64
Figura Nro. 4.06: Curvas de Deflexiones Km 100+600 al Km 101+000.....	64
Figura Nro. 4.07: Curvas de Deflexiones Km 101+200 al Km 101+800.....	65

LISTA DE SÍMBOLOS Y SIGLAS

V:	Coefficiente de Variación Porcentual
COV:	Costo Operativo Vehicular
Dadm:	Deflexión Admisible
Dm:	Deflexión Media
Dc:	Deflexión Característica
σ :	Desviación Estándar
E.E:	Eje Equivalente
FWD:	Falling Weight Deflectometer
IMD:	Índice Medio Diario
IGN:	Instituto Geográfico Nacional
m.s.n.m.:	Metros Sobre el Nivel de Mar
MEF:	Ministerio de Economía y Finanzas
MTC:	Ministerio de Transportes y Comunicaciones
PEA:	Población Económicamente Activa
pulg:	Pulgada
PBI:	Producto Bruto Interno
Rc:	Radio Curvatura
TIR:	Tasa Interna de Retorno
ton:	Tonela de Peso
VAN:	Valor Actual Neto
VB:	Viga Benkelman

INTRODUCCIÓN

La carretera Cañete – Dv.Yauyos – Huancayo, forma parte del Programa de Desarrollo Vial “Proyecto Perú”, el cual, mediante Resolución Ministerial N° 223-2007-MTC-02, modificada por Resolución Ministerial N° 408-2007-MTC/02, se crea con 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.

Esta vía de comunicación es una alternativa a la Carretera Central que actualmente tiene un alto tránsito, debido a las características propias del clima y topografía en la vía se genera un congestiónamiento en la carretera.

El objetivo del desarrollo del tema, evaluar las mediciones deflectométricas realizadas en campo con la Viga Benkelman, para calcular la capacidad estructural del pavimento, ante los inicios de posibles fallas y prolongar la vida útil del pavimento, para así alcanzar un grado de transitabilidad.

El presente informe se ha dividido en cuatro capítulos.

En el primer capítulo se presenta un resumen del estudio de perfil realizado por el grupo, donde se detallan las tres alternativas propuestas y se selecciona la alternativa de mayor rentabilidad mediante los indicadores económicos VAN y TIR.

En el segundo capítulo se desarrollan los conceptos sobre la evaluación estructural del pavimento y la aplicación de ensayos no destructivos.

Al inicio del tercer capítulo se desarrollaron los conceptos del equipo “Viga Benkelman” así como su descripción y los principios de operación. En la última parte del capítulo se desarrollo el procedimiento de la toma de deflexiones, así como las ventajas y desventajas del equipo.

En el cuarto capítulo se desarrollaron los análisis de las deflexiones del pavimento utilizando el Método Empírico. En la última parte del capítulo se desarrollaron los cálculos de las deflexiones admisibles y se evaluó los resultados obtenidos.

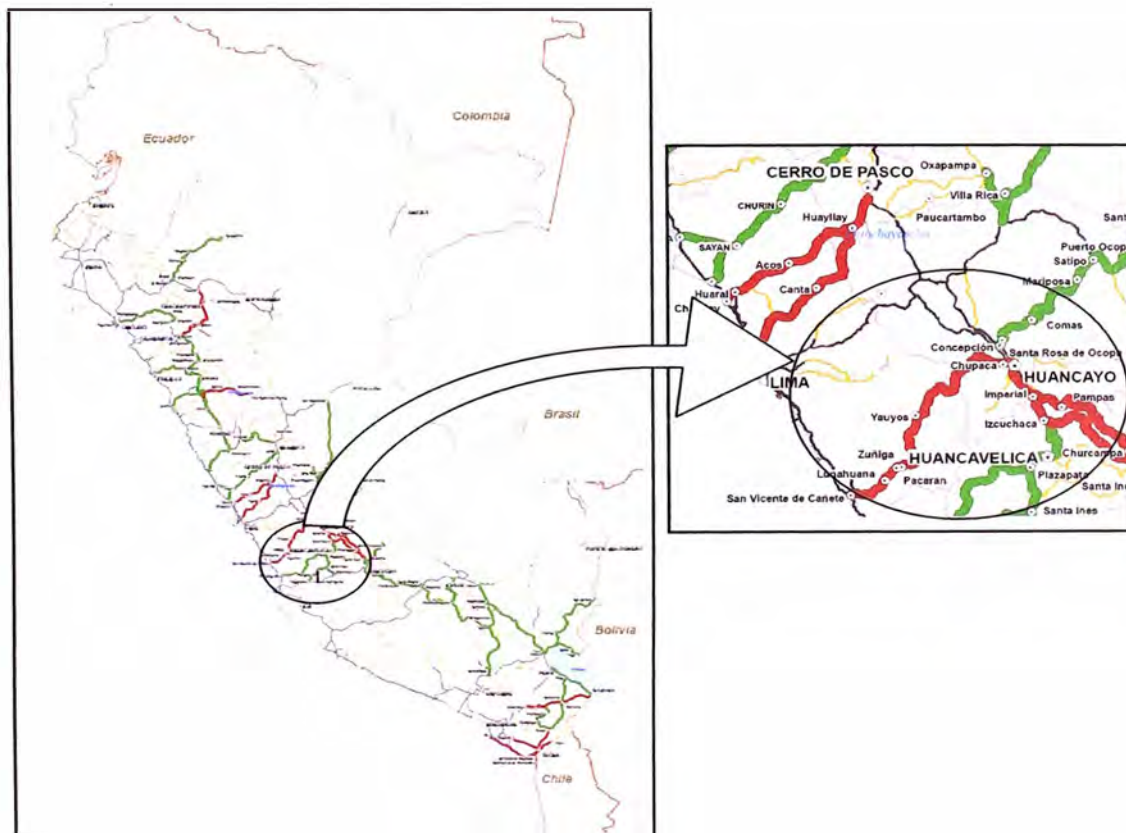
CAPITULO I: RESUMEN DEL PERFIL

1.1 ASPECTOS GENERALES

NOMBRE Y UBICACIÓN DEL PROYECTO

- **Nombre del Proyecto :**
“Estudio del proyecto de Cambio de Estándar de la Carretera Cañete – Yauyos – Huancayo: km 100+000 → km 115 + 000”.
- **Ubicación :**
El proyecto se ubica en las provincias de Cañete, Yauyos, Chupaca, Jauja, Concepción y Huancayo, pertenecientes a las regiones de Lima y Junín. Geográficamente se encuentra entre las regiones de la costa, Yunga y Suni, entre los 450 m.s.n.m. y 4600 m.s.n.m.

Figura Nro. 1.01: Plano de Ubicación de la Zona



Fuente: Oficina General de Planeamiento y Presupuesto-MTC-JULIO 2009

UNIDAD FORMULADORA Y EJECUTORA

Cuadro N° 1.01: Unidad Formuladora y Ejecutora

Unidad Formuladora:	Universidad Nacional de Ingeniería
Sector:	Ministerio de Transporte y Comunicaciones.
Pliego:	PROVIAS NACIONAL
Dirección:	Av. Túpac Amaru S/N
Responsables	Grupo 1
Unidad Ejecutora	Grupo 1 UNI - FIC

Fuente: Elaboración Grupo Nro. 01

PARTICIPACIÓN DE LAS ENTIDADES INVOLUCRADAS Y DE LOS BENEFICIARIOS

Las entidades involucradas son : el Gobierno Regional de Lima y Junín, Municipalidades Provinciales y Distritales tendrán una participación importante en la gestión del proyecto ante las autoridades del MTC, pues se deberán realizar las coordinaciones necesarias a fin de mantener la vía en condiciones de operatividad y serviciabilidad, o también se coordinara con PROVIAS NACIONAL para la realización del proyecto y su posterior ejecución, demostrando estar plenamente interesados y comprometidos en su realización y posterior mantenimiento.

Los beneficiarios principales del proyecto a realizar serían los usuarios de la vía, y los pobladores de las localidades de Lunahuaná, Pacarán, Zúñiga, Calachota, Magdalena, Yauyos y los pueblos de Catahuasi, Canchan y Chichicay. Al ser el tramo parte de un todo, también se beneficiaran pueblos y localidades de tramos aledaños anteriores y posteriores.

MARCO DE REFERENCIA

La Carretera Central 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.

El monitoreo de serviciabilidad del tramo de la carretera en estudio nace de la necesidad de optar por un desvío alternativo para la Carretera Central la cual actualmente cuenta con un alto tránsito, debido a las características propias de clima y topografía en la vía se genera un congestionamiento en la carretera.

A su vez dicho proyecto forma parte del Programa de Desarrollo Vial “Proyecto Perú”, el cual, mediante Resolución Ministerial N° 223-2007-MTC-02, modificada por Resolución Ministerial N° 408-2007-MTC/02, se crea con 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.

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 Programa “Proyecto Perú” aspira a establecer un sistema de contratación de actividades de conservación de la infraestructura vial, mediante contratos de prestaciones que se controlen por niveles de servicio y por plazos iguales o superiores a tres (3) años, que implican el concepto de “transferencia de riesgo” al Contratista.

Bajo este sistema se desarrolla una cultura preventiva, con la finalidad de evitar el deterioro prematuro de las vías mediante intervenciones rutinarias y periódicas de manera oportuna. Esto significa en la práctica, actuar permanentemente para mantener la carretera en óptimas condiciones de transitabilidad.

1.2 IDENTIFICACIÓN

DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL

Antecedentes

En cuanto a los antecedentes a nivel de intervenciones, se ha podido determinar que la carretera fue construida en el año 1958.

El 27 de diciembre de 2007, la empresa “Consortio Gestión de Carreteras”, asume las obligaciones de contratista conservador para realizar el Servicio de Conservación Vial por Niveles de Servicio de la Carretera Cañete - Lunahuaná - Pacarán - Chupaca y Rehabilitación del Tramo Zúñiga - Dv. Yauyos - Ronchas.

Actualmente, el Consortio Gestión de Carreteras (CGC), viene haciendo trabajos de mantenimiento periódico como parte de los compromisos contraídos.

Justificación

Al proyectarse la carretera Cañete – Yauyos - Huancayo como ruta alterna a la Carretera Central, se necesitaría lograr una mejor transitabilidad para atender la demanda futura debido a que con el mejoramiento, la vía se convertirá en un corredor económico de gran importancia, es por esta razón que es competencia del Estado realizar los trabajos allí proyectados.

Los beneficios económicos que se desarrollarán con la mejora de esta vía repercutirán en los pobladores que se localicen en el área de influencia elevando su nivel de vida y como consecuencia disminuyendo el nivel de pobreza, así como también al resto del país.

Descripción del tramo asignado.

El tramo asignado de la carretera comprende desde el Km 100+000 hasta el Km 115+000 y actualmente la estructura está conformada por dos tipos de recubrimiento: 9 mm de Tratamiento Superficial Monocapa en un sector, 18 mm Monocapa con de Slurry en otro sector.

Entre los principales problemas del tramo se encuentran: diseño geométrico deficiente, tortuosidad elevada, sección inadecuada para el paso de camiones pesados, problemas de drenaje deficiente, falta de señalización en tramos, algunos taludes erosionados y/o inestables.

De la visita al tramo asignado se ha encontrado que el principal problema el deterioro prematuro del TSM colocado por el contratista, la cual lo reforzó con una capa de T.S-Slurry por tramos, adicionalmente el sistema de drenaje es deficiente en gran parte de tramo que a su vez presenta anchos de plataforma muy reducidos.

El ancho promedio de la vía varía entre 2.35 y 4.50 m.

DEFINICIÓN DEL PROBLEMA Y SUS CAUSAS

El problema central a atender es el “Bajo nivel de Serviciabilidad de la Carretera”, debido a causas directas (mal estado de la carretera e inadecuadas características técnicas de la carretera) y causas indirectas (deficiente sistema de drenaje, superficie de rodadura con desprendimiento de los agregados, trazo geométrico inadecuado).

Este problema trae como consecuencia efectos directos (altos costos de operación en el transporte y aumento en el tiempo de viaje) y efectos indirectos (pérdida económica de productores y escaso desarrollo de las actividades socioeconómicas).

DEFINICIÓN DEL OBJETIVO CENTRAL DEL PROYECTO

El objetivo central del proyecto se encuentra ligado a la solución del problema principal del proyecto que es “Bajo nivel de Serviciabilidad de la Carretera”, así el objetivo central será “Mejorar el nivel de Serviciabilidad de la Carretera”.

Los medios para lograr el objetivo central están ligados directamente con la solución de las causas del problema principal, tal es así que los medios no serán más que la situación positiva de las causas del problema.

PLANTEAMIENTO DE LAS ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN

Las alternativas de solución al problema:

Alternativa 1

Mejoramiento del trazo, mejoramiento del drenaje (construcción de cunetas, subdrenes y reemplazo de alcantarilla por badén), construcción de muro de suelo reforzado y colocación de Slurry. Incluye programa de actividades de mantenimiento periódico y rutinario.

Alternativa 2

Mejoramiento del trazo, mejoramiento del drenaje (construcción de cunetas, subdrenes y reemplazo de alcantarilla por alcantarilla de mejor sección), construcción de muro de concreto ciclópeo y colocación de Slurry al 60%. Incluye programa de actividades de mantenimiento periódico y rutinario.

Alternativa 3

Mejoramiento del trazo, mejoramiento del drenaje (construcción de cunetas, subdrenes y reemplazo de alcantarilla por badén), construcción de muro de concreto ciclópeo y colocación de bicapa. Incluye programa de actividades de mantenimiento periódico y rutinario.

1.3 FORMULACIÓN Y EVALUACIÓN

HORIZONTE DEL PROYECTO

Para la presente evaluación consideraremos que las alternativas de solución del proyecto tendrán un horizonte de 3 años considerando el periodo 2010 al 2012.

ÁREA DE INFLUENCIA

Se considera que el área de influencia a evaluar va desde la progresiva km 100+000 hasta el km 115+000, siendo un tramo característico de 15 km a considerar a modo de muestra representativa para ser extrapolada a lo largo de toda la carretera que consta de una longitud de 281.73 km.

ESTUDIO DE TRÁFICO

Los datos del conteo de tráfico fueron extraídos del informe “Conservación Vial Por Niveles De Servicio De La Carretera Cañete – Zúñiga – Dv Yauyos – Ronchas – Chupaca – Estudio De Tráfico – Junio Del 2008”, la fuente de información corresponde al Consorcio Gestión De Carreteras. Los datos fueron obtenidos de las estaciones de control, el dato para nuestro sector fue sacado de la estación E- 4 que le corresponde el tramo analizado.

ANÁLISIS DE LA DEMANDA

En la actualidad por la carretera circulan un numero regular de vehículos de varios tipos como automóviles (privados y de servicio colectivo), camionetas rurales (tipo combi), microbuses, ómnibus y camiones.

Cuadro Nro. 1.02: IMD proyectado al 2010, tramo Zúñiga-Dv. Yauyos.

TIPO DE VEHÍCULO	2008	2009	2010
AUTOS	1	1	1
CAMIONETAS	20	20	21
CAMIONETA RURAL	4	4	4
MICRO	0	0	0
OMNIBUS 2E	8	8	8
OMNIBUS 3E	0	0	0
CAMION 2E	9	9	10
CAMION 3E/4E	11	11	12
ARTICULADOS	0	0	0
IMD	53	54	56

Fuente: Consorcio de Gestión de Carreteras.

ANÁLISIS DE LA OFERTA

La oferta vial existente se detalla a continuación (información recabada del inventario vial):

- Tramo de carretera a nivel de afirmado.
- Pendiente promedio longitudinal de 1.95%.
- Los anchos de la calzada existente varían entre 2.80 m y 6.00 m.
- Existen bermas a los lados del camino con un mínimo encontrado de 0.50m.
- En el Km. 106+150 hay presencia de estancamiento de agua, se recomienda colocar una alcantarilla para evacuar esta agua.
- Las alcantarillas nuevas serán de 36" como mínimo, se toma esta consideración para facilidad del mantenimiento.

Las actividades económicas relevantes de la localidad son la ganadería y agricultura con una producción significativa.

BALANCE OFERTA – DEMANDA

En base a la demanda descrita y a la oferta vial existente, se plantea mejorar el servicio de la carretera, a fin de elevar la transitabilidad entre Dv.Yaullos-Ronchas-Chupaca con una PSI entre 3-4.

El mejoramiento de la infraestructura vial incrementará la capacidad de la vía, así como la seguridad de los vehículos resultando un aumento del tránsito vehicular y un adecuado ordenamiento urbano mejorando la prestación del servicio de transporte público, que permite una mayor movilidad y desplazamientos de sus pobladores, esta representa la meta a alcanzar del presente proyecto.

El balance de Oferta-Demanda determina la interacción entre el flujo de vehículos que circulan y la capacidad vial que tiene la vía, que se verá reflejada en una adecuada transitabilidad de los vehículos y en sus costos operativos.

COSTOS

Para el presente perfil los costos mantenimiento de carreteras, así como los Costos Operativos Vehiculares se han basado en los costos modulares elaborados por la Oficina General de Presupuesto y Planificación del MTC. Los costos de Inversión se han estimado en base a experiencias anteriores en zonas similares.

Costos en la situación sin proyecto

Se considera que la situación sin proyecto es una situación optimizada de la carretera donde se considera un mantenimiento anual sin haber realizado mejora alguna adicional.

**Cuadro Nro. 1.03: Costo de mantenimiento situación sin proyecto
Monocapa.**

Tipo de Mantenimiento	Costo Referencial (US\$/Km/año)
Mantenimiento Rutinario	54511.00
Periódico	10205.00

Fuente: Elaboración Grupo Nro. 01.

Costos en la situación con proyecto

Para la elaboración de los costos de inversión para el tramo analizado y para las alternativas se han tomado los metrados de los términos de referencia del Servicio de Conservación vial de la carretera: Cañete – Lunahuana – Pacaran – Chupaca y Rehabilitación del tramo Zúñiga – Dv. Yauyos – Ronchas del MTC Provias Nacional.

Precios sociales

Los precios sociales se calculan multiplicando con los factores de conversión, de 0,80 para la inversión, 0,75 para los costos de mantenimiento.

Cuadro N° 1.04: Costo de Inversión y mantenimiento anual.

COSTO DE INVERSION Y MANTENIMIENTO ANUAL				
AÑO	Sin Proyecto Monocapa	Mejoramiento Slurry 1o Alternativa	Mejoramiento Slurry al 60% 2o Alternativa	Mejoramiento Bicapa 3o Alternativa
1		1,605,921	963,553	2,248,290
2	114,805	394,012	236,407	551,617
3	114,805	394,012	236,407	551,617
4	114,805	544,347	326,608	551,617
5	613,243	394,012	236,407	551,617
6	114,805	394,012	236,407	762,086
7	114,805	544,347	326,608	551,617
8	114,805	394,012	236,407	551,617
9	613,243	394,012	236,407	551,617
10	126,286	544,347	326,608	551,617
11	126,286	394,012	236,407	762,086
12	126,286	394,012	236,407	551,617
13	674,568	544,347	326,608	551,617
14	126,286	394,012	236,407	551,617
15	126,286	394,012	236,407	551,617
16	126,286	544,347	326,608	762,086
17	674,568	394,012	236,407	551,617
18	126,286	394,012	236,407	551,617
19	126,286	544,347	326,608	551,617
20	126,286	394,012	236,407	551,617

Fuente: Elaboración Grupo Nro. 01

Costos incrementales

Los costos incrementales son la diferencia de los costos entre la situación con proyecto y la situación sin proyecto. Para los costos a precios sociales mostrados anteriormente para las situaciones sin proyecto y con proyecto se elabora el siguiente cuadro con costos incrementales.

Cuadro N° 1.05: Costos Incrementales para el tramo considerando según alternativas (Moneda en US\$ a Precios Sociales).

AÑO	CON PROYECTO					
	Alternativa N1		Alternativa N2		Alternativa N3	
	Ahorro por Ctos Manten.	Ahorro por reducción de COV*	Ahorro por Ctos Manten.	Ahorro por reducción de COV	Ahorro por Ctos Manten.	Ahorro por reducción de COV
1	-1,605,921		-963,553		-2,248,290	
2	-279,207	49,799	-121,602	49,799	-436,812	77,478
3	-279,207	51,528	-121,602	51,528	-436,812	80,209
4	-429,542	53,303	-211,803	53,303	-436,812	83,010
5	219,231	55,126	376,836	55,126	61,627	85,891
6	-279,207	57,039	-121,602	57,039	-647,281	88,910
7	-429,542	58,917	-211,803	58,917	-436,812	91,907
8	-279,207	60,896	-121,602	60,896	-436,812	95,044
9	219,231	62,985	376,836	62,985	61,627	98,354
10	-418,061	65,150	-200,323	65,150	-425,331	101,786
11	-267,726	67,394	-110,121	67,394	-635,800	105,342
12	-267,726	69,719	-110,121	69,719	-425,331	109,027
13	130,221	72,127	347,959	72,127	122,951	112,848
14	-267,726	74,624	-110,121	74,624	-425,331	116,807
15	-267,726	77,210	-110,121	77,210	-425,331	120,911
16	-418,061	79,891	-200,323	79,891	-635,800	125,165
17	280,556	82,670	438,160	82,670	122,951	129,577
18	-267,726	85,550	-110,121	85,550	-425,331	134,148
19	-418,061	88,535	-200,323	88,535	-425,331	138,889
20	-267,726	91,628	-110,121	91,628	-425,331	143,801

Fuente: Elaboración Grupo Nro. 01

BENEFICIOS

La estimación de los beneficios del proyecto, se realizará en función al Método del Ahorro o reducción en Costos de Operación Vehicular (COV) y en el mantenimiento de la vía.

EVALUACIÓN SOCIAL

La evaluación económica para este caso se realizó por el método del VAN (Valor actual neto) y el TIR (Tasa de interés de retorno). Considerando una tasa de descuento de 14%. Para la evaluación económica se consideraron como beneficios, las economías en costos de mantenimiento de la carretera, costos de operación vial y en la reducción de tiempo de viaje. En los siguientes cuadros se resume la evaluación económica de las alternativas planteadas para cada tramo.

Ninguna de las alternativas que ofrece un índice de beneficio/costo mayor a 1, la cual no es rentable ninguna de las propuestas.

Cuadro N° 1.06: Valores Actuales Netos, TIR (%) y B/C.

Valor Actual Neto (VAN) (US\$)	
Alternativas	Tramo: -Dv.Yauyos- Ronchas
Longitud (Km)	15
Mejoramiento con Slurry	-2,647,551
Mejoramiento con Slurry al 60%	-859,744
Mejoramiento con Bicapa	-4,012,593

Tasa Interna de Retorno (TIR) (%)	
Alternativas	Tramo: -Dv.Yauyos- Ronchas
Longitud (Km)	15
Mejoramiento con Slurry	-----
Mejoramiento con Slurry al 60%	2.77%
Mejoramiento con Bicapa	-----

Relación Beneficio/Costo (B/C)	
Alternativas	Tramo: -Dv.Yauyos- Ronchas
Longitud (Km)	15
Mejoramiento con Slurry	0.00
Mejoramiento con Slurry al 60%	0.11
Mejoramiento con Bicapa	0.00

Fuente: Elaboración Grupo Nro. 01

ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD

En la evaluación económica las alternativas no son rentables (VAN son negativo).

Las causas:

- Las condiciones contractuales se oponen a mejoras en la transitabilidad, no generan incremento de tráfico en ese tramo.
- Los elevados costos del proyecto y con metrados mayores del ancho real.
- La velocidad real en el tramo es de 25 km/h, resultado de la intransitabilidad por falta de visibilidad, anchos muy cortos que no promueve el uso de esta vía.

IMPACTO AMBIENTAL

El Estudio de Impacto Ambiental (EIA), es un instrumento necesario para la conservación y el uso racional y sostenido de los recursos naturales. Es un método de análisis que sirve para confrontar las características del medio ambiente en su estado actual con las características del proyecto a ejecutarse tanto en su etapa de construcción como en la de operación, es un proceso de observación en que se confrontan las características del medio ambiente y del proyecto, para estimar los posibles impactos ambientales y buscar la manera de mitigarlos.

Línea Base Ambiental

De acuerdo con normas y legislación vigente se ha realizado la Línea Base Ambiental, a fin de evaluar de manera integral la zona del proyecto. De esta manera se ha obtenido información tanto de aspectos físicos, biológicos, socioeconómicos y culturales correspondientes al área de influencia tanto directa como indirecta del proyecto, lo que permitirá evaluar y cuantificar los probables impactos ambientales positivos o negativos.

Identificación y Evaluación de los principales Impactos Socio Ambientales.

El conjunto de impactos ambientales potenciales que pueden identificarse en la etapa de monitoreo de la carretera Cañete – Yauyos – Huancayo en el tramo km 100+000 al km 115+000 se identifican:

Identificación de las principales acciones impactantes

Cada una de las acciones a realizar para el Mejoramiento de la carretera, tienen la potencialidad de generar impactos ambientales. Se han identificado las principales acciones impactantes.

Cuadro Nro. 1.07: Acciones impactantes.

Etapa del Proyecto	Acción Impactante
Construcción	Muro de contención
	Obras de drenaje (cunetas y badén)
	Conformación de Sub base y base granular
	Colocación de carpeta asfáltica
	Transporte de materiales
	Construcción de caminos de acceso

Etapa del Proyecto	Acción Impactante
	Habilitación de campamentos
	Explotación de canteras
	Conformación de Depósitos de Material Excedente
	Operación de plantas industriales
	Desplazamiento de maquinarias y/o vehículos
	Acopio de materiales, combustibles y/o lubricantes
	Sistema de tratamiento de aguas residuales
	Generación de residuos
Operación	Limpieza de derrumbes
	Limpieza del sistema de drenaje
	Parchado de la carpeta de rodadura

Fuente: Elaboración Grupo Nro. 01.

Identificación de los Factores Ambientales Impactables

Se define a los factores ambientales como el conjunto de componentes del ambiente abiótico y biótico (aire, suelo, agua, fauna, etc.) y del ambiente social (relaciones sociales, actividades económicas, sociales, culturales, etc.), susceptibles de sufrir cambios (positivos o negativos), debido a la ejecución de una acción o un conjunto de ellas.

Cuadro Nro. 1.08: Factores Ambientales Impactables.

Sistemas Ambientales	Componentes Ambientales	Factores Ambientales
Medio Físico	Procesos (geología y geomorfología)	Estabilidad de taludes
		Estabilidad de suelos
	Suelos	Capacidad productiva
		Contaminación
	Aire	Calidad del aire
		Ruido y vibraciones
	Agua	Régimen hídrico superficial (dinámica fluvial y patrón de drenaje)
		Calidad de agua superficial
Medio Biológico	Flora	Cobertura arbustiva
	Fauna	Fauna terrestre
Medio Socioeconómico y cultural	Social	Salud y seguridad
		Conflictos sociales
		Calidad de vida
	Económico	Empleo local
		Red de Transportes
		Red de Servicios
	Cultural	Dinámica comercial
	Paisaje	

Fuente: Elaboración Grupo Nro. 01.

Plan de Manejo Ambiental (PMA).

El plan de manejo ambiental busca prevenir y mitigar los impactos adversos que sean identificados y descrito en el análisis ambiental del proyecto. En el (PMA) se establece un conjunto de medidas ambientales para prevenir, atenuar o corregir los impactos ambientales negativos y potenciar los impactos positivos.

Los programas que permiten el cumplimiento de los objetivos del PMA, los siguientes:

- Programas de Medidas de Prevención y Mitigación.
- Programa de Compensación Social y Reasentamiento.
- Programa de Monitoreo.
- Programa de Emergencia o Contingencia.
- Programa de Abandono y Restauración.
- Programa de Capacitación Ambiental.

SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS

A partir de los resultados obtenidos de los análisis económicos efectuados al tramo en estudio, ninguna de las alternativas es rentable debido al sobre costo del proyecto y al bajo volumen de tráfico que hay en dicha zona.

CAPITULO II: EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO

2.1 DESCRIPCIÓN DE LA EVALUACIÓN DEL PAVIMENTO

La evaluación estructural tiene por objetivo estudiar la capacidad del pavimento para “soportar” las cargas de tráfico actuantes durante su vida útil.

La evaluación estructural de pavimentos consiste básicamente, en la determinación de la capacidad portante del sistema de pavimento-subrasante en una estructura vial existente, en cualquier momento de su vida de servicio, para establecer y cuantificar las necesidades de rehabilitación cuando el pavimento se acerca a su fin de su vida útil, o cuando va a cambiar su función.

Las necesidades de evaluar estructuralmente los pavimentos en una red aumentan a medida que se completan el diseño y la construcción de una red nacional o regional y consecuentemente aumenta la necesidad de su preservación y rehabilitación.

Ante un problema de evaluación estructural tradicionalmente se ha recurrido a la perforación de calicatas, a la toma de muestras para su ensayo en el laboratorio, y al análisis de cada uno de sus componentes (materiales) por separado para incorporarlos a un sistema (pavimento) y deducir acerca de las características estructurales del mismo. Esta metodología es cara, lenta, altera el equilibrio del sistema al perforarla y es destructiva.

2.2 EVALUACIÓN CON ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS

La alternativa presentada en este estudio es mediante prospecciones geotécnicas con ensayos “no destructivos” y se basa en la interpretación de las deflexiones en la superficie de un pavimento. Las deflexiones de la superficie de un pavimento reflejan una respuesta global del sistema pavimento-subrasante bajo una carga dada. La toma de datos es simple, económica y no destructiva, es decir no se altera el equilibrio ni la integridad del sistema.

En general, 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. Así, el criterio dominante para valorar la capacidad estructural se basa en la deformabilidad del pavimento bajo cargas normalizadas.

Siendo la deflexión una medida de la respuesta estructural del conjunto pavimento-subrasante frente a una determinada sollicitación de carga, se puede efectuarse un análisis deflectométrico para conocer la siguiente información:

- Un indicador para determinar la capacidad de soporte del pavimento existente para resistir las cargas de tráfico durante su vida útil.
- Análisis estadístico de las deflexiones del tramo en evaluación.
- Determinar los periodos críticos que originan los mayores deterioros del pavimento, basándose en la variación estacional de las deflexiones.
- Una correlación de valores de deflexiones y la posibilidad de establecer un rango de valores tolerables en relación al tránsito.

En los métodos empíricos las deflexiones convenientemente procesadas se relacionan con los valores admisibles, mientras que en los métodos más modernos basados en métodos racionales, se utilizan para ajustar los módulos elásticos de las capas estructurales y calibrar los módulos.

CAPITULO III: VIGA BENKELMAN

3.1 CONCEPTO DE LA VIGA BENKELMAN

Se entiende por deflexión a la deformación elástica que sufre un pavimento flexible bajo la acción de una carga rodante estándar. Mediante ella es posible evaluar el debilitamiento progresivo de la estructura debido a las solicitaciones del tránsito que lo utiliza. Es importante indicar que la medición de las deflexiones solo se puede aplicar a pavimentos flexibles.

Para efectuar las medidas existen diversos métodos y equipos, cuya selección se basa en su disponibilidad, costo y necesidades de avance.

Las deflexiones de un pavimento flexible bajo una carga estática puede ser determinada por la "Viga Benkelman", llamado así en honor al Ing. A.C Benkelman, quien desarrollo dicho instrumento en 1955, como parte del programa de ensayos viales de la AASTHO. Desde entonces en su uso se ha venido difundiendo 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.

DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO

El deflectómetro denominado como Viga Benkelman funciona según el principio de la palanca. Es un instrumento completamente mecánico y de diseño simple.

La unidad está diseñada para una máxima comodidad de uso y precisión. Esta construida en aluminio de peso ligero y su diseño es de tipo telescópico con el fin de ahorrar espacio y reducir su peso. El cuadrante indicador de lectura directa elimina la necesidad de tener que efectuar conversiones o cálculos y el sistema de vibración asegura medidas exactas del pavimento.

La Viga Benkelman Modificada

La viga modificada consta de dos palancas de un mismo bastidor. Se trata de dos vigas desplazadas 0.25 m. Una de otra, de manera que cuando la punta de prueba de la viga 1 o principal, se sitúa entre las llantas de la rueda dual, la correspondencia a la rueda 2 queda ubicada a 0.25 m de aquella. La ventaja radica en que permite la determinación simultánea de la deflexión bajo carga y a 0.25 m de la misma, de utilidad para una mejor caracterización del pavimento, según se describa más adelante. La viga utiliza dos diales con una precisión de 0.01mm para medir las deflexiones en campo.

Figura Nro. 3.01: Viga Benkelman modificada.



Fuente: Visita de campo Grupo Nro. 01

3.2 PRINCIPIO DE OPERACIÓN DE LA VIGA BENKELMAN

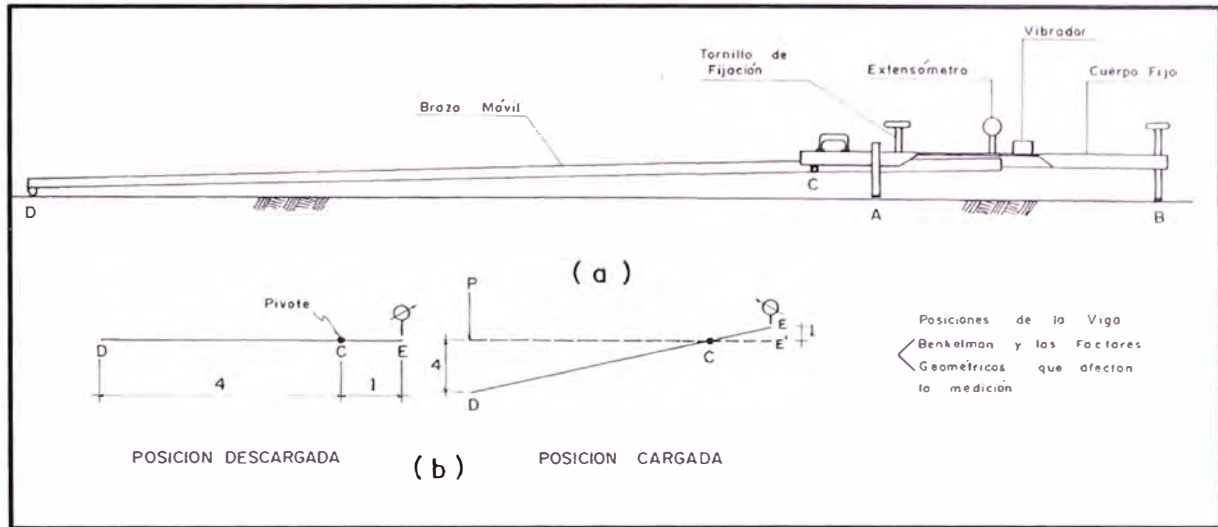
Como se puede ver en la figura 3.02 “Esquema y principio de operación de la Viga Benkelman”, al viga consta de dos partes: (1) un cuerpo de sostén que se sitúa directamente sobre el terreno mediante 3 apoyos (dos delanteros fijos “A” y uno posterior regulable “B” y (2) un brazo móvil acoplado al cuerpo fijo mediante una articulación de giro en 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).

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

En el extremo D o “punta de la viga” es de espesor tal que puede ser colocado entre unas de las llantas dobles de eje trasero de un camión cargado (estandarizado).

El peso aplicado produce una deformación del pavimento, consecuencia de lo cual la punta baja a una cierta cantidad, con respecto al cuerpo AB, determinando que el extremo “E” produzca un movimiento vertical en el vástago del extensómetro apoyado en el, generando así una lectura en el dial indicador. Si se retiran luego las llantas cargadas, el punto D se recupera en lo que la deformación elástica se refiere y por el mismo mecanismo anterior se genera otra lectura en el dial extensómetro (durante el movimiento del camión cargado se puede tomar más de un dato en el dial indicador). La operación expuesta presenta el “Principio de medición” con la Viga Benkelman. Lo que se hace después son los cálculos tomados del dial indicador. Así con las dos o más lecturas obtenidas es posible determinar cuánto se deflectó el pavimento en el lugar subyacente al punto D de la viga, durante el procedimiento descrito. Es de anotar que en realidad lo que se mide es la recuperación de punto D al remover la carga (rebote elástico) y no la deformación al colocar esta. 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 si no que depende de la relación de brazos existentes, ver figura 3.02, donde se indica por ejemplo una relación de brazos de 4:1, existiendo equipos con relación de brazos de 3:1, 2:1, etc.

Figura 3.02: Esquema y principio de operación de la Viga Benkelman.



METODO ALTERNATIVO DE MEDICIONES

DEFLECTÓMETRO DE IMPACTO FWD.

En todo ensayo deflectométrico disponer de buenos datos es condición necesaria para establecer resultados adecuados sobre el estado de los pavimentos y definir la rehabilitación más conveniente. Para la medida de las deflexiones existen una gama de equipos: La Viga Benkelman, Deflectografos Lacroix, Curvímetros. Unos de los equipos que se viene utilizando últimamente a nivel internacional por los datos confiables es el Deflectómetro de Impacto conocido por sus siglas inglesas como FWD (Falling Weight Deflectometers). El equipo mide la deflexión producida en la superficie del pavimento al aplicarle una carga vertical preestablecida, registrando el pico o valor máximo de la deflexión en el punto de aplicación de la carga y en una serie de puntos separados secuencialmente el cuenco de deflexiones.

El sistema presenta ventajas importantes:

- Las cargas aplicadas se asemejan a las cargas dinámicas producida por los vehículos reales que afectan y dañan la carretera.
- Se puede medir lo que sucede en los alrededores del punto de carga (normalmente entre 6 y 9 puntos situados secuencialmente a distintas entre 20 y 180 cm. Estas deflexiones asociadas permiten estudiar el pavimento en su concepto de estructura multicapa.

- Recopilan información de una manera relativamente rápida.
- La información obtenida no requiere de información adicional como referencia.

El sistema presenta desventajas:

- Tiene un alto costo inicial.
- Requieren control de tránsito vehicular para efectuar los ensayos.
- Los equipos emplean un sistema relativamente complejo.

ECUACIÓN DE CORRELACIÓN ENTRE LA VIGA BENKELMAN Y EL FALLING WEIGHT DEFLECTOMETER.

Las ecuaciones de correlación que puedan establecerse entre los dos equipos son usualmente técnicamente válidas solamente para la zona específica donde han sido desarrolladas y para las condiciones similares de temperaturas, humedad y magnitud de carga, tiempo de aplicación de la carga y el posible comportamiento no lineal del material. Sin embargo, para fines prácticos no siempre se presenta esta condición ideal, debiendo emplear con “buen criterio ingenieril” las ecuaciones de correlación que se tengan como referencia.

Ecuación de correlación entre las medidas de deflexión obtenidas con la Viga Benkelman y el Falling Weight Deflectometer.

$$VB = 1.33269 + 0.93748 (FWD) \quad (3.1)$$

Donde:

VB = Deflexión con la Viga Benkeman (10^{-3} pulg)

FWD = Deflexión con el FWD (10^{-3} pulg) corregida para una carga de 9,000 libras aplicada en una placa de 11.8 pulg de diámetro.

Nota: Basada en información de investigación recolectada por el laboratorio de materiales WSDOT entre 1982-1983 EEUU.

Figura 3.03: Equipo Falling Weight Deflectometer (FWD).



3.3 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA VIGA BENKELMAN

Ventajas:

- En tramos en construcción el disponer de de una Viga Benkelman es siempre útil, para evaluar que influencia pueden tener determinados factores constructivos en la capacidad estructural de la obra ejecutada.
- En tramos cortos o en zonas localizadas en las que se produzcan anomalías, el ensayar con la viga Benkelman puede ser más eficaz y rápido que disponer de un equipo de mayor rendimiento.
- Dado que la Viga Benkelman es el patrón universal de medida de las flexiones, su determinación es imprescindible para obtener la correlación entre cualquier deflectómetro y la viga.
- Simplicidad en su uso.
- Bajo costo del equipo.
- Posibilidad de ser empleados con cargas reales.

Desventajas:

- Son lentos, requieren control de tránsito vehicular para realizar los ensayos.
- En carreteras con gran intensidad de tráfico los ensayos producen problemas de circulación y peligro de accidentes incluso para los operarios.
- Requieren de un trabajo intenso.
- Al ser una viga metálica puede sufrir dilataciones o acortamientos por efecto de la temperatura que afecta a la medida especialmente en días fríos o calurosos.
- Las mediciones dependen de la técnica empleada.
- Requieren de información complementaria adicional de referencia para procesar la información.

3.4 PROCEDIMIENTO PARA LA TOMA DE DEFLEXIONES

A continuación se describe el procedimiento para determinar la deflexión recuperable del pavimento con la Viga Benkelman en un punto sobre la estructura de pavimento asfáltico bajo las carga estandarizada, tamaño, espaciamiento, y presión de las llantas.

EQUIPO

- Una viga Benkelman de dos brazos, con este equipo también se puede tomar datos para calcular el radio de curvatura.
- Características de la Viga Benkelman doble son las siguientes:
 - Con relación de brazo largo de 1:3.99 y brazo corto de 1:4.01, con pivote en un extremo fabricado de acero de alta resistencia.
 - Dos Diales con recorrido de 25 mm y 0.01mm de subdivisión.
- Camión cargado con 18000 libras (8.2 ton) igualmente distribuidos en un par de llantas duales del eje de la parte posterior. La distancia de separación entre las dos llantas duales mencionadas debe ser como mínimo de 50 mm (2 pulg.). La presión de las llantas recomendadas es de 80 psi. El uso de llantas con cámaras y cocadas es recomendado.

- Medidor de presión de llantas.
- Termómetro digital para medir la temperatura del pavimento.
- Un clavo de 4" acerado para ejecutar los orificios en el pavimento.

PERSONAL A EMPLEAR:

- Un chofer encargado de manejar el camión con la carga establecida 8.2 ton, de acuerdo a las recomendaciones que se le brinda.
- Un asistente para la operación del camión, que se complementara con el chofer y el Ing. Asistente. Se encargara del traslado de la viga Benkelman desde el camión hacia el punto de ensayo y viceversa. Informara al chofer de las diferentes ubicaciones donde se encuentra el punto de inicio del ensayo, en las cuales se tendrá que ubicar el vehículo, para la medición.
- Un Ingeniero, que deba tener cierta experiencia para dirigir todo el trabajo, logrando desenvolverse en la lectura de las deformaciones, en forma precisa y que tenga criterio para realizar diferentes inspecciones visuales, sobre el estado de la superficie en que se podrá encontrar la pista.
- Un asistente del Ingeniero, encargado de anotar las lecturas de las deformaciones leídas por el ingeniero y se trata de complementar con el asistente del vehículo, también estará capacitado para leer las lecturas de las deformaciones dadas en el dial.
- Tres ayudantes, de los cuales dos de ellos que controlen el tráfico, tanto en la parte de adelante como la parte posterior del vehículo y el otro tomar las lecturas de la temperatura del pavimento y el ahuellamiento.

PROCEDIMIENTO:

- El punto seleccionado donde se efectuara la medición es ubicado en la vía, para el caso de este estudio es ubicado en las progresivas cada 200 mts y marcado en el pavimento.
- Los puntos deben ser ubicados a 0.6 m del borde del pavimento, si el ancho del carril es menor que 3.35 m, y 0.9 m si el ancho del carril es

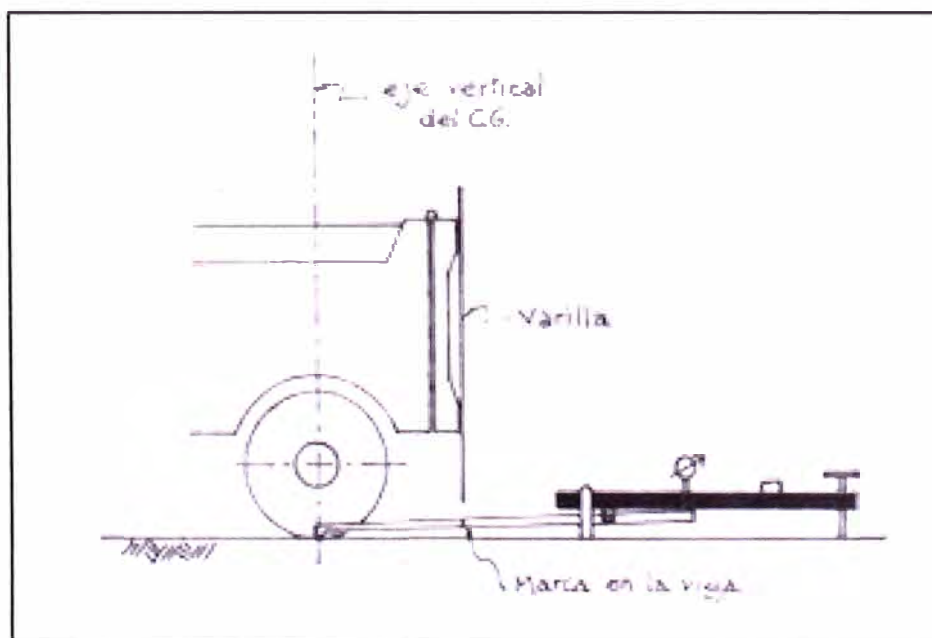
mayor a 3.35 m. La determinación del punto también se puede precisar con el ahuellamiento en la vía en donde se ve más pronunciada.

- La rueda dual externa del camión deberá ser colocada sobre el punto seleccionado quedando este entre las dos ruedas. Una ubicación dentro de los 75 mm del punto es aceptable.
- Colocar la punta de prueba del primer brazo de la Viga Benkelman entre las ruedas duales y situarlo en los puntos seleccionados para el ensayo.
- Se retiran las trabas de la viga y la base se ajusta por medio del tornillo trasero de modo tal que los brazos de medición queden en contacto con los vástagos de los diales.
- Anotar la lectura inicial del dial. Generalmente giramos la esfera del flexímetro para obtener la posición cero.
- Realizar las marcaciones de las medidas en la palanca de la Viga Benkelman a 0.25, 0.50, 0.70 mts.
- Establecida la lectura inicial en cero, se hace avanzar suave y lentamente el camión hasta una distancia de 0.25, 0.5, 0.7 y 5 m o más del punto de inicio.
- Anotar las lecturas internas a 0.25, 0.5, 0.7 y la lectura final del dial a 4 a más metros de distancia del punto inicial o hasta que la lectura del dial sea constante.
- Medir la temperatura de la superficie del pavimento de la siguiente manera:
 - En un punto en no menos de 25 cm del borde del pavimento, realizar un pequeño orificio en el pavimento de 1 cm de profundidad.

- Se coloca aceite al orificio se coloca el termómetro y se registrar la medida de la temperatura y al mismo tiempo registrar la temperatura ambiente.
- Revisar que la presión de las llantas del camión sea uniforme. Esta revisión será antes de utilizar la viga y tendrá 80 psi de presión en las llantas.
- Determinar el espesor del pavimento.
- Debe determinarse también los tipos y condición general de los materiales en el resto de la estructura del pavimento.

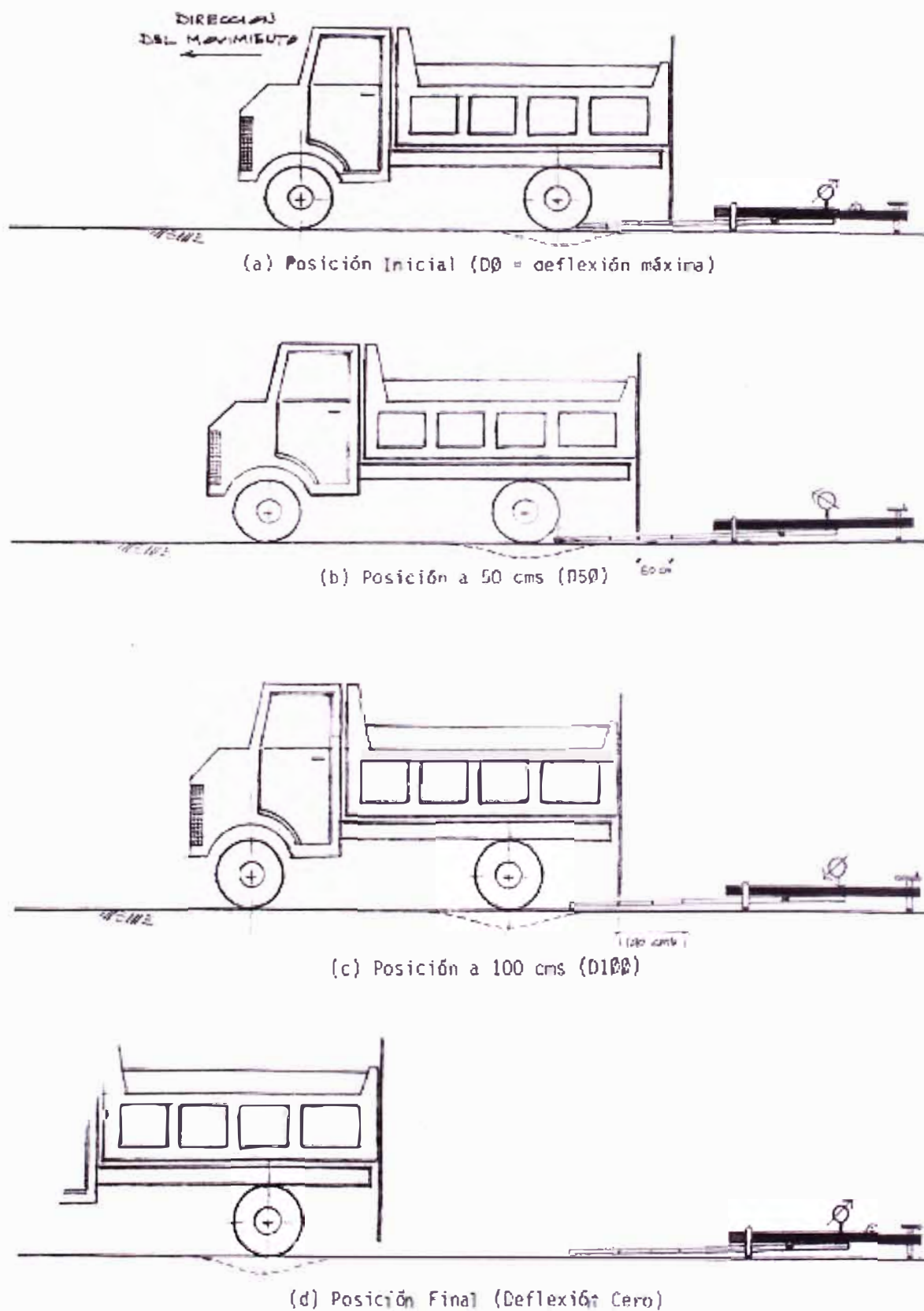
Como se puede apreciar en la figura 3.04 la posición inicial del camión y la ubicación de la Viga Benkelman, antes de dar inicio se verifica que los diales marquen cero.

Figura 3.04: Posición inicial del ensayo, dial marcando en cero.



En la figura 3.05 indica la secuencia del ensayo, poniendo al camión en movimiento lento y tomando las lecturas de los diales a las distancias de 0.25, 0.5 y 0.7mts del punto inicial.

Figura 3.05: Procedimiento de mediciones deflectométricas.



CAPITULO IV: ANÁLISIS DE DEFLEXIONES

4.1 ANÁLISIS DE DEFLEXIONES DE UN PAVIMENTO

Dado que para interpretar los resultados no se puede considerar los valores individuales, surge la necesidad de establecer una deflexión que represente adecuadamente cada sección o tramo de pavimento y por lo cual se realiza una evaluación estadística. El tramo de la carretera en estudio se divide en sectores, cuya determinación se hace de acuerdo a las siguientes características:

- Uniformidad en las medidas de deflexión
- Cambios topográficos que pueden afectar las condiciones de drenaje.
- Cambios en los tipos de subrasante y estructura del pavimento.
- Variaciones en las condiciones climáticas. Un sector de carretera se puede dividir a su vez en secciones, constituyendo cada sección una muestra estadística de por lo menos 10 lecturas de deflexión.

Para los análisis de las deflexiones se utilizaran el Método Empírico: Método Desarrollado en el Estudio de Rehabilitación de Carreteras en el Perú, CONREVI, 1982.

ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS POR MÉTODOS ESTADÍSTICOS.

En base a estudios realizados las deflexiones recuperables han demostrado que las deflexiones medidas en una sección de pavimento, representan una distribución de frecuencias que se asemejan a una distribución normal.

Asumiendo entonces que las deflexiones individuales se hallan distribuidas de acuerdo a la ley de Gauss se han determinado la deflexión media, desviación estándar y el coeficiente de variación. Usando las siguientes ecuaciones:

$$D_m = \frac{\sum D}{N} \quad (4.1)$$

D_m = Media aritmética de los valores individuales.

D = Valor individual de un ensayo. N = Numero de ensayos individuales.
Desviación Estándar: este valor representa la dispersión de resultados en pavimentos que posean el mismo valor medio Dm .

$$\sigma = \sqrt{\left(\frac{\sum(D-Dm)^2}{N-1}\right)} \quad (4.2)$$

Coeficiente de Variación porcentual: indica un mayor o un menor grado de dispersión aun cuando las secciones poseen distinto valor medio.

$$V = \frac{\sigma}{Dm} * 100 \quad (4.3)$$

Determinación de la deflexión característica o deflexión representativa del tramo, para una confiabilidad del 90% el parámetro $t=1.3$.

Para lo que se aplica la siguiente fórmula:

$$Dc = (Dm + 1.3 * \sigma) \quad (4.4)$$

Dc = Deflexión característica representativa.

Dm = Media aritmética de los valores individuales.

σ = Desviación estándar.

CORRECCIÓN DE LA DEFLEXIÓN POR TEMPERATURA.

La influencia de la temperatura afecta las deflexiones recuperables, de tal forma que dos mediciones de un mismo punto a diferentes temperaturas dan diferentes resultados. Cuando en una carpeta asfáltica la temperatura se incrementa sustancialmente, la magnitud de la flexión aumenta, este comportamiento de la carpeta asfáltica se debe a la disminución de la rigidez.

No se requiere corrección por temperatura en estructuras de pavimento compuestas por un tratamiento superficial o mezcla asfáltica delgadas, en virtud del escaso aporte estructural de los mismos.

Si las carpetas asfálticas son gruesas, el efecto de la temperatura sobre la deflexión posee mayor importancia, por lo que se ha recomendado aplicar algún factor de corrección.

El método D.N.V de Argentina se basa al análisis de los resultados obtenidos en los tramos experimentales se ha desarrollado una fórmula que permite llevar las deflexiones obtenidas a una temperatura "T" al valor correspondiente a la temperatura estándar de 20°C, la formula es la siguiente:

$$D(20^{\circ}\text{C}) = \frac{D(T)}{(1 \cdot 10^{-3} * \frac{E}{(\text{cm} * ^{\circ}\text{C})} * (T - 20^{\circ}\text{C}) + 1)} \quad (4.5)$$

$D(20^{\circ}\text{C})$ = deflexión recuperable a la temperatura estándar (20°C).

$D(T)$ = deflexión recuperable, medida a la temperatura (T) en C°,
Centésimas de mm en el momento del ensayo.

E = espesor capas asfálticas de la sección, en cm.

T = temperatura de la carpeta asfáltica en C°.

CORRECCIÓN DE LA DEFLEXIÓN POR ESTACIONALIDAD.

En el Perú tenemos una serie de precipitaciones pluviales tanto en la sierra como en la selva, influyendo en la relación de contenido de humedad de las capa granulares del pavimento y de la subrasante, disminuyendo la capacidad portante de la estructura del pavimento, por ello para una mejor evaluación estructural del pavimento resulta de gran importancia considerar el valor de las deflexiones en el periodo más desfavorable del año, durante el cual el pavimento se encuentra en un periodo crítico.

Para tener en cuenta esta circunstancia existen tres alternativas:

- Obtener en campo las mediciones de deflexión en cualquier época del año y aplicar el coeficiente de ajuste o corrección, que las lleve a condiciones críticas.
- Obtener en campo las mediciones de deflexión en el periodo más crítico del año, pero se hace más difíciles hacer la toma de datos en campo generando dificultades en la programación y ejecución.

- Considerar el factor de corrección en forma subjetiva con conocimiento del clima de la región y del comportamiento de pavimentos flexibles en dicha zona.

La condición climática más desfavorable se debe a la época de congelamiento-deshielo causando mayor efecto al factor de corrección por estacionalidad. Asumiendo las condiciones de estacionalidad solo por lluvias, distinguiendo básicamente la condición seca y lluviosa, de las experiencias realizadas en Brasil, que recomienda los siguientes coeficientes de corrección:

Cuadro Nro. 4.01: Coeficientes de Corrección.

Naturaleza del suelo de subrasante	Coeficiente de corrección	
	Periodo lluvias	Periodo seco
Suelo arenoso y permeables	1,0	1,1 a 1,2
Suelos arcillosos - sensible al agua	1,0	1,2 a 1,4

Fuente: Estudio de Rehabilitación de Carretera en el Perú MTC- CONREVIAL

Para el tramo en estudio se tomara el coeficiente de 1.1 ya que se tomo las medidas de las deflexiones a inicios de época de lluvias.

EL RADIO DE CURVATURA DE LA DEFORMADA.

El radio de curvatura permite determinar la magnitud de la deformada lineal por tracción que sufren las capas asfálticas al flexionar bajo la acción de las cargas de tránsito y en consecuencia, en el desarrollo del fisuramiento en forma de cuero de cocodrilo. En base experimental de un conjunto de puntos medidos, se quiere obtener la línea de deflexión completa, para obtener el círculo que más se asemeja a la zona mayor de curvatura (bajo el eje de carga), cuyo radio se denomina "radio de curvatura".

Mediante una comprobación experimental esquematizada, la línea de deflexión se aproxima a una parábola hasta una distancia mayor a 25 cm del eje de carga, para sufrir luego una inflexión y tender asintóticamente hacia la horizontal.

Entonces considerando una deflexión auxiliar a 25 cm, se puede determinar el radio de curvatura de la siguiente fórmula:

$$Rc = \frac{6250}{2*(D_0 - D_{25})} \quad (4.6)$$

Donde:

Rc = radio de curvatura en metros.

D_0 = deflexión recuperable en el eje vertical de la carga, 10^{-2} mm.

D_{25} = deflexión recuperable pero a 25 cm del eje, 10^{-2} mm.

USO DE LAS MEDIDAS DE DEFLEXIÓN

La evaluación estructural tiene por objetivo estudiar la capacidad del pavimento para soportar las cargas de tráfico actuante durante su vida útil. Esta evaluación puede efectuarse mediante prospecciones geotécnicas con ensayos “no destructivos”, siendo estos últimos frecuentemente empleados por no causar daño al pavimento existente y por su factibilidad de ejecución.

En general las fallas estructurales fundamentales dependen de la magnitud y frecuencia de las deformaciones recuperables y de las deformaciones permanentes en las estructuras. Así, el criterio predominante para valorar la capacidad estructural se basa en la deformabilidad de las calzadas bajo cargas normalizadas.

Siendo la deflexión una medida de la respuesta estructural del conjunto pavimento-subrasante frente a una sollicitación de carga, puede efectuarse el análisis deflectométrico para los siguientes fines:

- Determinar los periodos críticos en que se originan un mayor deterioro del pavimento, basándose en la variación estacional de las deflexiones.
- Como un indicador para estimar la capacidad de soporte del pavimento para resistir las cargas de tráfico durante su vida útil.
- Esbozar estrategias de mantenimiento en los sistemas de gestión de pavimentos.
- Determinar la deflexión Característica que representa el tramo evaluado.

En el cuadro 4.1.5-1 “Uso de las medidas deflectométricas”, se presentan el campo de acción de la viga Benkelman en el desarrollo de las diversas actividades de la Ingeniería de Pavimentos.

Cuadro 4.02: Uso de las medidas deflectométricas.

UTILIZACIÓN DE LAS MEDIDAS DE DEFLEXIÓN		
Etapas de la vida del pavimento	Objetivos	Localización de las medidas
Construcción	<ul style="list-style-type: none"> * Apreciar la resistencia de las diferentes capas de la estructura. *Determinar el grado de homogeneidad. *Localizar las áreas débiles para reparación. *Ajustar la dimensiones de las capas sucesivas 	Al nivel de subrasante y de las diferentes capas de la estructura.
Pavimento Terminado	<ul style="list-style-type: none"> * Apreciar la homogeneidad y localizar las áreas débiles susceptibles de observación continua. *Obtener los datos de las deflexiones iniciales para poder interpretar las mediciones posteriores. *Comprobar la duración del pavimento. 	Sobre la superficie de rodadura.
Pavimento en Servicio	<ul style="list-style-type: none"> * Apreciar los fenómenos de fatiga. *Señalar la urgencia de operaciones de conservación rutinaria o de refuerzos. *Determinación de la variación de la capacidad portante durante los periodos de invierno y verano. *Control de las cargas de los vehículos. 	Sobre la superficie de rodadura.
Pavimento próximo a reforzar	<ul style="list-style-type: none"> *Definir los sectores homogéneos para refuerzos. *Calcular los espesores de refuerzos. *Definir el grado de flexibilidad de las mezclas de refuerzo. 	Sobre la superficie de rodadura.
Pavimento reforzado	<ul style="list-style-type: none"> *Apreciar el poder de refuerzos sobre las sobrecapas. *Precisar la validez de hipótesis admitidas durante los estudios. *Corregir y mejorar los datos de Cálculos iniciales. 	Sobre las capas de refuerzo

Fuente: Libro Ingeniería de Pavimentos de Montejo Fonseca, Alfonso

4.2 PROCESAMIENTO DE LOS VALORES DEFLECTOMETRICOS.

Para la toma de datos en campo se utilizó la Viga Benkelman para ambos carriles de la vía, del cual se estudiara el carril izquierdo y la progresiva de avance es cada 200 mts, en cada punto de medición los valores indicados en el dial son escritos en la hoja de formato de campo, para su posterior procesamiento en gabinete.

La evaluación de los valores deflectométrico durante su anotación en las hojas de registro en gabinete, se realiza con la intención de verificar la calidad de las lecturas tomadas, por ello se debe tener en cuenta el comportamiento de los valores, L25, L50, L70 y Lmax, dichas lecturas deben tener un aumento ascendente y coherente con las lecturas de otros puntos registrados.

Cuadro 4.03: Hoja de registro de deflexiones con la Viga Benkelman carril izquierdo.

PROG (km)	CARRIL	Lecturas de Campo Brazo Largo (10 ⁻² mm)				L.C.B Corto	ESP (mm)	Ahue (mm)	TEMP ASFA (°C)	OBS
		L25	L50	L70	Lmax	L25				
100+000	Izquierdo	1	4	7	18	14	9	4	20	T.S.Monocapa
100+200	Izquierdo	1	4	6	14	9	6	2	21	T.S.Monocapa
100+400	Izquierdo	1	2	5	15	11	20	2	22	T.S.Slurry
100+600	Izquierdo	4	8	10	20	12	20	1	25	T.S.Slurry
100+800	Izquierdo	1	2	4	10	6	20	1	25	T.S.Slurry
101+000	Izquierdo	1	4	7	17	9	18	2.5	25	T.S.Slurry
101+200	Izquierdo	1	4	5	15	10	18	2	25	T.S.Slurry
101+400	Izquierdo	4	7	9	11	9	15	3	29	T.S.Slurry
101+600	Izquierdo	1	4	7	17	11	10	4	29	T.S.Monocapa
101+800	Izquierdo	3	8	12	32	19	3	3	29	T.S.Monocapa

Fuente: Elaboración Propia.

Para la aplicación del Método Empírico, se utilizará las lecturas del brazo largo Lmax y las lecturas del Brazo corto L25, previamente se hace las correcciones de las deflexiones por temperatura y el factor de estacionalidad antes de iniciar los cálculos de la Deflexión Característica y Radio de Curvatura, las cuales se utilizarán las ecuaciones 4.4 y 4.6 respectivamente.

Cuadro 4.04: Deflexiones Corregidas Carril Izquierdo.

SECTOR: ZUÑIGA – Dv. YAUYOS

Tramo: Km 100+000 al Km 102+000; Carril: Izquierdo; Fecha: 15/05/2010; Carga de eje: 8.2 ton; Presión Llantas del camión: 80 psi
 Detalles de la Viga Benkelman (Marca Pinzuar 2009; Ultima Calibración 02/10/2009; R. brazo largo: 1 a 3.99; R. brazo corto: 1 a 4.01)

Prog (km)	Carril	Lecturas de Campo (10 ⁻² mm)				Deflexiones sin Corregir (10 ⁻² mm)		Esp (mm)	Ahue (mm)	Temp (°C)	Factor Estac.	Resultados Deflectométricos		Radio Curvatura (m)	DEFLEXIÓN				RADIO DE CURVATURA		
		L25	Lmax	D25	Dmax	Deflexiones Corregidas						D ₂₅ x 10 ⁻² mm	D ₀ x 10 ⁻² mm		Dprom	Desv Estnd	Coef var	Deflex. Caract.	RProm	Desv Estn	Coef var
100+000	Izquierdo	14	18	56	72	9	4	20	1.1	61.75	79.00	181.18	73.72	26.85	36.43%	108.63	155.86	86.64	55.59%		
100+200	Izquierdo	9	14	36	56	6	2	21	1.1	39.68	61.41	143.78									
100+400	Izquierdo	11	15	44	60	20	2	22	1.1	48.33	65.57	181.21									
100+600	Izquierdo	12	20	48	80	20	1	25	1.1	52.41	86.91	90.57									
100+800	Izquierdo	6	10	24	40	20	1	25	1.1	26.20	43.46	181.14									
101+000	Izquierdo	9	17	36	68	18	2.5	25	1.1	39.34	73.95	90.31									
101+200	Izquierdo	10	15	40	60	18	2	25	1.1	43.72	65.25	145.14									
101+400	Izquierdo	9	11	36	44	15	3	29	1.1	39.17	47.64	369.14									
101+600	Izquierdo	11	17	44	68	10	4	29	1.1	48.09	73.95	120.85									
101+800	Izquierdo	19	32	76	128	3	3	29	1.1	83.58	140.07	55.32									

Fuente: Elaboración Propia.

4.3 DEFLEXIONES ADMISIBLES O TOLERABLES

EL CONCEPTO DE LA DEFLEXIÓN ADMISIBLE

La deflexión es un parámetro utilizado para la verificación de la capacidad estructural de un pavimento. Métodos empíricos proponen el uso de formulas para el cálculo de la deflexión admisible o deflexión tolerable la cual es utilizado con la finalidad de comparar las medidas obtenidas en campo con este valor para determinar si la estructura del pavimento brinda un soporte estructural adecuado. En cierta medida tal vinculación no depende solo de la intensidad del tránsito sino de otros factores tales como tipo de estructura, características y espesores de los materiales, condiciones ambientales y el criterio adoptado para definir la condición de falla o de servicio insatisfactorio.

La relación Deflexión – Tránsito constituye la bases de las metodologías empíricas de gran difusión por su simplicidad.

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

$$N = \frac{K_1}{D^{K_2}} \quad (4.7)$$

Donde:

N: Numero de ejes estándar equivalentes.

D: Deflexión Admisible en mm.

K1, K2: Coeficientes que dependen de la fuente considerada en la investigación.

Dentro del programa de Rehabilitación de carreteras del Perú (1982), solicitado por el Ministerio de Transporte y Comunicaciones se estudiaron tramos para definir la deflexión admisible, como primera aproximación, en algunos de los criterios disponibles. Lo indicado destaca la importancia de llevar a cabo que, al menos permitan apreciar un orden de magnitud de los valores adecuados para las condiciones propias del país.

Las principales condiciones de estudio son:

- Se verifica una clara correspondencia entre la deflexión y condición del pavimento; esta comprobación es fundamental para la validación de la metodología de evaluación empleada, al verificarse que la deflexión constituye un adecuado indicador de comportamiento de los pavimentos del país.
- Se propone un criterio de deflexión admisible tentativo definido por la ecuación despejando el D_{adm} entonces:

$$D_{adm} = \left(\frac{1.15}{N} \right)^{1/4} \quad (4.8)$$

Donde:

N: Numero de ejes estándar equivalentes de 8.2 ton. Acumulados en millones.

D: Deflexión Admisible en mm.

Entre otras formulas empíricas empleadas para calcular la deformación admisible se encuentran:

De acuerdo con el criterio del Instituto del asfalto:

$$D_{adm} = 25.64 * N^{(-0.2383)} \quad (4.9)$$

De acuerdo con el criterio de California, para un espesor de concreto asfáltico existente de 5cm:

$$D_{adm} = 6.237 * N^{(-0.165)} \quad (4.10)$$

En estas formulas, N es el número de ejes equivalentes utilizado para el diseño de pavimento. Son muy sensibles a parámetros como el tráfico de la vía, espesor de la carpeta asfáltica y características de los materiales y son de aplicación para la zona y condiciones de carga para las cuales han sido desarrolladas.

4.4 CÁLCULO DE LAS DEFLEXIONES ADMISIBLES

DETERMINACIÓN DEL FACTOR DE EQUIVALENCIA DE CARGA

En el funcionamiento estructural de las capas de la estructura del pavimento influye el tipo de suelo de la subrasante, el número total de los vehículos pesados por día o durante el periodo de diseño, incluido las cargas por eje y la presión de los neumáticos. La demanda o volumen de tráfico (IMD), requiere ser expresado en términos de ejes equivalentes acumulados para el periodo de diseño. Un eje equivalente (EE) equivale al efecto de deterioro causado sobre el pavimento, por un eje simple de dos ruedas cargado con 8.2 ton de peso, con neumáticos con presión de 80 lb. /pulg².

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





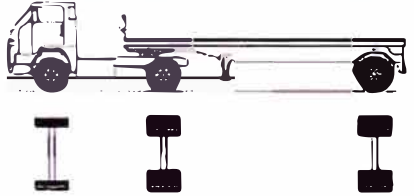
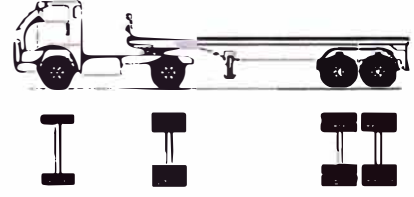
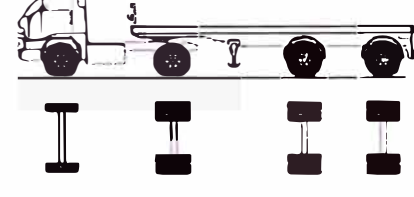
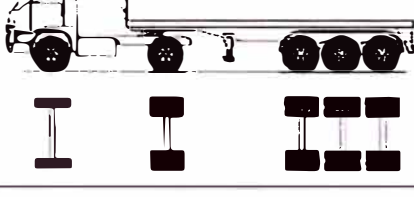
Cuadro Nro. 4.05: Criterio para el cálculo de equivalencia de carga.

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

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

Cuadro Nro. 4.06: Pesos y medidas máximas permitidas.

Configuración vehicular	Descripción gráfica de los vehículos	Long. Máx. (m)	Peso máximo (t)				Peso bruto máx. (t)	
			Eje Delan	Conjunto de ejes posteriores				
				1°	2°	3°		4°
C2		12,30	7	1	—	—	13	
C3		13,20	7	8	—	—	25	
C4		13,20	7	23 ⁽¹⁾	—	—	30	
E _{x4}		13,20	7-7 ⁽²⁾	8	—	—	32	
T2S1		20,50	7	11	11	—	29	
T2S2		20,50	7	11	18	—	35	
T2Se2		20,50	7	11	11	11	40	
T2S3		20,50	7	11	25	—	43	

Fuente: Normas Legales, Decreto Supremo Nro. 058-2003-MTC.

Cuadro Nro. 4.07: Pesos y medidas máximas permitidas.

Configuración vehicular	Descripción gráfica de los vehículos	Long. Máx. (m)	Peso máximo (t)					Peso bruto máx. (t)
			Eje Delant	Conjunto de ejes posteriores				
				1°	2°	3°	4°	
T2Se3		20,50	7	11	11 ⁽¹⁾	18	—	47
T3S1		20,50	7	18	11	—	—	36
T3S2		20,50	7	18	18	—	—	43
T3Se2		20,50	7	18	11	11	—	47
T3S3		20,50	7	18	25	—	—	48 ⁽²⁾
T3Se3		20,50	7	18	11 ⁽¹⁾	18	—	48 ⁽²⁾
C2R2		23,00	7	11	11	11	—	40

Fuente: Normas Legales, Decreto Supremo Nro. 058-2003-MTC.

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

Cuadro Nro. 4.08: Determinación de los factores de equivalencia de carga.

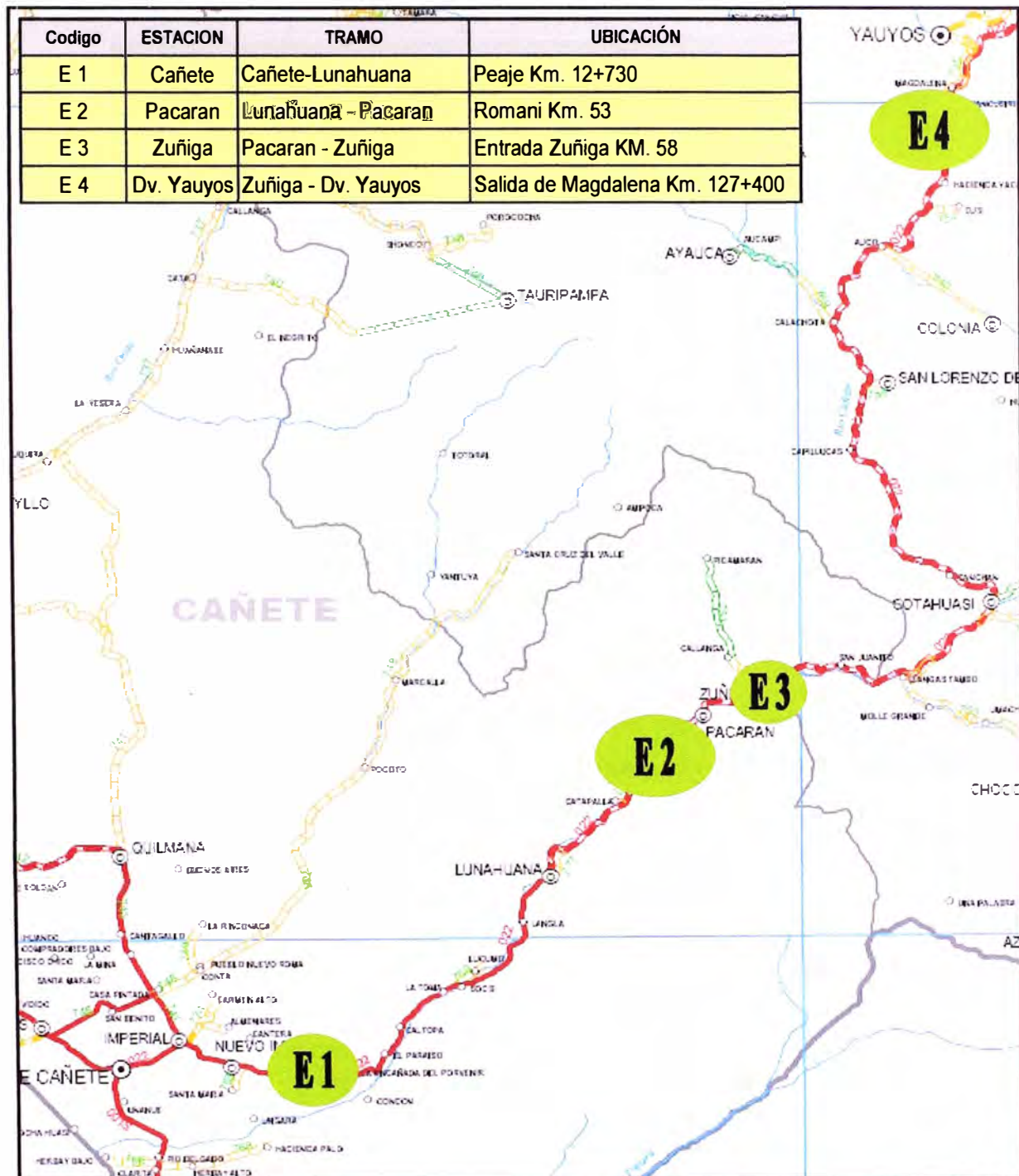
Nro.	Tipo de vehículo	Descripción	Eje delantero	Ejes posteriores				EE _{8.2} TN
				1er eje	2do eje	3er eje	4to eje	
1	Ómnibus 2E	Carga (Tn)	7	11				18
		F.E.C.	1.265	3.238				4.504
2	Ómnibus 3E	Carga (Tn)	7	18				25
		F.E.C.	1.265	2.019				3.285
3	Camión 2E-P	Carga (Tn)	7	11				18
		F.E.C.	1.265	3.238				4.504
4	Camión 3E	Carga (Tn)	7	18				25
		F.E.C.	1.265	2.019				3.285
5	Camión 4E	Carga (Tn)	7	23				30
		F.E.C.	1.265	1.018				2.283
6	Semitrayler T2S2	Carga (Tn)	7	11	18			36
		F.E.C.	1.265	3.238	2.019			6.523
7	Traylers C2R2	Carga (Tn)	7	11	11	11		40
		F.E.C.	1.265	3.238	3.238	3.238		10.980

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

ESTUDIO DE TRÁFICO.

Para la determinación del IMD se utilizaron los datos del Estudio de Tráfico de la carretera “Cañete-Dv. Yauyos-Chupaca (RN 22)” realizado por el Consorcio Gestión de Carreteras, que se ubica geográficamente en la Región de Lima, provincias de Cañete y Yauyos y Región Junín-, Provincia de Chupaca.

Figura Nro. 4.01: Ubicación de las estaciones de control región Lima.



Fuente: Estudio de Tráfico - Junio 2008 - Consorcio Gestión de Carreteras

De la estación E4 (Zuñiga- Dv.Yauyos) correspondiente al tramo en estudio Km 100+000 - Km 102+000, se tomaron los datos de IMD elaborados por el Consorcio Gestión de Carreteras al año 2008, los cuales serán proyectadas al año 2010 para la evaluación del tramo en estudio.

Cuadro 4.09: Volumen diario clasificado – estación (E4) Zúñiga - Dv. Yauyos (tráfico normal de larga distancia).

Tipo de Vehículo	Zúñiga-Dv. Yauyos	Dv. Yauyos-Zúñiga	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%
Semitrayler	0	0	0	0%
Trailers	0	0	0	0%
TOTAL	27	26	53	100%
% sentido	51%	49%	100%	

Fuente: Estudio de Tráfico - Junio 2008 - Consorcio Gestión de Carreteras.

DETERMINACIÓN DE LA TASA DE CRECIMIENTO VEHICULAR.

Para determinar la Tasa de crecimiento anual de los vehículos ligeros, se promediaron las Tasas de crecimiento anual de la población total por departamentos de Lima y Junín al año 2008.

Cuadro Nro. 4.10: Tasa de crecimiento anual de la Población Total por Departamentos.

AÑO	LIMA	JUNIN
2002	1.70%	1.10%
2003	1.70%	1.10%
2004	1.70%	1.10%
2005	1.70%	1.10%
2006	1.70%	1.10%
2007	1.70%	1.10%
2008	1.70%	1.10%
2009	1.70%	1.10%
2010	1.70%	1.10%
2011	1.70%	1.10%
2012	1.70%	1.10%
2013	1.70%	1.10%
2014	1.70%	1.10%
2015	1.70%	1.10%

TASA DE CRECIMIENTO ANUAL DE LA POBLACIÓN		
AÑO	LIMA	JUNIN
2016	1.10%	0.50%
2017	1.10%	0.50%
2018	1.10%	0.50%
2019	1.10%	0.50%
2020	1.00%	0.50%

Fuente: Ministerio de Economía Finanzas (MEF).

De la tabla se seleccionan los datos para Lima 1.7% y Junín 1.1%.

Tasa de crecimiento (vehículos ligeros) = $(1.7\%+1.1\%)/2=1.4\%$

Para determinar la Tasa de crecimiento anual de los vehículos de transporte público, se promediaron las Tasas de crecimiento de la población económicamente activa (PEA) de Lima y Junín al año 2008.

Cuadro Nro. 4.11: Tasa de crecimiento de la Población Económicamente Activa (PEA).

AÑOS	PEA JUNIN	PEA LIMA
2002	2.66%	2.95%
2003	2.66%	2.95%
2004	2.66%	2.95%
2005	2.66%	2.95%
2006	2.21%	2.58%
2007	2.21%	2.58%
2008	2.21%	2.58%
2009	2.21%	2.58%
2010	2.21%	2.58%
2011	1.85%	2.21%
2012	1.85%	2.21%
2013	1.85%	2.21%
2014	1.85%	2.21%
2015	1.85%	2.21%
2016	1.51%	1.88%
2017	1.51%	1.88%
2018	1.50%	1.88%
2019	1.50%	1.87%
2020	1.50%	1.87%

Fuente: Ministerio de Economía Finanzas (MEF).

De la tabla se seleccionan los datos para Lima PEA=2.58% y Junín PEA =2.21%

Tasa de crecimiento (vehículos transporte público)= $(2.58\%+2.21\%)/2= 2.4\%$

Para determinar la Tasa de crecimiento anual de los vehículos de carga pesada, se promediaron las tasas de crecimiento del Producto Bruto Interno (PBI) de Lima y Junín al año 2008.

Cuadro Nro. 4.12: Tasa de crecimiento del Producto Bruto Interno (PBI).

AÑOS	PBI LIMA	PBI JUNIN
2002	4.10%	4.50%
2003	5.30%	5.40%
2004	5.20%	5.30%
2005	3.60%	3.80%
2006	3.70%	3.90%
2007	3.70%	3.90%
2008	3.70%	3.80%
2009	3.60%	3.80%
2010	3.60%	3.70%
2011	3.60%	3.40%
2012	3.40%	3.80%
2013	3.50%	3.50%
2014	3.50%	3.50%
2015	3.50%	3.50%
2016	3.50%	3.50%
2017	3.60%	3.60%
2018	3.60%	3.60%
2019	3.70%	3.60%
2020	3.70%	3.70%

Fuente: Ministerio de Economía Finanzas (MEF).

De las tablas se selecciona los datos para Lima PBI=3.7% y Junín PBI=3.8%

Tasa de crecimiento para vehículos de carga = $(3.7\%+3.8\%)/2=3.8\%$

De los cálculos de las tasas se tiene:

Cuadro Nro. 4.13: Tasas de crecimiento por cada tipo de vehículo.

TASAS DE CRECIMIENTO VEHICULAR	LIMA-JUNIN	DESCRIPCIÓN
Tasa de crecimiento de vehículo ligero.	1.4%	Población promedio (Lima-Junín)
Tasa de crecimiento de vehículo de transporte.	2.4%	PEA promedio (Lima-Junín)
Tasa de crecimiento de vehículo pesado.	3.8%	PBI promedio (Lima-Junín)

Fuente: Elaboración Propia

Con las tasas calculadas se procede hacer la proyección del tráfico al 2010. Aplicando la formula siguiente:

$$\text{Trafico Proyectado} = \text{IMD} \cdot (1+t)^n \quad (4.11)$$

n: año de proyección ; IMD= al año inicial. ; t= tasa de crecimiento anual.

Se obtiene los resultados de la proyección del IMD al 2010:

Cuadro Nro. 4.14: Proyección del IMD al 2010.

TIPO DE VEHÍCULO	2008	2009	2010
AUTOS	1	1	1
CAMIONETAS	20	20	21
CAMIONETA RURAL	4	4	4
MICRO	0	0	0
ÓMNIBUS 2E	8	8	8
ÓMNIBUS 3E	0	0	0
CAMIÓN 2E	9	9	10
CAMIÓN 3E/4E	11	11	12
ARTICULADOS	0	0	0
IMD	53	54	56

Fuente: Elaboración Propia

CÁLCULO DEL NÚMERO DE REPETICIONES DE EJES EQUIVALENTES DE 8.2 TN.

Para estos cálculos se ha considerado exclusivamente la acción de los ómnibus y camiones dado que el efecto destructivo de los vehículos ligeros se puede considerar prácticamente despreciable.

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

$$\text{Nrep de EE 8.2 tn} = \sum [\text{EE día-carril} \times 365 \times ((1+t)^n - 1)] / t \quad (4.11)$$

EE día-carril = EE x factor direccional x factor carril

EE = Nº de vehículos según tipo x factor vehículo

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.

DEFLEXIONES ADMISIBLES PROYECTADAS AL AÑO 2011, 2012 y 2015.

Para las deflexiones admisibles se proyecta para los 3 años de periodo de conservación que falta hasta el 2012 y para una evaluación al año 2015. Para el cálculo de la Deflexión Admisible o Tolerable se tiene la siguiente ecuación:

$$D_{adm} = \left(\frac{1.15}{N} \right)^{1/4} \quad (4.12)$$

Donde:

N: Numero de ejes estándar equivalentes de 8.2 ton. Acumulados en millones.

D: Deflexión Admisible en mm

En el cuadro se tiene las deflexiones admisibles y tolerables:

Cuadro Nro. 4.15: Cálculo de N18 y Deflexión Admisible (Da).

TRAMO Km 100+000 HASTA Km 102+000									
TIPO DE VEHÍCULO	FACTOR CARGA	IMD (2010)	TASA CREC (i%)	PROYECCIÓN					
				AÑOS	EAL (2011)	AÑOS	EAL (2012)	AÑOS	EAL (2015)
MICRO	4.504	0	2.4%	1	0	2	0	5	0
ÓMNIBUS 2E	4.504	8	2.4%	1	13152	2	26619	5	68991
ÓMNIBUS 3E	3.285	0	2.4%	1	0	2	0	5	0
CAMIÓN 2 EJES	4.504	10	3.8%	1	16440	2	33504	5	88687
CAMIÓN 3 EJES	3.285	12	3.8%	1	14388	2	29323	5	77621
CAMIÓN 4 EJES	2.283	0	3.8%	1	0	2	0	5	0
SEMITRAYLERS	6.523	0	3.8%	1	0	2	0	5	0
TRAYLERS	10.98	0	3.8%	1	0	2	0	5	0
EAL				4.40E+04		8.94E+04		2.35E+05	
N18				0.022		0.045		0.118	
Da (x 10²mm)				268.92		225.19		176.82	

Fuente: Elaboración Propia

4.5 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

JUCIO SOBRE LA CAPACIDAD ESTRUCTURAL.

Terminada las distintas tareas de campo y obteniéndose los datos necesarios para aplicar el Método Empírico, se realizara un análisis de los resultados que establezca la capacidad estructural del pavimento en relación al tránsito que debe soportar la calzada.

Como resultado de este análisis se determino:

- Establecer el tipo de rehabilitación requerida, distinguiéndose tres situaciones representativas que pueden resumirse en:
 - Estructura adecuada: requiere de mejora superficial.
 - Estructura fatigada: requiere un refuerzo estructural.
 - Estructura deficiente: requiere reconstrucción parcial o total.
- Establecer el método que se empleara para el diseño de las obras de rehabilitación.
- La estimación de la vida útil remanente de la estructura del pavimento.

Para establecer el juicio sobre la capacidad estructural del pavimento de un tramo, se ha adoptado un criterio racional que combina tres factores principales:

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

En el cuadro 4.16 indica los casos típicos, no son los únicos, dependen de las circunstancias que puedan existir.

Cuadro Nro. 4.16: Juicio de la capacidad estructural del pavimento.

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

Fuente: Estudio de Rehabilitación de Carretera en el Perú MTC-CONREVIAl.

EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD ESTRUCTURAL

Con los resultados obtenidos de la deflexión característica (D_c) y la deflexión admisible (D_a), se realiza el juicio de la capacidad estructural del pavimento, por lo cual se presenta los siguientes casos:

Cuadro Nro. 4.17: Resumen de valores de las deflexiones y radio de curvatura.

DESCRIPCIÓN	n(Años)	Carretera Cañete-Huancayo Km 100+000-Km 102+00
CARRIL		Izquierdo
PROGRESIVA INICIAL		100+000
PROGRESIVA FINAL		102+000
DEFLEXION CARACT. x 10⁻²mm		108.63
DEFLEXION ADMISIBLE x 10 ⁻² mm	1	268.92
	2	225.19
	5	176.82
RADIO DE CURVATURA Rc(m)		155.86

Fuente: Elaboración Propia

Primer Caso

Se observa que para un periodo de evaluación de $n = 1$ año, la deflexión característica ($D_c = 108.63 \times 10^{-2}$ mm) es menor que la deflexión admisible ($D_a = 268.92 \times 10^{-2}$ mm), por lo tanto se considera que la capacidad estructural del pavimento tendrá un comportamiento adecuado, además el radio de curvatura ($R_c = 155.86$ m) el alto, entonces la carpeta asfáltica en este sector tiene un adecuado comportamiento (ver anexo 01).

Segundo Caso

Se observa que para un periodo de evaluación de $n = 2$ años, la deflexión característica ($D_c = 108.63 \times 10^{-2}$ mm) es menor que la deflexión admisible ($D_a = 225.19 \times 10^{-2}$ mm), por lo tanto se considera que la capacidad estructural del pavimento tendrá un comportamiento adecuado.

Tercer Caso

Se observa que para un periodo de evaluación de $n = 5$ años, la deflexión característica ($D_c = 108.63 \times 10^{-2}$ mm) es menor que la deflexión admisible ($D_a =$

176.82 x 10⁻² mm), por lo tanto se considera que la capacidad estructural del pavimento tendrá un comportamiento adecuado.

DESCRIPCIÓN DE LAS GRÁFICAS DE DEFLEXIONES Y RADIOS DE CURVATURA

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

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

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

La desuniformidad en el sentido longitudinal se revela en la gran dispersión de valores individuales, aún para determinaciones muy próximas entre sí (por ejemplo 20m), debido a la variabilidad de las propiedades de los materiales y del proceso constructivo.

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

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

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

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

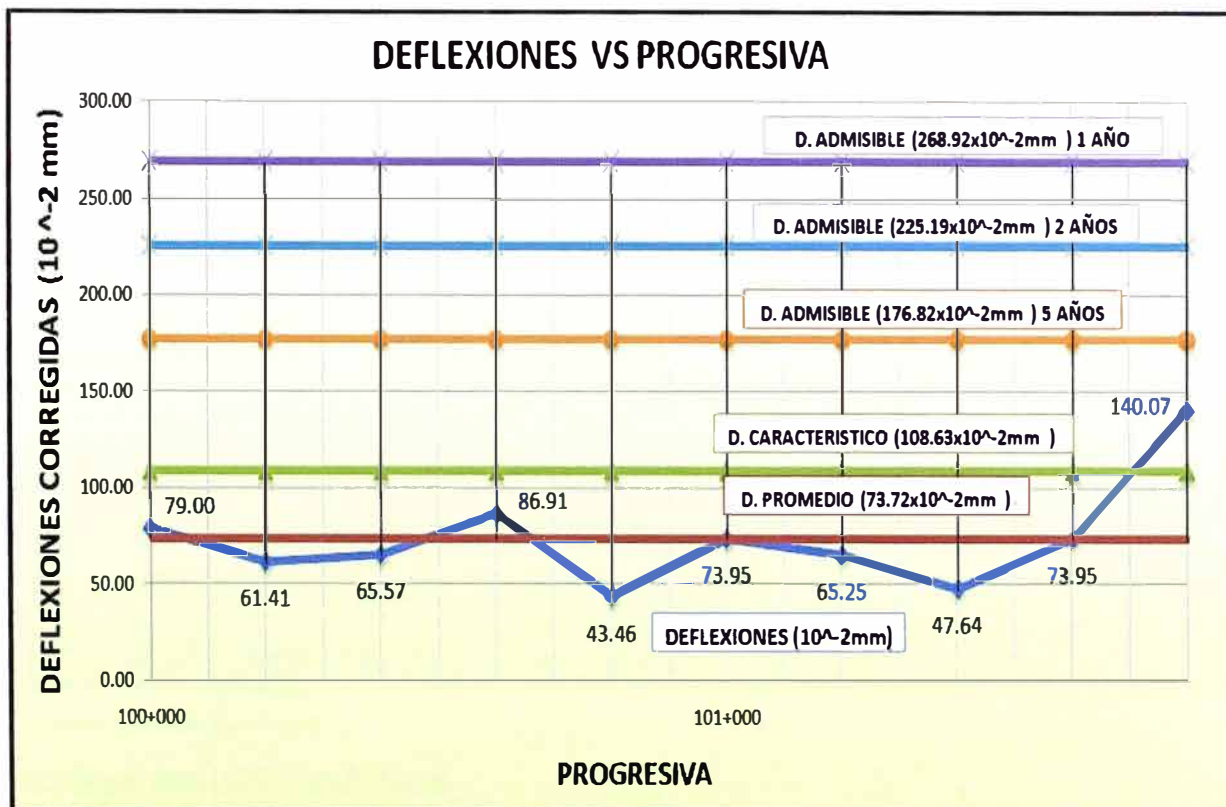
- Diferenciar secciones de distinta capacidad estructural y comportamiento considerando deflexiones, fallas observadas y estructura del pavimento, las que son posteriormente procesadas estadísticamente.
- Eliminar valores extremos aislados, no representativos y que distorsionan los resultados.
- Obtenidos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

El deflectograma es empleado para juzgar la capacidad portante del pavimento, cuando se dispone de los resultados de todos los estudios llevados a cabo.

Considerando que cada deflexión media representa una cierta extensión o área del pavimento, cada valor t corresponderá a una porcentaje del área total, con probabilidad de presentar deflexiones (D), mayores que las características (D_c) correspondiente, para la ecuación 4.4 se considero $t=1.3$ con extensión del pavimento $D > D_c$ en 10%, en la figura 4.02, se muestra los puntos deflectométricos tomados en campo de las cuales solo un punto tomado, en la progresiva Km 101+800, la deflexión es mayor a la deflexión Característica siendo esta cantidad un 10% de los valores, se concluye que el parámetro t asumido en la ecuación 4.4 es el correcto.

Las deflexiones admisibles o tolerables básicamente dependen de la intensidad del tránsito, en este caso la deflexión característica es menor que las deflexiones admisibles debido al bajo tránsito de la carretera.

Figura Nro. 4.02: Deflectograma Carretera Cañete-Huancayo km 100+000 al km102+000.



Fuente: Elaboración Propia.

Cuadro Nro. 4.18: Datos estadísticos de las deflexiones.

RESUMEN ESTADISTICO DE LAS DEFLEXIONES (10 ⁻² mm)						
PROGRESIVAS (Km)		MINIMO	MAXIMO	DESV.EST	D. PROM	D. CARACT
100+000	102+000	43.46	140.07	26.85	73.72	108.63

Fuente: Elaboración Propia.

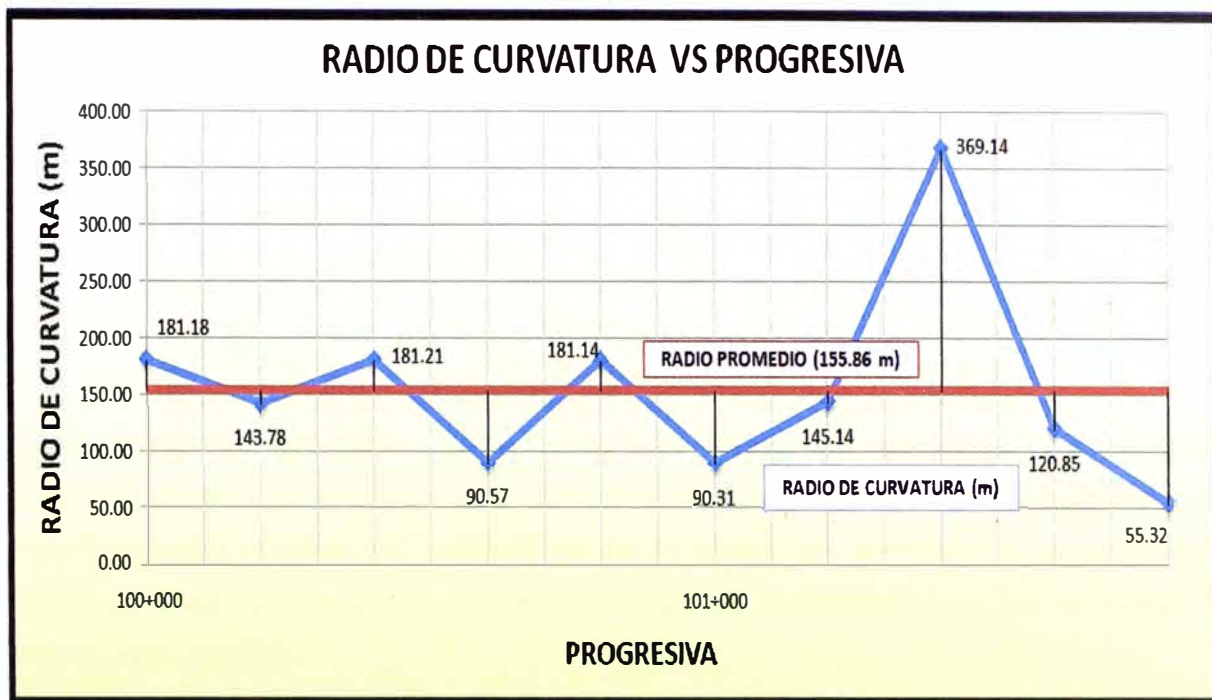
Se puede apreciar en la figura 4.03, los radios de curvatura están variando desde 55.52m hasta 369.14m dando un promedio de 155.86m, la magnitud de la deformación lineal por tracción que sufre la capa asfáltica es baja.

Cuadro Nro. 4.19: Datos estadísticos de los radios de curvatura.

RESUMEN ESTADISTICO DE LOS RADIOS DE CURVATURAS (m)					
PROGRESIVAS (Km)		MINIMO	MAXIMO	DESV.EST	R.C. PROMEDIO
100+000	102+000	55.32	369.14	86.64	155.86

Fuente: Elaboración Propia

Figura Nro. 4.03: Grafico del Radio de curvatura vs Progresiva.



Fuente: Elaboración Propia

CURVA DE DEFLEXIONES

En este estudio la Curva de Recuperación Elasto-Retardada, se determinó con el registro de deflexiones cada 0.25, 0.50, 0.70, 4.00 metros de distancia del eje de carga, las estaciones se tomaron cada 200 metros empezando de la progresiva km 100+000 al km 102+000, ver cuadro 4.21.

Una vez tomados los datos de campo, se pasó a realizar el cálculo de las deflexiones para cada punto de estación, aplicando los factores de corrección por temperatura y estacionalidad, para ello se utilizó la ecuación 4.5.

Como se puede ver en la figura 4.04, mientras que el valor de la deflexión máxima depende en gran medida del módulo de elasticidad de los materiales en profundidad (subrasante), en las capas superiores, el radio de curvatura depende del módulo de elasticidad de las capas superiores y no tanto de las inferiores.

En el cuadro 4.20 es un resumen de los casos para cada tipo de curvatura, y en general puede establecerse las relaciones cualitativas entre las curvas de deflexiones y el patrón establecido, ver figura 4.04.

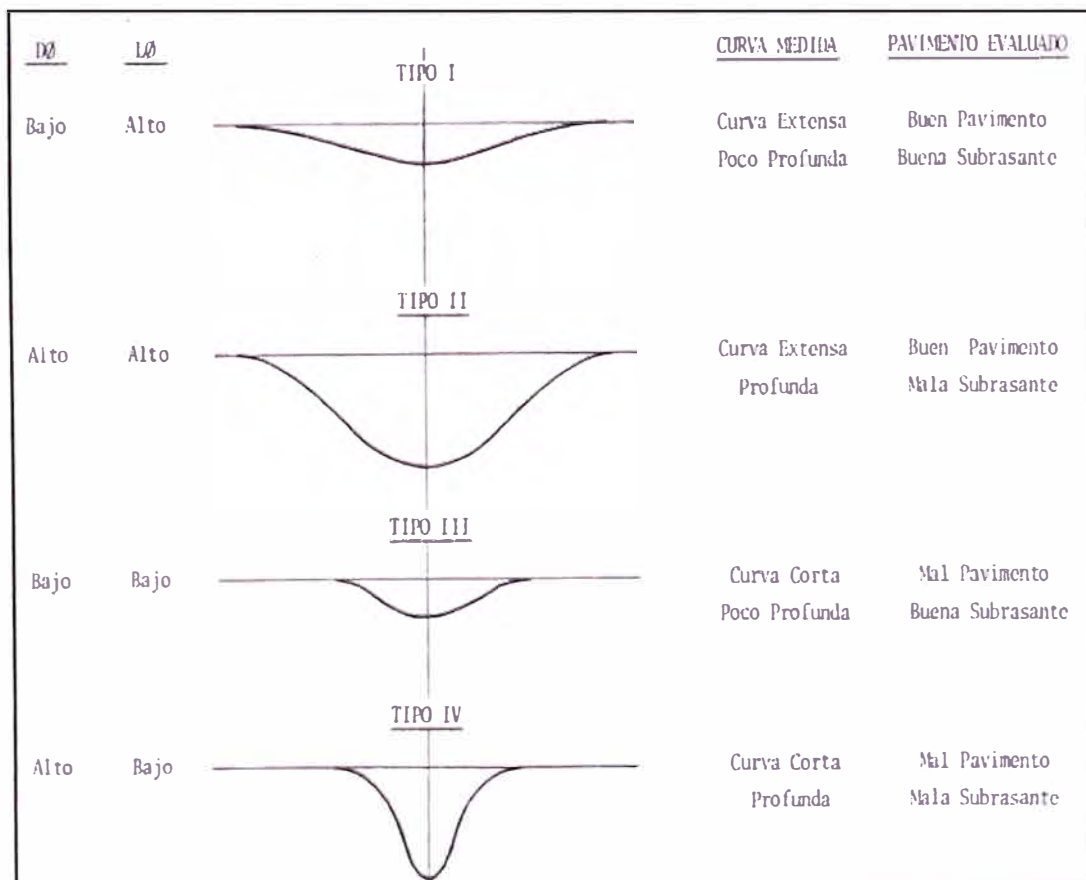
Cuadro Nro. 4.20: Casos según el tipo de curvatura.

CASO	CURVA	CURVA MEDIDA	EVALUACIÓN
I	TIPO I	Curva Extensa	Buen Pavimento
		Poco Profunda	Buena Subrasante
II	TIPO II	Curva Extensa	Buen Pavimento
		Profunda	Mala Subrasante
III	TIPO III	Curva Corta	Mal Pavimento
		Poco Profunda	Buena Subrasante
IV	TIPO IV	Curva Corta	Mal Pavimento
		Profunda	Mala Subrasante

Fuente: Estudios de Evaluación Estructural de Pavimentos, Mario Hoffman, PH.D.

Cabe insistir que las curvas de la figura 4.04, muestran relaciones que permitan comparaciones generales, que pretenden ayudar en la visualización del significado del modulo de elasticidad de la masa de subsuelo y el pavimento (carpeta, base y sub base) en relación con las características de la curva de deflexiones medida.

Figura Nro. 4.04: Significado Cualitativo de los diferentes tipos de Curvas de Deflexiones.



Fuente: Estudios de Evaluación Estructural de Pavimentos, Mario Hoffman, PH.D.

Cuadro Nro. 4.21: Medición de deflexiones con la Viga Benkelman.

SECTOR: ZUÑIGA – Dv. YAUYOS

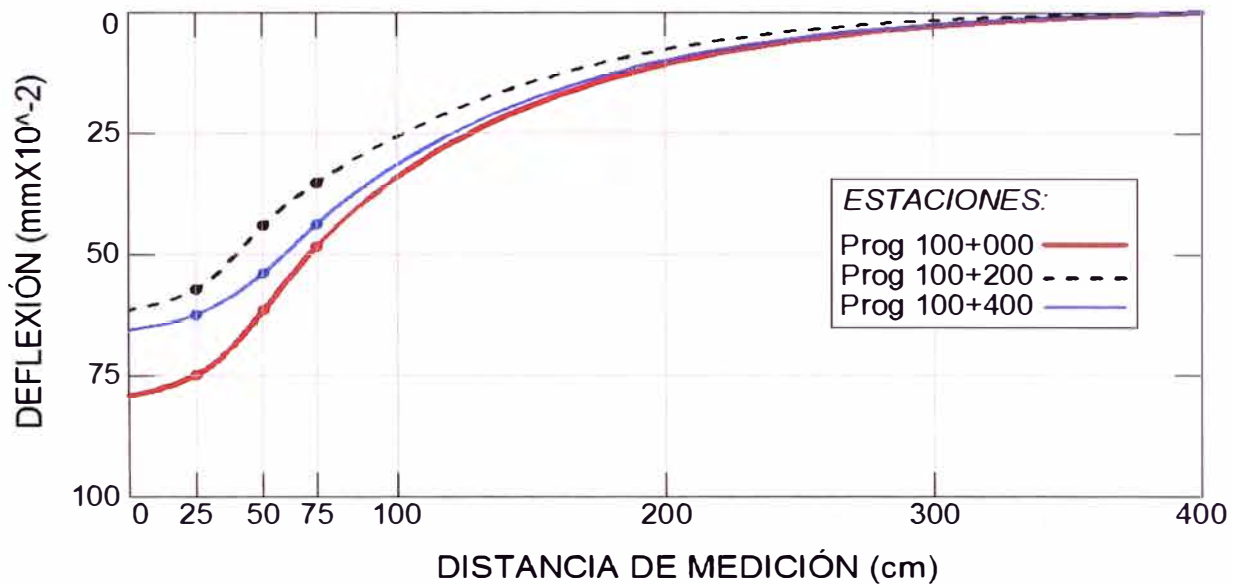
Tramo: Km 100+000 al Km 102+000; Carril: Izquierdo; Fecha: 15/05/2010; Carga de eje: 8.2 ton; Presión: 80 psi

R. brazo largo: 1 a 3.99; R. brazo corto: 1 a 4.01

Progresiva (km)	Carril	Lecturas de Campo Brazo Largo (10 ⁻² mm)				Deflexiones sin Corregir (10 ⁻² mm)				Esp (mm)	Ahuell (mm)	Tem p (°C)	Fact Estac	RESULTADOS DEFLECTOMÉTRICOS			
		L25	L50	L70	Lmax	L25	L50	L70	Lmax					Deflexiones Corregidas			
														D ₂₅ x 10 ⁻² mm	D ₅₀ x 10 ⁻² mm	D ₇₀ x 10 ⁻² mm	D ₀ x 10 ⁻² mm
100+000	Izquierdo	1	4	7	18	4	16	28	72	9	4	20	1.1	4.39	17.56	30.72	79.00
100+200	Izquierdo	1	4	6	14	4	16	24	56	6	2	21	1.1	4.39	17.55	26.32	61.41
100+400	Izquierdo	1	2	5	15	4	8	20	60	20	2	22	1.1	4.37	8.74	21.86	65.57
100+600	Izquierdo	4	8	10	20	16	32	40	80	20	1	25	1.1	17.38	34.76	43.46	86.91
100+800	Izquierdo	1	2	4	10	4	8	16	40	20	1	25	1.1	4.35	8.69	17.38	43.46
101+000	Izquierdo	1	4	7	17	4	16	28	68	18	2.5	25	1.1	4.35	17.40	30.45	73.95
101+200	Izquierdo	1	4	5	15	4	16	20	60	18	2	25	1.1	4.35	17.40	21.75	65.25
101+400	Izquierdo	4	7	9	11	16	28	36	44	15	3	29	1.1	17.32	30.31	38.97	47.64
101+600	Izquierdo	1	4	7	17	4	16	28	68	10	4	29	1.1	4.35	17.40	30.45	73.95
101+800	Izquierdo	3	8	12	32	12	32	48	128	3	3	29	1.1	13.13	35.02	52.53	140.07

Fuente: Elaboración Propia.

Figura Nro. 4.05: Curvas de Deflexiones del Km 100+000 al Km 100+400.

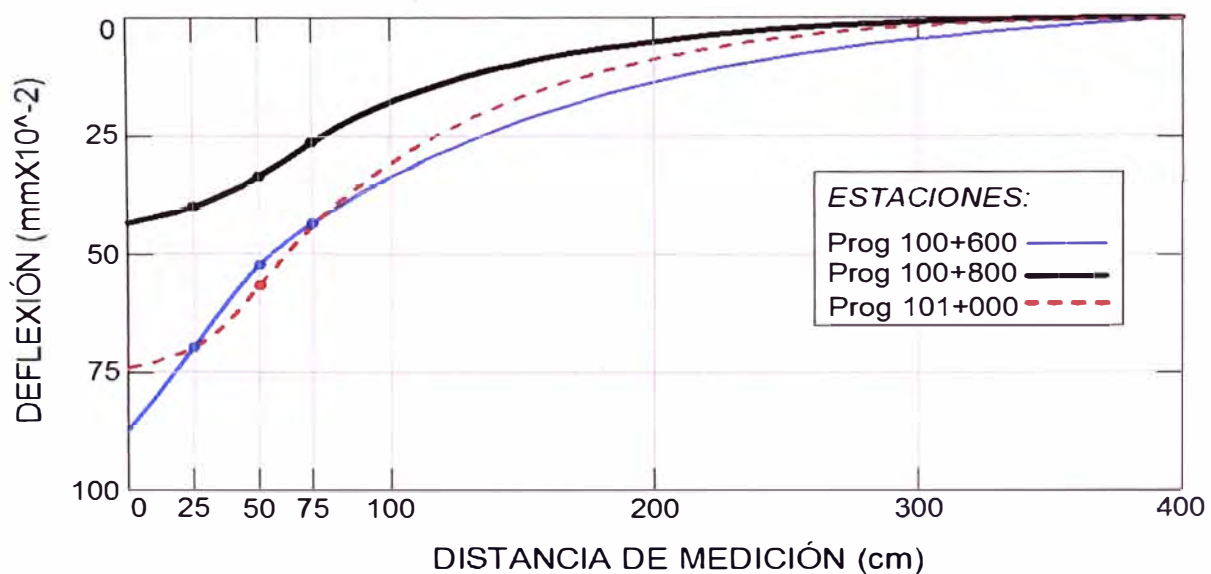


Fuente: Elaboración Propia

De la figura 4.05 para la estación Progresiva Km 100+000 se da el caso II, la curva es extensa y profunda, la cual es un buen pavimento (carpeta, base y sub base), pero mala subrasante.

Para las estaciones ubicadas en las Progresivas Km 100+200 y km 100+400 se da el caso I, las curvas son extensas y tienen poca profundidad, la cual es un buen pavimento y buena subrasante.

Figura Nro. 4.06: Curvas de Deflexiones del Km 100+600 al Km 101+000.



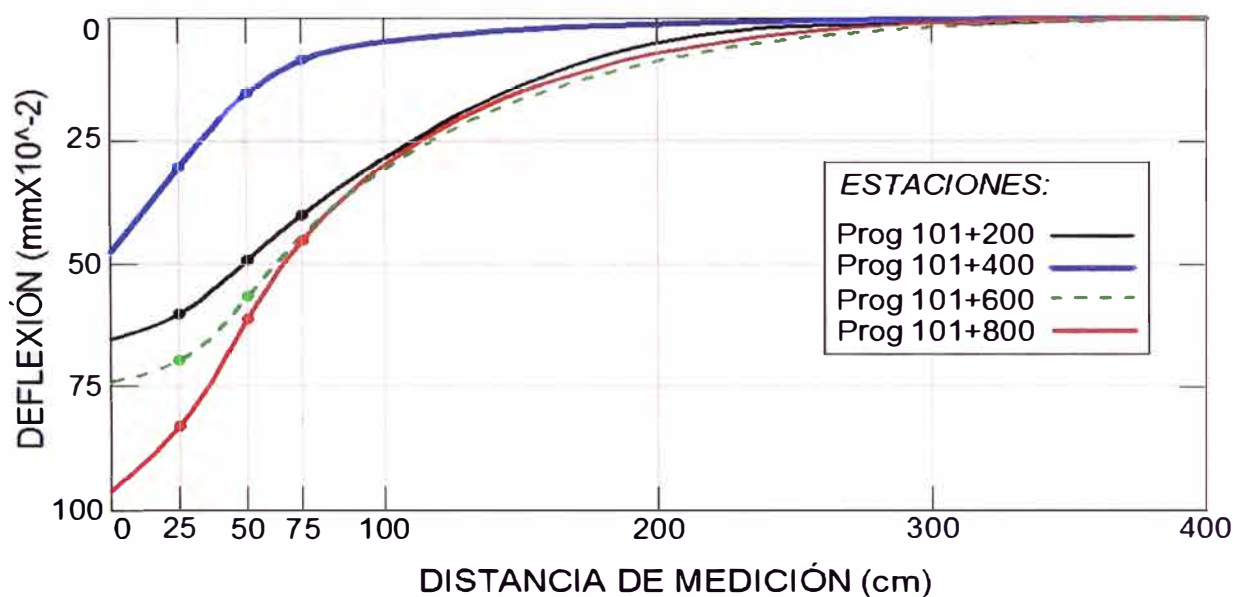
Fuente: Elaboración Propia

De la figura 4.06 para la estación Progresiva Km 100+600 se da el caso II, la curva es extensa y profunda, la cual es un buen pavimento pero mala subrasante.

Para la estación Progresiva Km 100+800 se da el caso II, la curva es extensa y profunda, la cual es un buen pavimento pero mala subrasante.

Para la estación Progresiva Km 101+000 se da el caso I, la curva es extensa y tiene poca profundidad, la cual es un buen pavimento y buena subrasante.

Figura Nro. 4.07: Curvas de Deflexiones del Km 101+200 al Km 101+800.



Fuente: Elaboración Propia

De la figura 4.07 para la estación Progresiva Km 101+200 se da el caso I, la curva es corta y tiene poca profundidad, la cual es un buen pavimento y buena subrasante.

Para la estación Progresiva Km 101+400 se da el caso III, la curva es corta y tiene poca profundidad, la cual es un mal pavimento y buena subrasante.

Para la estación Progresiva Km 101+600 se da el caso II, la curva es extensa y profunda, la cual es un buen pavimento pero mala subrasante.

Para la estación Progresiva Km 101+800 se da el caso IV, la curva es corta y profunda, la cual es un mal pavimento y mala subrasante.

4.6 PROGRAMACIÓN PARA LA TOMA DE MEDICIONES

Para determinar la programación de ensayos con la Viga Benkelman y el Deflectómetro de Impacto (Falling Weight Deflectometers, FWD) equipo de última generación, se efectuó los análisis desde el punto de vista económico .

En el cuadro 4.22 se describe los rendimientos de los equipos, como se puede ver la diferencia del doble de rendimiento del Deflectómetro de Impacto (FWD) con respecto a la Viga Benkelman, pero en costos es menor que el FWD lo cual es más utilizado en el Perú.

Cuadro Nro. 4.22: Descripción de costos y rendimiento de los equipos.

MEDICIÓN DE DEFLEXIONES DEL PAVIMENTO CADA 100 MTS			
Descripción del Equipo	Costo x Km	Rend (Km/Día)	Long Km
VIGA BENKELMAN	S/.117.4	16	281.73
DEFLECTÓMETRO FWD	S/.213.75	32	281.73

Fuente: Elaboración Propia

ANÁLISIS DE LA PROGRAMACIÓN:

En el cuadro 4.24 se detalla la programación de los ensayos deflectométricos con la Viga Benkelman, se estableció 4 periodos para los ensayos (anual, semestral, cuatrimestral y trimestral), teniendo como fecha de inicio en Julio del 2010 y como término Diciembre del 2012. El rendimiento de la medición de las deflexiones con la Viga Benkelman es de 16 kilómetros diarios, realizando el recorrido del tramo de 281.73 kilómetros en 20 días calendario.

En la programación se diferencian las épocas de lluvias en los meses de Diciembre hasta Marzo, teniendo solo 2 temporadas de lluvias del tiempo que resta para la conservación de la vía.

Con la Viga Benkelman se tiene que hacer ensayos en épocas de lluvias para evaluar el desempeño del pavimento en situaciones críticas, su rendimiento disminuye hasta en un 50% incrementando así su costo, a diferencia del Deflectómetro de Impacto (FWD) opera en épocas de lluvias y heladas sin disminuir su rendimiento de 32 kilómetros diarios.

En el cuadro 4.23 se detalla los costos de los ensayos deflectométricos por cada equipo en los 4 periodos (anual, semestral, cuatrimestral y trimestral), en el tiempo que resta del contrato para la conservación de la vía.

Cuadro Nro. 4.23: Costos totales de cada tipo de ensayo deflectométrico.

CONSERVACION DE CARRTERA DE JULIO 2010 A DICIEMBRE 2012				
DESCRIPCIÓN DE CADA CASO	PERIODO	COSTO CON LA VIGA BENKELMAN S/.	COSTO CON FWD S/.	DIFERENCIA COSTOS S/.
MEDICIÓN DE DEFLEXIONES ANUAL	1	97,284.26	180,667.81	83,383.56
MEDICIÓN DE DEFLEXIONES SEMESTRAL	2	230,885.12	301,113.02	70,227.90
MEDICIÓN DE DEFLEXIONES CUATRIMESTRAL	3	329,465.55	481,780.84	152,315.29
MEDICIÓN DE DEFLEXIONES TRIMESTRAL	4	395,617.90	602,226.05	206,608.15

Fuente: Elaboración Propia

CONCLUSIONES DE LOS 4 PERIODOS DE ENSAYOS:

- Los ensayos de deflexiones Anuales con la Viga Benkelman no son recomendables por no tener suficientes datos para un mejor diagnostico del estado del pavimento.
- Los ensayos de deflexiones Semestrales con la Viga Benkelman son recomendables ya que los ensayos se realizaran en épocas de lluvias, para tener una confiabilidad alta de los resultados y los costos son relativamente bajos, se recomienda hacer el ensayo un mes antes de terminado el plazo de contrato para entregar la carretera en optimas condiciones.
- Los ensayos de deflexiones Cuatrimestrales con la Viga Benkelman son recomendables ya que los ensayos se realizaran en épocas de lluvias, para obtener una confiabilidad alta de los resultados, pero los costos ya son elevados.
- Los ensayos de las deflexiones Trimestrales con la Viga Benkelman va depender del comportamiento del pavimento, son costosos los ensayos cada 3 meses, sería recomendable el ensayo cada semestre con el equipo de Deflectómetro de Impacto (FWD) que proveen de resultados más confiables.

Cuadro Nro. 4. 24: Programación de los ensayos con la Viga Benkelman.

2010						2011						2012						COSTO TOTAL S/.	PERIODO ENSAYO												
JUL	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC			ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
20												20																	20	97,284.26	Anual
20						40						20						40											20	230,885.12	Semestral
20				20				40				20			20				40								20		20	329,465.55	Cuatrime
20			20			40			20			20			20			40			20					20		20	395,617.90	Trimestral	

Fuente: Elaboración Propia

Cuadro Nro. 4. 25: Programación de los ensayos con el Deflectómetro de Impacto (Falling Weight Deflectometers, FWD).

2010						2011						2012						COSTO TOTAL S/.	PERIODO ENSAYO												
JUL	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC			ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
10												10																	10	180,667.81	Anual
10						10						10						10											10	301,113.02	Semestral
10				10				10				10			10				10								10		10	481,780.84	Cuatrime
10			10			10			10			10			10			10			10					10		10	602,226.05	Trimestral	

Fuente: Elaboración Propia

COSTO DE CARRETERA X Km= S/161,364.00

Longitud de Tramo: 281.73 Km

10	MES DE ENSAYOS CON 10 DIAS DE DURACIÓN
10	MES ENSAYOS EN LLUVIAS 10 DIAS DE DURACIÓN
20	RECOMENDACIÓN DE ENSAYOS COMO CIERRE DE CONTRATO.

CONCLUSIONES

- Es indudable que la experiencia adquirida y el criterio del ingeniero en la interpretación de los resultados de la evaluación deflectométrica es fundamental para la “toma de decisiones”, ya sea para el diseño de refuerzos o para realizar estrategias de mantenimiento.
- La toma de datos en el campo con la Viga Benkelman es de baja confiabilidad ya que se tomaron las mediciones cada 200 m entre puntos de estación.
- Con los 10 puntos de control tomados en campo resulta una deflexión característica ($D_c=108.63 \times 10^{-2}$ mm), siendo menor que las deflexiones admisibles para los años 1, 2 y 5, indicando que la estructura del pavimento tiene un comportamiento adecuado y el radio de curvatura de 155.86 m, es alto lo que determina que la capa asfáltica es buena, bajo las condiciones dadas en campo.
- Las curvas deflectométricas analizan individualmente cada estación tomada, dando como referencia general el estado del pavimento y la subrasante a diferencia con el análisis empírico que utiliza todos los datos en forma conjunta.
- La medición de las deflexiones semestralmente con la Viga Benkelman son recomendables ya que los ensayos se realizaran en épocas de lluvias para tener una confiabilidad buena de los resultados y los costos son relativamente bajos.

RECOMENDACIONES

- El monitoreo periódico debe estar acompañado con un registro de conteo de tráfico, porque un aumento de tráfico no considerado en la proyección pueden significar la disminución de la vida útil para la cual fue proyecta la estructura.
- Las lecturas de deflectometría son muy sensibles al procedimiento de medición por lo cual deben tomarse mucho cuidado y debe contarse con personal debidamente capacitado. El error en las lecturas pueden llevar a un juicio equivocado de la capacidad estructural, distorsionando las conclusiones sobre el aporte real de la estructura.
- Es necesario una mayor investigación para llegar a conclusiones definitivas en lo que respecta a la utilización de fórmulas empíricas y su aplicabilidad en los procesos de control de calidad a fin de que se adapten a las condiciones propias de la zona en donde se realiza la obra.
- Se recomienda realizar toma de datos cada 100 m de separación entre estaciones de control y alternando cada 50 m de un carril a otro para tener una mejor caracterización del material en estudio.
- Se recomienda usar el equipo deflectométrico de impacto FWD en épocas de lluvias y heladas es ahí donde el pavimento está en estado crítico de la vida útil, dando resultados confiables del comportamiento del pavimento.
- Se recomienda realizar el ensayo deflectométrico un mes antes de culminado el plazo de contrato, para que el Consorcio Gestión de Carreteras entregue la vía en optimas condiciones estructurales.

BIBLIOGRAFÍA

- Chang Albitres, Carlos M.
Pavimentos: Un Enfoque al Futuro.
1ra Edición, Instituto de la Construcción y Gerencia (ICG)
Lima-Perú, 2005.
- Congreso de Obras de Infraestructura Vial
Carreteras.
2da Edición, Instituto de la Construcción y Gerencia (ICG)
Lima –Perú, 2005.
- Consorcio Gestión de Carreteras
Estudios técnicos para el Cambio de Estándar de Afirmado a Solución
Básica Carretera: Cañete – Yauyos – Chupaca Tramo: Zuñiga –
Desv. Yauyos – Ronchas.
Lima-Perú, 2008.
- Ministerio de Transporte y Comunicaciones - Dirección General de Caminos
y Ferrocarriles
Especificaciones Técnicas Generales para la Construcción de Carreteras
MTC EG-2000.
Lima-Perú, 2000.
- Ministerio de Transporte y Comunicaciones – CONREVI
Estudio de Rehabilitación de Carreteras en el Perú.
Editorial del MTC
Lima-Perú, 1982.
- Montejo Fonseca, Alfonso
Ingeniería de Pavimentos.
3ra Edición, Tomo 2, Editorial: Panamericana Formas e Impresos S.A.
Colombia- Bogotá, 2006.

ANEXOS

ANEXOS 01

Foto N°1: Vía con tratamiento superficial (Monocapa+Slurry) Prog: 100+600 Km.



Foto N°2: Vía con tratamiento superficial (Monocapa+Slurry) Prog: 100+800 Km



Foto N°3: Vía con tratamiento superficial (Monocapa+Slurry) Prog: 100+900 Km.



Foto N°4: Vía con tratamiento superficial (Monocapa+Slurry) Prog: 101+100 Km



Foto N°5: La medición de la temperatura del pavimento con termómetro digital.



Foto N°6: La medición del ahuellamiento del pavimento Prog: 101+200 Km.



Foto N°7: Toma de las medidas de las deflexiones del pavimento Prog 101+400 Km.



Foto N°8: Diales utilizados con una precisión de 0.01mm.

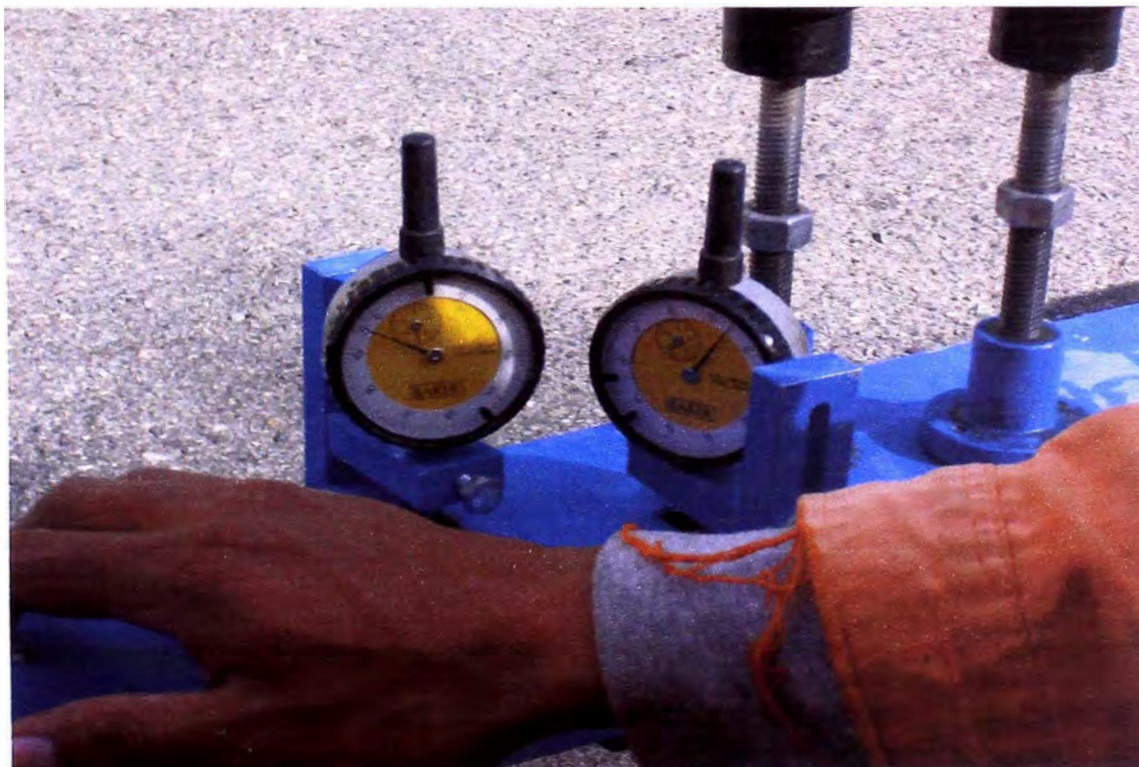
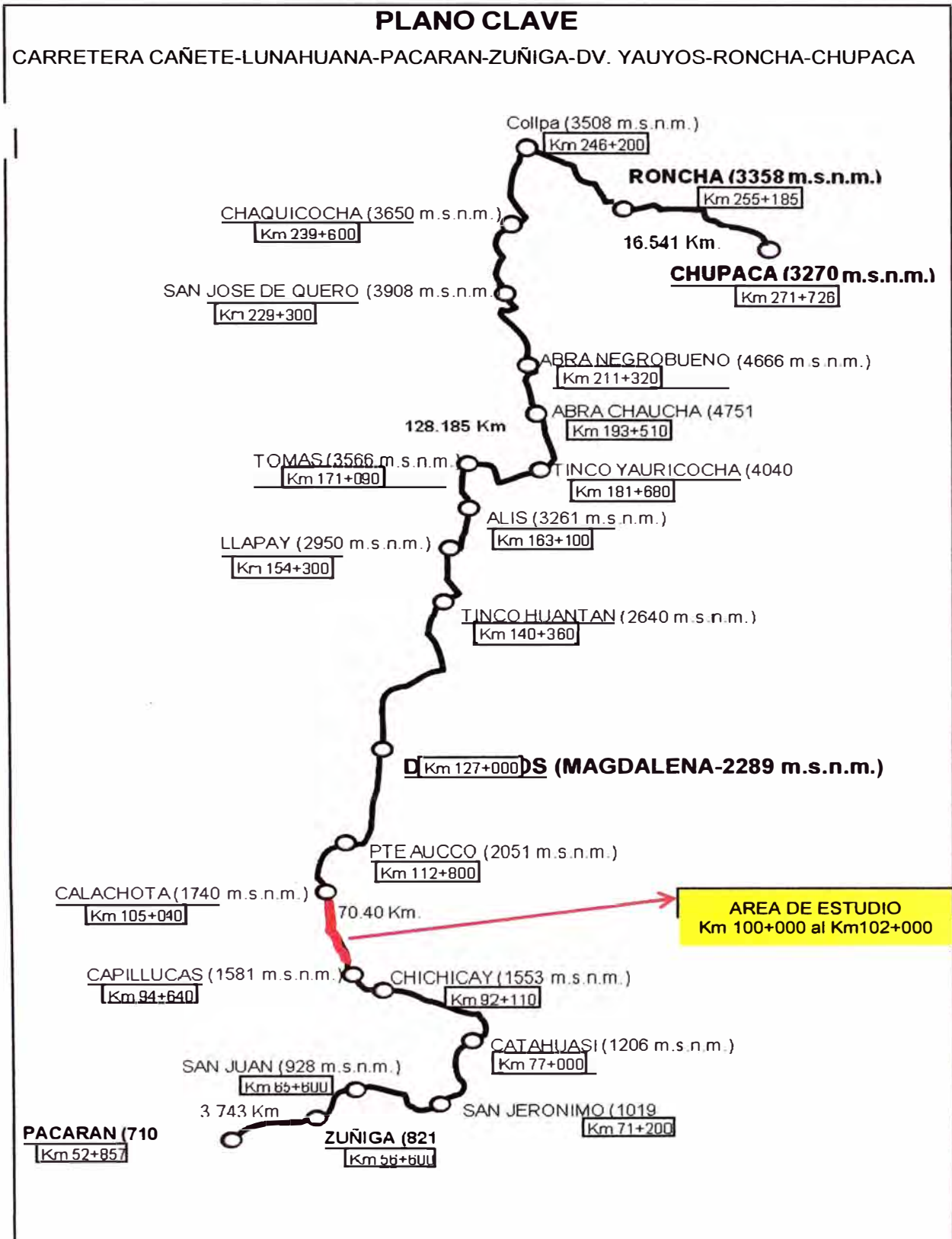


Foto N°9: Camión con carga en el eje trasero de 8.2 toneladas.



ANEXOS 02



Fuente: Consorcio de Gestión de Carreteras.

ANÁLISIS DE COSTOS UNITARIOS:

MEDICIÓN DE DEFLEXIONES DEL PAVIMENTO CON LA VIGA BENKELMAN CADA 100 MTS						
UNIDAD=Km Rendimiento: 16 Km/D					Costo Directo Por: Km	117.40
Descripción Recurso						
Mano de Obra						
	Und	Cuadri	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.	
INGENIERO DE CAMPO	HH	1	0.500	32.50	16.25	
TÉCNICO	HH	1	0.500	13.52	6.76	
CHOFER DE CAMIÓN	HH	1	0.500	11.97	5.99	
PEÓN	HH	3	1.500	10.81	16.22	
					45.21	
Equipo						
CAMIÓN DE EJE SIMPLE	HM	1	0.500	88.00	44.00	
CAMIONETA	HM	1	0.500	25.55	12.78	
VIGA BENKELMAN DE BRAZO DOBLE	HM	1	0.500	22.5	11.25	
TERMOMETRO DIGITAL	HM	1	0.500	5.63	2.81	
HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		3	45.21	1.36	
					72.19	

Fuente: Elaboración Propia.

MEDICIÓN DE DEFLEXIONES DEL PAVIMENTO CON FWD CADA 100 MTS						
UNIDAD=Km Rendimiento: 32 Km/D					Costo Directo Por: Km	213.76
Descripción Recurso						
Mano de Obra						
	Und	Cuadri	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.	
INGENIERO DE CAMPO	HH	1	0.250	32.50	8.13	
TÉCNICO	HH	1	0.250	13.52	3.38	
CHOFER CAMIONETA	HH	1	0.250	11.97	2.99	
					14.50	
Equipo						
CAMIONETA	HM	1	0.250	25.55	6.39	
FDW	HM	1	0.250	771.5	192.88	
					199.26	

Fuente: Elaboración Propia.

COSTOS DE LOS ENSAYOS DE LA VIGA BENKELMAN Y FWD:

MEDICIÓN DE DEFLEXIONES DEL PAVIMENTO CON LA VIGA BENKELMAN CADA 100 MTS

Rendimiento: 16 km/D Long Tramo Km : 281.73

DESCRIPCIÓN	PERIODO	PERIODO DE CONSERVACIÓN			COSTO TOTAL S/.
		2010	2011	2012	
MEDICIÓN DE DEFLEXIONES ANUAL	1	32,428.09	32,428.09	32,428.09	97,284.26
MEDICIÓN DE DEFLEXIONES SEMESTRAL	2	32,428.09	99,228.52	99,228.52	230,885.12
MEDICIÓN DE DEFLEXIONES CUATRIMESTRAL	3	64,856.17	132,304.69	132,304.69	329,465.55
MEDICIÓN DE DEFLEXIONES TRIMESTRAL	4	64,856.17	165,380.86	165,380.86	395,617.90

MEDICIÓN DE DEFLEXIONES DEL PAVIMENTO CON FWD CADA 100 MTS

Rendimiento: 32 km/D Long Tramo Km : 281.73

DESCRIPCIÓN	PERIODO	PERIODO DE CONSERVACIÓN			COSTO TOTAL S/.
		2010	2011	2012	
MEDICIÓN DE DEFLEXIONES ANUAL	1	60,222.60	60,222.60	60,222.60	180,667.81
MEDICIÓN DE DEFLEXIONES SEMESTRAL	2	60,222.60	120,445.21	120,445.21	301,113.02
MEDICIÓN DE DEFLEXIONES CUATRIMESTRAL	3	120,445.21	180,667.81	180,667.81	481,780.84
MEDICIÓN DE DEFLEXIONES TRIMESTRAL	4	120,445.21	240,890.42	240,890.42	602,226.05

Fuente: Elaboración Propia.

INFORME DEL EQUIPO "VIGA BENKELMAN"



PINZUAR
LTDA

ALTA TECNOLOGÍA CON CALIDAD HUMANA AL SERVICIO DEL MUNDO

INFORME DE CALIBRACIÓN

No. 7 438

2009 - 10 - 02

Solicitante : **TECNICAS SP S. A. C.**
 Dirección : **AV. San Diego de Alcalá Manzana F1 N° 24 - Urbanización San Diego**
 Ciudad : **Lima - Perú**
 Instrumento / Tipo : **Viga Benkelman**
 Fabricante : **Pinzuar Ltda.**
 Serie : **076**
 Modelo : **PA - 74**
 Rango de medición : **0 - 25 mm**
 Diales división de escala : **0,01 mm**
 Patrón de calibración : **Bloques calibre milímetro**
 Trazabilidad : **Certificado No. 15442 de la SIC**
 Método de calibración : **Comparación Directa**

Brazo A - (brazo largo)

Valor Nominal V	Lectura del Instrumento			Promedio $L = \frac{L_1 + L_2 + L_3}{3}$	Relación de brazo	Incertidumbre re U	Incertidumbre 2U
	L ₁	L ₂	L ₃				
mm	mm	mm	mm	mm		µm	µm
0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00	0,29	0,58
1	0,252	0,250	0,254	0,252	3,97	1,19	2,38
3	0,748	0,750	0,752	0,750	4,00	1,19	2,38
5	1,250	1,248	1,256	1,251	4,00	2,42	4,84
8	2,000	1,998	1,996	1,998	4,00	1,19	2,38
10	2,506	2,496	2,506	2,503	4,00	3,35	6,69

Relación 1:4

Relación Promedio Brazo = 3,99

Brazo B - (brazo corto)

Valor Nominal V	Lectura del Instrumento			Promedio $L = \frac{L_1 + L_2 + L_3}{3}$	Relación de brazo	Incertidumbre re U	Incertidumbre 2U
	L ₁	L ₂	L ₃				
mm	mm	mm	mm	mm		µm	µm
0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00	2,89	5,77
1	0,246	0,246	0,250	0,247	4,04	3,18	6,36
3	0,746	0,750	0,752	0,749	4,00	3,38	6,77
5	1,246	1,250	1,254	1,250	4,00	3,70	7,39
8	1,994	2,006	1,996	1,999	4,00	4,70	9,41
10	2,498	2,502	2,506	2,502	4,00	3,70	7,39

Relación 1:4

Relación Promedio Brazo = 4,01

PINZUAR LTDA.

Ing. José Alexander Jaimes
 Director Laboratorio Metrología (e).

PINZUAR LTDA.

(*) Este informe expresa fielmente el resultado de las mediciones realizadas y se refiere al momento y condiciones en que se realizaron. Pinzuar Ltda., no se responsabiliza de los perjuicios que pue(n) derivarse del uso inadecuado del instrumento

CALLE 18 N° 103 B - 77 Bogotá D.C. - COLOMBIA
 Teléfonos: 415 7020 - 267 3441 - 418 0994 - 413 0383

www.pinzuar.net
 E-mail: pinzuar@pinzuar.net
 ventas@pinzuar.net