

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



**REFUERZO ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO 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**

**HENRY RONALD PAUCAR JIMENEZ**

**Lima- Perú**

**2011**

*A mis padres, por su sacrificio  
A la Facultad, por sus enseñanzas*

## INDICE

<b>RESUMEN</b>	<b>3</b>
<b>LISTA DE CUADROS</b>	<b>5</b>
<b>LISTA DE FIGURAS</b>	<b>7</b>
<b>LISTA DE SIMBOLOS</b>	<b>8</b>
<b>INTRODUCCION</b>	<b>10</b>
<b>CAPITULO I – RESUMEN DEL PERFIL DEL PROYECTO</b>	<b>11</b>
1.1 ASPECTOS GENERALES	11
1.2 IDENTIFICACION	14
1.3 DEFINICION DEL PROBLEMA Y SUS CAUSAS	18
1.4 FORMULACION Y EVALUACION	21
<b>CAPITULO II – LA VIGA BENKELMAN</b>	<b>35</b>
2.1 INTRODUCCION	35
2.2 DESCRIPCION	35
2.3 EQUIPO REQUERIDO	36
2.4 PROCEDIMIENTO EN CAMPO	37
<b>CAPITULO III – EVALUACION DEL PAVIMENTO POR DEFLECTOMETRIA</b>	<b>41</b>
3.1 CONCEPTO	41
3.2 BASE TEORICA	47
3.3 DETERMINACIÓN DEL NÚMERO DE EJES EQUIVALENTES EN EL CARRIL DE DISEÑO PARA EL PERIODO DE DISEÑO	50
3.4 METODOLOGIA BASADA EN LA INTERPRETACION DE LAS CURVAS DE DEFLEXIONES: MODELO DE HOGG	55
<b>CAPITULO IV - DISEÑO DE ESPESORES DE REFUERZO</b>	<b>65</b>
4.1 MÉTODO DE DISEÑO DE RECAPADOS: AASHTO 1993	65

<b>4.2 APLICACIÓN DEL METODO AASHTO</b>	<b>70</b>
<b>4.3 MÉTODO DE DISEÑO DE RECAPADOS: ASPHALT INSTITUTE</b>	
<b>(U.S.A)</b>	<b>77</b>
<b>4.4 APLICACIÓN DEL MÉTODO DEL ASPHALT INSTITUTE</b>	<b>78</b>
<b>CONCLUSIONES</b>	<b>81</b>
<b>RECOMENDACIONES</b>	<b>83</b>
<b>BIBLIOGRAFIA</b>	<b>84</b>

## **RESUMEN**

La carretera Cañete – Yauyos - Chupaca, pertenece a la red vial nacional, el tramo en estudio se encuentra entre los departamentos de Lima y Junín. En el departamento de Lima recorre la provincia de Cañete, pasando por los distritos de Lunahuaná, Pacarán y Zúñiga; en la provincia de Yauyos pasa por los distritos de Catahuasi, Ayanca, Yauyos, Catania, Miraflores, Alis y Tomas. En el Departamento de Junín recorre la provincia de Chupaca, pasando por los distritos de Jarpa, Ahuac y Chupaca; en la provincia de Concepción pasa por los distritos de San José de Quero y Chambará.

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 no cuenta con un tránsito fluido y rápido debido a características propias de clima y topografía.

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

El Programa “Proyecto Perú” aspira a establecer un sistema de contratación de las actividades de conservación de la infraestructura vial, mediante contratos en los que las prestaciones se controlen por niveles de servicio y por plazos iguales 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.

Es en este marco que se evalúa estructuralmente el pavimento, para lo cual se toma medidas de deflexión con la Viga Benkelman a lo largo de toda la carretera.

Con el fin de aplicar los conceptos de refuerzo de carpeta asfáltica utilizando datos de medidas de deflexión es que se escoge un tramo que reúna las condiciones para esa aplicación. Después de un minucioso análisis, se determinó que el tramo comprendido entre el Km 229+500 y el Km 233+300 ofrecía estas condiciones. Una vez analizado el tramo, se determinó el espesor de refuerzo mediante dos métodos para así establecer una comparación.

---

## LISTA DE CUADROS

CUADRO N° 1.1	TRAMIFICACIÓN Y CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES	10
CUADRO N° 1.2	UNIDAD FORMULADORA Y EJECUTORA	11
CUADRO N°1.3	ESTADO ACTUAL DE LA CARRETERA	14
CUADRO N° 1.4	UBICACIÓN DE LOS PUNTOS DE AFORO	20
CUADRO N° 1.5	RESUMEN CLASIFICADO POR GRANDES GRUPOS DE VEHICULOS DEL IMDA POR ESTACION DE CONTROL (VEH/DÍA)	22
CUADRO N° 1.6	RESUMEN DEL PORCENTAJE DESAGREGADO DEL IMDA POR ESTACION DE CONTROL (VEH/DÍA)	22
CUADRO N° 1.7	TRÁFICO ACTUAL TRAMO DV YAUYOS A CHUPACA	23
CUADRO N° 1.8	CUADRO TRAFICO PROYECTADO TRAMO Dv YAUYOS A CHUPACA	24
CUADRO N° 1.9	TRÁFICO DESVIADO TRAMO DV YAUYOS A CHUPACA	25
CUADRO N° 1.10	RESUMEN IMD TOTALES	26
CUADRO N° 1.11	CARACTERISTICAS DE CARRETERA	27
CUADRO N° 1.12	COSTO DE MANTENIMIENTO SITUACIÓN SIN PROYECTO MONOCAPA	28
CUADRO N° 1.13	COSTO DE INVERSION Y MANTENIMIENTO ANUAL	28
CUADRO N° 1.14	COSTOS INCREMENTALES PARA EL TRAMO CONSIDERANDO SEGÚN ALTERNATIVAS	30
CUADRO N° 1.15	COSTOS OPERATIVOS VEHICULARES	31
CUADRO N° 1.16	METODOLOGIA COSTO BENEFICIO	32
CUADRO N° 2.1	FORMATO PARA TOMA DE DATOS EN CAMPO	39

---

CUADRO 3.1	LEVANTAMIENTO DE DATOS EN EL TRAMO EN ESTUDIO	41
CUADRO 3.2	PROCESAMIENTO DE LA DATA DEFLECTOMETRICA TOMADA EN CAMPO	42
CUADRO 3.3	% ESAL EN EL CARRIL DE DISEÑO	
CUADRO 3.4	FACTORES DE EQUIVALENCIA DE CARGA	46
CUADRO 3.5	TRAFICO ACTUAL PROYECTADO: SAN JOSE DE QUERO - RONCHAS	47
CUADRO 3.6	TRAFICO GENERADO EN OTRAS RUTAS	
CUADRO 3.7	PROYECCION DE TRAFICO GENERADO: TRAMO SAN JOSE DE QUERO - RONCHAS	48
CUADRO 3.8	PROYECCION DE TRAFICO DESVIADO: TRAMO SAN JOSE DE QUERO - RONCHAS	48
CUADRO 3.9	IMD 2, 010– 2, 012 EN EL TRAMO EN ESTUDIO	49
CUADRO 3.10	CALCULO DE ESAL PARA EL AÑO 2, 012	
CUADRO 3.11	COEFICIENTES DE CORRELACIÓN PARA EL CÁLCULO DE R5 EN EL MODELO DE HOGG	55
CUADRO 3.12	COEFICIENTES DE CORRELACIÓN PARA EL CÁLCULO DE L0 EN EL MODELO DE HOGG	56
CUADRO 4.1	FACTOR CARRIL	66
CUADRO 4.2	NIVELES DE CONFIABILIDAD SUGERIDOS	66
CUADRO 4.3	PROCESAMIENTO DE DEFLEXIONES (MODELO DE HOGG)	69

---

## **LISTA DE FIGURAS**

<b>FIGURA 1.1</b>	<b>PERSPECTIVA DEL TRAMO</b>	<b>15</b>
<b>FIGURA 1.2</b>	<b>GRAFICO DE UBICACIÓN DE LAS ESTACIONES DE CONTROL REGION JUNIN</b>	<b>21</b>
<b>FIGURA 2.1</b>	<b>ESQUEMA Y PRINCIPIO DE OPERACIÓN DE LA VIGA BENKELMAN</b>	<b>35</b>
<b>FIGURA 2.2</b>	<b>CONFIGURACION GEOMETRICA DEL SISTEMA DE CARGA EN ENSAYOS CON LA VIGA BENKELMAN</b>	<b>36</b>
<b>FIGURA 2.3</b>	<b>ESQUEMATIZACION DEL PROCESO DE MEDICION CON LA VIGA BENKELMAN</b>	<b>38</b>
<b>FIGURA 3.1</b>	<b>ESQUEMAS Y PARÁMETROS DEL MODELO DE HOGG</b>	<b>51</b>
<b>FIGURA 3.2</b>	<b>CURVAS DE DEFLEXIONES EN EL MODELO DE HOGG PARA LA CONFIGURACIÓN DE CARGA DE LA VIGA BENKELMAN</b>	<b>52</b>
<b>FIGURA 3.3</b>	<b>NOMOGRAMA PARA EVALUACION STRUCTURAL BASADO EN EL MODELO DE HOGG.(VIGA BENKELMAN)</b>	<b>53</b>
<b>FIGURA 4.1</b>	<b>FACTOR DE CORRECCIÓN ESTACIONAL</b>	<b>74</b>
<b>FIGURA 4.2</b>	<b>ESPESOR DE RECAPADO, ASFALTO SOBRE ASFALTO</b>	<b>75</b>

## LISTA DE SÍMBOLOS

**AASHTO:** American Association of State Highway and Transportation Officials

**B:** base

**CA:** carpeta asfáltica

**CBR:** Californian Bearing Ratio (Razón de Soporte de California)

**CF:** Factor de condición

**Co:** coluvial

**Dol:** Espesor de Recapado Requerido

**E:** espaciamiento

**EAL:** Equivalent Axle Load (Eje Equivalente de Carga)

**EE<sub>8.2TN</sub>:** Factor de Equivalencia de carga de 8.2 Toneladas

**F.C.:** Factor de Carga

**F.E.C.:** Factor Equivalente de Carga por Eje

**F.S.:** Factor de Seguridad

**F.S.E.:** Factor de Seguridad Estático

**F.S.P.:** Factor de Seguridad Pseudo - estático

**F<sub>pll</sub>:** factor por presión de llantas

**HC:** Espesor del Paquete Estructural

**HE:** Espesor Equivalente

**IMDa:** Índice Medio Diario anual

**Km:** kilómetro

**Kg:** kilogramo

**KN/m<sup>3</sup>:** Kilonewton por metro cúbico

**KPa:** Kilopascales

**Lb:** libra

**m:** metro

**m<sup>2</sup>:** metro cuadrado

**m<sup>3</sup>:** metro cúbico

**MPa:** Megapascales  
**Mr:** Módulo resiliente  
**msnm:** metros sobre el nivel del mar  
**n:** periodo de diseño  
**Pi:** serviciabilidad inicial  
**Pt:** serviciabilidad final  
**psi:** libra por pulgada al cuadrado  
**R:** Relleno  
**RL:** vida remanente  
**SNf:** Número Estructural Requerido (de Diseño)  
**SNol:** Número Estructural de Recapado  
**SNrem:** Número Estructural Remanente  
**SNEff:** Número Estructural Efectivo  
**So:** desviación estandar  
**t:** Tasa de crecimiento  
**Tn:** Toneladas  
**W<sub>18</sub>:** Número de carga equivalente a 18,000 libras  
**Zr:** confiabilidad de diseño

## INTRODUCCION

La Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Ingeniería, como parte del Curso de Titulación del presente año 2010 en la especialidad de vialidad, ha programado que los Informes de Suficiencia sean relacionados a la evaluación del proyecto Ampliación y Mejoramiento de la Carretera Cañete – Yauyos – Huancayo, tramo Km. 100+000 al Km. 120+000, cuyo objetivo es identificar, evaluar, analizar y dar soluciones a los problemas de ingeniería que se presenten.

El desarrollo del presente informe tiene como objetivo determinar el comportamiento estructural del pavimento existente (Carretera Cañete – Yauyos – Huancayo del Km. 100+000 al Km. 102+000) con el fin de evaluar la necesidad de reforzarlo. Dado que este tramo no necesita refuerzo estructural, se escogió un tramo de la carretera que si lo necesitara, determinándose que uno de estos era el tramo comprendido entre los Km 229+500 y 233+300, el cual será objeto del estudio.

El presente informe se divide en cuatro capítulos, los cuales se detallan a continuación:

**Capítulo 1: *Resumen del Perfil del Proyecto*** Este capítulo sirve como antecedente para tener conocimiento sobre las características y la situación actual de la carretera Lunahuaná – Yauyos – Chupaca en todo su recorrido, además de indicar la evaluación económica realizada y las alternativas seleccionadas.

**Capítulo 2: *La Viga Benkelman*** En este capítulo se expone la base teórica de la Viga Benkelman: Su descripción, campo de aplicación y el procedimiento en campo para la toma de datos.

**Capítulo 3: *Evaluación del Pavimento por Deflectometría*** En este capítulo se procesa la información recopilada en campo con el fin de obtener las deflexiones y así poder caracterizar el comportamiento del pavimento de nuestro tramo de estudio.

**Capítulo 4: *Diseño de Espesores de Refuerzo*** En este capítulo se determina el espesor de refuerzo que requerirá el pavimento.

## CAPÍTULO I: RESUMEN DEL PERFIL DEL PROYECTO

### 1.1 ASPECTOS GENERALES

#### NOMBRE DEL PROYECTO

“Cambio de Estándar de la Carretera Cañete – Yauyos – Huancayo: km 100+000 → km 115 + 000”.

#### UBICACIÓN

La carretera Cañete – Yauyos - Chupaca, pertenece a la red vial nacional, el tramo en estudio se encuentra entre los departamentos de Lima y Junín. En el departamento de Lima recorre la provincia de Cañete, pasando por los distritos de Lunahuaná, Pacarán y Zúñiga; en la provincia de Yauyos pasa por los distritos de Catahuasi, Ayanca, Yauyos, Catania, Miraflores, Alis y Tomas. En el Departamento de Junín recorre la provincia de Chupaca, pasando por los distritos de Jarpa, Ahuac y Chupaca; en la provincia de Concepción pasa por los distritos de San José de Quero y Chambará.

**Cuadro N° 1.1 Tramificación y características principales**

Tramo	Itinerario	Longitud (km)	Región	Superficie	Topografía	Condición
I	Lunahuaná – Pacaran	15.27	Costa	Monocapa	Ondulada	Bueno
II	Pacarán – Zuñiga	4.15	Costa	Monocapa	Ondulada	Bueno
III	Zuñiga – Dv. Yauyos	72.60	Sierra	Monocapa	Accidenta da	bueno
IV	Dv. Yauyos – Ronchas	135.13	Sierra	Monocapa	Accidenta da	Malo
V	Ronchas - Chupaca	16.61	Sierra	Afirmado	Ondulada	Malo

El área de influencia directamente beneficiada socio - económicamente son las provincias de Cañete, Yauyos, Chupaca y Concepción, teniendo como beneficiarios indirectos, los siguientes límites: Por el Norte con los cuadrángulos de Huarochiri y La Oroya, por el Este con los cuadrángulos de Andamarca y Pampas, por el Sur con los cuadrángulos de Tantarà y Chinchá y por el Oeste con el cuadrángulo de Mala.

Políticamente el tramo une las provincias de Cañete, Yauyos (Departamento de Lima) y Chupaca, Concepción (Departamento de Junín).

La altitud de este tramo varía entre los 450 m.s.n.m. y los 4,600 m.s.n.m.

## UNIDAD FORMULADORA Y EJECUTORA

**Cuadro N° 1.2: 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

## PARTICIPACIÓN DE BENEFICIARIOS Y DE LAS ENTIDADES INVOLUCRADAS

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

Entre las principales entidades involucradas tenemos las siguientes:

- **Ministerio de Transportes y Comunicaciones MTC a través de Proviás Nacional.**

## 1.2 IDENTIFICACIÓN

### DIAGNOSTICO 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, según los términos de referencia, dentro de la fase pre-operativa se ha realizado el Inventario Vial Calificado durante los meses de abril, mayo y junio de 2008.

#### 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 de las zonas dentro del 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 o señalización deficiente, algunos taludes erosionados y/o inestables.

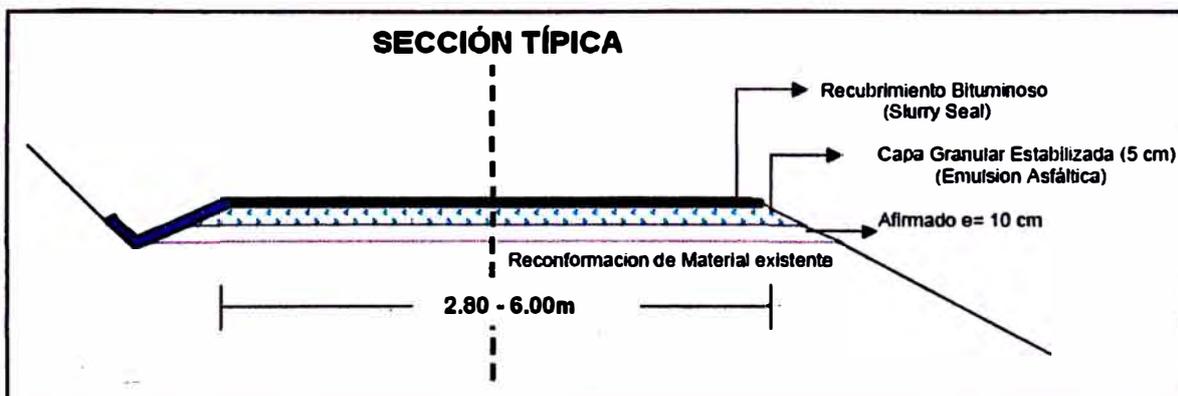
**Cuadro N°1.3: Estado Actual de la Carretera**

TRAMO PRINCIPAL	TIPO DE SUPERFICIE DE RODADURA	LONGITUD (km)
Lunahuaná - Pacarán	TSB	11.91
Pacarán - Zúñiga	TSB	3.74
Zúñiga- Dv. Yauyos	Base estabilizada +TSM, Slurry Seal	70.4

FUENTE: Elaboración propia.

De la visita de campo a la zona, en el tramo asignado se ha encontrado que el principal problema existente es la exudación del asfalto del Slurry Seal colocado, lo que puede ocasionar accidentes y el deterioro prematuro de la vía, adicionalmente el sistema de drenaje es deficiente en gran parte del tramo, que a su vez presenta anchos de plataforma muy reducidos, curvas con radios menores que el mínimo establecido y pendientes que llegan al 9%.

**Figura 1.1: Perspectiva del Tramo**



FUENTE: MTC.- Términos de Referencia del Contrato de Conservación Vial por niveles de servicio de la Carretera Cañete – Chupaca.

Basados en estudios del DGCF (Dirección de desarrollo Vial), se recogieron los valores de IMD para cada tramo, los cuales han sido actualizados al presente año.

El ancho promedio de la vía varía entre 2.8 y 6.00 m.

Las estructuras de drenaje longitudinal como canales y cunetas, en su mayoría de tierra, requieren ser reemplazadas.

No presenta señalización horizontal en el eje central pero si en los laterales y algunos postes delineadores provisionales.

La señalización vertical la constituyen algunas señales preventivas, reglamentarias e informativas y los postes kilométricos en su mayoría en mal estado de conservación o no existen.

### **Actividades económicas**

La población del área de influencia del proyecto, tiene como base económica principal, la explotación de la actividad agropecuaria (principalmente de autoconsumo), cuyas formas de producción son básicamente "tradicionales", en relación a los sistemas de producción mecanizados y agroquímico que se practican en la costa y en los grandes complejos agroindustriales, principalmente.

En zonas fuera del tramo, en los distritos de Alis, Tomas y Laraos, la actividad minera tiene mayor relevancia. La economía de la zona de influencia del proyecto, presenta un débil crecimiento con tendencia al estancamiento, donde los niveles de producción y productividad expresan bajos rendimientos.

Las prácticas culturales tradicionales se derivan de un conjunto de factores, entre los cuales se puede citar: Bajo nivel educativo de los agricultores (nula asistencia técnica y capacitación), deficiente tecnología productiva o nula, limitada posibilidad de financiamiento, uso de herramientas básicas y en consecuencia se obtiene como resultado bajos niveles de producción y productividad .De otro lado el precario ingreso familiar limita e impide el financiamiento de obras de infraestructura básica (canales de regadío, almacenes etc.), además que la inversión del estado es insuficiente.

En consecuencia, la infraestructura productiva existente en una gran parte de la zona de influencia del proyecto, condiciona el desarrollo de una agricultura de

tipo seco. A cierta altura las heladas y granizadas y factores climáticos afectan a la producción, convirtiéndose la agricultura en una actividad de mucho riesgo.

Existe diversidad de cultivos en el área de influencia del proyecto, como consecuencia de las condiciones climáticas y topográficas de la zona.

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

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

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

Los distritos de Lunahuaná, Pacarán y Zúñiga, destinan la mayor parte de su producción para ser vendida principalmente en el mercado de la ciudad de Cañete y Lima.

De otro lado, los pobladores de los distritos de Yauyos, Catahuasi, Ayauca, Laraos, Alis, Tomas, destinan su producción al autoconsumo principalmente.

Los distritos de Chambara y San José de Quero, también producen principalmente para autoconsumo, y un mínimo porcentaje lo venden en el mercado.

Los distritos de Ahuac y Cullhuas también destinan la mayor parte de su producción para autoconsumo, y un mínimo porcentaje para el mercado. El distrito de Chupaca destina el 47% de su producción para el mercado y un 49 % se consume en la Unidad Agropecuaria.

Existen en la zona de influencia del proyecto, dos regímenes de tenencia de las parcelas, la denominada forma simple y otra denominada mixta. En resumen, dentro de la forma simple y mixta, se contemplan tres tipos de propiedad sobre la tierra: en Propiedad, en arrendamiento y Propiedad Comunal. En los distritos de Lunahuaná, Pacarán y Zúñiga, las Unidades Agropecuarias o parcelas, están bajo la modalidad de Propiedad. En Catahuasi, Yauyos, Ayauca, Laraos, Alis,

están bajo el régimen de Propiedad. En el distrito de Tomas y San José de Quero, prevalece el régimen de la propiedad Comunal.

### **1.3 DEFINICION DEL PROBLEMA Y SUS CAUSAS**

Según se desprende del análisis de los antecedentes, el problema central es: **Presencia de fallas de transitabilidad en general del Km 100+000 al Km 115+000.**

#### **Causas**

Las principales causas que inciden en este problema son:

- Rápido deterioro de la superficie de rodadura.
- Incumplimiento de las especificaciones de conservación vial en los niveles de servicio.
- Vulnerabilidad del contrato con respecto de los intereses de los usuarios.
- Falta de intervención de la supervisión.

#### **Efectos**

Los efectos derivados del problema central son los siguientes:

- Altos costos de transporte, y por consiguiente, de producción.
- Mayor tiempo de traslado de personas y carga.
- Incremento del riesgo de pérdidas de producción
- Inseguridad de la vía, ocurrencia de accidentes de tránsito.
- Retraso socio económico de los pueblos de la zona.

#### **Objetivo del Proyecto**

El **objetivo central** del proyecto es eliminar las fallas de la transitabilidad que presenta el tramo en estudio, de tal modo que el usuario transite a través de ella con comodidad, seguridad y a una velocidad razonable.

Los **objetivos específicos** señalados con la finalidad de alcanzar el objetivo central antes mencionado son:

- Aplicación de los alcances del presente contrato, recurriendo a los Términos de Referencia, las Bases de Licitación y a la Normativa aplicable.
- Lograr la transitabilidad deseada. Para esto el Contratista Conservador debe basarse en
- Viabilizar la transferencia de responsabilidades de conservación una vez finalizado el plazo de vigencia del contrato.

Al tener esta vía habilitada efectivamente se lograría tener una vía alterna a la Carretera Central para ir de Huancayo hacia Lima y viceversa, descongestionando de este modo la Carretera Central y disminuyendo los costos de transporte.

### **Análisis de medios y fines**

Se considera que los medios fundamentales para enfrentar el problema son:

- Aplicar un refuerzo a la superficie de rodadura, a fin de desacelerar el rápido deterioro de ésta;
- Que la Supervisión tenga un papel más efectivo, con el propósito de velar por el cumplimiento por parte del Contratista Conservador de las Especificaciones Técnicas Generales para la Conservación de Carreteras; y
- Que se proponga un método de Evaluación de la Serviciabilidad de la Carretera que tenga en cuenta la opinión del usuario.

### **Alternativas de Solución**

Después de efectuar el análisis de Causas – Efectos, y de Medios – Fines, se procedió a plantear 3 alternativas para el plan de conservación del tramo en estudio:

### **Alternativa 1**

Mantener el trazo de la vía, mejorando su superficie con tratamiento superficial slurry al 100%, además construir o reconstruir el sistema de drenaje, obras de drenaje y señalización, y actividades de mantenimiento rutinario y periódico.

### **Alternativa 2**

Mantener el trazo de la vía, mejorando su superficie con tratamiento superficial slurry al 60%, además construir o reconstruir el sistema de drenaje, obras de drenaje y señalización, y actividades de mantenimiento rutinario y periódico.

### **Alternativa 3**

Mantener el trazo de la vía, mejorando su superficie con tratamiento superficial monocapa, además construir o reconstruir el sistema de drenaje, obras de drenaje y señalización, y actividades de mantenimiento rutinario y periódico.

## 1.4 FORMULACION Y EVALUACION

### 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.

### AREA 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 – Zuñiga – 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.

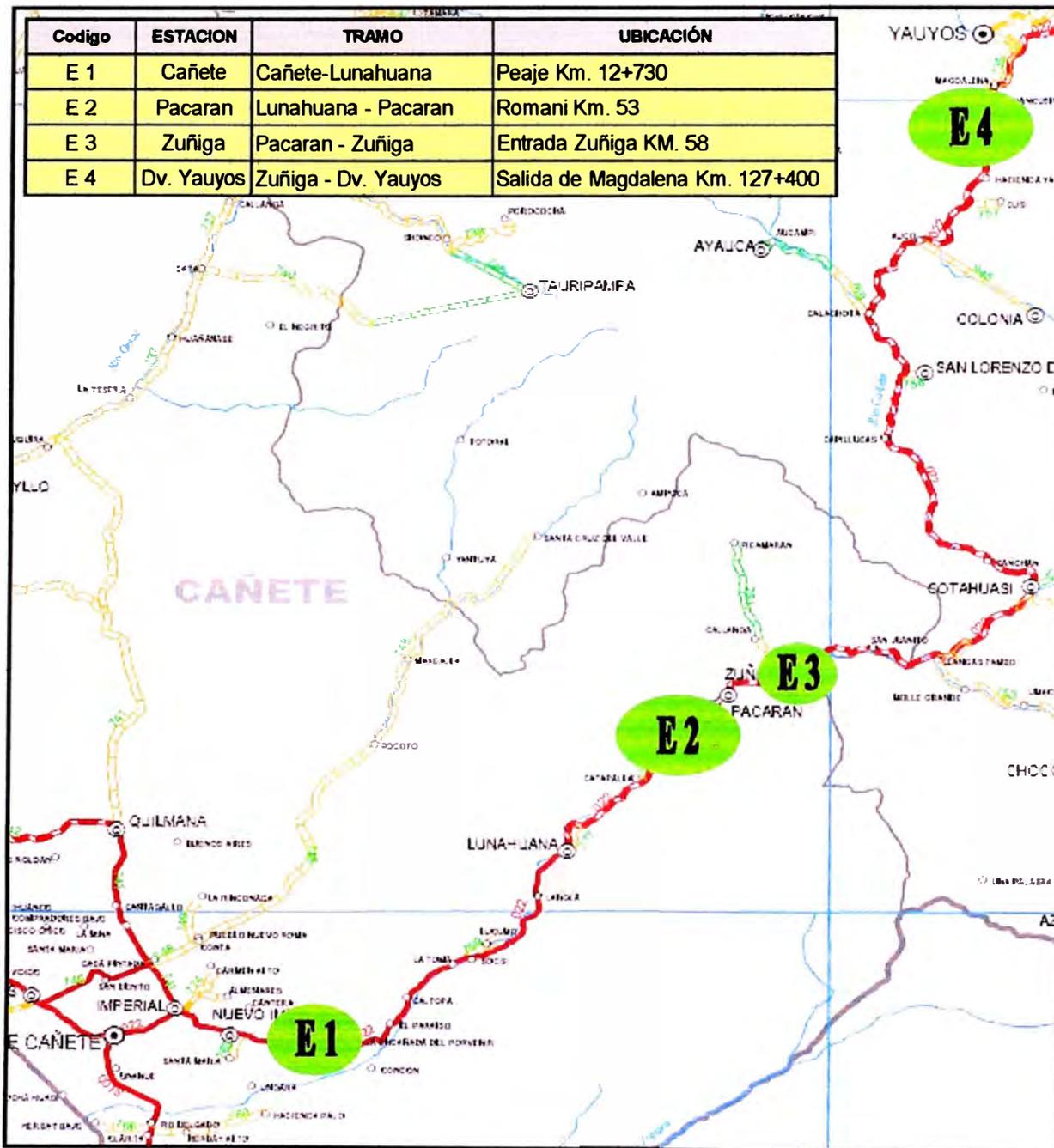
CUADRO N° 1.4 - UBICACIÓN DE LOS PUNTOS DE AFORO

CÓDIGO	UBICACIÓN	RUTA	NOMBRE
E 1	Cañete (Imperial)-Lunahuana	RN 22	Lunahuana
E 2	Lunahuana-Pacaran-Zuñiga	RN 22	Pacaran
E 3	Zuñiga-Dv. Yauyos-San José de Quero	RN 22	Zuñiga
E 4	San Jose de Quero-Ronchas	RN 22	Yauyos
E 5	Ronchas-Chupaca	RN 22	Ronchas

FUENTE: Informe “Conservación Vial Por Niveles De Servicio De La Carretera Cañete – Zuñiga – Dv Yauyos – Ronchas – Chupaca – Estudio De Tráfico – Junio Del 2008”

**FIGURA 1.2 GRAFICO DE UBICACIÓN DE LAS ESTACIONES DE CONTROL REGION JUNIN**

**FUENTE:** Informe "Conservación Vial Por Niveles De Servicio De La Carretera Cañete  
- Zúñiga - Dv Yauyos - Ronchas - Chupaca - Estudio De Tráfico - Junio Del 2008"



## Demanda Actual

La demanda del proyecto está dada por el flujo vehicular existente en la actualidad, la misma que se muestra a través del cálculo del IMD (Índice Medio Diario). Para cada tramo de la carretera, el cuadro muestra los IMD al 2008.

CUADRO N° 1.5

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

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

Fuente: Estudio de trafico 2008

CUADRO N° 1.6 - RESUMEN DEL PORCENTAJE DESAGREGADO DEL IMDA POR ESTACION DE CONTROL (veh/día)

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

Fuente: Estudio de trafico 2008

Debido a que el conteo de vehículos fue realizado al año 2008, se actualizaron los datos de interés al año 2010 considerando las tasas indicadas en el ítem anterior. El detallado del sector que incluye al tramo asignado se muestra en el cuadro anterior.

**CUADRO N° 1.7 TRÁFICO ACTUAL TRAMO Dv YAUYOS A CHUPACA**

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
<b>IMD</b>	<b>53</b>	<b>54</b>	<b>56</b>

### **Demanda Proyectada con Tráfico Normal**

Para la proyección del tráfico normal hasta el 2008 se utilizará los indicadores macro-económicos que estableció el Ministerio de Economía y Finanzas. El proyecto se encuentra ubicado en los departamentos de Lima y Junín, los mismos que cuentan con las tasas de crecimiento poblacional de 1.7% y 1.1% respectivamente, promediando ambas se obtiene 1.4%, que servirá para la proyección del tráfico ligero hasta el 2012.

Así mismo se promedió las tasas de crecimiento de la población económicamente activa correspondiente a los departamentos de Lima y Junín cuyos datos son 2.58% y 2.21% respectivamente dando como resultado 2.4% el cual es considerado para el tráfico de transporte público.

Con respecto al tráfico de transporte de carga se tomo los datos del 2008 de los departamentos de Lima y Junín de las tabla de tasas de crecimiento del Producto Bruto Interno dando como resultado 3.8% después de promediar 3.7% y 3.8% respectivamente.

**CUADRO N° 1.8**

**CUADRO TRÁFICO PROYECTADO TRAMO Dv YAUYOS A CHUPACA**

<b>TIPO DE VEHICULO</b>	<b>2010</b>	<b>2011</b>	<b>2012</b>
AUTOS	1	1	1
CAMIONETAS	21	21	22
CAMIONETA RURAL	4	4	4
MICRO	0	0	0
OMNIBUS 2E	8	8	8
OMNIBUS 3E	0	0	0
CAMION 2E	10	11	11
CAMION 3E/4E	12	12	13
ARTICULADOS	0	0	0
<b>IMD</b>	<b>56</b>	<b>57</b>	<b>58</b>

**Demanda Proyectada con Tráfico Generado**

Considerando la situación con proyecto, la demanda además del tráfico normal proyectado esta dado por el tráfico generado, que es un porcentaje del IMD en situación sin proyecto; el crecimiento del tráfico es el mismo es decir, 1.4% para autos, camionetas, camionetas rurales; 2.4% para vehículos de transporte como micro y ómnibus; y para camiones 3.8%

### **Demanda Proyectada con Tráfico Desviado**

De los datos obtenidos de la estación “Quiulla” la cual realizó la encuesta en la Carretera Longitudinal de la Sierra Sur, tramo La Oroya - Huancayo, se encontró que del total de vehículos encuestados, aproximadamente 11 vehículos pesados actualmente hacen uso de la ruta alterna a la carretera en estudio, por lo que se estima que este número de vehículos optarían por desviarse a la vía R 22 Lunahuaná – Pacarán – Zúñiga – Dv. Yauyos – Chupaca.

El tráfico desviado a considerar para el periodo a considerar:

**CUADRO N° 1.9**

**TRÁFICO DESVIADO TRAMO Dv YAUYOS A CHUPACA**

<b>TIPO DE VEHICULO</b>	<b>2010</b>	<b>2011</b>	<b>2012</b>
AUTOS	0	0	0
CAMIONETAS	0	0	0
CAMIONETA RURAL	0	0	0
MICRO	0	0	0
OMNIBUS 2E	0	1	1
OMNIBUS 3E	0	0	0
CAMION 2E	0	0	0
CAMION 3E/4E	0	0	0
ARTICULADOS	0	11	11
<b>IMD</b>	<b>0</b>	<b>11</b>	<b>12</b>

## Resumen

De los cuadros anteriores se extrae los siguientes resultados finales, que es lo que se espera para el horizonte de mantener la vía hasta el año 2012 después de haber efectuado el cambio de estándar de la superficie de rodadura.

CUADRO N° 1.10

### RESUMEN IMD TOTALES

TRAFICO	IMD		
	2010	2011	2012
ACTUAL	56	57	58
PROYECTADO	0	1	2
DESVIADO	0	11	12
<b>TOTAL</b>	<b>56</b>	<b>69</b>	<b>72</b>

## ANALISIS 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. 86+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.

## 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 .

Características Técnicas de la Carretera Dv.Yaullos-Ronchas-Chupaca

**CUADRO N° 1.11- CARACTERISTICAS DE CARRETERA**

Clase, carriles, orografía	Tercera clase, dos carriles, tipo 2.
IMD	<200 vehículos/día
Longitud	61.00 Km.
Velocidad Directriz	40 Km./h
Ancho de calzada promedio	4.40 m
Berma promedio	0. 8 m
Bombeo promedio	2%
Talud de relleno promedio	1:1.5
Carpeta de Rodadura	Variable depende de la alternativa
Drenaje Transversal	Alcantarillas TMC 36"
Drenaje Longitudinal	Cunetas de tierra sección triangular
Muro de sostenimiento	Reforzamiento de taludes
Pte. Catahuasi 78+700	Resane de fisuras

**FUENTE:**Elaboración Propia.

## 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

Correspondiente a la situación actual optimizada.

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. En el caso del programa de caminos rurales del Ministerio de Transportes y Comunicaciones los montos máximos en mantenimiento rutinario y periódico son los siguientes:

CUADRO N° 1.12

**Costo de mantenimiento situación sin proyecto Monocapa**

TIPO DE MANTENIMIENTO	Costo Referencial (US\$/Km/año)
MANTENIMIENTO RUTINARIO	54511.00
PERIODICO	10205.00

Fuente: Elaboración Propia.

**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 Zuñiga – Dv Yaullos – Ronchas del MTC Provias Nacional Anexo Nr 3.

**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° 1.13 (Moneda en US\$ a Precios Sociales)**

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 Propia

## 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° 1.14

**Costos Incrementales para el tramo considerando según alternativas**

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

(Moneda en US\$ a Precios Sociales)

FUENTE: Elaboración Propia.

## BENEFICIOS

La construcción de la carretera generara beneficios atribuibles al proyecto, como son:

- a) Mayor seguridad para los pasajeros y equipos,
- b) Reducción de Costos Operativos vehiculares.
- c) Ahorros de tiempos de los usuarios y
- d) Permitirá, incrementar la producción y acceso de los productos a los mercados, mejorando la calidad de vida de la población del área de influencia.

Tipo de vehiculo	IMD-Tramo	<b>*Costos Operativos Vehiculares (COV) (US\$ Veh/Km)</b>			
		Sin proyecto Monocapa	Mejoramiento con Slurry 1o Alternativa	Mejoramiento con Slurry al 60% 2o Alternativa	Mejoramiento Bicapa 3o Alternativa
Auto	1	0.30	0.26	0.26	0.24
Pick up	21	0.41	0.37	0.37	0.36
Camioneta Rural	4	0.41	0.37	0.37	0.36
Micro	0	0.68	0.58	0.58	0.53
Omnibus 2E	8	0.68	0.58	0.58	0.53
Camión 2E	10	1.29	1.02	1.02	0.87
Camión 3E	12	1.64	1.38	1.38	1.21
Articulados	0	1.93	1.71	1.71	1.58
Total	56				

FUENTE: Elaboración Propia.

CUADRO N° 1.15

En el siguiente cuadro se indica los COV de los usuarios para las mismas alternativas y para la Situación Base.

## EVALUACION 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° 1.16

### METODOLOGIA COSTO BENEFICIO

Valores Actuales Netos, TIR (%) y B/C

Valor Actual Neto (VAN) (US\$)	
Alternativas	Tramo: -DV.Yaullos- 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.Yaullos- Ronchas
Longitud (Km)	15
Mejoramiento con Slurry	-----
Mejoramiento con Slurry al 60%	2.77%
Mejoramiento con Bicapa	-----

Relacion Beneficio/Costo (B/C)	
Alternativas	Tramo: -DV.Yaullos- Ronchas
Longitud (Km)	15
Mejoramiento con Slurry	0
Mejoramiento con Slurry al 60%	0.11
Mejoramiento con Bicapa	0

FUENTE: Elaboración Propia.

## 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 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.

## **CAPÍTULO II: LA VIGA BENKELMAN**

### **2.1 INTRODUCCIÓN**

Las deflexiones producidas en la superficie de un pavimento flexible, por acción de cargas vehiculares, pueden ser determinadas haciendo uso de deflectómetros tales como la "Viga Benkelman", llamada así en honor al Ing. A.C. Benkelman, quién la desarrolló en 1953 como parte del programa de ensayos viales de la WASHO (WASHO Road Test). Desde entonces su uso se ha difundido ampliamente en proyectos de evaluación estructural de pavimentos flexibles, tanto por su practicidad como por la naturaleza directa y objetiva de los resultados que proporciona.

### **2.2 DESCRIPCIÓN**

El deflectómetro Benkelman funciona según el principio de la palanca. Es un instrumento completamente mecánico y de diseño simple. Según se esquematiza en la figura 2.1, la viga consta esencialmente de dos partes: (1) Un cuerpo de sostén que se sitúa directamente sobre el terreno mediante tres apoyos (dos delanteros fijos "A" y uno trasero regulable "B") y (2) Un brazo móvil acoplado al cuerpo fijo mediante una articulación de giro o pivote "C", uno de cuyos extremos apoya sobre el terreno (punto "D") y el otro se encuentra en contacto sensible con el vástago de un extensómetro de movimiento vertical (punto "E"). Adicionalmente el equipo posee un vibrador incorporado que al ser accionado, durante la realización de los ensayos, evita que el indicador del dial se trabe y/o que cualquier interferencia exterior afecte las lecturas, como se verá más adelante.

El extremo "D" o "punta de la viga" es de espesor tal que puede ser colocado entre una de las llantas dobles del eje trasero de un camión cargado. Por el peso aplicado se produce una deformación del pavimento, consecuencia de lo cual la punta baja una cierta cantidad, con respecto al nivel descargado de la superficie. Como efecto de dicha acción el brazo DE gira en torno al punto fijo "C", con respecto al cuerpo AB, determinando que el extremo "E" produzca un movimiento vertical en el vástago del extensómetro apoyado en él, generando así una lectura en el dial indicador. Si se retiran luego las llantas cargadas, el punto "D" se recupera en lo que a deformación elástica se refiere y por el mismo mecanismo anterior se genera otra lectura

en el dial del extensómetro. La operación expuesta representa el "principio de medición" con la Viga Benkelman. Lo que se hace después son sólo cálculos en base a los datos recogidos. Así, con las dos lecturas obtenidas es posible determinar cuanto 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 del punto "D" al remover la carga (rebote elástico) y no la deformación al colocar ésta. Para calcular la deflexión deberá considerarse la geometría de la viga, toda vez que los valores dados por el extensómetro (EE') no están en escala real sino que dependen de la relación de brazos existentes (Ver figura 2.1b).

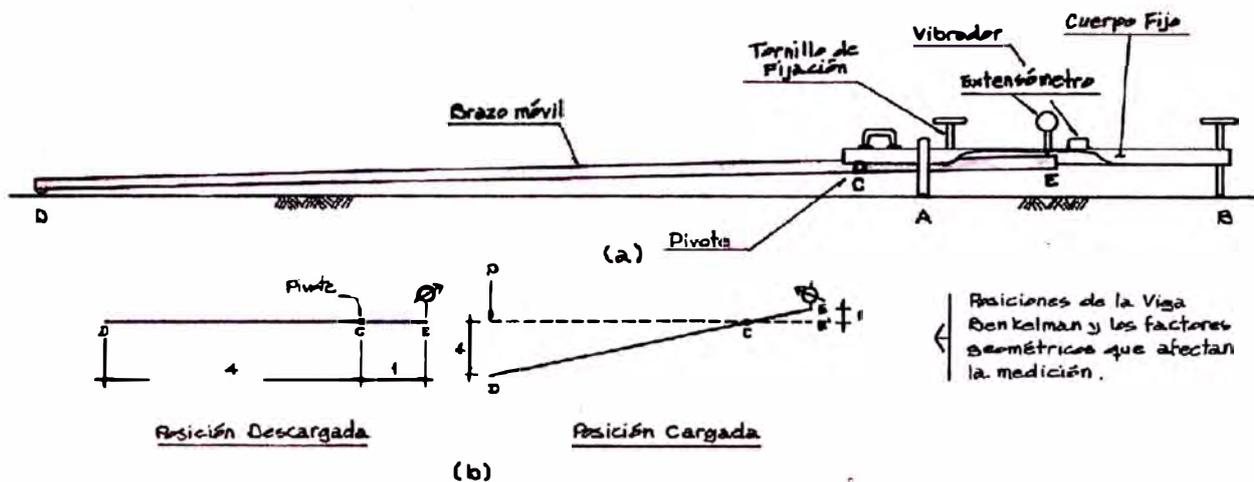


FIGURA 2.1: ESQUEMA Y PRINCIPIO DE OPERACIÓN DE LA VIGA BENKELMAN

### 2.3 EQUIPO REQUERIDO

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

- Deflectómetro Viga Benkelman, tal como el modelo Soiltest HT-350 (con relación de brazos 1:2).
- Extensómetro con dial indicador de divisiones cada 0.01 mm (Modelo Soiltest HT-300M).
- Camión cargado, con eje trasero de 18000 libras igualmente distribuidas en un par de llantas dobles infladas a una presión de 75 a 85 psi.
- Vehículo auxiliar para transportar al personal y equipo misceláneo

(camioneta).

- o Balanza portátil para pesaje del camión, con capacidad de 10 toneladas.
- o Accesorios de medición y varios (Cinta métrica de 3 m, plumones de punta gruesa, plomada, destornillador, alicates, hojas de campo, lápices, señales de seguridad, termómetro, cincel, martillo, varilla de metal o madera de 2m, alambre de amarre, etc.)

## 2.4 PROCEDIMIENTO EN CAMPO

La carga aplicada al pavimento para la realización de ensayos de deflexiones ha sido estandarizada en 9000 libras (4090 kg), y es proporcionada por una de las llantas dobles del eje trasero de un camión. Previamente a la realización de los ensayos deberá verificarse que se cumpla esta condición, así como que la presión de las llantas sea la requerida.

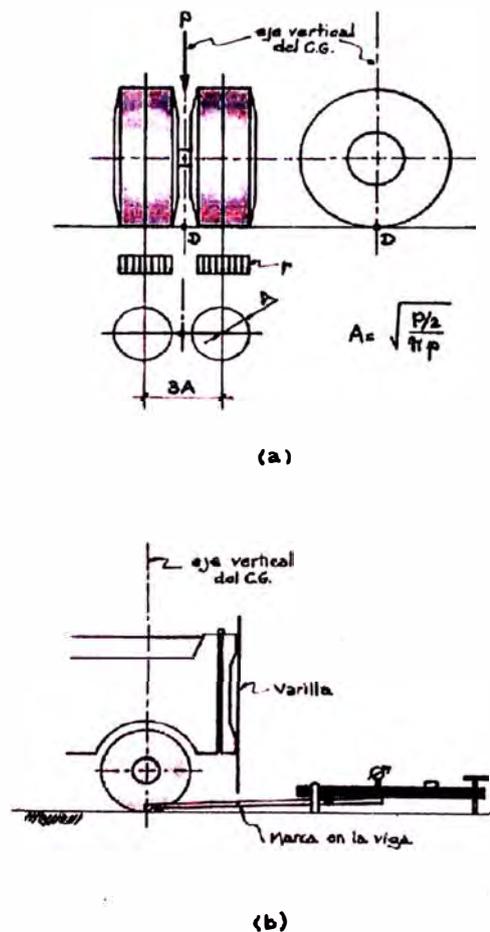


FIGURA 2.2: CONFIGURACION GEOMETRICA DEL SISTEMA DE CARGA EN ENSAYOS CON LA VIGA BENKELMAN

Una vez localizado el lugar donde se realizará el ensayo (usualmente los puntos de medición se localizan en la mitad exterior de un carril), se coloca la llanta a usarse sobre el punto de manera tal que éste coincida aproximadamente con el eje vertical del centro de gravedad del conjunto (ver figura 2.2a, punto "D").

Para esta operación es aceptable una tolerancia en el rango de 3 pulgadas alrededor del punto. Estacionados los neumáticos se inserta entre ellos el extremo del brazo móvil de la viga colocándolo nuevamente sobre el punto de ensayo seleccionado. Dado que esto último se dificulta por la inaccesibilidad tanto visual como manual, se realizará previamente la siguiente operación: Se coloca la Viga en la posición como si estuviera entre las llantas pero en la parte exterior de las mismas, haciendo coincidir, empleando una plomada, el extremo del brazo móvil con el eje vertical del centro de gravedad. Tomando como punto de referencia una varilla vertical adosada a la parte trasera del camión (ver figura 2.2b), se efectúa una marca en la viga de manera tal que, en adelante, basta con hacerlas coincidir (la marca con la varilla vertical) para asegurarse que el extremo de la viga coincide con el centro de las llantas, en el momento de iniciar las mediciones.

De igual forma se puede efectuar, a partir de la primera, sucesivas marcas a distancias elegidas a las cuales se desee medir deflexiones adicionales (puede ser a 30, 40 y 50 cm). Para la metodología de análisis se requiere de por lo menos tres lecturas, pero se pueden obtener más con fines de verificación, lo cual es recomendable, o si es que se desea tener una idea gráfica del tipo de curvas de deflexiones que se producen.

Como norma se realiza la primera marca adicional a una distancia tal que la deflexión que se obtenga en ese punto sea la mitad de la deflexión máxima

(obtenida en la marca inicial). La segunda marca adicional se realiza al doble de la distancia de la primera marca adicional. Estas dos distancias se determinarán específicamente para cada proyecto de evaluación que se emprenda. Esto deberá hacerse por medio de tanteos previos, antes de comenzar la recolección masiva de datos. Es común que se observen variaciones durante la realización de los ensayos, pero no deberá hacerse modificaciones mientras que las deflexiones tomadas en la primera marca adicional estén en el rango entre 35% y 65% de la deflexión máxima.

Una vez instalada la viga en el punto de medición haciendo coincidir con la cadena vertical y la marca inicial (ver figura 2.3a), se verificará que ésta se encuentre alineada longitudinalmente con la dirección del movimiento del camión. Se pondrá el dial del extensómetro en cero, se activará el vibrador y mientras el camión se desplaza muy lentamente se procederá a tomar lecturas conforme la varilla vertical vaya coincidiendo con la primera y segunda marcas adicionales (figuras 2.3b,c) y una lectura final cuando el camión se haya alejado lo suficiente del punto de ensayo que el indicador del dial ya no tenga movimiento (aproximadamente 5.00 m.), registro que corresponde al punto de referencia con deflexión cero.

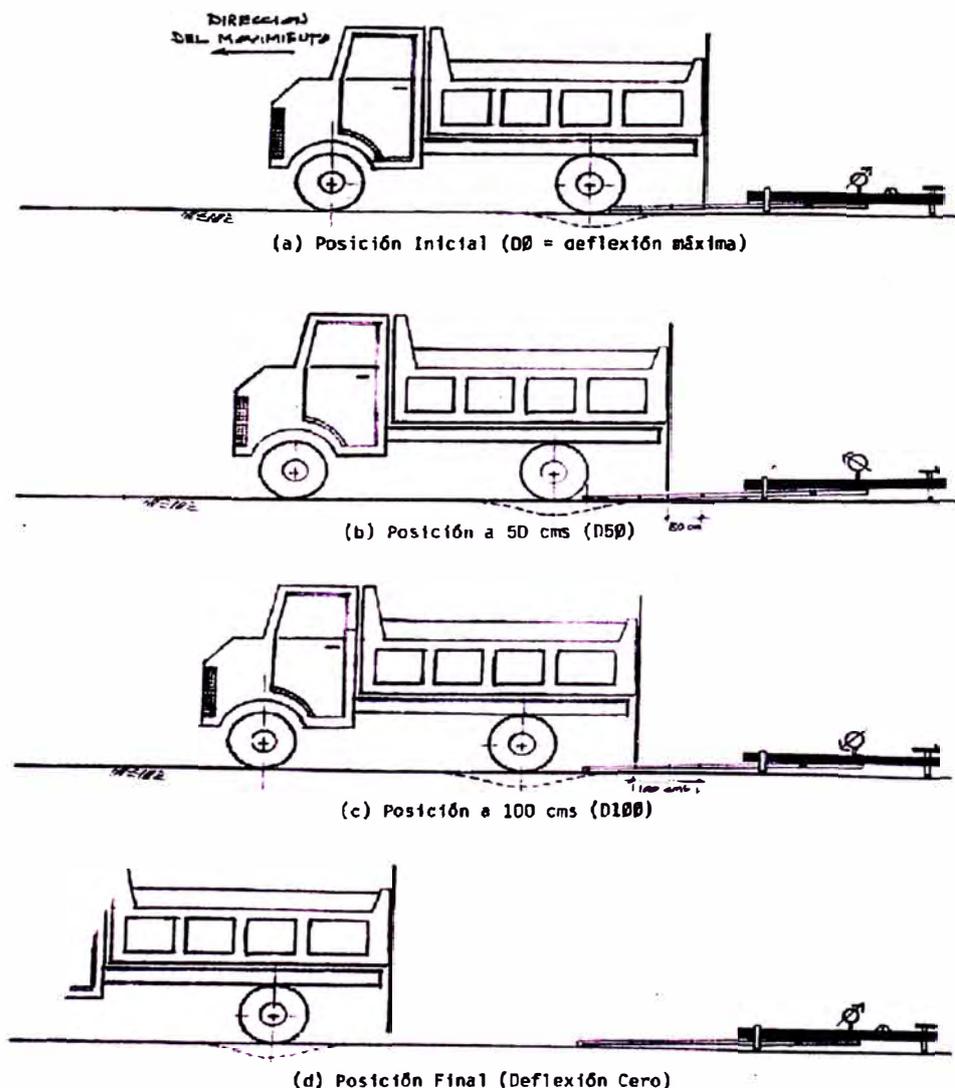


FIGURA 2.3: ESQUEMATIZACIÓN DEL PROCESO DE MEDICION CON LA VIGA BENKELMAN



## **CAPITULO III: EVALUACION DEL PAVIMENTO POR DEFLECTOMETRÍA**

### **3.1 CONCEPTO**

La evaluación estructural de pavimentos consiste, básicamente, en la determinación de la capacidad portante del sistema 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 al fin de su vida útil o cuando el pavimento va a cambiar su función (un nuevo tipo de avión en un aeropuerto existente, por ejemplo). Las necesidades de evaluar estructuralmente los pavimentos de una red aumentan a medida que se completa el diseño y la construcción de una red vial nacional o regional y consecuentemente aumenta la necesidad de su preservación y rehabilitación.

Ante un problema de evaluación estructural, el Ingeniero Vial tradicionalmente 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 luego en el sistema (pavimento) y deducir acerca de las características estructurales del mismo. Esta metodología es cara, lenta, altera el equilibrio del sistema al perforar y es *"destruktiva"*.

La alternativa *"no destruktiva"* se basa en la interpretación de las deflexiones medidas en la superficie de un pavimento. Las deflexiones en la superficie de un pavimento reflejan una respuesta global del sistema pavimento-subrasante bajo una carga dada. Su medición es simple, rápida, económica y *"no destruktiva"*, es decir, no se alteran el equilibrio ni la integridad del sistema.

La metodología no destruktiva se fundamenta en que la forma y dimensión de la curva de deflexiones encierran una valiosa información acerca de las características estructurales del pavimento y su subrasante.

Existen dos métodos para procesar los datos de campo y obtener parámetros estructurales:

- **METODO EMPIRICO:** Las deflexiones convenientemente procesadas, se relacionan con los valores admisibles.
- **METODO ANÁLITICO:** es un método moderno, basado en la teoría de la elasticidad, se usan para ajustar los módulos elásticos de las estructuras.

En este informe emplearemos los dos métodos. Una vez determinados, estos parámetros estructurales pueden usarse como insumo para establecer las

necesidades de refuerzo. Podría decirse entonces que la metodología de evaluación estructural, por métodos no destructivos, es un proceso de diseño inverso ya que utiliza la respuesta del sistema para establecer sus características estructurales, lo cual es generalmente opuesto a un proceso de diseño.

Otra característica de la metodología de evaluación no destructiva, es que por constituir la "muestra de ensayo" el pavimento mismo, esta representa el fiel reflejo de la compleja interacción entre sus componentes (capas de materiales y subrasante), y además esta "muestra" puede ser ensayada en cualquier momento de su vida sin disturbarla ni destruirla.

Mediante la aplicación de la deflectometría se determina si el comportamiento estructural del pavimento es el adecuado.

Con este fin se analizó un tramo de la carretera comprendido entre el Km 229+500 y el Km 233+300, pertenecientes al Sector San José de Quero – Ronchas, del cual se obtuvo los siguientes datos con la Viga Benkelman:

MEDICION DE DEFLEXIONES CON VIGA BENKELMAN - HOJA DE CAMPO

SECTOR SAN JOSE DE QUERO - RONCHAS  
CARRIL DERECHO BL 3.99  
SUPERFICIE DIAL 0.01  
FECHA

No	Progresiva (km)	Carril	Lecturas de Campo (30-2mm)					Espesor (mm)	Ahuellamiento (mm)	Temp(°C)
			Li	L25	L50	L70	Lmáx			
1727	229+500	Derecho	0	4	24	36	62			
1728	229+600	Derecho	0	1	7	11	20			
1729	229+700	Derecho	0	1	5	9	11			
1730	229+800	Derecho	0	2	3	5	9			
1731	229+900	Derecho	0	1	5	7	16			
1732	230+000	Derecho	0	1	6	8	18			
1733	230+100	Derecho	0	3	7	11	20			
1734	230+200	Derecho	0	3	6	9	12			
1735	230+300	Derecho	0	4	9	13	15			
1736	230+400	Derecho	0	2	3	4	8			
1737	230+500	Derecho	0	2	6	7	13			
1738	230+600	Derecho	0	1	3	6	10			
1739	230+700	Derecho	0	1	8	12	15			
1740	230+800	Derecho	0	1	4	6	9			
1741	230+900	Derecho	0	2	8	11	14			
1742	231+000	Derecho	0	2	6	9	14			
1743	231+100	Derecho	0	3	5	8	23			
1744	231+200	Derecho	0	1	4	7	24			
1745	231+300	Derecho	0	2	10	14	29			

CUADRO 3.1 Levantamiento de datos en el tramo en estudio.

**MEDICIÓN DE DEFLEXIONES CON VIGA BENKELMAN - HOJA DE CAMPO**

SECTOR SAN JOSE DE QUERO - RONCHAS  
CARRIL DERECHO BL 3.99  
SUPERFICIE DIAL 0.01  
FECHA

Nº	Progresiva (km)	Carril	Lecturas de Campo (10-2mm)					Espesor (mm)	Ahuellamiento (mm)	Temp(°C)
			Li	L25	L50	L70	Lmáx			
1746	231+400	Derecho	0	5	12	14	26			
1747	231+500	Derecho	0	4	15	20	35			
1748	231+600	Derecho	0	2	9	12	21			
1749	231+700	Derecho	0	1	2	3	20			
1750	231+800	Derecho	0	3	14	19	39			
1751	231+900	Derecho	0	1	10	19	38			
1752	232+000	Derecho	0	5	10	15	22			
1753	232+100	Derecho	0	1	6	9	10			
1754	232+200	Derecho	0	1	3	5	8			
1755	232+300	Derecho	0	1	3	5	7			
1756	232+400	Derecho	0	3	9	13	15		9	
1757	232+500	Derecho	0	3	9	11	12		7	
1758	232+600	Derecho	0	3	14	20	29		10	
1759	232+700	Derecho	0	2	6	10	23		12	
1760	232+800	Derecho	0	5	15	22	36		15	
1761	232+900	Derecho	0	4	18	23	27		8	
1762	233+000	Derecho	0	5	14	18	42		9	
1763	233+100	Derecho	0	3	11	15	29		10	
1764	233+200	Derecho	0	2	7	10	24		13	
1765	233+300	Derecho	0	2	3	4	12		3	

CUADRO 3.1 Levantamiento de datos en el tramo en estudio (Continuación).

Luego se procesa los valores obtenidos en la evaluación de campo:

MEDICIÓN DE DEFLEXIONES CON VIGA BENKELMAN - HOJA DE CAMPO

SECTOR SAN JOSE DE QUERO - RONCHAS  
CARRIL DERECHO BL 3.99  
SUPERFICIE DIAL 0.01  
FECHA

Nº	Ingresivo (km)	Carril	Lecturas de Campo (10-2mm)					Espesor (mm)	Anuellamiento (mm)	Temp(°C)	F.C.	RESULTADOS DEFLECTOMÉTRICOS				Radio Curvatura
			L1	L25	L50	L70	Lmáx					Deflexiones Corregidas (mm)				
												25	50	70		
1727	229+500	Derecho	0	4	24	36	62				1.000	2.47	2.31	1.52	1.04	195.8
1728	229+600	Derecho	0	1	7	11	20				1.000	0.80	0.76	0.52	0.36	783.2
1729	229+700	Derecho	0	1	5	9	11				1.000	0.44	0.40	0.24	0.08	783.2
1730	229+800	Derecho	0	2	3	5	9				1.000	0.36	0.28	0.24	0.16	391.6
1731	229+900	Derecho	0	1	5	7	16				1.000	0.64	0.60	0.44	0.36	783.2
1732	230+000	Derecho	0	1	6	8	18				1.000	0.72	0.68	0.48	0.40	783.2
1733	230+100	Derecho	0	3	7	11	20				1.000	0.80	0.68	0.52	0.36	261.1
1734	230+200	Derecho	0	3	6	9	12				1.000	0.48	0.36	0.24	0.12	261.1
1735	230+300	Derecho	0	4	9	13	15				1.000	0.60	0.44	0.24	0.08	195.8
1736	230+400	Derecho	0	2	3	4	8				1.000	0.32	0.24	0.20	0.16	391.6
1737	230+500	Derecho	0	2	6	7	13				1.000	0.52	0.44	0.28	0.24	391.6
1738	230+600	Derecho	0	1	3	6	10				1.000	0.40	0.36	0.28	0.16	783.2
1739	230+700	Derecho	0	1	8	12	15				1.000	0.60	0.56	0.28	0.12	783.2
1740	230+800	Derecho	0	1	4	6	9				1.000	0.36	0.32	0.20	0.12	783.2
1741	230+900	Derecho	0	2	8	11	14				1.000	0.56	0.48	0.24	0.12	391.6
1742	231+000	Derecho	0	2	6	9	14				1.000	0.56	0.48	0.32	0.20	391.6
1743	231+100	Derecho	0	3	5	8	23				1.000	0.92	0.80	0.72	0.60	261.1
1744	231+200	Derecho	0	1	4	7	24				1.000	0.96	0.92	0.80	0.68	783.2
1745	231+300	Derecho	0	2	10	14	29				1.000	1.16	1.08	0.76	0.60	391.6
1746	231+400	Derecho	0	5	12	14	26				1.000	1.04	0.84	0.56	0.48	156.6

CUADRO 3.2 PROCESAMIENTO DE LA DATA DEFLECTOMÉTRICA TOMADA EN CAMPO.

MEDICIÓN DE DEFLEXIONES CON VIGA BENKELMAN - HOJA DE CAMPO

SECTOR SAN JOSE DE QUERO - RONCHAS  
CARRIL DERECHO  
SUPERFICIE  
FECHA

BL 3.99  
DIAL 0.01

Nº	Progresiva (km)	Carril	Lecturas de Campo (10-2mm)					Espesor (mm)	Alveolamiento (mm)	Temp(°C)	F.C.	RESULTADOS DEFLECTOMÉTRICOS				Radio Curvatura
												Deflexiones Corregidas (mm)				
			L1	L25	L50	L70	Lmáx					0	25	50	70	
1747	231+500	Derecho	0	4	15	20	35				1.000	1.40	1.24	0.80	0.60	195.8
1748	231+600	Derecho	0	2	9	12	21				1.000	0.84	0.76	0.48	0.36	391.6
1749	231+700	Derecho	0	1	2	3	20				1.000	0.80	0.76	0.72	0.68	783.2
1750	231+800	Derecho	0	3	14	19	39				1.000	1.56	1.44	1.00	0.80	261.1
1751	231+900	Derecho	0	1	10	19	38				1.000	1.52	1.48	1.12	0.76	783.2
1752	232+000	Derecho	0	5	10	15	22				1.000	0.88	0.68	0.48	0.28	156.6
1753	232+100	Derecho	0	1	6	9	10				1.000	0.40	0.36	0.16	0.04	783.2
1754	232+200	Derecho	0	1	3	5	8				1.000	0.32	0.28	0.20	0.12	783.2
1755	232+300	Derecho	0	1	3	5	7				1.000	0.28	0.24	0.16	0.08	783.2
1756	232+400	Derecho	0	3	9	13	15		9		1.000	0.60	0.48	0.24	0.08	261.1
1757	232+500	Derecho	0	3	9	11	12		7		1.000	0.48	0.36	0.12	0.04	261.1
1758	232+600	Derecho	0	3	14	20	29		10		1.000	1.16	1.04	0.60	0.36	261.1
1759	232+700	Derecho	0	2	6	10	23		12		1.000	0.92	0.84	0.68	0.52	391.6
1760	232+800	Derecho	0	5	15	22	36		15		1.000	1.44	1.24	0.84	0.56	156.6
1761	232+900	Derecho	0	4	18	23	27		8		1.000	1.08	0.92	0.36	0.16	195.8
1762	233+000	Derecho	0	5	14	18	42		9		1.000	1.68	1.48	1.12	0.96	156.6
1763	233+100	Derecho	0	3	11	15	29		10		1.000	1.16	1.04	0.72	0.56	261.1
1764	233+200	Derecho	0	2	7	10	24		13		1.000	0.96	0.88	0.68	0.56	391.6
1765	233+300	Derecho	0	2	3	4	12		3		1.000	0.48	0.40	0.36	0.32	391.6

CUADRO 3.2 PROCESAMIENTO DE LA DATA DEFLECTOMÉTRICA TOMADA EN CAMPO (CONTINUACION).

Después de depurar los picos, de los datos procesados se obtiene:

$D_{prom}=1.11 \text{ mm}$

Desv. Estándar=0.52 mm

Deflexión característica=  $(D_{prom})+1.645*(Desv. Estándar)=1.97 \text{ mm}$

Ahora se procede a hallar la Deflexión admisible. Esta viene dada por la siguiente expresión:

$$N = k_1/D_{adm}^{k_2} \dots\dots\dots (3.1)$$

Donde N es el número de ejes estándar equivalentes de 8.2 ton acumulados (en millones), y  $k_1$  y  $k_2$  son coeficientes que adoptan los valores de 1.15 y 4 respectivamente. Despejando  $D_{adm}$ , se tiene:

$$D_{adm}=(1.15/N)^{0.25}\dots\dots\dots (3.2)$$

Para hallar la Deflexión Admisible se debe determinar el Número de Ejes Equivalentes:

### 3.2 BASE TEORICA

#### Carril de diseño

Para calles y carreteras de dos carriles, el carril de diseño puede ser cualquiera de los dos, mientras que para calles y carreteras de carriles múltiples, generalmente es el carril externo. Bajo ciertas condiciones, es probable que haya mayor tránsito de camiones en un sentido que en el otro. En muchos sitios los camiones circulan cargados en un sentido y vacíos en otro. Las recomendaciones de la AASHTO son:

Parte del conteo en ambas direcciones, el factor direccional recomendado es de 50%, aunque este valor puede variar entre 30 a 70%. El tráfico en un sentido se separa para el carril de diseño según la recomendación:

Nº de carriles en una dirección	%ESAL en el carril de diseño
1	100
2	80 - 100
3	60 - 80
4	50 - 75

ESAL: Equivalent Single Axle Load

CUADRO 3.3: %ESAL EN EL CARRIL DE DISEÑO

#### Crecimiento del tránsito

El pavimento debe ser diseñado para servir adecuadamente la demanda del tránsito durante un periodo de años; por lo tanto, el crecimiento del tránsito se debe anticipar.

El crecimiento puede considerarse como el *Factor de Crecimiento*:

$$\text{Factor de Crecimiento} = \frac{(1+r)^n - 1}{r} \dots\dots\dots(3.3)$$

Donde:

r: tasa de crecimiento anual, %

n: periodo de diseño en años

### Estimación del ESAL

El tránsito proveniente del conteo vehicular debe ser dividido para el carril de diseño. El volumen de tránsito del carril de diseño se convierte a un determinado número de ESAL, que es el parámetro usado en el diseño de la estructura del pavimento. El ESAL es un eje estándar compuesto por un eje sencillo con dos ruedas en los extremos.

El ESAL pesa 18,000 lb o 8.2 tn o 80 kN, y se considera que ejerce un efecto dañino sobre el pavimento como 1.

### Factor de Equivalencia de Carga

Con el objeto de evaluar el efecto dañino en un pavimento flexible de las cargas diferentes a un eje estándar, se han considerado factores de equivalencia de cargas por eje, FEC. Estos valores se obtuvieron a partir de los resultados experimentales de la AASHO Road Test. Los resultados obtenidos han permitido determinar que la equivalencia entre cargas diferentes transmitidas al pavimento por el mismo sistema de ruedas y ejes se expresa como:

$$FEC = \left( \frac{P_1}{P_0} \right)^4 \dots\dots\dots (3.4)$$

Donde  $P_0$  es la carga estándar y  $P_1$  es la carga cuya equivalencia de daño se desea calcular.

En el cuadro 3.4 se muestran los factores de equivalencia de carga publicada en la Guía AASHTO 2003.

### Factor Camión, FC

Se entiende por factor camión al número de aplicaciones de ejes estándar de 80 kN, correspondiente al paso de un vehículo. El factor camión se puede obtener por pesaje. El pesaje es un método costoso para proyectos pequeños; por lo tanto, cuando se deba efectuar el diseño para un tramo de vía en la cual no se tengan datos sobre el pesaje quedan dos alternativas:

- a. Asumir el F.C. conocido de una vía cuyas características sean similares.
- b. Estimar el F.C. por algún método empírico.

En este informe se aplica el D.S. N° 034-2001-MTC del 25 de julio del 2001, pagina 207449 de El Peruano. En el Capítulo VIII de la mencionada norma se publican las dimensiones y pesos por eje de vehículos pesados. Los vehículos ligeros no se incorporan en la presente norma, porque el peso de estos vehículos ejercen un daño no significativo en el pavimento.

Carga bruta por eje		Factores de equivalencia de Carga		
KN	lb	Ejes Simples	Ejes Tandem	Ejes Tridem
4.45	1,000	0.00002		
8.9	2,000	0.00018		
17.8	4,000	0.00209	0.0003	
26.7	6,000	0.01043	0.001	0.0003
35.6	8,000	0.0343	0.003	0.001
44.5	10,000	0.0877	0.007	0.002
53.4	12,000	0.189	0.014	0.003
62.3	14,000	0.360	0.027	0.006
71.2	16,000	0.623	0.047	0.011
80.0	18,000	1.000	0.077	0.017
89.0	20,000	1.51	0.121	0.027
97.9	22,000	2.18	0.180	0.040
106.8	24,000	3.03	0.260	0.057
115.6	26,000	4.09	0.364	0.080
124.5	28,000	5.39	0.495	0.109
133.4	30,000	6.97	0.658	0.145
142.3	32,000	8.88	0.857	0.191
151.2	34,000	11.18	1.095	0.246
160.1	36,000	13.93	1.38	0.313
169.0	38,000	17.20	1.70	0.393
178.0	40,000	21.08	2.08	0.487
187.0	42,000	25.64	2.51	0.597
195.7	44,000	31.00	3.00	0.723
204.5	46,000	37.24	3.55	0.868
213.5	48,000	44.50	4.17	1.033
222.4	50,000	52.88	4.86	1.22
231.3	52,000		5.63	1.43
240.2	54,000		6.47	1.66
249.0	56,000		7.41	1.91
258.0	58,000		8.45	2.20
267.0	60,000		9.59	2.51
275.8	62,000		10.84	2.85
284.5	64,000		12.22	3.22
293.5	66,000		13.73	3.62
302.5	68,000		15.38	4.05
311.5	70,000		17.19	4.52
320.0	72,000		19.16	5.03
329.0	74,000		21.32	5.57
338.0	76,000		23.66	6.15
347.0	78,000		26.22	6.78
356.0	80,000		29.0	7.45
364.7	82,000		32.0	8.20
373.6	84,000		35.3	8.90
382.5	86,000		38.8	9.80
391.4	88,000		42.6	10.6
400.3	90,000		46.8	11.6

CUADRO 3.4 FACTORES DE EQUIVALENCIA DE CARGA

### 3.3 DETERMINACIÓN DEL NÚMERO DE EJES EQUIVALENTES EN EL CARRIL DE DISEÑO PARA EL PERIODO DE DISEÑO

Una vez determinado el número acumulado de vehículos que transitarán en el carril de diseño y durante el periodo de diseño, es posible convertir esta cantidad de vehículos a ejes simples equivalentes de 8.2 tn mediante el factor camión. El ESAL es el siguiente:

$$ESAL = \sum (N^{\circ} \text{vehículos} \times FC_{\text{vehículo}}) \times (\text{Factor de Crecimiento}) \dots\dots\dots (3.5)$$

Determinando el Número de Ejes Equivalentes:

Para la proyección del tráfico normal hasta el 2008 se utilizará los indicadores macro-económicos que estableció el Ministerio de Economía y Finanzas. El proyecto se encuentra ubicado en los departamentos de Lima y Junín, los mismos que cuentan con tasas de crecimiento poblacional de 1.7% y 1.1% respectivamente, promediando ambas se obtiene 1.4%, que servirá para la proyección del tráfico ligero hasta el 2012.

Así mismo se promedió las tasas de crecimiento de la población económicamente activa correspondiente a los departamentos de Lima y Junín que son 2.58% y 2.21% respectivamente, dando como resultado 2.4%, el cual es considerado para el tráfico de transporte público.

Con respecto al tráfico de transporte de carga se tomó los datos del 2008 de los departamentos de Lima y Junín de la tabla de tasas de crecimiento del Producto Bruto Interno, dando como resultado 3.8% después de promediar 3.7% y 3.8% respectivamente.

#### TRÁFICO ACTUAL

Del cuadro 1.5 se tiene los vehículos/día para el año 2008, y se proyecta al año 2012:

	r	2008	2009	2010	2011	2012
AUTO	1.014	109	111	112	114	115
CAMIONETA PICK UP	1.014	108	110	111	113	114
CAMIONETA RURAL	1.014	21	21	22	22	22
MICROBUS	1.024	21	22	22	23	23
OMNIBUS	1.024	8	8	8	9	9
CAMION 2E	1.038	22	23	24	25	26
CAMION 3E y 4E	1.038	22	23	24	25	26
ARTICULADO	1.038	36	37	39	40	42
TOTAL		347	354	361	369	376

### CUADRO 3.5: TRÁFICO ACTUAL PROYECTADO: SAN JOSE DE QUERO-RONCHAS

Donde r: Factor de Crecimiento

#### TRÁFICO GENERADO

Considerando la situación con proyecto, la demanda además del tráfico normal proyectado esta dado por el tráfico generado, que es un porcentaje del IMD en la situación sin proyecto; el crecimiento del tráfico es el mismo, es decir, 1.4% para autos, camionetas, camionetas rurales; 2.4% para vehículos de transporte como micro y ómnibus; y para camiones 3.8%

El porcentaje de incremento considerado es de 20% del IMD actual. Este valor proviene de considerar un valor conservador de los resultados de evaluación ex - post efectuada en carreteras donde se ejecutaron proyectos de rehabilitación y mejoramiento a nivel de asfaltado, como los que a continuación se mencionan:

CARRETERA	TRAMO	INCREMENTO DE TRAFICO
Tarma - La Merced	Tarma - Palca	15.70%
Huánuco - Tingo María	Huánuco - Puente Rancho	15.20%
Corral Quemado - Río Nieva	Corral Quemado - Bagua	16.60%
Río Nieva - Rioja	Río Nieva - Nueva Cajamarca	23.80%

### CUADRO 3.6 TRAFICO GENERADO EN OTRAS RUTAS

Proyectando el tráfico generado a partir del año 2011 se obtiene la siguiente tabla:

	r	2010	2011	2012
AUTO	1.014	0	23	23
CAMIONETA PICK UP	1.014	0	23	23
CAMIONETA RURAL	1.014	0	4	4
MICROBUS	1.024	0	5	5
OMNIBUS	1.024	0	2	2
CAMION 2E	1.038	0	5	5
CAMION 3E y 4E	1.038	0	5	5
ARTICULADO	1.038	0	8	8
TOTAL		0	74	75

**CUADRO 3.7 PROYECCION DE TRAFICO GENERADO: TRAMO SAN JOSE DE QUERO – RONCHAS**

Donde r: Factor de Crecimiento

**TRÁFICO DESVIADO**

De los datos obtenidos de la estación “Quiulla” la cual realizó la encuesta en la Carretera Longitudinal de la Sierra Sur, tramo La Oroya - Huancayo, se encontró que del total de vehículos encuestados, aproximadamente 11 vehículos pesados actualmente hacen uso de la ruta alterna a la carretera en estudio, por lo que se estima que este número de vehículos optarían por desviarse a la vía R 22 Lunahuaná – Pacarán – Zúñiga – Dv. Yauyos – Chupaca.

El tráfico desviado a considerar para nuestro tramo será:

	2010	2011	2012
AUTO	0	0	0
CAMIONETA PICK UP	0	0	0
CAMIONETA RURAL	0	0	0
MICROBUS	0	0	0
OMNIBUS	1	1	1
CAMION 2E	0	0	0
CAMION 3E y 4E	0	0	0
ARTICULADO	10	11	11
TOTAL	11	12	12

**CUADRO 3.8 PROYECCION DE TRÁFICO DESVIADO: TRAMO SAN JOSE DE QUERO - RONCHAS**

## TRÁFICO TOTAL

Sumando el Tráfico Actual, el Tráfico Generado y el Tráfico desviado, se obtiene el siguiente IMD Total:

	2010	2011	2012
AUTO	112	136	138
CAMIONETA PICK UP	111	135	137
CAMIONETA RURAL	22	26	27
MICROBUS	22	27	28
OMNIBUS	9	11	12
CAMION 2E	24	30	31
CAMION 3E y 4E	24	30	31
ARTICULADO	49	59	61
	372	455	464

CUADRO 3.9: IMD 2,010 – 2,012 EN EL TRAMO EN ESTUDIO

Hallamos el FC de cada tipo de vehículo:

$$FC (B2) = 3.712$$

$$FC (C3) = 2.568$$

$$FC (B3-1) = 1.827$$

$$FC (T2S3) = 5.515$$

$$FC (C2) = 3.712$$

Aplicando la fórmula 3.5 para el año 2012 (n=1), se obtiene el ESAL:

	IMD	F.C.	r	días/año	factor carril	2012
OMNIBUS	12	3.712	0.038	365	0.5	7828.03031
CAMION 2E	31	3.712	0.038	365	0.5	20761.7605
CAMION 3E	31	2.568	0.038	365	0.5	14363.2007
ARTICULADO	61	5.515	0.038	365	0.5	61546.9691
TOTAL						104,499.96

CUADRO 3.10 CALCULO DEL ESAL PARA EL AÑO 2,012

Por lo tanto se obtiene: ESAL= 104,500 ejes equivalentes

Con lo cual se determina, reemplazando en la ecuación 3.2 la deflexión admisible:

$D_{adm} = 1.82 \text{ mm}$ .

Como  $D_{adm} < D_c$ , los radios de curvatura son aceptables, y no se observa fallas de origen estructural, entonces se concluye que puede tratarse de un pavimento infradiseñado que necesita un refuerzo estructural para resistir el tránsito futuro. Para determinar el espesor de refuerzo, se pueden emplear los valores de deflexión obtenidos, pues estos son representativos.

### 3.4 METODOLOGIA BASADA EN LA INTERPRETACION DE LAS CURVAS DE DEFLEXIONES: MODELO DE HOGG

El modelo conocido como el "Modelo de Hogg" constituye la base matemática de la metodología. En este modelo, las capas del pavimento están caracterizadas por una placa de espesor delgado y una cierta rigidez a la flexión. La subrasante está representada por un medio elástico, lineal, homogéneo e isotrópico.

La metodología consiste, básicamente, en comparar las curvas de deflexiones medidas, con las curvas de deflexiones teóricas, obtenidas "cargando" el modelo de Hogg con la misma configuración y magnitud de carga utilizada en los ensayos de campo. La concordancia entre una curva experimental con algunas de las teóricas corresponde generalmente a una única combinación de parámetros elásticos del modelo, que de esa manera pasan a caracterizar al pavimento evaluado. La metodología se complementa con otros conceptos de la teoría de capas elásticas y con observaciones experimentales para determinar ciertas propiedades de ingeniería de los materiales que pueden usarse para establecer las necesidades de refuerzo.

En el año 1944, A.H.A. Hogg presentó la solución matemática del modelo que se conoce por su nombre. Este modelo representa al pavimento como una placa delgada con una cierta rigidez a la flexión y horizontalmente infinita, sustentada por una capa elástica homogénea e isotrópica, de espesor que puede ser infinito o limitado por una base rígida, horizontal y perfectamente rugosa. La figura 3.1 describe la geometría y los parámetros del modelo de Hogg.

La expresión matemática desarrollada para el cálculo de las deformaciones en la superficie del sistema viene dada por una integral infinita de funciones Bessel y funciones angulares hiperbólicas, la cuál, para el caso de una carga uniformemente distribuida circular de radio "a" tiene la siguiente forma:

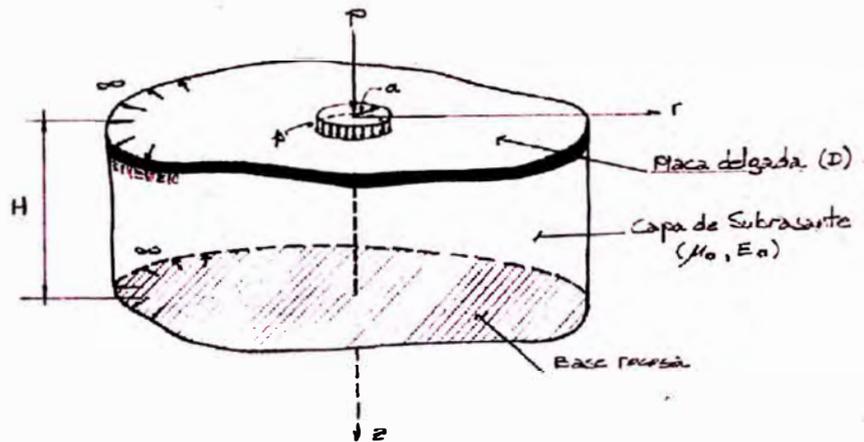
$$\Delta_{(z=0,r)} = \left( \frac{(1 + \mu_0)(3 - 4\mu_0) \cdot p \cdot a}{2(1 - \mu_0) \cdot E_0} \right) \int_0^\infty \frac{J_0\left(\frac{m \cdot r}{L_0}\right) \cdot J_1\left(\frac{m \cdot a}{L_0}\right)}{m^3 + m \cdot \phi \frac{m \cdot h}{L_0}} dm \quad \dots \quad (3.6)$$

Donde  $\mu_0$ ,  $E_0$ ,  $p$ ,  $l_0$ , están definidos en la Fig. 3.1,  $r$  es la distancia horizontal en la superficie de la placa desde el eje de carga y  $f$  viene dada por la siguiente expresión:

$$\phi = \frac{\operatorname{senh} m x \operatorname{cosh} m + \frac{m}{3 - 4 \mu_0}}{\operatorname{senh}^2 m - \frac{m^2}{(3 - 4 \mu_0)^2}} \dots\dots (3.7)$$

Siendo "m" la variable de integración.

Hoffman en 1977 presentó la solución computarizada para la ecuación (3.6), lo que permitió la confección de nomogramas y tablas para el cálculo de deformaciones teóricas, en cualquier punto de la superficie del sistema.



PARAMETROS BASICOS DEL MODELO	$D = \frac{E_1 t^3}{12(1 - \mu_1^2)} \quad (t-m)$	Rigidez a la flexión de la placa
	$l_0 = \left( \frac{D(1 + \mu_0)(3 - 4\mu_0)^{1/3}}{2(1 - \mu_0) E_0} \right) \quad (cm)$	Longitud característica
	$E_0 \quad (Kg/cm^2)$	Módulo de elasticidad de la Subrasante
	$\mu_0 \quad (Adimensional)$	Módulo de Poisson de la Subrasante
	$H \quad (cm)$	Profundidad del estrato rocoso.
Parámetros de Evaluación	$l_0, E_0, D$	Se obtienen conociendo dos valores de deflexiones medidas.

FIGURA 3.1: Esquemas y parámetros del Modelo de Hogg

### CARACTERISTICAS Y UTILIZACION DEL MODELO

El modelo presentado y los conceptos desarrollados en torno a él, hacen posible caracterizar los materiales del sistema pavimento-subrasante en base al análisis e interpretación de las curvas de deflexiones.

Para hacer uso del modelo de Hogg no se necesita conocer el espesor de las capas del pavimento, ya que las curvas de deflexiones de superficie teóricas, diseñadas mediante la ecuación 3.6, dependen solamente de la longitud elástica  $L_0$  (ver figura 2.2), lo que constituye una ventaja toda vez que, la experiencia demuestra, en la gran mayoría de los pavimentos evaluados, ó se desconoce el espesor o es difícil controlar su variación.

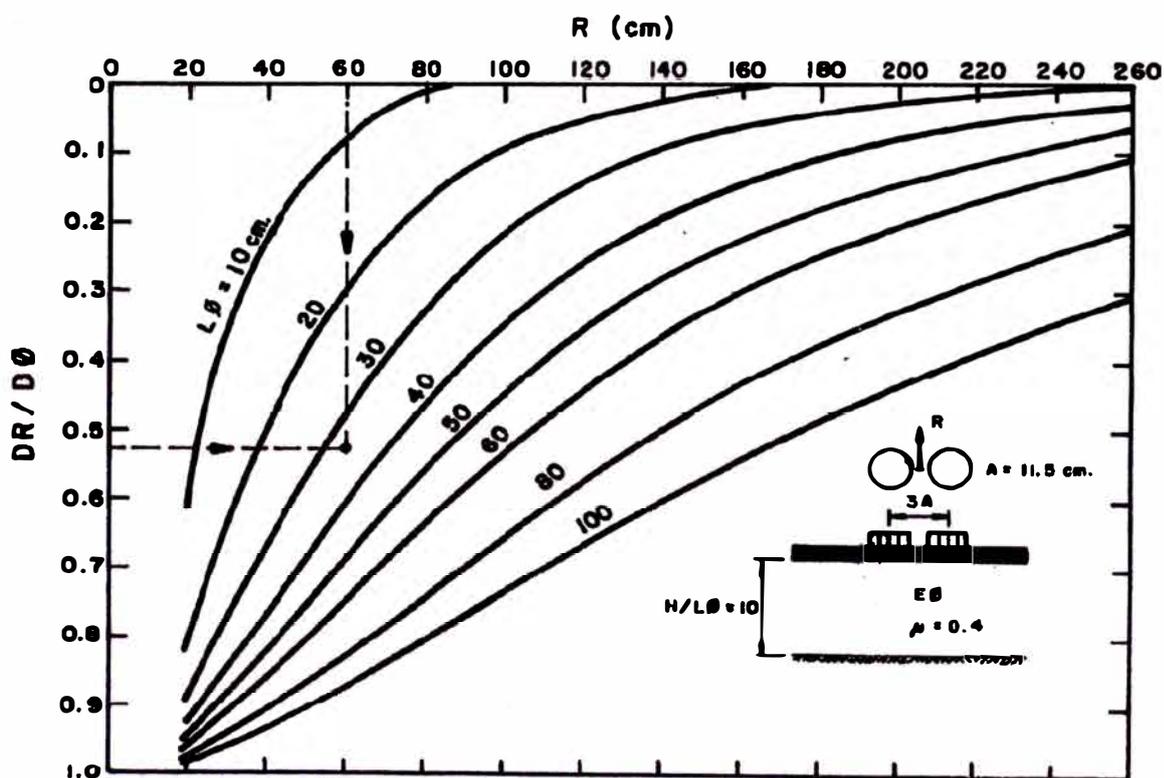


FIGURA 3.2: Curvas de deflexiones en el Modelo de Hogg para la configuración de carga de la Viga Benkelman

En el modelo se introduce, mediante la variable  $h$  una capa rígida a una profundidad finita. En el procedimiento de evaluación ésta representa a una capa rocosa existente o funciona como un factor de ajuste que limita la extensión horizontal de las curvas de deflexiones teóricas, que de otra manera serían infinitas, lo que se contradice con las curvas experimentales. Por otro lado, la extensión finita de las curvas de deflexiones medidas puede obedecer a una conducta no-lineal de los materiales del pavimento y subrasante y no implica necesariamente que realmente exista una capa rígida. Para la utilización del modelo se sugiere la introducción de una capa rígida a una profundidad igual a 10 veces la Longitud Elástica del pavimento ( $h = L_0$ ).

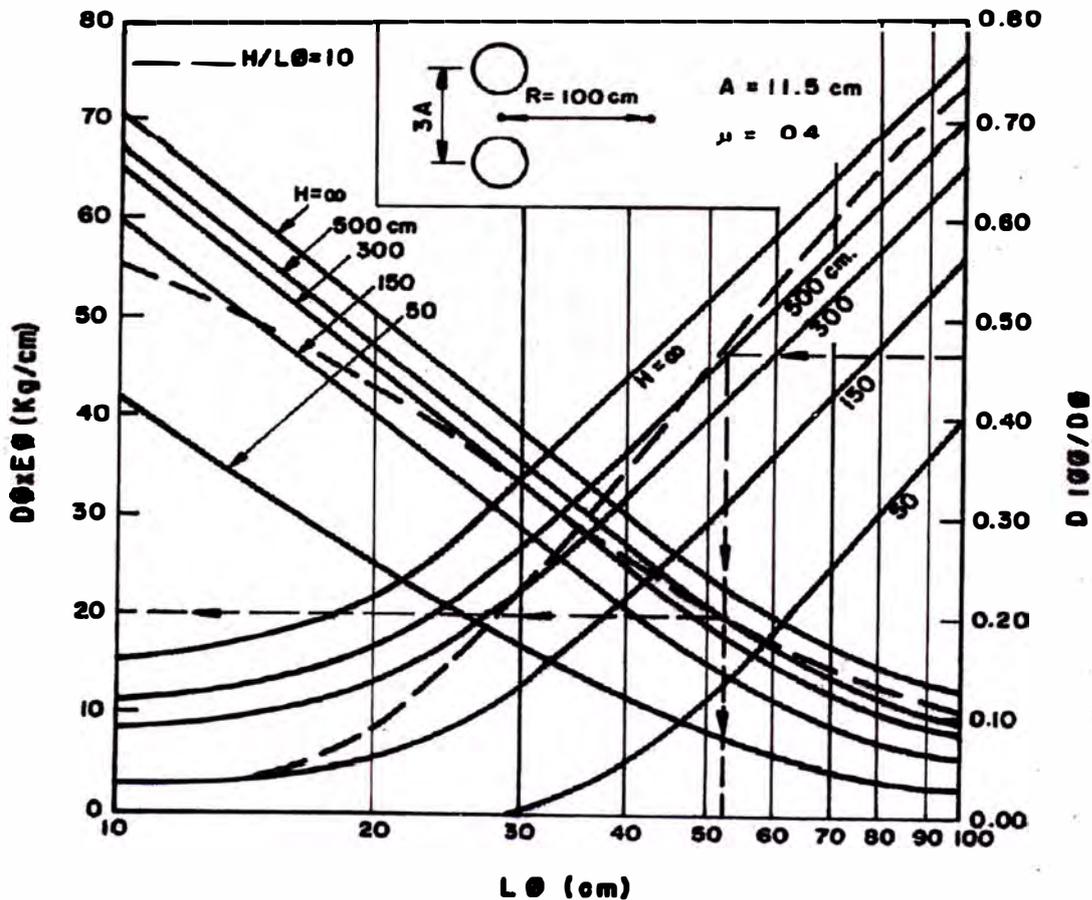


FIGURA 3.3: Nomograma para evaluación estructural basado en el Modelo de Hogg (Viga Benkelman)

Las curvas y nomogramas, como los presentados en las figuras 3.2 y 3.3,

constituyen la implementación práctica del modelo para la evaluación estructural de pavimentos.

La figura 3.2 muestra las curvas de deflexiones adimensionales ( $DR/D_0$ ) obtenidas con el modelo de Hogg para una carga que simula la llanta doble utilizada con la Viga Benkelman. Así, por ejemplo, si se mide un  $D_0=60 \times 10^{-2}$  mm, y un  $DR=32 \times 10^{-2}$  mm. a una distancia R de 60 cm, se obtiene un valor  $DR/D_0=0.53$  que corresponde a un valor  $L_0=34$  cm.

La figura 3.3 muestra un nomograma preparado en base a las soluciones rigurosas del modelo de Hogg, para determinar el Módulo de Elasticidad de la subrasante ( $E_0$ ). Este nomograma es para deflexiones medidas con la Viga Benkelman, para una carga de eje de 18 kilolibras, una huella circular de llanta de 11.5 cm, para  $R=100$  cm, y para distintos espesores "h" de la profundidad de la capa rocosa. Así, por ejemplo, para  $D_0=50 \times 10^{-2}$  mm.  $D_{100}/D_0=0.46$  y  $h=500$  cm, se obtiene  $L_0=52$  cm,  $D_0 E_0=20$  kg/cm y  $E_0=20/D_0$ , es decir,  $E_0=20/0.05=400$  kg/cm<sup>2</sup>.

## METODO DE ANALISIS

A continuación se presentan los diferentes pasos de interpretación con los respectivos algoritmos

### Modelo de Carga

La carga en el ensayo con la Viga Benkelman proviene del eje trasero simple con llanta doble de un camión. La carga del eje es del orden de los 18,000 libras y la presión de inflado es de 75 a 85 psi. En el modelo de carga (ver figura 2.5) se asume que la presión de inflado es igual a la presión de contacto, que la huella de contacto de cada llanta es circular y de radio "A" y, que hay una distancia de "3A" entre los centros de cada llanta, Por equilibrio se establece la siguiente relación:

$$A = \sqrt{\frac{P}{\pi p}} \quad \dots\dots (3.8)$$

Donde:

A= Radio de la huella circular de contacto

P= Carga sobre una llanta

p= Presión de inflado.

### Determinación de R5

R5 es la distancia "R" del centro geométrico de la llanta doble en dirección longitudinal, en la cual se obtiene que la relación DR/D0 = 0.5 en la curva de deflexiones. Para el modelo de HOGG se ha establecido que R5 puede determinarse usando la siguiente ecuación:

$$R5 = R \frac{\frac{A}{C} - B}{\left(A \left(\frac{D0}{DR} - 1\right)\right)^C - B} \quad \dots(3.9)$$

Donde:

R = Distancia a la que se mide la deflexión DR (Ejemplo: R= 60 cm).

D0= Deflexión Máxima

DR= Deflexión a la distancia R

A, B y C = Coeficientes de correlación cuyo valor se indica en el cuadro

3.11

CUADRO 3.11 Coeficientes de correlación para el cálculo de R5 en el modelo de Hogg

H/L0	μ	A	B	C
∞	Cualquier valor	3.115	0	0.584
10 DR/D0>7	0.5	2.46	0	0.592
10 DR/D0<7	0.5	371.1	2	0.219
10 DR/D0>0.426	0.5	2.629	0	0.548
10 DR/D0<0.426	0.4	2283.4	3	0.2004

El valor R5 sirve de insumo para determinar la longitud elástica (L0) del pavimento

según se explica a continuación.

### Determinación de la Longitud Elástica (L0)

La longitud elástica (L0) del pavimento puede calcularse usando la ecuación (3.10).

$$L_0 = \frac{Y R_5 + \sqrt{(Y R_5)^2 - 4 A X R_5}}{2} \quad \dots(3.10)$$

Donde:

R5 = Calculado en la ecuación (3.9)

A = Radio de la huella circular de carga

X,Y= Coeficiente de correlación cuyo valor se indica en el cuadro 3.12

CUADRO 3.12: Coeficientes de correlación para el cálculo de L0 en el modelo de Hogg

H/L0	$\mu$	X	Y
10	0.5	0.183	0.620
10	0.4	0.192	0.602
$\infty$	Cualquier valor	0.180	0.525

El valor de L0 sirve de insumo para determinar el módulo de elasticidad de la subrasante (E0) según se explica a continuación.

### Determinación del Módulo de Elasticidad de la Subrasante (E0)

La determinación del módulo de elasticidad de la subrasante constituye un punto central de la metodología de evaluación. Para desarrollar soluciones numéricas programables en computadora, esta determinación se efectúa en dos pasos:

**Primer Paso:** El primer paso consiste en establecer la relación teórica entre la rigidez para carga puntual y la rigidez para carga distribuida sobre un área, para un cociente dado del valor A/L0. La rigidez se define como el cociente entre la

carga y la deflexión ( $S = P/D_0$ ).

La relación teórica se calcula por medio de la ecuación:

$$\frac{S_0}{S} = 1 - M \left( \frac{A}{L} - 0.1 \right) \quad \dots(3.11)$$

Donde:

$S_0$  = Rigidez para carga puntual

$S$  = Rigidez para carga de área

$M$  = Coeficiente numérico que adopta los siguientes valores:

Para  $H/L_0 = 10$ ;  $\mu = 0.5$ ;  $M = 0.52$

Para  $H/L_0 = 10$ ;  $\mu = 0.4$ ;  $M = 0.48$

Para  $H/L_0 = 8$ ;  $\mu =$  cualquier valor;  $M = 0.44$

**Segundo Paso:** Una vez determinado el valor de  $S_0/S$ , se calcula el módulo de elasticidad de la subrasante por medio de la siguiente ecuación:

$$E_0 = \left( \frac{K_x I_x P}{L_0 x D_0} \right) \frac{S_0}{S} \quad \dots(3.12)$$

Donde:

$K$  = Coeficiente numérico que depende del coeficiente de Poisson de la subrasante y que adopta los siguientes valores:

Para  $\mu = 0.5$ ;  $K = 1.5$

Para  $\mu = 0.4$ ;  $K = 1.633$

$I$  = Coeficiente numérico que adopta los siguientes valores:

Para  $H/L_0 = 10$ ;  $\mu = 0.4$ ;  $I = 0.1689$

Para  $H/L_0 = 10$ ;  $\mu = 0.5$ ;  $I = 0.1614$

Para  $H/L_0 = 8$ ;  $\mu =$  cualquier valor;  $I = 0.1925$

$P$  = Carga total en la llanta doble

$L_0$  = Longitud elástica (ecuación 3.10)

$D_0$  = Deflexión máxima

### Determinación del Módulo de Elasticidad Equivalente del Pavimento ( $E^*$ )

El módulo de elasticidad equivalente del pavimento ( $E^*$ ) representa a todas

las capas del pavimento por encima de la subrasante. Para un pavimento flexible típico, compuesto de carpeta asfáltica y base granular, el módulo  $E^*$  representa a la carpeta y la base combinadas con un espesor total igual a la suma de los espesores de cada capa.

Una solución programable aproximada ha sido propuesta por Ullidtz y se basa en los siguientes conceptos. El módulo combinado ( $E^*$ ) de la carpeta asfáltica y la base, con un espesor  $HC = H_1 + H_2$  se determina usando el concepto del espesor equivalente. Este espesor equivalente se determina de la siguiente ecuación:

$$HE = (0.69) (HC) (E^*/E_0)^{1/3} \quad \dots(3.13)$$

La relación entre la deflexión máxima ( $D_0$ ), el módulo de elasticidad de la subrasante ( $E_0$ ) y el módulo de elasticidad del pavimento ( $E^*$ ) está expresada por la siguiente ecuación:

$$D_0 = \frac{(1 + \mu)P}{2\pi} \left[ \frac{1}{E^*} \left[ \frac{2(1 - \mu)}{r} - \frac{1}{R_1} \left( 2(1 - \mu) + \left( \frac{Z_1}{R_1} \right)^2 \right) \right] + \frac{1}{E_0} \left[ \frac{1}{R_2} \left( 2(1 - \mu) + \left( \frac{Z_2}{R_2} \right)^2 \right) - \frac{1}{R_3} \left( 2(1 - \mu) + \left( \frac{Z_3}{R_3} \right)^2 \right) \right] \right] \quad \dots (3.14)$$

Donde:

$$r = 1.5x_A$$

$$z_1 = HC + 0.6x_A^2/HC$$

$$R_1 = \sqrt{Z_1^2 + (1.5A)^2}$$

$$Z_2 = HE + 0.6x_A^2/HE$$

$$HE = \text{Ecuación (2.8)}$$

$$R_2 = \sqrt{Z_2^2 + (1.5A)^2}$$

$$Z_3 = (HE + (N)(L_0)) + 0.6A^2/(HE + (N)(L_0))$$

$$R_3 = \sqrt{Z_3^2 + (1.5A)^2}$$

N = 10 para base rocosa a espesor finito (H/L<sub>0</sub>=10)

N = 100 para base rocosa a espesor infinito (H/L<sub>0</sub>= infinito)

P = Carga de ensayo = pA<sub>2xp</sub> (p=presión de inflado).

La ecuación (3.14) se resuelve iterativamente en la computadora para determinar el valor de E\* para cualquier combinación de valores de E<sub>0</sub>, H<sub>C</sub>, P, p, D<sub>0</sub>, R, DR, H/L<sub>0</sub> y coeficiente μ.

## CAPITULO IV: DISEÑO DE ESPESORES DE REFUERZO

### 4.1 MÉTODO DE DISEÑO DE RECAPADOS: AASHTO 1993

La guía AASHTO para el diseño de pavimentos, es una de las metodologías más difundidas en el mundo.

Esta guía de diseño ha tenido varias revisiones desde su primera versión en 1968 (1), hasta la actualidad en que se cuenta con la reciente versión (1993) (7). La importancia de esta última, es que contiene una serie de nuevos criterios considerados en el diseño de pavimentos, y en especial, una parte dedicada a la rehabilitación de pavimentos. Esto hace que la guía AASHTO 1993, sea una base importante para el desarrollo del presente informe.

Se presenta a continuación una descripción de las funciones del recapado según AASHTO 1993, para continuar con la identificación de los tipos de recapado que son considerados, los aspectos y limitaciones generales establecidas por AASHTO para el diseño del recapados, y finalmente, se presentan los nuevos criterios utilizados.

La metodología de diseño AASHTO 1993, considera varias combinaciones de recapado, las que dependen tanto del material usado en la rehabilitación, como del tipo de pavimento existente en que se aplique. Los siguientes son, los tipos de recapado considerados en el método:

Recapado	Pavimento Existente
AC	AC
AC	PCC Fracturado
AC	JPCP, JRCP y CRCP
AC	AC/JPCP, AOJRCP y AOCRCP
PCC	Adherido JPCP, JRCP y CRCP
PCC	No Adherido JPCP, JRCP y CRCP
PCC	AC

Los términos utilizados para la identificación del tipo de recapado tienen el siguiente significado:

- AC: Concreto Asfáltico
- PCC: Hormigón de Cemento Portland
- JPCP: Pavimento de Hormigón con Junta Simple
- JRCP: Pavimento de Hormigón con Junta Reforzada
- CRCP: Pavimento de Hormigón con Refuerzo Continuo
- AC/PCC: Pavimento de Hormigón (JPCP, JRCP y CRCP)  
recapados con AC

En el presente estudio, se aplicará el caso de recapado asfáltico sobre superficies de pavimento asfáltico.

Para la aplicación de la metodología de diseño propuesta por AASHTO 93 en el diseño de recapados, se deben tener en cuenta en general, los siguientes criterios:

**Reparaciones previas al recapado:** Como se mencionó anteriormente, el recapado en este método solamente considera un aporte estructural al pavimento, por lo que antes de su aplicación, deben repararse todos aquellos defectos visibles (desprendimientos, grietas, deformaciones, etc.) que pudieran posteriormente afectar el comportamiento de este recapado.

**Controlar la reflexión de grietas:** El reflejo de grietas desde el pavimento antiguo a la nueva capa, es una de las causas más frecuentes del posterior deterioro del recapado. El espesor de diseño propuesto por el método, no considera este efecto, por lo que se deben tomar medidas adicionales que permitan reducir la aparición de estas grietas de reflexión. Entre estas medidas posibles, se tiene la provisión de capas asfálticas adicionales (generalmente más abiertas y con menos % de asfalto), fractura previa del hormigón antiguo, uso de geotextiles. empleo de asfaltos modificados y otras.

**Estimación de las cargas de tráfico:** Se deben determinar en forma adecuada, los ejes equivalentes que solicitan el pavimento durante la vida de diseño. Para esto, los

factores de equivalencia se deben calcular considerando las relaciones de diseño de pavimentos flexibles o rígidos según sea el caso. El modelo de pavimento flexible se utiliza para los recapados tipo AC efectuados sobre pavimentos flexibles o de hormigón fracturado. El resto de las combinaciones, considera la estimación de los ejes equivalentes según el modelo de pavimento rígido.

**Drenaje:** El método supone condiciones adecuadas de drenaje, de modo de prevenir la presencia de agua que pudiera erosionar y reducir la resistencia del pavimento. Dependiendo de las condiciones de humedad y calidad del drenaje, el método ajusta esta resistencia por medio de coeficientes que aumentan o disminuyen la capacidad estructural de las capas granulares.

**Materiales del recapado:** Estos materiales deben ser seleccionados adecuadamente, para resistir las cargas específicas, condiciones climáticas y deficiencias previas a la rehabilitación que pudiera presentar el pavimento. Esto requiere un conocimiento de los materiales posibles de utilizar, y sus propiedades. Debe tenerse en cuenta además, las propiedades de los materiales de la subrasante y del pavimento existente, lo cual conforma la base de fundación del recapado que se debe aplicar.

**Nivel de confiabilidad:** Debe seleccionarse un nivel adecuado de confiabilidad y desviación estándar para la determinación del espesor del recapado, el cual no necesariamente coincide con el utilizado para determinar el diseño de un pavimento nuevo. La guía AASHTO 1993 entrega algunas recomendaciones al respecto: la confiabilidad a utilizar por la mayor variabilidad de los parámetros en el pavimento existente debe ser superior al 90%. mientras que para el error estimado se recomienda utilizar 0.39 para los pavimentos rígidos y 0.49 para los flexibles.

La metodología para el cálculo de los recapados, se basa en estimar la diferencia entre el número estructural requerido ( $SN_f$ ) para soportar un nuevo período de solicitaciones, y el número estructural efectivo existente ( $SNe_{ff}$ ). El valor ( $SN_f$ ) se calcula aplicando las fórmulas de diseño propuestas por AASHTO según se trate de pavimentos flexibles o rígidos:

La fórmula para pavimentos flexibles utilizada es la siguiente:

$$\text{Log}_{10} W_{18} = Z_r S_o + 9.36 \text{Log}_{10} (\text{SN} + 1) - 0.20 + \frac{\text{Log}_{10} \left( \frac{\Delta \text{PSI}}{4.2 - 1.5} \right)}{\frac{0.40 + 1094}{(\text{SN} + 1)^{5.19}}} + 2.32 \text{Log}_{10} M_r - 8.07$$

..... (4.1)

**Donde:**

- W<sub>18</sub>** : Número de repeticiones de ejes equivalentes de 8.2 Ton. (80 kN).
- Z<sub>r</sub>** : Desviación Standard Normal, para el Nivel de Confiabilidad, R, seleccionado.
- S<sub>o</sub>** : Desviación estándar de todas las variables.
- ΔPSI** : Pérdida de servicialidad.
- M<sub>r</sub>** : Módulo resiliente de la subrasante.
- SN** : Número Estructural del Pavimento (in.).

Para determinar el número estructural efectivo existente (S<sub>Neff</sub>) del pavimento a rehabilitar, AASHTO 93 propone tres métodos:

- a. Método visual y extracción de testigos.
- b. Ensayos no destructivos NDT (Viga Benkelman, Falling Weight Deflectometer, etc.)
- c. Método de la vida remanente.

De aquí se puede estimar un número estructural de recapado (S<sub>N<sub>o</sub>i</sub>) como:

$$S_{N_{oi}} = a_{oi} D_{oi} = S_{N_f} - S_{N_{eff}} \quad \text{..... (4.2)}$$

El espesor requerido de recapado resulta de dividir este último término por el coeficiente estructural del concreto asfáltico (a<sub>oi</sub>), al cual se le asigna un valor medio de 0.44.

El método visual, junto con la extracción de testigos (en donde lo más importante es la medición de espesores de capas), permite evaluar metodológicamente el estado presente de la estructura del pavimento y asignarle un coeficiente estructural (a<sub>i</sub>) a las capas que componen el pavimento y de este modo junto con el espesor de las capas se calcula S<sub>Neff</sub>.

En el caso de utilizar ensayos no destructivos (NDT), el método AASHTO utiliza las deflexiones medidas con un Falling Weight Deflectometer para el cálculo del valor  $S_{Neff}$ . A partir de la medición hecha con un Falling Weight Deflectometer, se estima el módulo resiliente de la subrasante como:

$$M_r = 0.24 \times P/d_r/r \dots\dots\dots (4.3)$$

donde:

$M_r$  : Módulo resiliente de la subrasante, psi

P: Carga aplicada, libras

$d_r$  : Deflexión a una distancia r desde el centro de la carga, pulgadas

r : Distancia desde el centro de la carga, pulgadas

Posteriormente, se calcula el Módulo de Elasticidad del pavimento existente a partir de la deflexión máxima ( $d_0$ ) en el eje de la carga dinámica.

Finalmente, de estos cálculos se puede determinar el número estructural efectivo  $S_{Neff}$  como:

$$S_{Neff} = 0.0045 D (E_p)^{1/3} \dots\dots\dots (4.4)$$

donde:

D= espesor total del paquete estructural (pulg.)

$E_p$ = modulo efectivo de todo el paquete (psi)

En el caso de utilizar la vida remanente, el valor  $S_{Neff}$  se determina del siguiente modo:

$$RL = 100 (1-(N_p/N_{1.5})) \dots\dots\dots (4.5)$$

Donde:

RL : Vida remanente, %

$N_p$  : Ejes Equivalentes acumulados a la fecha

$N_{1.5}$  : Ejes Equivalentes que producen la falla del pavimento ( $P_f = 1.5$ )

Con este indicador se puede determinar un factor de condición, que relaciona la capacidad estructural efectiva existente en el pavimento con la capacidad estructural original de diseño;

$$CF = SC_n / SC_0$$

donde:

CF : Factor de condición

SC<sub>n</sub> : Capacidad estructural efectiva existente

SC<sub>0</sub> : Capacidad estructural original

Se puede por lo tanto determinar la capacidad estructural efectiva (SN<sub>eff</sub>) en base al número estructural original de diseño (SN<sub>0</sub>) como:

$$SN_{eff} = CF \times SN_0$$

El factor CF se determina en función del porcentaje de vida remanente RF según el gráfico de la Figura 4.

## 4.2 APLICACIÓN DEL METODO AASHTO

### Determinación del Numero Estructural Requerido (SN<sub>f</sub>)

Determinamos SN<sub>f</sub> (ver Ecuación 4.2) aplicando las formulas de diseño de AASHTO (Ecuación 4.1), donde los datos de entrada son:

#### W<sub>18</sub>

Es el número esperado de repeticiones de ejes equivalentes a 8.2 tn en el periodo de diseño, y viene dado por la siguiente expresión:

$$W_{18} = D_D \times D_L \times EAL \dots\dots\dots (4.6)$$

Donde:

D<sub>D</sub>: es un factor de distribución direccional. Por lo general se considera igual a 0.5.

$D_L$ : Factor, cuyo valor se da en el siguiente cuadro:

CUADRO N° 4.1: FACTOR CARRIL

NUMERO DE LINEAS EN CADA DIRECCION	PORCENTAJE PARA EJES DE 8.2 tn EN CADA DIRECCION
1	100
2	80 - 100
3	60 - 80
4	50 - 75

Fuente: Guía AASHTO

Reemplazando los valores correspondientes en la Ecuación 4.6, se obtiene:

$$W_{18} = D_D \times D_L \times EAL = (0.5) \times (1.0) \times 1.04E05 = 0.52E05$$

### Índice de confiabilidad del Diseño y Desviación Estándar Normal ( $Z_r$ )

Este parámetro toma en cuenta las variaciones no esperadas que puedan tener el tráfico y el comportamiento del pavimento, para lo cual la guía AASHTO ha desarrollado niveles de confiabilidad para diferentes tipos de carreteras.

CUADRO N° 4.2: NIVELES DE CONFIABILIDAD SUGERIDOS

Clasificación	Niveles de Confiabilidad	
	(Recomendados)	
	Urbana	Rural
Autopistas Interestatales y Otras	85.0 – 99.9	80.0 - 99.9
Arterias Principales	80.0 – 99.0	75.0 – 95.0
Colectores de Tránsito	80.0 – 95.0	75.0 – 95.0
Carreteras Rurales	50.0 – 80.0	50.0 – 80.0

Fuente: AASHTO 93

Considerando que el periodo de diseño es de sólo 1 año, se utilizará una confiabilidad del 85% ( $Z_r = -1.037$ ).

### **Desviación Estándar Total ( $S_o$ )**

Para su determinación se empleó la guía AASHTO en la que, dependiendo del tipo de pavimento (flexible o rígido) presenta los siguientes valores:

$S_o = 0.45$  (Pavimentos Flexibles)

$S_o = 0.35$  (Pavimentos Rígidos)

Se tomará el valor de  $S_o = 0.45$  para pavimentos flexibles.

### **Criterios de Desempeño: Serviciabilidad**

Corresponde a la idoneidad que tiene el pavimento para servir a la clase de tránsito que lo utiliza. La mejor forma de evaluarla es a través del Índice de Serviciabilidad Presente (PSI) el cual varía de cero para una "carretera absolutamente inaceptable" hasta 5 para una "carretera perfecta", dependiendo, fundamentalmente, del índice de rugosidad.

En la pista de prueba de la AASHTO se obtuvo el valor de 4.2 como serviciabilidad inicial ( $P_i$ ) para los pavimentos flexibles, la serviciabilidad final ( $P_t$ ) debe definirse previamente, la AASHTO sugiere un valor 2.5 para las autopistas en vías principales y 2.0 para las demás carreteras.

En el presente caso, se adoptarán los valores de 4.2 y 2.0 como índices de serviciabilidad inicial y final respectivamente.

### **Determinación del Módulo Resiliente**

La Metodología AASHTO – 93 establece la adopción del Módulo Resiliente de la subrasante obtenido por los valores de CBR, según los resultados de laboratorio efectuadas con las muestras extraídas de los tipos de suelos que conforman el terreno de fundación y las capas de la actual estructura del pavimento.

Considerando que el terreno de fundación está conformado por material granular propio de la actual vía, el CBR adoptado debe ser adecuado para el material presente, optándose por un CBR de 40% para un suelo de clasificación A-2-4 (0) AASHTO (Fuente: Chang Albitres, Carlos. P)

En su versión 2002, AASHTO recomienda utilizar la siguiente expresión para determinar el  $M_r$  de la subrasante:

$$M_r = 2555 \times CBR^{0.64} \dots\dots\dots (4.7)$$

Finalmente el  $M_r$  para el diseño será de 27,083.78 psi

Con estos valores se determina el SNf, para esto se hace uso del programa Cálculo del Numero Estructural AASHTO 1,993, desarrollado por el Ing. Luis Ricardo Vásquez Varela (Manizales, Oct. 2,000):

Así, obtenemos: SN=1.19

### Determinación del Numero Estructural Efectivo (S<sub>Neff</sub>)

Se obtendrá el S<sub>Neff</sub> a partir de la ecuación 4.4, para lo cual se determinará el modulo de elasticidad del paquete estructural, E<sub>p</sub>.

Continuando con el Cuadro 3.2, se aplica el Modelo de Hogg (Item III.4, ecuaciones 3.8 a 3.14 y ecuación 4.2) a fin de determinar el E<sub>p</sub>:

### VALORES CONSTANTES

	N	10	r	16.12 cm
carga sobre una llanta	→ P	4500 lb	Z1	47.51 cm
coef de Poisson	→ μ	0.4	R1	50.17 cm
presion de inflado	→ p	80 psi		
radio huella circular contacto	→ A	10.75 cm		
	HC	46 cm		18.11 pulg.

CUADRO 4.3: PROCESAMIENTO DE DEFLEXIONES (MODELO DE HOGG)

Nº	Progresiva (km)	DR/D0			Más próximo al 50%			R (cm)	D0 (mm)	Mr Hogg		CBR (%) 1500	H (m)	
		25	50	70						Eo (kg/cm2)	Eo (psi)			
1	229+500	0.94	0.61	0.42	0.44	0.11	0.08	0.08	70.0	2.48	123	1748	1.2	3.29
2	230+100	0.85	0.65	0.45	0.35	0.15	0.05	0.05	70.0	0.80	361	5124	3.4	3.52
3	230+200	0.75	0.50	0.25	0.25	0.00	0.25	0.00	50.0	0.48	741	10522	7.0	2.72
4	230+300	0.73	0.40	0.13	0.23	0.10	0.37	0.10	50.0	0.60	714	10132	6.8	2.12
5	231+100	0.87	0.78	0.65	0.37	0.28	0.15	0.15	70.0	0.92	203	2889	1.9	5.77
6	231+400	0.81	0.54	0.46	0.31	0.04	0.04	0.04	50.0	1.04	317	4496	3.0	3.00
7	231+500	0.89	0.57	0.43	0.39	0.07	0.07	0.07	50.0	1.40	220	3122	2.1	3.26
8	231+800	0.92	0.64	0.51	0.42	0.14	0.01	0.01	70.0	1.56	162	2307	1.5	4.10
9	232+000	0.77	0.55	0.32	0.27	0.05	0.18	0.05	50.0	0.88	369	5239	3.5	3.05
10	232+400	0.80	0.40	0.13	0.30	0.10	0.37	0.10	50.0	0.60	714	10132	6.8	2.12
11	232+500	0.75	0.25	0.08	0.25	0.25	0.42	0.25	25.0	0.48	804	11419	7.6	2.45
12	232+600	0.90	0.52	0.31	0.40	0.02	0.19	0.02	50.0	1.16	296	4207	2.8	2.84
13	232+800	0.86	0.58	0.39	0.36	0.08	0.11	0.08	50.0	1.44	208	2961	2.0	3.36
14	232+900	0.85	0.33	0.15	0.35	0.17	0.35	0.17	50.0	1.08	443	6296	4.2	1.79
15	233+000	0.88	0.67	0.57	0.38	0.17	0.07	0.07	70.0	1.68	133	1894	1.3	4.72
16	233+100	0.90	0.62	0.48	0.40	0.12	0.02	0.02	70.0	1.16	233	3302	2.2	3.82

CUADRO 4.3: PROCESAMIENTO DE DEFLEXIONES (MODELO DE HOGG) - Continuación

Nº	Progresiva (km)	Ep	HE	Z2 (cm)	R2 (cm)	Z3 (cm)	R3 (cm)	(Z1/R1) <sup>2</sup> (adim.)	(Z2/R2) <sup>2</sup> (adim.)	(Z3/R3) <sup>2</sup> (adim.)	Ecuación 3.14	Snaff (Ec. 4.4)	SNf	Dol (cm)
1	229+500	206	37.68	39.5197	42.6816	367.069	367.422	0.89673	0.85733	0.99807	-0.0002	0.48	1.19	4.10
2	230+100	682	39.243	41.0094	44.0645	391.628	391.959	0.89673	0.86614	0.99831	0.0001	0.72	1.19	2.74
3	230+200	910	33.989	36.0285	39.471	306.466	306.89	0.89673	0.83317	0.99724	-0.0001	0.79	1.19	2.32
4	230+300	620	30.288	32.5763	36.3473	242.675	243.21	0.89673	0.80327	0.99561	0.0000	0.69	1.19	2.87
5	231+100	1040	54.67	55.938	58.2149	632.091	632.297	0.89673	0.92331	0.99935	0.0000	0.82	1.19	2.11
6	231+400	456	35.843	37.7768	41.073	336.104	336.49	0.89673	0.84593	0.9977	0.0001	0.63	1.19	3.26
7	231+500	362	37.48	39.3292	42.5053	363.7	364.057	0.89673	0.85614	0.99804	-0.0001	0.58	1.19	3.52
8	231+800	406	43.07	44.6796	47.4992	453.529	453.815	0.89673	0.8848	0.99874	-0.0001	0.60	1.19	3.39
9	232+000	545	36.148	38.0657	41.3389	341.734	342.114	0.89673	0.84791	0.99778	0.0000	0.66	1.19	3.03
10	232+400	623	30.337	32.6214	36.3877	242.724	243.259	0.89673	0.8037	0.99561	0.0001	0.69	1.19	2.86
11	232+500	843	32.243	34.3925	37.9836	277.149	277.618	0.89673	0.81985	0.99663	-0.0001	0.77	1.19	2.44
12	232+600	391	34.815	36.8059	40.1819	319.45	319.857	0.89673	0.83902	0.99746	0.0000	0.59	1.19	3.44
13	232+800	362	38.148	39.9651	43.0943	374.321	374.668	0.89673	0.86005	0.99815	0.0000	0.58	1.19	3.52
14	232+900	316	28.351	30.7959	34.7606	207.801	208.426	0.89673	0.7849	0.99402	0.0001	0.55	1.19	3.67
15	233+000	443	47.357	48.8205	51.4136	519.944	520.194	0.89673	0.90167	0.99904	0.0001	0.62	1.19	3.29
16	233+100	507	41.156	42.8403	45.7733	422.911	423.218	0.89673	0.87595	0.99855	0.0000	0.65	1.19	3.13

Promedio **3.11**

Como se puede apreciar del Cuadro 4.3, se determinó que el espesor de refuerzo de concreto asfáltico es igual a 3.11 cm.

### 4.3 MÉTODO DE DISEÑO DE RECAPADOS: ASPHALT INSTITUTE (U.S.A)

Esta metodología de diseño, consiste en estimar espesores de recapados asfálticos para la rehabilitación de pavimentos tanto de asfalto como de hormigón, considerando las condiciones estructurales del pavimento existente.

El método del Instituto del Asfalto Norteamericano, considera dos tipos de procedimientos para el diseño de un recapado:

- a. Método de Diseño Empírico por Medida de Deflexión (consta de dos submétodos)
- b. Método de Diseño por Espesor Efectivo

Ambos métodos consideran el diseño de un recapado de asfalto, tanto sobre pavimentos de asfalto como de hormigón.

#### a1. Método de Diseño Empírico por Medida de Deflexión:

Asfalto sobre Asfalto: Para el caso del diseño de un recapado con asfalto sobre un pavimento de superficie asfáltica considera para la determinación del espesor necesario del recapado, la deflexión obtenida mediante el ensayo *Viga Benkelman* en el pavimento antes de la rehabilitación y el número de ejes equivalentes que solicitarán este pavimento durante el período de diseño del recapado. Para esto, se recomienda dividir el tramo de la vía a reforzar en sectores homogéneos, determinar en ellos la deflexión media  $x$ , la desviación  $\sigma$ , y con esto se determina una deflexión característica para el diseño (RRD) como  $RRD (= x + 2 \sigma)$ . Además, se requiere de la aplicación de un factor de corrección por temperatura ( $f$ ) y otro factor de corrección estacional ( $c$ ), el cual es función del período del año en que se realizó la medición de la deflexión. Con esto se determina una deflexión del proyecto como:

$$d = (x + 2 \sigma) f c \quad \dots\dots\dots(4.8)$$

Con este valor de deflexión, y el número de ejes equivalentes que solicitaran el pavimento durante el período de diseño, se determina el espesor necesario del recapado utilizando el ábaco de la Figura 4.2.

#### a2. Método de Diseño Empírico por Medida de Deflexión: Asfalto sobre Hormigón.

En el caso de rehabilitaciones sobre pavimentos de hormigón, el factor predominante que condiciona el diseño del espesor de refuerzo es la posibilidad de evitar el reflejo de las grietas y juntas, en la nueva carpeta asfáltica. Dado que este caso no es materia de nuestro estudio, no entraremos en más detalles.

b) Método de Diseño por Espesor Efectivo: Para recapado de asfalto sobre asfalto u hormigón.: Este método consiste en convertir los espesores de las capas existentes en el pavimento, a un espesor efectivo de concreto asfáltico ( $T_e$ ). Para determinar  $T_e$ , cada capa del pavimento existente debe ser convertida a un espesor equivalente de concreto asfalto utilizando factores que se presentan en el método de diseño. Adicionalmente, se requiere conocer el Módulo Resiliente de la Subrasante ( $M_r$ ).

Con los valores de EE para el período de diseño y el Módulo Resiliente de la Subrasante ( $M_r$ ), se determina mediante la Figura 4.2 el espesor de diseño requerido en concreto asfáltico ( $T_d$ ). El espesor resultante para el recapado requerido ( $T_0$ ) resulta ser por lo tanto:

$$T_0 = T_d - T_e$$

Adicionalmente en el caso de los recapados sobre pavimentos existentes de hormigón, deben tenerse en cuenta los aspectos relacionados con la posibilidad de evitar el reflejo de grietas.

#### 4.4 APLICACIÓN DEL MÉTODO DEL ASPHALT INSTITUTE

Como se vió en el ítem anterior (ecuación 4.8), este método requiere de las siguientes variables a considerar:

- x : deflexión media
- $\sigma$  : desviación estándar de las deflexiones
- f : factor de corrección por temperatura
- c : factor de corrección estacional

De la evaluación por deflectometría tenemos:

$$X = 1.11 \text{ mm}$$

$$\sigma = 0.522 \text{ mm}$$

De la data tomada en campo, consideramos como temperatura media 10° C y un espesor de 40 cm (16 pulg.) de las capas granulares. Según la figura 4.1 obtenemos:  $f = 1.20$

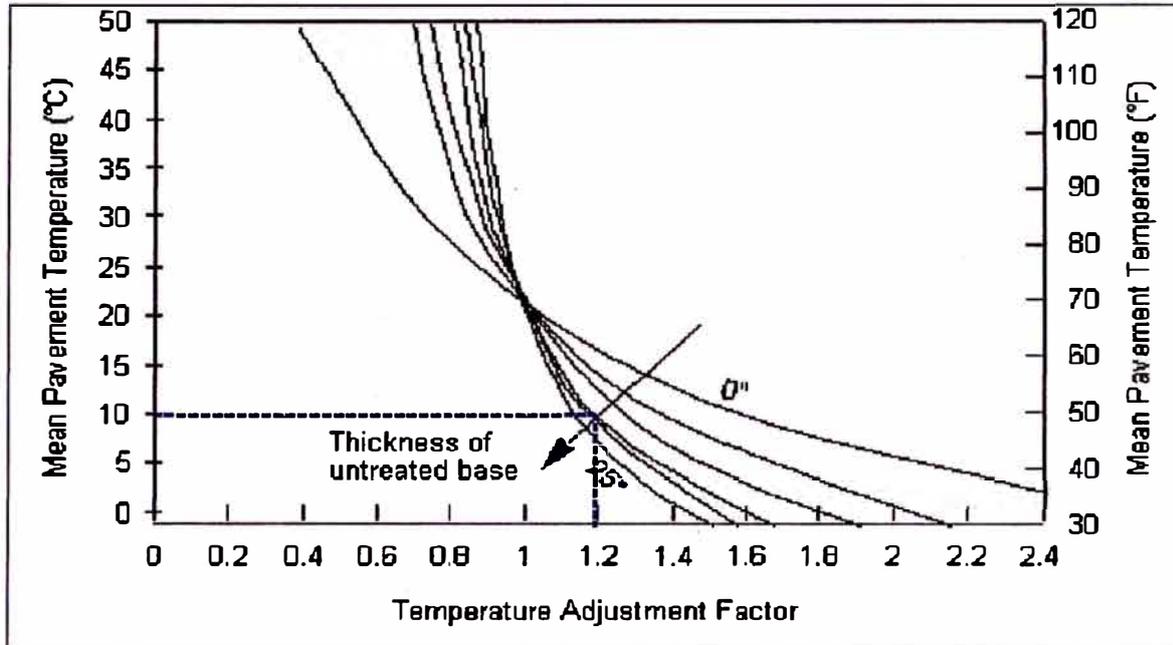


Figura 4.1 Factor de corrección estacional

(Fuente: The Asphalt Institute, Asphalt Overlay for Highway and Street Rehabilitation, Manual Series N°17, Junio de 1983)

Se tomará como 1 el factor de corrección estacional  $c$ , asumiendo que los datos fueron tomados durante las condiciones más críticas.

De esta manera, se obtiene:

$$RRD = 2.58$$

Con este valor, y con el  $EAL = 104,500$ , vamos a la figura 4.2, obteniendo:

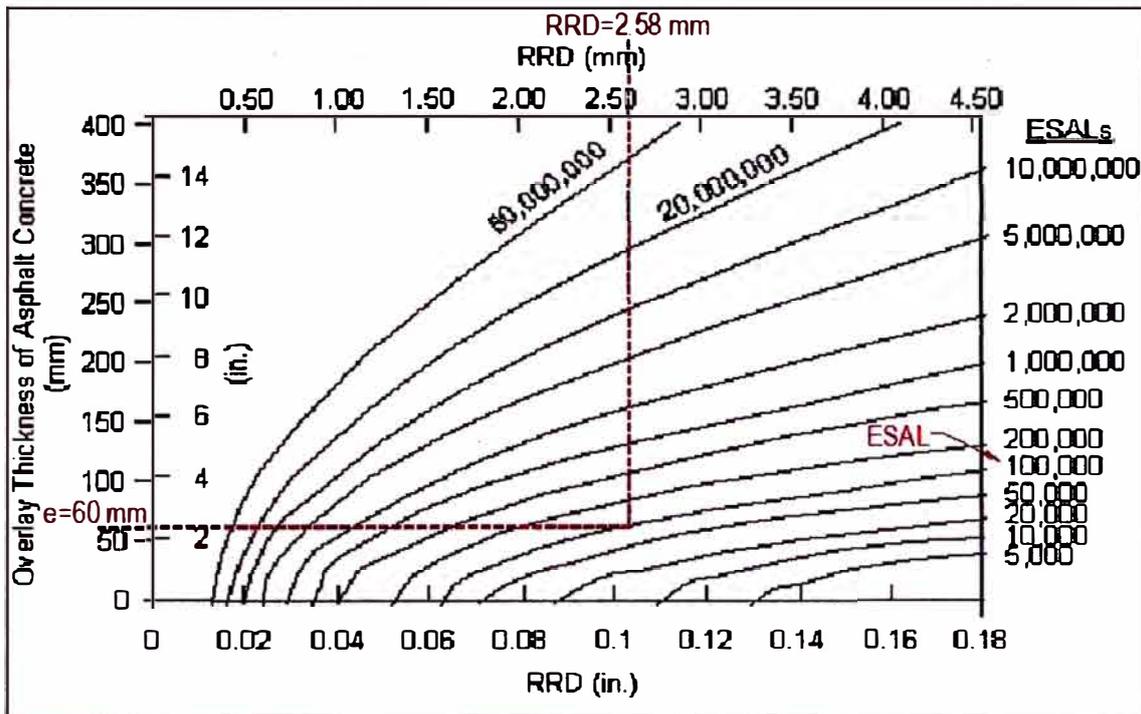


Fig. 4.2 Espesor de recapado, asfalto sobre asfalto

(Fuente: The Asphalt Institute, Asphalt Overlay for Highway and Street Rehabilitation, Manual Series N°17, Junio de 1983)

Lo cual significa que se necesitará, para que el pavimento se comporte adecuadamente y soporte el tráfico proyectado, 6 cm de concreto asfáltico.

### COMPARACION ENTRE LOS DOS METODOS

Se observa que los dos métodos arrojan diferentes resultados:

El Método AASHTO da como resultado un espesor de refuerzo de 3.11 cm.

El Método del Instituto del Asfalto da un espesor de refuerzo de 6 cm.

Teniendo en cuenta que aplicar 3 cm de espesor de refuerzo es en la práctica inviable, se podría adoptar un espesor promedio entre los 2 resultados de 5 cm.

## CONCLUSIONES

1. En general, la carretera materia del estudio (Cañete - Yauyos – Huancayo) presenta bajos niveles de tránsito, y además, ya dentro del análisis, el periodo de diseño se reduce a tan solo 4 años (2008 – 2012), la mayor parte de esta carretera no necesita un refuerzo de carpeta inmediato. Por esta razón se selecciona el tramo que va del Km 229+500 al Km 233+300, que presenta, según el análisis, características de pavimento infradiseñado.

2. Se ha diseñado el refuerzo del pavimento por dos métodos: el Método AASHTO y el Método del Instituto del Asfalto, por ser estos los de más amplia aplicación en el ámbito nacional, para un periodo de diseño de 4 años (hasta el año 2012). Se obtuvo espesores de diseño de 3.1 cm con el primer método y de 6 cm con el segundo. Se observa que el Método del Instituto del Asfalto da un valor mayor del espesor adicional requerido según el método AASHTO. Atendiendo a un criterio conservador, se opta por asumir un espesor de refuerzo (también llamado recapado) de 6 cm.

3. La metodología AASHTO es más compleja, pues involucra mayor cantidad de variables relacionadas o planteadas en base a experiencias anteriores, a diferencia de la metodología del Instituto Norteamericano del Asfalto que en ese sentido es más práctica, pues se vale de la aplicación de ábacos elaborados especialmente para la determinación del espesor de refuerzo, y requieren de una menor cantidad de variables.

4. Del cuadro 4.3 Procesamiento de Deflexiones (Modelo de Hogg), se puede obtener un promedio de la relación de  $E_p/E_0$ :

$$E_p/E_0(\text{prom.})=1.8$$

Donde  $E_p$  es el modulo de elasticidad compuesto de todas las capas del pavimento y  $E_0$  es el modulo de elasticidad de la subrasante. Hoffman (1977) ha establecido que un pavimento flexible adecuadamente diseñado debe guardar una relación  $E_p/E_0$  entre 2 y 4, por lo que se concluye que el pavimento no está adecuadamente diseñado, y según la ecuación 3.13 solo un 84% del HC cuenta como espesor estructural utilizable.

5. Para determinar datos del terreno de fundación tales como el módulo resiliente se emplean ecuaciones características desarrolladas en otros países que relacionan valores de CBR con este módulo, las cuales no necesariamente estarán afectadas por los mismos factores en nuestro país.

6. Son pocos o no existe una base de datos estadísticos o censales bien estructurados del comportamiento de las vías terrestres del país, esto se determinó debido a que en la mayoría de los diseños elaborados por las metodologías AASHTO e Instituto del Asfalto de los diferentes expedientes técnicos de las carreteras construidas en las diferentes zonas del país, son valores típicos que se asumen, teniendo como comentario que están en función a experiencias anteriores. Sin embargo es importante señalar que en el país existe una gran diversidad de características del terreno de fundación, los cuales no necesariamente tienen el mismo comportamiento estructural.

7. No se cuenta con una metodología propia de diseño de pavimentos del país a diferencia de otros países como México, en Centroamérica y otros, que sí han logrado desarrollar metodologías de diseño que se acercan más a la realidad de sus territorios.

---

## **RECOMENDACIONES**

1. Se recomienda que el número de deflexiones de campo en cada punto evaluado con la Viga Benkelman debe ser mayor, para obtener una mejor precisión en la obtención de los parámetros del modelo a utilizar.
2. La medición de deflexiones mediante la Viga Benkelman, es un procedimiento práctico y económico, pero es un ensayo puntual y lento por lo tanto se producen problemas de circulación y peligro de accidentes incluso para los operarios del equipo, por lo que se recomienda al personal encargado de realizar dichas mediciones tomar las medidas de seguridad necesarias.
3. Debido a que esta carretera conecta Lima con Huancayo, siendo una alternativa a la Carretera Central, es probable que el tráfico aumente considerablemente en pocos años; lo que se recomienda es hacer un mayor seguimiento de la respuesta del pavimento como estructura a este aumento.
4. Es necesario desarrollar un metodología de diseño de pavimentos propia del país que se asemeje mas a la realidad del territorio, el cual conllevará a una mejor optimización de los recursos empleados en la construcción de carreteras en todos los lugares que sean necesarios.

## BIBLIOGRAFÍA

1. AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS, AASHTO Guide for Design of Pavement Structures 1993, Washington D. C., 1993
2. CHANG ALBITRES, Carlos. *Pavimentos: Un Enfoque al Futuro*. 1ra Edición, Lima-Perú: Instituto de la Construcción y Gerencia (ICG), 2005.
3. CONSORCIO GESTION DE CARRETERAS, *Estudios técnicos para el cambio de estándar de afirmado a solución Básica Carretera: Cañete – Yauyos – Chupaca Tramo: Zúñiga – Desv. Yauyos – Ronchas*. Lima, 2008.
4. CURSO DE ACTUALIZACIÓN DE DISEÑO ESTRUCTURAL DE CAMINOS METODO AASHTO 93 – Escuela de Ingeniería de Caminos de Montaña – Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de San Juan, Argentina, Febrero de 1994.
5. MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES, *Manual para la Conservación de Carreteras No Pavimentadas de Bajo Volumen de Transito*, Lima - Perú, Marzo 2008.
6. MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES - CONREVI, *Estudio de Rehabilitación de Carreteras en el País. Capítulo IV Aspectos de evaluación de pavimentos*. Lima, año 1996.
7. MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES - DIRECCIÓN GENERAL DE CAMINOS Y FERROCARRILES. *Manual de Diseño de Carreteras pavimentadas de bajo volumen de tráfico*. Lima, Marzo del 2008.
8. MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES - DIRECCIÓN GENERAL DE CAMINOS Y FERROCARRILES. *Especificaciones Técnicas Generales para la Construcción de Carreteras EG-2000*. Lima, año 2000.
9. MONTEJO FONSECA, Alfonso. *Ingeniería de Pavimentos*. Tercera edición. Bogotá: Universidad Católica de Colombia, 2006.
10. THENOUX Z., Guillermo. GAETE P., Rodrigo. "Evaluación Técnica del Pavimento y Comparación de Métodos de Diseño de Capas de Refuerzo Asfáltico". *La Revista Ingeniería de Construcción*. Julio – Diciembre 1995, N° 14, págs. 56 – 72.
11. ZALDIVAR SERRANO, Ernesto. "Análisis de la Seguridad en el Cálculo de Espesores de Refuerzo para Pavimentos Flexibles" - INFRAESTRUCTURA VIAL – Edición N° 19 – Camagüey, Cuba - Febrero 2008.