

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



**EVALUACIÓN DEL PAVIMENTO CON VIGA BENKELMAN-  
MÉTODO EMPÍRICO, CARRETERA CAÑETE - CHUPACA  
POLÍTICA DE MANTENIMIENTO**

**INFORME DE SUFICIENCIA**

**Para optar el Título Profesional de:**

**INGENIERO CIVIL**

**DAVID MAMANI DE LA CRUZ**

**Lima - Perú**

**2011**

## ÍNDICE

<b>RESUMEN</b> .....	3
<b>LISTA DE CUADROS</b> .....	4
<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	4
<b>LISTA DE SÍMBOLOS</b> .....	6
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	7
<b>CAPITULO I: GENERALIDADES</b>	
1.1 ASPECTOS GENERALES.....	9
1.1.1 Antecedentes.....	9
1.1.2 Justificación .....	9
1.1.3 Planteamiento del problema.....	10
1.1.4 Objetivos.....	11
1.1.5 Características del tramo en estudio, Km 74+000 - Km 84+000.....	11
<b>CAPITULO II: ESTADO DEL ARTE</b>	
2.1 ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS PARA LA EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO.....	17
2.1.1 Viga Benkelman.....	18
2.1.2 Deflectómetro de impacto FWD (Falling- Weight deflectometer).....	19
2.1.3 Dynaflec.....	20
2.1.4 Road Rater .....	21
2.1.5 RDD .....	22
2.1.6 KUAB - FWD.....	22
2.2 POLÍTICAS DE MANTENIMIENTO EN LATIIONAMÉRICA.....	23
<b>CAPITULO III: MARCO TEÓRICO</b>	
3.1 MANTENIMIENTO DE CARRETERAS .....	26
3.1.1 Mantenimiento Vial.....	26
3.1.2 Hacia una cultura preventiva para el Mantenimiento .....	27

3.1.3 Solución Básica .....	28
<b>3.2 EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO USANDO LA VIGA BENKELMAN.....</b>	<b>29</b>
3.2.1 Evaluación estructural.....	29
3.2.2 Deflectometría método CONREVIAl .....	30
3.2.3 Teoría para el análisis de las deflexiones.....	31
3.2.4 Costo de la evaluación con la Viga Benkelman.....	33
<b>3.3 CURVA DE DETERIORO DE PAVIMENTOS .....</b>	<b>34</b>
3.3.1 Etapas de deterioro en la vida útil de un camino.....	34
3.3.2 Esquemas de conservación .....	37
<b>3.4 COMO REALIZAR LAS POLÍTICAS DE MANTENIMIENTO.....</b>	<b>41</b>
3.4.1 Criterios para realizar políticas de mantenimiento.....	41
3.4.2 Gestión de Mantenimiento Vial .....	42
<b>CAPITULO IV: ANÁLISIS DE DEFLEXIONES</b>	
4.1 ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	60
4.2 ANÁLISIS DE LA CURVA DE DETERIORO .....	63
<b>CAPITULO V: POLÍTICA DE MANTENIMIENTO</b>	
5.1 ELABORACIÓN DE LA POLÍTICA DE MANTENIMIENTO PARA EL TRAMO EN ESTUDIO.....	66
5.1.1 Criterios para la elaboración de la Política de Mantenimiento .....	66
5.1.2 Política de Mantenimiento para el tramo en estudio.....	66
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>69</b>
<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>71</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>72</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>74</b>

## RESUMEN

En el Perú no existe cultura de prevención, los pavimentos colapsan por falta de buenas políticas de mantenimiento, se considera al mantenimiento como un gasto. Se prioriza la construcción antes que la conservación.

Por estas razones, se ve en la necesidad de evaluar al pavimento básico, como primera instancia para saber cuál es su estado y poder establecer que políticas aplicar.

El presente Informe de Suficiencia plantea la evaluación del pavimento analizando las deflexiones características y admisibles, con estos resultados se conocerá si es necesario aplicar una conservación al pavimento básico.

No es suficiente saber que conservación realizar al pavimento, sino también cuándo aplicarlo, motivo por el cual se analiza la curva de deterioro, para determinar el momento oportuno de conservación.

Finalmente se muestra en este informe las políticas de mantenimiento más adecuadas que responden a la evaluación del pavimento básico con el análisis de las deflexiones.

## LISTA DE CUADROS

Cuadro N° 1.01 Descripción de los materiales de fundación de la carretera .....	14
Cuadro N° 1.02 Volumen diario clasificado-estación(E4) Zúñiga-Dv. Yauyos ....	15
Cuadro N° 1.03 Tramificación de la carretera .....	16
Cuadro N° 3.01 Condición de resistencia del pavimento y la subrasante .....	33
Cuadro N° 3.02 Guía referencial para selección de aditivo estabilizador .....	45
Cuadro N° 3.03 Ventajas y desventajas en la estabilización de suelos .....	46
Cuadro N° 3.04 Respuesta de suelo típico a métodos de estabilización .....	48
Cuadro N° 3.05 Ventajas y desventajas recubrimiento superficial bituminoso....	49
Cuadro N° 4.01 Análisis para un pavimento tradicional, método CONREVIAl... 54	
Cuadro N° 4.02 Análisis para un pavimento económico.....	57
Cuadro N° 4.03 Resultados del análisis estructural.....	62
Cuadro N° 4.04 Fecha límite de conservación para los sectores homogéneos, para estar dentro de una política óptima .....	63

## ANEXOS

Cuadro A1.01 Valor de "t" y probabilidad de ocurrencia de $D_m > D_c$ .....	81
Cuadro A1.02 Coeficientes de corrección por estacionalidad .....	82
Cuadro A1.03 Juicio de la capacidad estructural del pavimento .....	86
Cuadro A2.01 Medición de las deflexiones con la Viga Benkelman .....	88
Cuadro A2.02 Matriz de sectores homogéneos .....	89
Cuadro A3.01 Análisis de gastos generales.....	90

## LISTA DE FIGURAS

Figura N° 1.01 Ubicación de la carretera .....	11
Figura N° 1.02 Perfil longitudinal de la carretera .....	12
Figura N° 1.03 Geología de la región Yunga.....	13
Figura N° 1.04 Ubicación de las estaciones de control de tráfico en la región Lima.....	15
Figura N° 1.05 Tramificación de la carretera .....	17

Figura N° 2.01 Esquema y principio de operación de la Viga Benkelman .....	19
Figura N° 2.02 Equipo Falling Weight Deflectometer (FWD) PRI 2100 .....	20
Figura N° 2.03 Equipo Dynaflec .....	21
Figura N° 2.04 Equipo Road Rater .....	21
Figura N° 2.05 Equipo RDD .....	22
Figura N° 2.06 Equipo KUAB - FWD .....	22
Figura N° 3.01 Cambio hacia una cultura preventiva en el Mantenimiento Vial..	27
Figura N° 3.02 Principios generales del Mantenimiento Vial .....	28
Figura N° 3.03 Evolución de una solución básica versus la solución tradicional.	29
Figura N° 3.04 Estructura multicapa de un pavimento flexible.....	32
Figura N° 3.05 Significado cualitativo de los diferentes tipos de curvas de deflexiones .....	33
Figura N° 3.06 El deterioro de los caminos con el transcurso del tiempo .....	34
Figura N° 3.07 Gasto a lo largo del tiempo en un camino según distintos escenarios de políticas de intervención.....	38
Figura N° 3.08 Costos de operación de los vehículos por el deterioro de los caminos según distintos escenarios de políticas de intervención.....	39
Figura N° 3.09 Representación gráfica del ciclo de deterioro de los caminos ....	40
Figura N° 4.01 Deflectograma carril izquierdo.....	62
Figura N° 4.02 Gráfico de la Curva de Deterioro – Sector Homogéneo 1.....	64
Figura N° 4.03 Gráfico de la Curva de Deterioro – Sector Homogéneo 2.....	64
Figura N° 4.04 Gráfico de la Curva de Deterioro – Sector Homogéneo 3.....	65
Figura N° 4.05 Gráfico de la Curva de Deterioro – Sector Homogéneo 4.....	65
<b>ANEXOS</b>	
Figura A1.01 Esquema de la transmisión de carga y equipo medidor de deformaciones .....	76
Figura A1.02 Medición de deflexiones con la Viga Benkelman .....	77
Figura A1.03 Esquema conceptual del radio de curvatura .....	79
Figura A1.04 Diagrama de Flujo del Juicio de la capacidad estructural para pavimentos tradicionales .....	87
Figura A2.01 Gráfica de probabilidad de deflexiones máximas, carril izquierdo .	89

## LISTA DE SÍMBOLOS

AASHTO	: American Association of State Highway
CBR	: California Bearing Ratio
CEPAL	: Comisión económica para América Latina y el Caribe
CGC	: Consorcio Gestión de Carreteras
CONREVIAl	: Consorcio de Rehabilitación Vial
Dadm	: Deflexión admisible
Dc	: Deflexión característica
Dm	: Deflexión media
FWD	: Falling Weight Deflectometer
GC	: Grava arcillosa
GM	: Grava limosa
GP	: Grava pobremente graduada
GW	: Grava bien graduada
HDM	: Highway Development and Management
IMD	: Índice medio diario
IP	: Índice Plástico
MTC	: Ministerio de Transportes y Comunicaciones
PCI	: Índice de condición del pavimento
Rc	: Radio de curvatura
Rc+	: Radio de curvatura mayor a cien metros
Rc-	: Radio de curvatura menor a cien metros
S.A	: Sociedad Anónima
S.A.C	: Sociedad Anónima Comercial
SAM	: Sistema de Administración del Mantenimiento
S.R.L	: Sociedad de Responsabilidad Limitada
SUCS	: Sistema Unificado de Clasificación de Suelos
SC	: Arena arcillosa
SM	: Arena limosa
SP	: Arena pobremente graduada
SW	: Arena bien graduada

## INTRODUCCIÓN

En el Perú los planes de mantenimiento de las redes viales es limitado, la gran mayoría de carreteras no están sujetos a ningún programa regular de mantenimiento. Más alarmante aún es el hecho de que algunos tramos de carreteras han sido licitados en sucesivas oportunidades a lo largo de las últimas décadas, debido a que estos han tenido que ser reconstruidos completamente ante la carencia de una política de mantenimiento vial.

Este informe pretende dar las pautas para tomar la mejor solución, adecuada a las condiciones del lugar, para realizar la conservación de un pavimento aplicando políticas de mantenimiento, para lograr salir del círculo vicioso: Construcción-deterioro-colapso-rehabilitación.

El contenido del informe es el siguiente:

En el capítulo I. Generalidades, se describe la justificación, planteamiento del problema, objetivos y las características del tramo de la carretera en estudio como: el clima, topografía, geología, descripción de los materiales de fundación, con el fin de conocer las condiciones de la carretera a la que hay que conservar.

En el capítulo II. Estado del arte, se hace un desarrollo de los ensayos no destructivos para la evaluación estructural del pavimento y las políticas de mantenimiento desarrolladas en países de Latinoamérica. El fin de este capítulo, es presentar los conocimientos que existen en el mundo referidos a los temas mencionados anteriormente, para tomar una alternativa de solución de las varias posibles y evaluar si se adecúa a las condiciones de la carretera en estudio.

En el capítulo III. Marco teórico, se menciona los conocimientos básicos necesarios que se debe conocer para realizar la evaluación estructural, mediante la interpretación de las deflexiones que se obtienen con la Viga Benkelman, también contiene el análisis de la curva de deterioro y como realizar las política de mantenimiento. El objetivo de este capítulo es tener los conceptos claros para saber qué solución aplicar, en que tiempo y como realizarlo, con el fin de aplicar

la mejor solución que sea compatible con los términos de referencia de los contratos de conservación por niveles de servicio.

En el capítulo IV. Análisis de deflexiones, se desarrolla el análisis de las deflexiones y la curva de deterioro para el tramo de la carretera en estudio, el objetivo de este capítulo es conocer la condición de la estructura para saber qué es lo que hay que hacer y en qué tiempo para así poder plantear las políticas de mantenimiento.

En el capítulo V. Política de Mantenimiento, se describe las políticas de mantenimiento que se deben aplicar al tramo en estudio para poder conservarlo y alargar su vida útil. El objetivo de este capítulo es presentar las actividades que se deben realizar para lograr que el pavimento no se deteriore.

## **CAPÍTULO I: GENERALIDADES**

### **1.1 ASPECTOS GENERALES**

#### **1.1.1 Antecedentes**

Paulatinamente, se está abriendo paso en América Latina y también en el resto del mundo la convicción de que la conservación vial merece una atención apropiada, para evitar las serias consecuencias que acarrea su déficit, que se traducen en deterioro de las vías y la consecuente necesidad de rehabilitarlas, aumentos de costos de operación vehicular y de accidentes.

Durante el 2007, se inició el "Proyecto Perú" liderado por el MTC con el propósito de lograr una integración de los diferentes poblados en el país, mejorando y consolidando 35 ejes viales y 4 hidrovías en beneficio de millones de peruanos. La presentación del proyecto se dio en febrero del 2007 e involucra tanto al Gobierno Central, Regional, Local y la Empresa Privada.

A finales del año 2007 Provias Nacional firma un contrato de 5 años con el "Consortio Gestión de Carreteras", formado por las empresas ICCGSA (Ingenieros Civiles Contratistas Generales S.A.), Corporación Mayo S.A.C. y la empresa de mantenimiento vial La Marginal S.R.L. para ejecutar la conservación vial por niveles de servicio de la carretera Cañete- Lunahuaná- Pacarán- Chupaca y la Rehabilitación del tramo Zúñiga- Dv. Yauyos- Ronchas.

En este contexto la Universidad Nacional de Ingeniería firma un convenio de monitoreo de las labores de conservación en la carretera mencionada.

#### **1.1.2 Justificación**

El Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú ha desarrollado un ambicioso Plan de Desarrollo Vial, sustentado en la consolidación de Ejes de Infraestructura Vial, denominado "Proyecto Perú", logrando así el desarrollo del país con la integración de las distintas poblaciones a los mercados nacionales e

internacionales, fomentando el intercambio entre ellas que permita potenciar sus ventajas competitivas.

Mediante la conservación por niveles de servicio, con cualquier tipo de solución empleando nuevas tecnologías, se logran los siguientes beneficios:

Técnicos: Conservación preventiva de las carreteras para evitar su deterioro acelerado y prolongar su vida útil en buen estado.

Económicos: Disminución de los costos globales de mantenimiento rutinario, mantenimiento periódico, de rehabilitación y de reconstrucción. Disminución de los costos de operación vehicular.

Ambientales: Disminución del impacto ambiental y mejora del paisaje vial.

Para llegar a los objetivos indicados en los párrafos anteriores es necesario definir una Política de Mantenimiento adecuada para las condiciones de la zona, con pavimentos básicos (Slurry Seal, Monocapa), que permita dirigir el adecuado Mantenimiento Rutinario y Mantenimiento Periódico.

### **1.1.3 Planteamiento del problema**

En el Perú no existe un control para la conservación por niveles de servicio de las vías nacionales, es el caso del corredor vial N°13: Cañete – Lunahuaná – Pacarán – Chupaca (rehabilitación del tramo Zúñiga – Dv. Yauyos – Ronchas).

Las metodologías de evaluación están orientadas a pavimentos asfaltados y no pavimentos básicos (Slurry Seal, Monocapa). Asimismo, no se ha estimado adecuadamente el periodo de vida útil de los tratamientos superficiales, por lo que no existe un adecuado mantenimiento periódico.

Tal como se describió en los párrafos anteriores, se puede entender que no existen los lineamientos que permitan dirigir la evaluación y control de los mejoramientos por niveles de servicio, por lo que es necesario implementar las políticas necesarias para ser eficientes en los trabajos a realizar y por ende utilizar mejor los recursos.

### 1.1.4 Objetivos

#### Objetivo General

Plantear una Política de Mantenimiento para la carretera en estudio, evaluando el comportamiento estructural del pavimento mediante la interpretación de las deflexiones.

#### Objetivos Específicos

- Evaluación del pavimento básico usando la Viga Benkelman.
- Análisis de las deflexiones y la curva de deterioro.
- Proponer una Política de Mantenimiento, aprovechando las nuevas tecnologías en los planes de conservación.

### 1.1.5 Características del tramo en estudio, Km 74+000 - Km 84+000

#### a) Ubicación

El tramo de carretera materia de estudio se encuentra ubicado en la Provincia de Yauyos, en el departamento de Lima. Entre las localidades de San Jerónimo (1,019 msnm.) en el km 71+200, Catahuasi (1,206 msnm.) en el km 77+000 y Chichicay (1,553 msnm.) en el km 92+110. Ver Figura N°1.01.

**Figura N°1.01. Ubicación de la carretera**



Fuente: UNI-FIC, Actualización de conocimientos 2010-2

## b) Clima

El área comprometida en el proyecto se ubica en diferentes regiones, según la clasificación del Dr. Javier Pulgar Vidal (expuesta en su "Geografía del Perú"). El tramo en estudio pertenece a la región Yunga (500 msnm - 2,500 msnm), se pueden distinguir dos tipos:

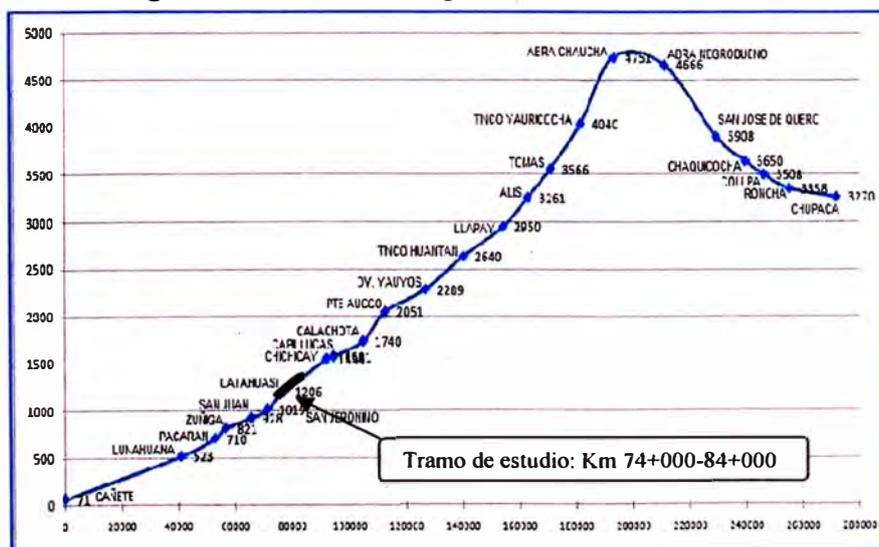
1. Yunga marítima: De 500 a 2,500 msnm. Ubicada en la parte baja de la sierra peruana.
2. Yunga fluvial: De 1,500 a 2,500 msnm. Ubicada en la parte selvática del Perú.

Yunga marítima: Esta región tiene un clima templado-cálido o cálido moderado, pero ligeramente húmedo, se caracteriza por ser de sol dominante durante casi todo el año. La temperatura fluctúa entre 20 y 27°C durante el día; las noches son frescas, a causa de los vientos que bajan de las regiones más altas.

## c) Topografía

La Yunga marítima está situada en los pisos más bajos del flanco occidental de los Andes, y la forman las quebradas profundas y los valles estrechos, así como las estribaciones andinas o cadenas de montañas, que decrecen en altura hacia el Oeste y se prolongan hasta el mar. En la Figura N°1.02 se muestra el perfil de la carretera en estudio.

**Figura N°1.02. Perfil longitudinal de la carretera**



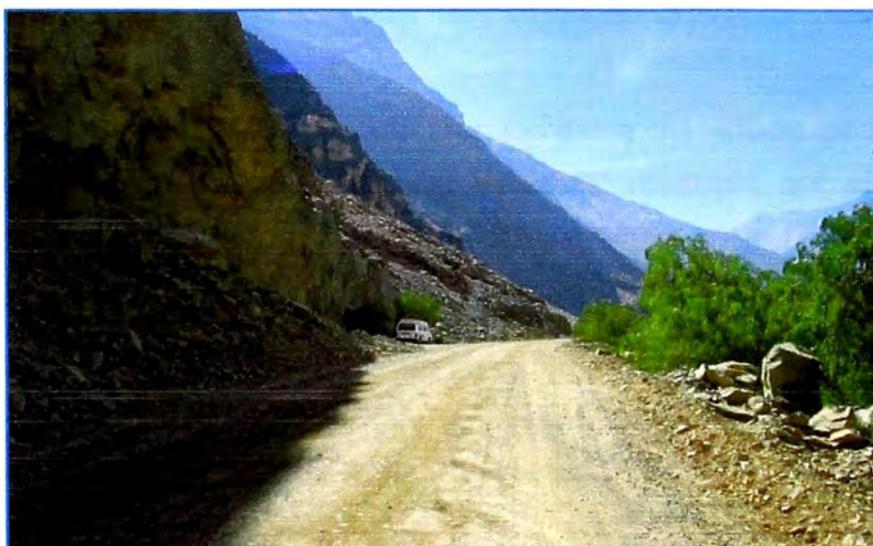
Fuente: UNI-FIC. Actualización de conocimientos 2010-2

#### d) Geología

Todas las superficies de los cerros son pétreas, rocallosas, reseca y completamente desprovistas de condiciones naturales para la agricultura, por falta de agua. Esta área corresponde a la región Yunga (500 msnm - 2,500 msnm).

A partir del km 74+000 el panorama es desértico y transcurre a media ladera por la quebrada, observándose en los taludes sectores con material aluvional, terrazas de depósitos fluviales y cortes en rocas macizas. Ver Figura N°1.03.

**Figura N°1.03.** Geología de la región Yunga



Fuente: CGC, Estudios técnicos Tramo: Zúñiga-Dv. Yauyos-Ronchas

#### e) Descripción de los materiales de fundación

Del análisis de los resultados de campo realizado por el Consorcio Gestión de Carreteras se tiene lo siguiente:

##### **Km 74+000 – Km 84+000.**

Sector de la carretera donde, en su gran mayoría el material de la plataforma vial clasifica en el sistema SUCS como SC-SM y en el sistema AASHTO es variable entre A-1-b(0) y A-2-4(0). Los agregados gruesos de este material arenoso son de forma subangular, mientras que la matriz tiene plasticidad comprendida entre escasa a moderada (como máximo I.P. = 6%).

En la subrasante se encuentra aproximadamente a partir de los 0,40 m (en promedio) mayor concentración de bolonería, entre 40% y 50% y en tamaños variables entre 4" a 8". El Cuadro N°1.01 describe la capacidad de soporte y la clasificación dada por el Consorcio Gestión de Carreteras, para los materiales de fundación.

**Cuadro N°1.01.** Descripción de los materiales de fundación de la carretera

SUBSECTOR (Km-Km)	CBR (%) al 95% de MDS	CALIFICACIÓN
74+000 - 84+000	20	Regular

Fuente: CGC, Estudios técnicos para el cambio de estándar a solución básica

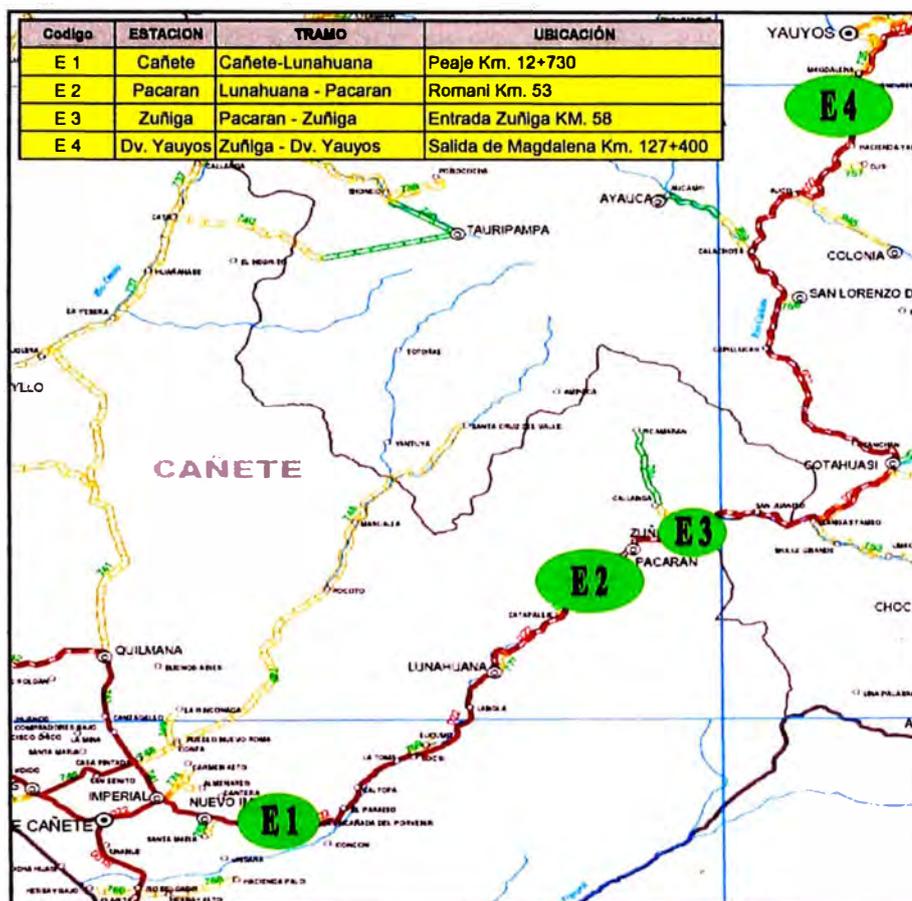
#### f) Estudios de tránsito

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

El Consorcio Gestión de Carreteras en su estudio de tráfico realizado en Junio del 2008, utilizó 4 estaciones, las que se muestra en la Figura N°1.04. Para el tramo en estudio de la carretera, se usará la estación E4 (Zúñiga-Dv. Yauyos).

El Cuadro N° 1.02 muestra el volumen diario de tráfico para la estación E4, clasificado por tipo de vehículo, tanto en ida como regreso.

Figura N°1.04. Ubicación de las estaciones de control de tráfico en la región Lima.



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

Cuadro N° 1.02. Volumen diario clasificado – estación (E4) Zúñiga - Dv. Yauyos

Tipo de Vehículo	Zúñiga-Dv. Yauyos	Dv. Yauyos-Zúñiga	Ambos	%
Auto	0	1	1	2%
Camioneta	10	10	20	38%
C.R.	2	2	4	8%
Micro	0	0	0	0%
Ómnibus 2	4	4	8	15%
Ómnibus +2	0	0	0	0%
Camión 2 Ejes	4	5	9	17%
Camión 3 Ejes	7	4	11	21%
Camión 4 Ejes	0	0	0	0%
Semitraylers	0	0	0	0%
Traylers	0	0	0	0%
<b>TOTAL</b>	<b>27</b>	<b>26</b>	<b>53</b>	<b>100%</b>
<b>% sentido</b>	<b>51%</b>	<b>49%</b>	<b>100%</b>	

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

**g) Tramificación**

El Cuadro N° 1.03 muestra la tramificación que el Consorcio Gestión de Carreteras a realizado. El tramo de estudio se encuentra resultado y está entre las progresivas del Km 74+000-84+000.

**Cuadro N° 1.03. Tramificación de la carretera**

Progresivas		Lugar	Tratamiento Superficial	Espesor de afirmado (cm)	Clima
Inicial	Final				
55+000	74+000	Pacarán- Catahuasi	Slurry Seal	8	Yunga (5,000-2,500 m.s.n.m)
74+000	79+000				
79+000	84+000	Catahuasi-Capillucas	Monocapa		
84+000	96+445	Capillucas-Dv. Yauyos			
96+445	127+400				
127+400	128+805	Dv. Yauyos-Tinco Huantan			
128+805	130+000				
130+000	142+165	Tinco Huantan-Alis		11	Quechua (2,500-3,500 m.s.n.m)
142+165	164+905				
164+905	172+000	Alis-San José de Quero	Monocapa	30	Puna (4,000-4,800 m.s.n.m)
172+000	183+000				
183+000	220+000				
220+000	231+105	San José de Quero-Roncha	Monocapa	26	Suni (3,500-4,000 m.s.n.m)
231+105	229+300				
229+300	230+000			12	Quechua (2,500-3,500 m.s.n.m)
230+000	240+000				
240+000	246+000				
246+000	248+000				
248+000	254+000		42		

Fuente: UNI-FIC. Actualización de conocimientos 2010-2

## **CAPÍTULO II: ESTADO DEL ARTE**

### **2.1 ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS PARA LA EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO**

Los ensayos no destructivos se basan 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, económica y no destructiva, es decir no se altera el equilibrio ni la integridad del sistema, sin la necesidad de realizar calicatas o perforaciones en la vía.

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.

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

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

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

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

### 2.1.1 Viga Benkelman

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 N° 2.01a, 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").

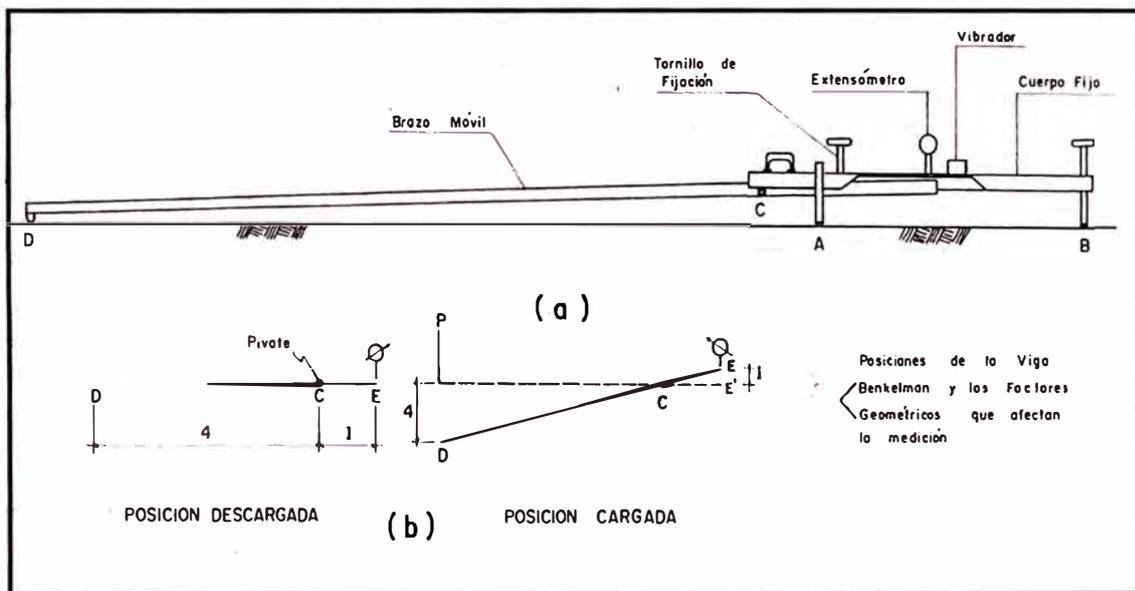
(2) Un brazo móvil acoplado al cuerpo fijo mediante una articulación de giro o pivote "C", uno de cuyos extremos apoya sobre el terreno (punto "D") y el otro se encuentra en contacto sensible con el vástago de un extensómetro de movimiento vertical (punto "E").

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 N° 2.01b).

**Figura N° 2.01.** Esquema y principio de operación de la Viga Benkelman



Fuente: Del Águila Minusa, Pablo. Estudios de evaluación estructural de pavimentos basados en la interpretación de curvas de deflexiones

### 2.1.2 Deflectómetro de impacto FWD (Falling- Weight deflectometer)

El Falling Weight Deflectometer (FWD) permite medir deflexiones dinámicas. Requiere personal muy especializado para las mediciones y el proceso de sus datos. Ver Figura N° 2.02.

El sistema presenta ventajas importantes:

- Las cargas aplicadas se asemejan a las cargas dinámicas producida por los vehículos reales que afectan y dañan la carretera.
- Se puede medir lo que sucede en los alrededores del punto de carga.

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

El sistema presenta desventajas:

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

**Figura N° 2.02.** Equipo Falling Weight Deflectometer (FWD) PRI 2100



Fuente: <http://www.mastrad.com/fwdsp.htm>

### 2.1.3 Dynaflec

Es un sistema acoplado, montado y puede ser remolcado por un vehículo estándar. Cuenta con un peso estático de 2,000 a 2,100 libras (8.9 KN a 9.3 KN) el cual se aplica al pavimento con un par de ruedas de acero rígidas. Un generador dinámico se utiliza para producir una fuerza de hasta 4.45 KN. Ver Figura N° 2.03.

**Figura N° 2.03. Equipo Dynaflec**



Fuente: [http://training.ce.washington.edu/WSDOT/Modules/09\\_pavement\\_evaluation/09-5\\_body.htm](http://training.ce.washington.edu/WSDOT/Modules/09_pavement_evaluation/09-5_body.htm), 2009

#### 2.1.4 Road Rater

Existen varios modelos, los cuales varían fundamentalmente en la magnitud de las cargas estáticas y dinámicas; emplea cuatro sensores para medir la deflexión base. El dispositivo se traslada al lugar de la prueba, donde se coloca la placa de carga y los sensores de deflexión los cuales se colocan sobre el pavimento; una vez finalizada la prueba, la placa y los sensores se levantan del pavimento y el dispositivo está listo para ser trasladado al siguiente punto de prueba. Ver Figura N° 2.04.

**Figura N° 2.04. Equipo Road Rater**



Fuente: [http://training.ce.washington.edu/WSDOT/Modules/09\\_pavement\\_evaluation/09-5\\_body.htm](http://training.ce.washington.edu/WSDOT/Modules/09_pavement_evaluation/09-5_body.htm), 2009

### 2.1.5 RDD

El deflectómetro dinámico de balanceo (RDD) es una herramienta para determinar las condiciones del pavimento. Su principal característica es que trabaja con perfiles continuos de deflexiones. Ver Figura N° 2.05.

**Figura N° 2.05.** Equipo RDD



*Fuente: PROJECT SUMMARY REPORT 1422-3F, DEVELOPMENT OF A ROLLING DYNAMIC DEFLECTOMETER FOR CONTINUOUS DEFLECTION TESTING OF PAVEMENTS, Mayo 1998*

### 2.1.6 KUAB - FWD

La fuerza de impulso es producida por dos pesos soltados de diferentes alturas. El sistema de pesos se emplea para generar una subida gradual de un pulso de fuerza sobre el pavimento, para detectar rigidez adecuada de la subrasante, a partir de los desplazamientos verticales de la misma. Ver Figura N° 2.06.

**Figura N° 2.06.** Equipo KUAB - FWD



*Fuente: [http://training.ce.washington.edu/WSDOT/Modules/09\\_pavement\\_evaluation/09-5\\_body.htm](http://training.ce.washington.edu/WSDOT/Modules/09_pavement_evaluation/09-5_body.htm), 2009)*

## 2.2 POLÍTICAS DE MANTENIMIENTO EN LATIIONAMÉRICA

Paulatinamente, se está abriendo paso en América Latina y también en el resto del mundo la convicción de que la conservación vial merece una atención apropiada, para evitar las serias consecuencias que acarrea su déficit, que se traducen en deterioro de las vías y la consecuente necesidad de rehabilitarlas, aumentos de costos de operación vehicular y de accidentes. Esta creciente tendencia pudo constatarse una vez más durante el Segundo Seminario Provincial de las Américas, celebrado en Lima, Perú, entre el 18 y el 21 de octubre de 1999. En este encuentro, en que participaron más de 200 delegados provenientes de 15 países de la región, se analizó una amplia gama de asuntos relacionados con las vías públicas, incluyendo institucionalidad, financiamiento, contratación, concesiones, seguridad, nuevas tecnologías, transporte inteligente, interacción entre sectores público y privado, integración continental.

Fue precisamente el mantenimiento, el tema al que se dedicó más tiempo. Así, representantes de diversos países expusieron las orientaciones que se están adoptando para otorgar debida relevancia a la conservación, mejorando su cobertura y efectividad.

Durante el seminario se presentaron varios informes sobre distintas maneras que se están empleando para mejorar el mantenimiento. Se pudo observar una fuerte inclinación hacia la contratación de este servicio, recurriendo a empresas de caminos y también a microempresas de trabajadores, especialmente para la conservación rutinaria. Aunque pudiera parecer que las microempresas son precarias desde un punto de vista empresarial, han tenido en general un excelente desempeño y significado una eficaz manera de hacer mantenimiento en Colombia, Guatemala, Nicaragua, Perú y Uruguay.

Una forma de aumentar la eficiencia de las actividades de conservación es mediante contratos cuyos objetivos sean alcanzar un estado determinado en un conjunto de vías. La tarea del contratista consiste en mantener los caminos a su cargo en (buenas) condiciones preestablecidas y recibir en compensación una remuneración periódica fija, surgida de un proceso de licitación, independiente del volumen de obras efectivamente ejecutadas. Este tipo de contrato se

denomina conservación por niveles de servicio o por estándares. Al no recibir un pago sobre la base de precios unitarios o por trabajos específicos desarrollados, la empresa de gestión de conservación vial tiene un fuerte incentivo de planificar y ejecutar la conservación al menor costo posible, lo que desencadena incentivos para introducir avances tecnológicos y crear nuevas bases para el manejo de la conservación vial.

**Argentina** ha sido pionera en América Latina. En efecto, las concesiones de cerca de 10.000 kilómetros de su red troncal siguen la filosofía de conservación por resultados, luego de la necesaria rehabilitación inicial. Otros países de la región han comenzado con este tipo de contrato o están en el proceso de hacerlo. Es el caso de **Chile, Colombia, Guatemala, Paraguay, Perú, Uruguay** y en **Brasil**, a nivel federal y de algunos estados.

Se muestran a continuación algunas políticas establecidas en Latinoamérica referidos a la conservación vial:

### **Guatemala**

La Unidad Ejecutora de Conservación Vial, COVIAL, programa las actividades manuales de mantenimiento, a través de la definición, análisis y evaluación de distintas políticas de conservación acordes a la condición de la red vial bajo su responsabilidad. Con el propósito de establecer estas políticas de mantenimiento se requiere de un levantamiento sistemático y oportuno de información, Guatemala ha empleado a partir del año 2,002 para su análisis de estrategias de mantenimiento el HDM-4 (The Highway Development and Management), modelo desarrollado por el Banco Mundial para el sistema de gestión y desarrollo de carreteras, y empleado por sus ventajas operacionales. El análisis se ha efectuado a nivel de red y proyecto evaluando las diferentes opciones de inversión.

## Chile

Entre los años 2003 al 2004 se implementó un programa denominado “Caminos Básicos 5000” en donde se intervino 5000 km de caminos no pavimentados empleando lo que se denominó soluciones básicas o económicas.

Políticas de mantenimiento de Chile:

- Un lineamiento básico de la Dirección de Vialidad de Chile es:  
“La priorización del mantenimiento de la vialidad existente en relación a la construcción de nuevos caminos”.
- La conservación de la red vial debe considerar el siguiente orden de prioridad:
  - 1º Red Vial Pavimentada
  - 2º Red Básica No Pavimentada
  - 3º Red Comunal Primaria
  - 4º Red Comunal Secundaria
- Generar la mayor capacidad posible de gestión y fiscalización en la red vial en el ámbito provincial.
- Considerar en todas las actividades de conservación, aspectos de seguridad vial, de señalización informativa, de medio ambiente y de participación ciudadana cuando corresponda.
- La planificación de la conservación de la red vial debe utilizar:
  - La metodología SAM para el mantenimiento rutinario.
  - Modelos del tipo HDM para el mantenimiento periódico.
  - Modelos de priorización de obras.
  - Inventario de Conservación Vial.
- Caminos Básicos: En la Red de Ripio y Tierra, en la medida de lo posible, se debe tender a ejecutar soluciones de “Caminos Básicos”.
- Conservación de caminos no pavimentados de bajo tráfico: Soluciones innovadoras y no tradicionales para mejorar la superficie de rodadura con una serviciabilidad más permanente y reducción de polvo en caminos no pavimentados de bajo volumen de tránsito con costos totales menores que con carpetas tradicionales.

## CAPÍTULO III: MARCO TEÓRICO

### 3.1 MANTENIMIENTO DE CARRETERAS

#### 3.1.1 Mantenimiento Vial

El "Mantenimiento Vial", en general, es el conjunto de actividades que se realizan para conservar en buen estado las condiciones físicas de los diferentes elementos que constituyen el camino y, de esta manera, garantizar que el transporte sea cómodo, seguro y económico. En la práctica lo que se busca es preservar el capital ya invertido en el camino y evitar su deterioro físico prematuro. En los sistemas tercerizados de mantenimiento vial, también se incluyen actividades socio-ambientales, de atención de emergencias viales y de cuidado y vigilancia de la vía.

Las actividades de mantenimiento se clasifican, usualmente, por la frecuencia como se repiten: rutinarias y periódicas. En la realidad todas son periódicas, pues se repiten cada cierto tiempo en un mismo elemento. Sin embargo, en la práctica las rutinarias se refieren a las actividades repetitivas que se efectúan continuamente en diferentes tramos del camino y las periódicas son aquellas actividades que se repiten en lapsos más prolongados, de más de un año. Bajo estas consideraciones, se definen el mantenimiento rutinario y el mantenimiento periódico, de la siguiente manera:

**Mantenimiento Rutinario**, es el conjunto de actividades que se ejecutan permanentemente a lo largo del camino y que se realizan diariamente en los diferentes tramos de la vía. Tiene como finalidad principal la preservación de todos los elementos del camino con la mínima cantidad de alteraciones o de daños y, en lo posible, conservando las condiciones que tenía después de la construcción o la rehabilitación. Debe ser de carácter preventivo y se incluyen en este mantenimiento, las actividades de limpieza de las obras de drenaje, el corte de la vegetación y las reparaciones de los defectos puntuales de la plataforma, entre otras. En los sistemas tercerizados de mantenimiento vial, también se incluyen actividades socio-ambientales, de atención de emergencias viales menores y de cuidado y vigilancia de la vía.

**Mantenimiento Periódico**, es el conjunto de actividades que se ejecutan en períodos, en general, de más de un año y que tienen el propósito de evitar la aparición o el agravamiento de defectos mayores, de preservar las características superficiales, de conservar la integridad estructural de la vía y de corregir algunos defectos puntuales mayores. Ejemplos de este mantenimiento son la reconfiguración de la plataforma existente y las reparaciones de los diferentes elementos físicos del camino. En los sistemas tercerizados de mantenimiento vial, también se incluyen actividades socioambientales, de atención de emergencias viales menores y de cuidado y vigilancia de la vía.

### 3.1.2 Hacia una cultura preventiva para el Mantenimiento

La base conceptual para lograr un mantenimiento vial que conserve las condiciones físicas del camino y, en consecuencia, sea satisfactorio para los usuarios, está centrada en la aplicación de una gestión que privilegie el actuar con criterio preventivo. Se trata de un cambio en la práctica tradicional de trabajo de actuar para reparar lo dañado por el de actuar para evitar que se dañe (Ver Figura N° 3.01). En otras palabras, se trata de ir modificando paulatinamente el que hacer institucional actual en el que prevalecen las acciones correctivas por el que prevalezcan las acciones preventivas.

Las diferencias entre un mantenimiento preventivo y correctivo se observan en la Figura N° 3.02.

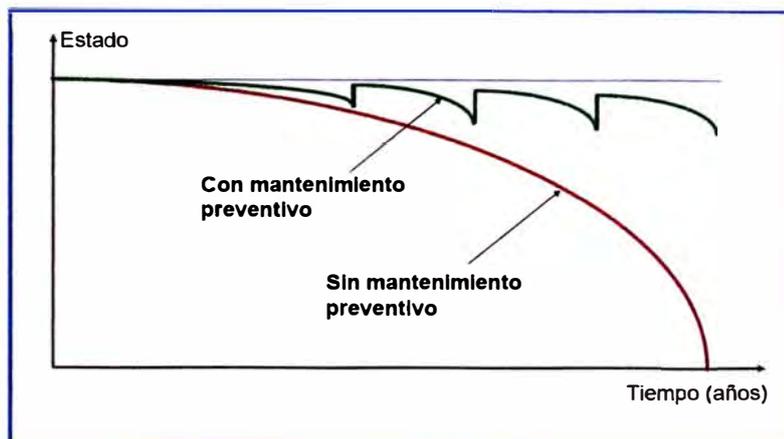
**Figura N° 3.01.** Cambio hacia una cultura preventiva en el Mantenimiento Vial



Fuente: Manual técnico de Mantenimiento Rutinario para la red vial departamental no pavimentada. MTC

En la práctica, se trata de realizar el mantenimiento rutinario con intervenciones diarias con el propósito de preservar las condiciones de los elementos del camino y de evitar que se produzca su deterioro prematuro. Asimismo, efectuar el mantenimiento periódico en forma cíclica, con operaciones oportunas para recuperar la condición vial afectada por el uso.

**Figura N° 3.02.** Principios generales del Mantenimiento Vial



*Fuente: Modelos sostenibles de mantenimiento vial en Suramérica. Corporación Andina de Fomento*

### 3.1.3 Solución Básica

Conjunto de acciones orientadas a mejorar la serviciabilidad, respecto al actualmente brindado.

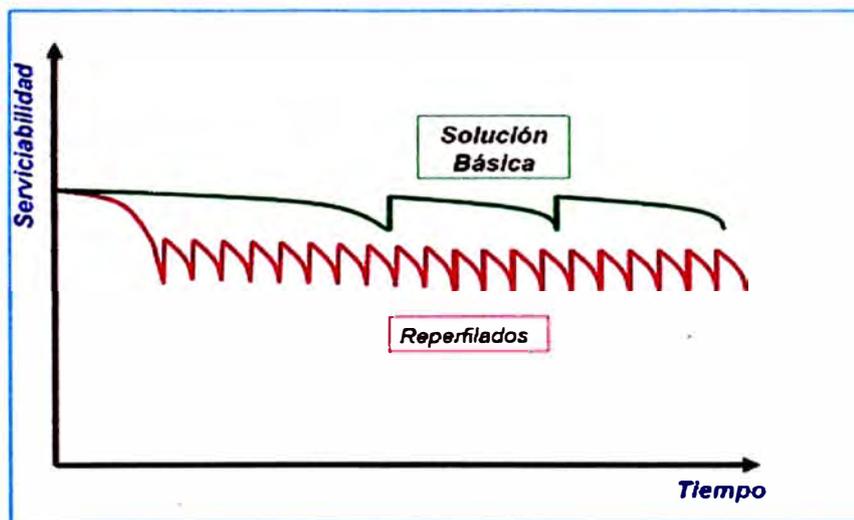
Esta es una tecnología intermedia entre el afirmado y el asfaltado tradicional con carpeta asfáltica en caliente. Los pavimentos básicos están compuestos de material granular seleccionado de cantera para la base, la misma que es estabilizada con emulsión asfáltica u otro estabilizador, siendo el objetivo de la estabilización incrementar la resistencia estructural de la base, la cual lleva en la parte superior un recubrimiento superficial bituminoso como protección, adicionalmente se deben ejecutar mejoras puntuales en el drenaje.

Es necesario acotar que los pavimentos básicos se utilizan en vías de bajo volumen de tránsito, colocándose estos pavimentos en todas las zonas en las que las carreteras tienen el terreno consolidado; y en sectores puntuales de las vías que aún no cuentan con terreno consolidado, o que atraviesan fallas geológicas, el trabajo que se efectúa es en afirmado; la estrategia principal es la

de lograr incrementar el tráfico en los corredores viales intervenidos a fin de superar la rentabilidad exigida en flujo vehicular (volumen de tránsito) fijada por el Sistema Nacional de Inversión Pública (SNIP), y poder pasar de esa manera a intervenciones con estándares de ingeniería mayores; el trabajo que se realiza en las vías es tal cual se encuentran éstas, no se realizan cambios en la geometría como es el caso de curvas, anchos, ni pendientes, puesto que las actividades son de conservación y se financian con recursos de gasto corriente.

En la Figura N° 3.03 se observa que una solución básica, para conservar la serviciabilidad, es mejor que una solución tradicional.

**Figura N° 3.03.** Evolución de una solución básica versus la solución tradicional



*Fuente: Conservación vial por resultados y nuevas tecnologías. Dirección Nacional de Vialidad de Chile*

## 3.2 EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO USANDO LA VIGA BENKELMAN

### 3.2.1 Evaluación estructural

Los métodos de evaluación estructural se dividen en dos grupos, los ensayos destructivos y los no destructivos.

Entre los ensayos destructivos más conocidos están las calicatas que nos permiten obtener una visualización de las capas de la estructura expuesta, a través de las paredes de ésta y realizar ensayos de densidad "in situ". Estas

determinaciones permiten obtener el estado actual del perfil a través de las propiedades reales de los materiales que lo componen.

En cuanto a los ensayos no destructivos, estos se pueden llevar a cabo mediante medidas de las deflexiones que son una herramienta importante en el análisis no destructivo de los pavimentos. La magnitud de la deflexión deformada producida por la carga, son útiles para investigar las propiedades "in situ" del pavimento. Se trata de aplicar una sollicitación tipo y medir la respuesta de la estructura. El sistema quizás más difundido de medición de deflexiones es mediante el empleo de la Viga Benkelman. Este dispositivo se utiliza para realizar mediciones en sectores en los que se observan o no fallas visibles, de esta forma es posible acotar las propiedades actuales del pavimento "in situ", e integrar sus resultados para una interpretación global.

### **3.2.2 Deflectometría método CONREVIAL**

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

Las fallas estructurales fundamentalmente dependen de la magnitud y frecuencia de las deformaciones recuperables y de la acumulación de las deformaciones permanentes en las estructuras, bajo la acción de cargas móviles y/o estáticas.

En consecuencia es lógico que el criterio dominante para valorar la capacidad estructural se basa en la deformabilidad de las calzadas bajo cargas normalizadas.

De esta manera, **la deflexión** es una medida de la respuesta del conjunto "pavimento-subrasante" frente a una determinada sollicitación, indicando la adecuación del mismo desde el punto de vista estructural.

El objeto de la medición es determinar la deflexión elástica. Para mayor detalle de la deflectometría método CONREVIAL, ver Anexo 1.

### 3.2.3 Teoría para el análisis de las deflexiones

Las fallas en los pavimentos flexibles pueden dividirse en tres grupos fundamentales:

- Fallas por insuficiencia estructural: Se trata de pavimentos construidos con materiales inapropiados en cuanto a resistencia o con materiales de buena calidad, pero en espesor insuficiente.
- Fallas por defectos constructivos: Se trata de pavimentos que quizá estuvieron formados por materiales suficientemente resistentes, pero en cuya construcción se han producido errores o defectos que afectan el comportamiento conjunto.
- Fallas por fatigas: Se trata de pavimentos que originalmente estuvieron en condiciones apropiadas, pero que la continua repetición de las cargas del tránsito sufrieron efectos de fatiga.

Las fallas estructurales se dan por insuficiencia estructural o por fatigas.

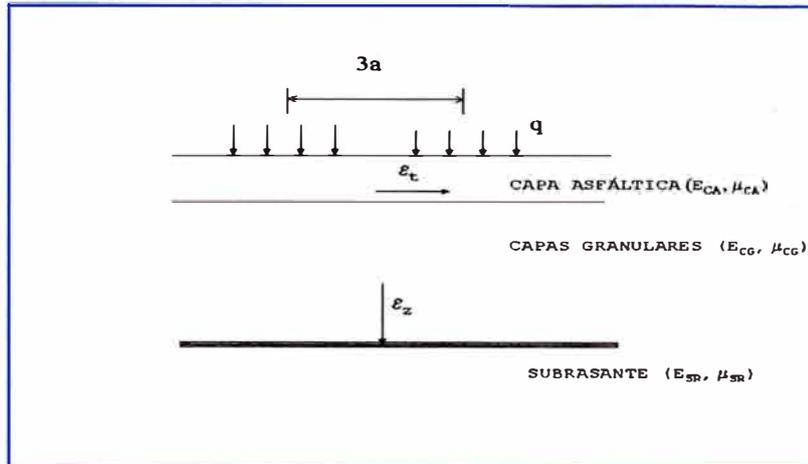
La falla estructural por fatiga, en un pavimento se presenta cuando los materiales que conforman la estructura, al ser sometida a repeticiones de carga por acción del tránsito, entonces el pavimento flexible puede fallar de dos maneras:

- Deformaciones verticales elásticas por compresión " $\epsilon_z$ " (Ver figura N° 3.04), del material de las capas de grava y del suelo de la subrasante.
- Deformaciones horizontales elásticas de tensión " $\epsilon_t$ " (Ver figura N° 3.04), por flexión en la parte inferior de las capas asfálticas.

Si la deformación vertical de las gravas y/o suelos excede el límite admisible, se observan deformaciones permanentes del pavimento (hundimiento o ahuellamiento de gran radio).

Si la deformación horizontal de tensión por flexión en la parte inferior de las capas asfálticas excede el límite admisible, dichas capas se fisuran en su parte inferior y las fisuras luego se propagan hasta la superficie: fisuras longitudinales en las huellas del tránsito y fisuras en forma de piel de cocodrilo.

**Figura N° 3.04.** Estructura multicapa de un pavimento flexible



Fuente: *Diseño directo de pavimentos flexibles*, Ing. Henry Vergara B.

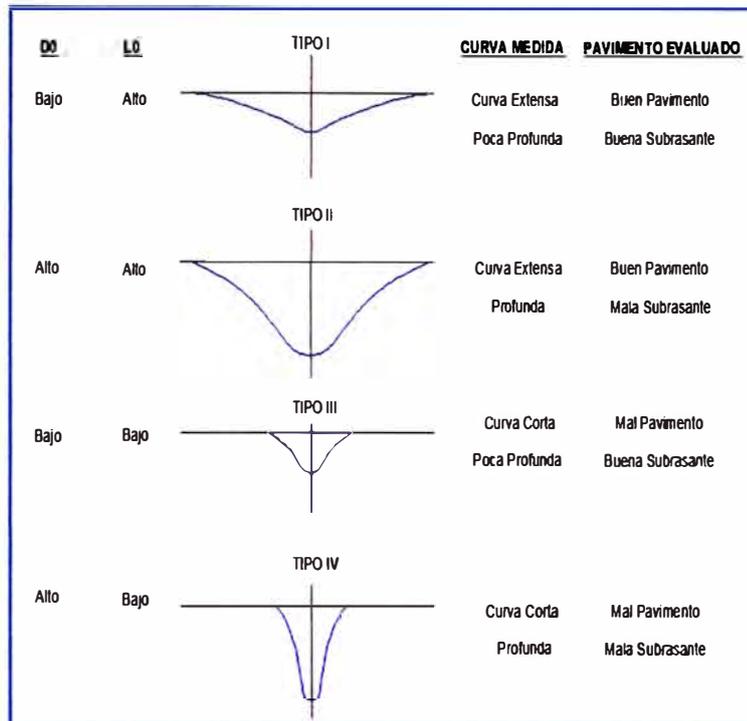
El valor de la deflexión máxima depende en gran medida del módulo de elasticidad de los materiales en profundidad, además de las capas superiores. El radio de curvatura depende principalmente de los módulos de elasticidad de las capas superiores y muy poco de las inferiores.

De esta manera, teniendo en cuenta las características y espesor de las capas asfálticas, se podrían diferenciar dos casos límites:

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

La Figura N° 3.05 muestra los diferentes tipos de curvas de deflexiones que se presentan en el análisis y el Cuadro N° 3.01, la condición del pavimento o subrasante en función al estadístico incidente que lo hace de buena o mala calidad en función a la resistencia.

**Figura N° 3.05.** Significado cualitativo de los diferentes tipos de curvas de deflexiones



Fuente: Del Águila Minusa, Pablo; "Estudios de evaluación estructural de pavimentos basados en la interpretación de curvas de deflexiones."

**Cuadro N° 3.01.** Condición de resistencia del pavimento y la subrasante

Material	Estadístico Incidente	Condición de estadístico	Condición de material
Pavimento	Rc	Alto	Buen pavimento
		Bajo	Mal pavimento
Subrasante	Dc	Bajo	Buena subrasante
		Alto	Mala subrasante

Fuente: Elaboración propia

### 3.2.4 Costo de la evaluación con la Viga Benkelman

El costo de la evaluación con la Viga Benkelman está considerado dentro de los gastos generales fijos. Este costo es necesario para la obtención de los presupuestos de conservación rutinaria, periódica y solución básica.

Realizar esta evaluación costará la suma de 1,500 nuevos soles. Para mayor información del cálculo de los gastos generales ver el Cuadro A3.01 del Anexo 3.

### 3.3 CURVA DE DETERIORO DE PAVIMENTOS

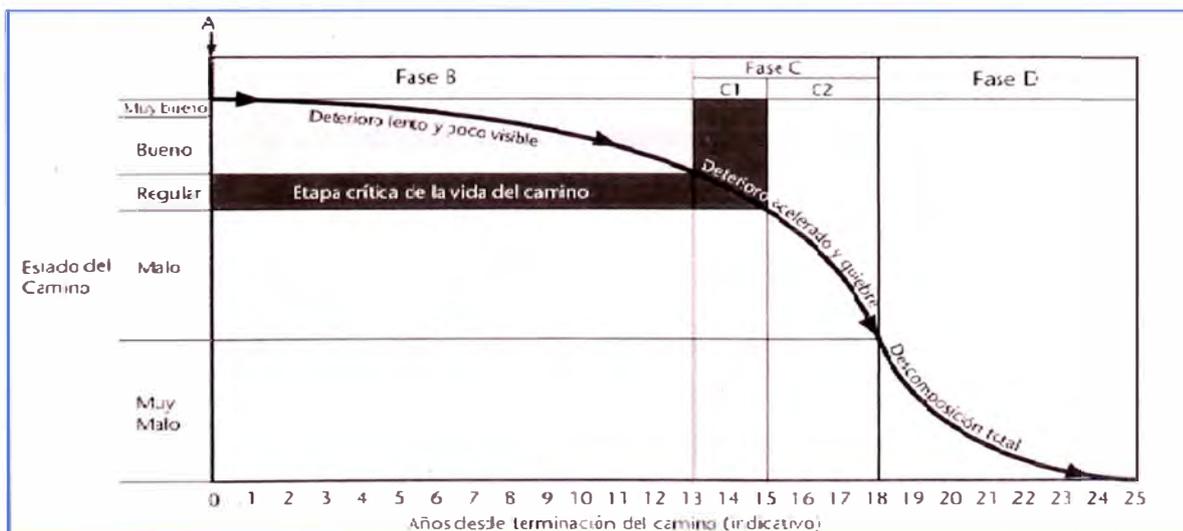
A continuación se discute brevemente la importancia del mantenimiento vial, describiendo las etapas de deterioro en la vida útil de un camino y la relevancia del momento oportuno de la intervención. La discusión presentada fue tomada de CEPAL (1994).

#### 3.3.1 Etapas de deterioro en la vida útil de un camino

Los caminos están regidos por un ciclo de vida útil que, dado que tiende a repetirse, se denomina "normal". Este ciclo consta de cuatro etapas que determinarán su deterioro con el transcurso del tiempo.

Cabe mencionar que el ciclo se aplica a todo tipo de caminos, como los de pavimento asfáltico, de hormigón, o los que no están pavimentados; pero con ligeras diferencias en lo que se refiere a los tiempos de duración de las distintas etapas; no obstante, el mensaje de fondo es el mismo en todos los casos: no debe permitirse el deterioro excesivo o la destrucción de la estructura básica de los caminos sin importar del tipo que sean.

**Figura N° 3.06.** El deterioro de los caminos con el transcurso del tiempo (estado del camino y años)



Fuente: CEPAL(1994)

La primera fase (A) del ciclo es la de "**Construcción**", que como su nombre lo indica, consiste en la construcción del camino (tenga este ó no un proyecto

definido y el proceso constructivo se ajuste ó no a las normas establecidas) que, una vez terminado, entra en funcionamiento en excelentes condiciones y listo para satisfacer las necesidades de los usuarios.

La fase siguiente (B) es la de **“Deterioro lento y poco visible”**, que durará cierta cantidad de años (que dependerá, en parte, del tipo de camino que sea) en los cuales el camino se desgastará y debilitará lentamente; lo que más se deteriorará será el pavimento en sí, pero también habrá desgaste de la estructura general. Los factores que influyen en el desgaste son variados y van desde el volumen de tránsito de vehículos ligeros o pesados, el peso de la carga que transportan estos últimos (exceso de carga), hasta las condiciones climáticas, la lluvia, la radiación solar, cambios en la temperatura, etc. Asimismo, dependerá de la calidad de la construcción inicial.

A pesar de la importancia del mantenimiento rutinario para la buena conservación de los caminos, en muchos países a lo largo del mundo, estos procedimientos de mantenimiento son prácticamente nulos; el principal motivo de esto es el financiamiento insuficiente, ya sea porque son escasos o porque estos recursos se destinan a mejorar caminos en muy mal estado en vez de a conservar la calidad de los no tan deteriorados.

La tercera fase (C) se denomina de **“Deterioro acelerado y quiebre”**. En esta fase, el pavimento y los otros elementos del camino empiezan a “agotarse”, y el camino, a la misma cantidad de tráfico, empieza a resistir menos y a deteriorarse más. Al inicio de esta etapa, el camino aún se ve bien para los usuarios: casi no presenta fallas en la superficie y no se percibe ningún tipo de falla estructural. Sin embargo, conforme pasan los meses, los daños empiezan a notarse en la superficie, siendo estos cada vez más severos y frecuentes. Es recién en este punto que se puede asegurar que la estructura del camino también está seriamente dañada.

Los daños empiezan en lugares puntuales, pero se van extendiendo hasta que se convierten en algo generalizado. Generalmente esta fase dura entre dos y cinco años, tiempo relativamente corto, puesto que una vez que el daño se generaliza, la destrucción se acelera cada vez más. Por eso, en un esquema

sano de conservación vial, el camino debería reforzarse al inicio de esta fase, de modo que se evite el deterioro acelerado del camino, se mantenga intacta la estructura básica existente y se asegure la capacidad estructural del camino de modo que pueda ser apto para el tránsito durante otro periodo prolongado.

Los costos de reforzar la superficie de los caminos (lo necesario al inicio de la fase C) son relativamente bajos; en el caso de los caminos pavimentados, el refuerzo de la carpeta asfáltica alcanza aproximadamente el 10% del valor original del camino. Después de este refuerzo, el camino vuelve a ser adecuado para la circulación por muchos años más. Sin embargo, dado que al inicio de la fase C el deterioro no es perceptible y los vehículos no sienten la diferencia, no se interviene a tiempo y, con el paso del mismo, un refuerzo que habría servido al inicio de la fase C ya no es suficiente: deberán repararse los daños estructurales (destruir y volver a construir las partes dañadas), y luego colocar el refuerzo sobre toda la superficie del camino. Este proceso de reparar el camino, tanto superficial como estructuralmente, es denominado "rehabilitación".

Asimismo, debe mencionarse que, aunque al inicio y durante la mayor parte de la fase C los daños no son perceptibles, poco a poco los vehículos irán sintiendo molestias producto de las irregularidades de la superficie: al finalizar la fase C y durante la D, la única alternativa es la de reconstruir completamente el camino, solo que ya no a un costo de 10% del valor inicial (como el mantenimiento), sino entre un 50% y 80%.

La última fase (D) es la de la "**Descomposición total**", en la cual el camino se encuentra en la fase final de su vida útil y termina por destruirse totalmente. Lo primero en notarse es la pérdida del pavimento (con el paso de vehículos pesados, este empieza a desprenderse por pedazos); los vehículos empiezan a deteriorarse, producto del mal estado de la pista, y a sufrir serios daños en los neumáticos, ejes, amortiguadores y chasis; esto genera un aumento en los costos de operación de los vehículos y en la cantidad de accidentes. Finalmente, se llega a un estado en que los caminos ya no pueden ser transitados por vehículos normales.

Un caso emblemático es el de la carretera longitudinal de Chile (parte de la Carretera Panamericana de más de 3,000km), hecha en los años sesenta, pero

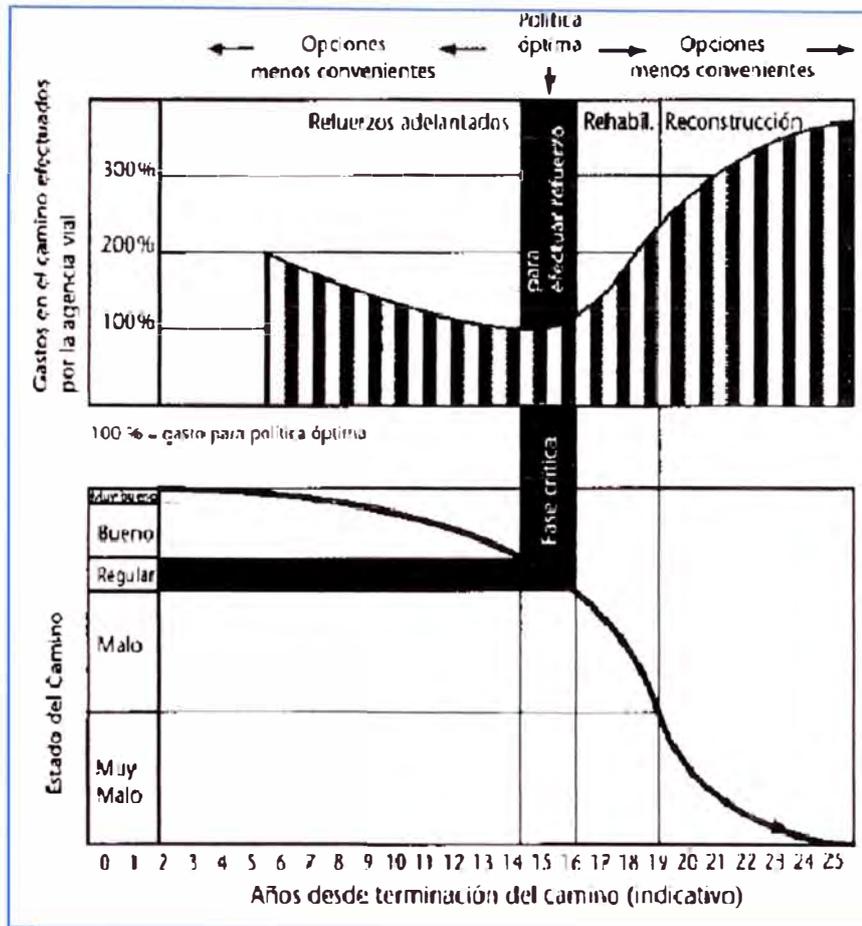
que, por falta de recursos, no fue mantenida correctamente, y en la década de los setenta se dio un fallo generalizado en casi 1,500km (algunos tramos eran solo caminos de grava). Tuvo que reconstruirse la carretera en su totalidad (1977-1983) y a un costo enorme, lo que implicó que se contrajera nueva deuda externa.

### 3.3.2 Esquemas de conservación

Como se desprende de lo anterior, existe un momento preciso para la intervención de mantenimiento; para los caminos asfaltados, este sería al inicio de la fase C. Sin embargo, debe mencionarse que hay un costo por realizar las labores de conservación antes de ese momento y otros por realizarlas demasiado tarde. En el primer caso, al efectuar el mantenimiento anticipadamente se está perdiendo la oportunidad de rentabilizar el dinero por ese periodo de tiempo (costo de oportunidad del capital); pero, por otro lado, si el mantenimiento se efectuara demasiado tarde, se podrían generar daños estructurales en el camino y la pérdida sería mucho mayor, pues ya no se necesitaría una intervención sencilla para repararlo, sino algo más complejo y costoso.

Como se observa en la Figura N° 3.07, el momento de intervención "óptimo" es aquel en que la pavimentación está en estado regular (o bueno), pues es en esta etapa que los gastos que necesitan efectuarse son menores. Asimismo, se puede observar que adelantar los refuerzos es menos costoso que retrasarlos (esta segunda opción puede terminar costando 3.5 veces más que la política óptima).

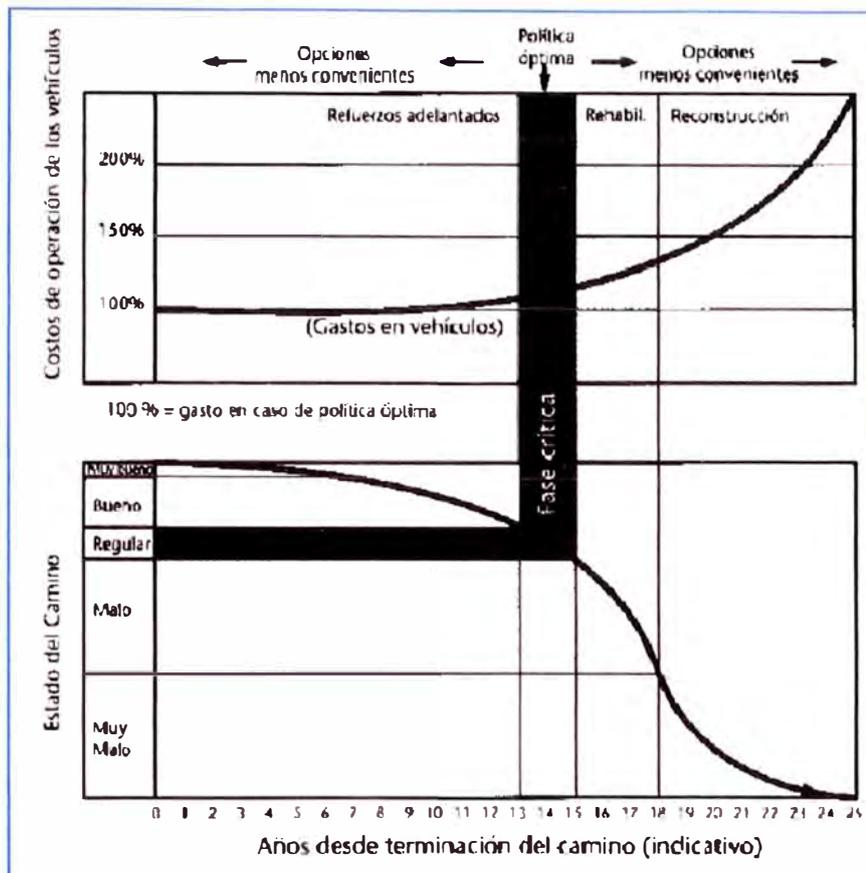
**Figura N° 3.07.** Gasto a lo largo del tiempo en un camino según distintos escenarios de políticas de intervención.



Fuente: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL 1994)

Asimismo, es importante señalar que el deterioro no es el único efecto del mantenimiento fuera de tiempo, sino que también se aumentan los costos de operación de los usuarios, pues se deterioran sus vehículos (inicialmente menos, luego esto va agudizándose). Se estima que estos sobrecostos podrían superar el 1% del producto del país en cuestión. En la Figura N° 3.08, se observa que, si la autoridad vial aplica una política de mantenimiento en el momento correcto; es decir, cuando el estado de la carretera aún es "regular", los costos de operación de los usuarios prácticamente no varían, mientras que, conforme se empieza a deteriorar más aceleradamente el estado de los caminos, este costo aumentará cada vez más rápidamente.

**Figura N° 3.08.** Costos de operación de los vehículos por el deterioro de los caminos según distintos escenarios de políticas de intervención.



Fuente: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL 1994)

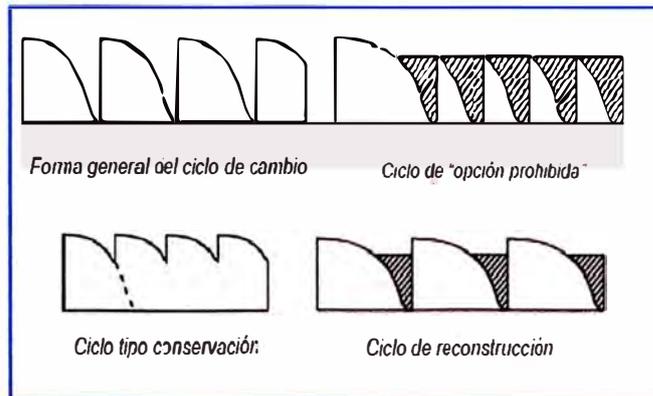
Es evidente, pues, que una política de mantenimiento vial saludable y oportuna, implica un ahorro de recursos importante. No obstante, la principal dificultad radica en estimar cuándo es ese momento exacto; para esto, existen instrumentos muy complejos.

Ahora bien, existen dos opciones que deben considerarse para la intervención: el momento preciso y el tipo de intervención requerida.

Con respecto al tiempo, debería conocerse a priori cuál es el momento correcto para intervenir. Si se conocen estos momentos óptimos, puede elegirse adelantar las reparaciones, por ejemplo, evitar congestión en la fuerza laboral de las empresas contratistas o empleados públicos, evitar sobrecostos, mal clima, etc. Sin embargo, también podría retrasarse el mantenimiento, pero esto nunca resulta conveniente (ya sea por falta de recursos u otros motivos).

Por otro lado, en lo que se refiere al tipo de intervención, es importante conocer qué tipo de mantenimiento se debe hacer y qué tanto durará éste, de modo que se pueda planificar otra intervención. Las intervenciones, en un esquema sano de conservación, deberían ser de mediano o largo plazo, pero por motivos económicos muchas veces terminan aplicándose medidas cortoplacistas.

**Figura N° 3.09.** Representación gráfica del ciclo de deterioro de los caminos



Fuente: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL 1994)

La opción que nunca debe elegirse (la "opción prohibida") es la de postergar las actividades de mantenimiento hasta que el camino está tan deteriorado que la opinión pública exige una intervención; en ese momento, en vez de proceder a reconstruir la carretera (como sería necesario), a falta de recursos, se hacen concesiones para reparaciones de emergencia a costos elevados y de poca duración. Este tipo de obras "urgentes" son las que le restan presupuesto al mantenimiento de las vías que aún están en buen estado, pero que dejarán de estarlo pronto.

A través de la Figura N° 3.09, se puede comprender el ciclo de vida de los caminos. En el primer caso se observa que, inicialmente, el camino está óptimo y empieza a bajar su calidad gradualmente hasta que llega a un punto en que esta caída empieza a acelerarse; normalmente, las autoridades intervienen cuando el camino está destruido y lo rehabilitan para dejarlo, nuevamente, en condiciones óptimas y así volver a iniciar el ciclo; sin embargo, podría hacerse mantenimiento oportuno a los caminos y nunca llegar a la descomposición total.

En un esquema de conservación saludable, la intervención de mantenimiento debería hacerse antes de iniciar el deterioro acelerado, por lo que el camino

volvería a estar en óptimas condiciones y nunca llegaría a presentar daño estructural. Asimismo, los costos de este tipo de intervención son mucho más bajos, pero se necesita planificación y asignación correcta de recursos. Finalmente, como es el caso más frecuente en América Latina, puede dejarse que el camino se destruya totalmente antes de intervenir y, en cada ocasión, “rehabilitar” el camino desde su estructura misma (o mediante la “opción prohibida”) para volverlo a dejar óptimo a un costo mucho mayor que el de mantenimiento.

### **3.4 COMO REALIZAR LAS POLÍTICAS DE MANTENIMIENTO**

#### **3.4.1 Criterios para realizar políticas de mantenimiento:**

- La conservación vial se ejecutará bajo contrato, se contemplan dos tipos de contratos, a saber, el contrato de gestión de conservación, que es la modalidad preferente, y el de administración de conservación, que se acepta con carácter de excepcional.
- Priorizar el mantenimiento en relación a la construcción de nuevos caminos.
- Empezar a romper el ciclo tradicional. Construcción-deterioro-colapso-reconstrucción. No permitir el deterioro de la vía, para así no reconstruirlas.
- Planificar y ejecutar lo que las vías requieren para que se preserve la calidad del servicio que prestan a los usuarios.
- Conocer cuáles son las condiciones vigentes de la vía.
- Los agentes climáticos como la lluvia y la temperatura son responsables por un 30% a 45% del deterioro de una vía asfaltada en el rango climático de árido a húmedo. El tránsito vehicular y en especial el tránsito de vehículos pesados, es responsable del resto del deterioro.

- Considerar en todas las actividades de conservación aspectos de seguridad vial, de señalización informática, y de participación ciudadana cuando corresponda.
- Establecer un conjunto de medidas correctivas, preventivas y/o de mitigación para los impactos ambientales, como consecuencia de las actividades que se desarrollarán durante la etapa de conservación.
- Desarrollo e implementación de un plan de prevención de riesgos, control de accidentes y de seguimiento ambiental.
- Aumentar la eficiencia de todos los procedimientos empleados, pues lo que interesa en último término es cumplir con metas objetivas en cuanto a estado de las vías y no efectuar una multiplicidad de obras, por las cuales no va a haber un pago especial.
- Optar por el pavimento más apropiado a las condiciones locales y al ambiente socioeconómico.
- Introducir mejores materiales y nuevas tecnologías de conservación.

### **3.4.2 Gestión de Mantenimiento Vial**

#### **a) Conceptos básicos de Gestión de Mantenimiento Vial**

Incluye descripción de los principales criterios, procedimientos y requerimientos de los sistemas de administración que aprovechan las más recientes técnicas para programar y evaluar el mantenimiento.

- Nivel de mantenimiento y bienestar de la comunidad

En la medida que el país se desarrolla, las carencias o falencias de una red vial se traducen en impedimentos para los desplazamientos rápidos y expeditos, y en la generación de crecientes trastornos que afectan muy directamente el nivel de

vida y la productividad de los agentes económicos. Consecuentemente, la conservación adecuada del sistema es de creciente interés y significado.

Cuando las vías se encuentran con un nivel de deterioro elevado, hay, al menos, tres factores que se ven afectados:

La comodidad y la seguridad del viaje se ven severamente deterioradas. Los costos de operación y los tiempos de viaje de los vehículos que utilizan la carretera aumentan sensiblemente. La inversión en las vías aumenta, pues los procesos de reposición que se requieren cuando los pavimentos han alcanzado un nivel de deterioro extremo, son mucho mayores que cuando el mantenimiento se realiza oportunamente.

- **Serviciabilidad**

Los criterios más modernos sobre serviciabilidad comprenden aspectos que guardan relación con el deterioro funcional del pavimento, la capacidad estructural del pavimento y la seguridad de los usuarios.

La serviciabilidad funcional del pavimento interpreta la percepción de la calidad de la superficie de rodadura que experimenta el usuario. Por lo tanto, se relaciona fundamentalmente con la rugosidad o, más exactamente, con la regularidad que presenta la superficie y que, en una carretera bien diseñada (y bien construida), es el principal factor que define el nivel de la serviciabilidad funcional que presta. Aún cuando para el técnico especialista las tres condiciones señaladas en el párrafo anterior son importantes, y de muchas maneras están ligadas entre sí, no se debe olvidar que las carreteras tienen por finalidad servir al público y que a éste, naturalmente, le interesa fundamentalmente la condición funcional y la seguridad.

La serviciabilidad estructural representa la condición física en que se encuentra el pavimento; depende de las grietas y otras fallas presentes que afectan adversamente la capacidad para soportar el tránsito que debe servir.

La seguridad es un concepto de más reciente incorporación a la serviciabilidad y guarda relación con la disposición, calidad y cantidad de elementos de seguridad, y con un adecuado diseño vial.

### **b) Estrategias para intervenir los caminos**

Se explica la conveniencia de intervenir en las obras en una determinada oportunidad y con la técnica más adecuada para la condición existente.

La forma más eficiente de ejecutar el mantenimiento es disponiendo de la estructura de carpeta o pavimento más adecuada a cada circunstancia y realizando las intervenciones de acuerdo con una estrategia previamente investigada y comprobada, que permita fijar una política de mantenimiento.

### **Estabilización del suelo**

La estabilización del suelo permitirá mejorar su calidad para formar parte de la estructura de la carretera incluyendo métodos de gradación o granulometría, reducción del índice de plasticidad o del potencial de expansión y aumento de la durabilidad y resistencia. Para la selección del estabilizador, debe considerarse el tipo de suelo que se estabilizará, el propósito para el cual la capa estabilizada será utilizada, el tipo de mejora de calidad del suelo deseado, la resistencia y la durabilidad requerida de la capa estabilizada, las condiciones del costo y las características ambientales y del clima.

Existen varios tipos de estabilización: Física, Química y Mecánica. A continuación se detalla la estabilización química.

#### Estabilización Química

- Cal. Económica para suelos arcillosos (disminuye plasticidad).
- Cemento Pórtland, para arenas o gravas finas (aumenta la resistencia).
- Productos asfálticos. Para material triturado sin cohesión (emulsión muy usada).

- Cloruro de sodio. Para arcillas y limos (impermeabilizan y disminuyen los polvos)
- Cloruro de calcio. Para arcillas y limos (impermeabilizan y disminuyen los polvos)
- Escorias de fundación. Comúnmente en carpetas asfálticas, dan mayor resistencia, impermeabilizan y prolongan la vida útil.
- Polímeros. Comúnmente en carpetas asfálticas, dan mayor resistencia, impermeabilizan y prolongan la vida útil.

En el “Manual de Especificaciones Técnicas Generales para Construcción de Carreteras No Pavimentadas de Bajo Volumen de Tránsito” del MTC, tratan sobre el tema de estabilización, del cual se puede asimilar estas recomendaciones de uso. Ver Cuadro N° 3.02.

**Cuadro N° 3.02.** Guía referencial para selección de aditivo estabilizador

ÁREA	CLASE DE SUELO	TIPO DE ADITIVO ESTABILIZADOR RECOMENDADO	RESTRICCIÓN EN LL y IP DEL SUELO	RESTRICCIÓN EN EL PORCENTAJE QUE PASA LA MALLA 200	OBSERVACIONES
1A	SW o SP	(1) Asfalto			
		(2) Cemento Pórtland			
		(3) Cal-cemento - cenizas volantes	IP no excede de 25		
1B	SW-SM o SP-SM o SW-SC o SP-PC	(1) Asfalto	IP no excede de 10		
		(2) Cemento Pórtland	IP no excede de 30		
		(3) Cal	IP no menor de 12		
		(4) Cal-cemento - cenizas volantes	IP no excede de 25		
1C	SM o SC o SM-SC	(1) Asfalto	IP no excede de 10	No debe exceder el 30% en peso	
		(2) Cemento Pórtland	(b)		
		(3) Cal	IP no menor de 12		
		(4) Cal-cemento - cenizas volantes	IP no excede de 25		
2A	GW o GP	(1) Asfalto			Solamente material bien graduado
		(2) Cemento Pórtland			El material deberá contener cuanto menos 45% en peso de material que pasa la malla Nro 4.
		(3) Cal-cemento - cenizas volantes	IP no excede de 25		

Fuente: Manual de especificaciones técnicas generales para construcción de carreteras no pavimentadas de bajo volumen de tránsito, MTC

Continúa Cuadro N° 3.02. Guía referencial para selección de aditivo estabilizador

ÁREA	CLASE DE SUELO	TIPO DE ADITIVO ESTABILIZADOR RECOMENDADO	RESTRICCIÓN EN LL y IP DEL SUELO	RESTRICCIÓN EN EL PORCENTAJE QUE PASA LA MALLA 200	OBSERVACIONES
2B	GW-GM o GP-GM o GW-GC o GP-GC	(1) Asfalto	IP no excede de 10		Solamente material bien graduado
		(2) Cemento Pórtland	IP no excede de 30		El material deberá contener cuanto menos 45% en peso de material que pasa la malla Nro 4.
		(3) Cal	IP no menor de 12		
		(4) Cal-cemento - cenizas volantes	IP no excede de 25		
IP = Índice Plástico				Sin restricción u observación. No es necesario de estabilizador	Referencia: US Army of Engineer
(b) $IP = 20 + (50 - \text{porcentaje que pasa a la malla Nro 200})/4$					

Fuente: Manual de especificaciones técnicas generales para construcción de carreteras no pavimentadas de bajo volumen de tránsito, MTC

En el Cuadro N° 3.03 se presenta un resumen de las ventajas y desventajas que se han presentado en la estabilización de la base, de la Carretera Cañete-Yauyos-Chupaca. Tramo: Zúñiga-Dv. Yauyos-Ronchas. La dosificación empleada de emulsión asfáltica de rotura lenta fue de 12 gl/m<sup>2</sup>.

Cuadro N° 3.03. Ventajas y desventajas en la estabilización de suelos

ALTERNATIVA	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Road Chem	Aumenta la capacidad de soporte del suelo	La adherencia es mínima con un recubrimiento superficial bituminoso
		Presenta fisuras en corto plazo
		Es recomendable para suelos de alto porcentaje de finos
Emulsión Asfáltica	Aumenta la capacidad de soporte del suelo	Presenta fisuras en corto plazo
	La adherencia es buena con un recubrimiento superficial bituminoso	La emulsión asfáltica es un material propenso a romper durante su almacenamiento
	Disminuye la permeabilidad del suelo estabilizado	
	Es recomendable para suelos con plasticidad baja	

Fuente: Estudios técnicos para el cambio de estándar de afirmado a solución básica, tramo: Zúñiga-Dv. Yauyos-Ronchas, CGC

**Criterios para la estabilización de la subrasante**

En general la estabilización debe buscar las mejoras de las propiedades de las subrasantes existentes. Teniendo en cuenta que puede que las mejoras de

algunas propiedades sea a costa de la disminución de otras. Podría considerarse como aceptables los siguientes criterios:

- Disminuir el IP a valores menores de 10, para mejorar la trabajabilidad de las mismas en el momento de la compactación.
- Disminuir el porcentaje de hinchamiento a menos de 2% y de este modo reducir su susceptibilidad a los cambios de humedad. Ventaja que permitirá tener menores deformaciones en la superficie de los pavimentos.
- Aumentar el CBR a valores mayores a 10, con la finalidad de dar mayor aporte estructural.

La selección del estabilizante depende de un análisis técnico-económico. Desde el punto de vista técnico debe realizarse la incorporación de distintos porcentajes de estabilizante a la muestra de suelo para ver como varían las principales propiedades como son:

- Granulometría de acuerdo a MTC E 107-2000.
- Límite Líquido de acuerdo a MTC E 110 - 2000.
- Ensayo Próctor modificado de acuerdo a MTC E 115 - 2000.
- Límite Plástico e Índice de Plásticidad de acuerdo a MTC 111 - 2000.
- CBR de acuerdo a MTC E 132 - 2000.

En el Cuadro N° 3.04, se muestra el estabilizante recomendado para diferentes tipos de suelo.

**Cuadro N° 3.04. Respuesta de suelo típico a métodos de estabilización**

Suelo Típico	Estabilizante Recomendado	Finalidad
Materia Orgánica	Estabilización mecánica	Los demás métodos no son efectivos.
Arena	Mezcla con materiales finos no plásticos	Para estabilización mecánica
	Cemento	Para incrementar resistencia
	Asfalto	Para adquirir cohesión
Limos	No responde a métodos de estabilización en uso	
Arcillas de alta plasticidad	Cal	Para mejorar la trabajabilidad y adquirir resistencia a corto plazo.
Arcillas de mediana plasticidad	Cemento	Para mejorar resistencia a corto plazo
	Cal	Para mejorar la trabajabilidad y adquirir resistencia a largo plazo.
Arcillas de baja plasticidad	Arena	Para estabilidad mecánica
	Cemento	Para mejorar resistencia a corto plazo
	Cal	Para mejorar la trabajabilidad y adquirir resistencia a largo plazo.

Fuente: Pavimentos económicos sobre vías afirmadas experiencia Peruana, Rodríguez Mogollón Wilder

### Tratamiento asfáltico de superficie

Tratamiento asfáltico de superficie, es un término amplio que engloba varios tipos de aplicaciones con asfalto y asfalto-agregado, usualmente de menos de 25mm (1 pulgada) de espesor y aplicado a cualquier tipo de superficie de camino.

Adecuadamente contruidos, los tratamientos asfálticos de superficie son económicos, fáciles de colocar y de larga duración. Todos ellos sellan y agregan años de servicio a las superficies de los caminos; pero cada uno de ellos tiene uno o más propósitos especiales. Un tratamiento de superficie no es en sí mismo un pavimento. Es principalmente una técnica de mantenimiento económicamente efectiva para prolongar la vida de servicio del pavimento. Resiste la abrasión del tráfico y provee impermeabilización para la estructura inferior. Un tratamiento de superficie agrega poca resistencia estructural y, por lo tanto, normalmente no se lo toma en cuenta al determinar la capacidad portante del pavimento.

Un tratamiento superficial simple (Chip Seal) implica el riego con la emulsión asfáltica y el inmediato extendido y rodillado de una fina capa de agregado. Para tratamientos superficiales múltiples, el proceso se repite para una segunda e

inclusive una tercera vez, con el tamaño del agregado decreciendo en cada aplicación.

El sellado doble (Sandwich Seal) es una técnica relativamente nueva, en la cual se coloca primeramente un agregado de gran tamaño, luego se riega con la emulsión asfáltica (normalmente modificada con polímeros) e inmediatamente se aplica un agregado de menor tamaño que "cierra" el sellado.

Un "Cape Seal" es un tratamiento superficial simple seguido de una lechada asfáltica (Slurry Seal) o de un micro-aglomerado (micro-surfacing) para llenar los vacíos dejados entre los agregados de gran tamaño.

Una lechada asfáltica (Slurry Seal) es una mezcla de agregado de granulometría cerrada, emulsión asfáltica, fillers, aditivos y agua. La lechada asfáltica es aplicada como un tratamiento de superficie de poco espesor.

El micro-aglomerado (micro pavimento) es muy parecido a la lechada asfáltica, pero con la incorporación de polímeros y el empleo de técnicas especializadas de diseño, ofrece mayor durabilidad y puede ser colocada en capas de mayores espesores. En el Cuadro N° 3.05 se presenta un resumen de las ventajas y desventajas que se han presentado en el recubrimiento bituminoso de la Carretera Cañete-Yauyos-Chupaca. Tramo: Zúñiga-Dv. Yauyos-Ronchas.

**Cuadro N° 3.05. Ventajas y desventajas recubrimiento superficial bituminoso**

ALTERNATIVA	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Slurry Seal	El acabado es más uniforme	Refleja inmediatamente las fisuras que provengan de la capa inferior
		Las dimensiones del equipo que se utiliza para la aplicación del Slurry Seal, dificultan la maniobrabilidad
		La interrupción del tránsito después de su colocación, debe durar entre 4 y 5 horas
		La emulsión asfáltica es un material propenso a romper durante su almacenamiento
		Debido a la irregularidad en los anchos de vía, se presentaría la necesidad de ejecutar algunas partes manualmente, lo que resultaría en acabados diferentes
		El procedimiento constructivo requiere de espacios o plays a lo largo de la vía para el almacenamiento de los agregados, lo que no se da en muchos tramos de la vía

Fuente: Estudios técnicos para el cambio de estándar de afirmado a solución básica, tramo: Zúñiga -Dv. Yauyos-Ronchas, CGC

Continúa **Cuadro N° 3.05.** Ventajas y desventajas recubrimiento superficial bituminoso

ALTERNATIVA	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Monocapa con Emulsión	No reflejará las posibles fisuras que se produzcan en la capa inferior	Se presentan problemas de rotura prematura de la emulsión durante la aplicación
		La interrupción del tránsito después de su colocación, debe durar entre 4 y 5 horas
		La emulsión asfáltica es un material propenso a romper durante su almacenamiento
Monocapa con RC-250	La apertura del tránsito después de su colocación es inmediata	Tiene restricciones mesioambientales en su uso
	No reflejará las posibles fisuras que se produzcan en la capa inferior	
	El empleo de equipos convencionales, garantizan la culminación oportuna de los trabajos	
	La experiencia que se tiene trabajando con este material, influirá en que la calidad de los trabajos sea la óptima	

Fuente: Estudios técnicos para el cambio de estándar de afirmado a solución básica, tramo: Zúñiga -Dv. Yauyos-Ronchas, CGC

### Alternativas de Solución Básica

El Contratista-Conservador de la Carretera Cañete-Yauyos-Chupaca. Tramo: Zúñiga-Dv. Yauyos-Ronchas, para definir una Solución Básica que cambie el estándar de la serviciabilidad existente, analizó diferentes alternativas de pavimento, que pasan, desde el empleo de materiales granulares selectos, el uso de estabilizadores químicos para suelos, hasta el empleo de una capa asfáltica superficial de protección.

Como se señaló anteriormente con la estabilización se mejoran las propiedades del suelo, que permiten mejorar su resistencia mecánica y aumentar su permanencia en el tiempo, con una adecuada serviciabilidad; por lo tanto estos trabajos se emplean en los lugares que poseen baja capacidad de soporte o donde su trabajabilidad en estado natural es pésima. Este mejoramiento se puede lograr inclusive con la adición de otro suelo seleccionado, o la incorporación de uno o más agentes estabilizantes. Para todo proceso de estabilización, el elemento que decidirá su buena o mala performance es la compactación, ya que esto facilitará la interacción de las partículas de suelos con el agua y el aditivo empleado.

En el país se cuenta con experiencia en la aplicación de estos estabilizadores, lo cual nos permite concluir que sin un adecuado análisis de laboratorio de los

suelos, y una aplicación correcta, por muy bueno que sea este aditivo, no se lograrán óptimos resultados. En el mercado nacional se cuenta con diversos productos químicos. Gran parte de estos estabilizadores trabajan o tienen óptimos resultados sobre suelos cuya matriz es arcillosa.

Otro elemento estabilizador de suelos es la emulsión asfáltica, cuyas propiedades resultantes de aglomerante e impermeabilizante, son excelentes. En el "Manual Básico de Emulsiones Asfálticas" del Instituto del Asfalto y de la Asociación de Productores de Emulsión Asfáltica - AEMA de los Estados Unidos (Manual Series N° 19) señalan recomendaciones para la selección del tipo de emulsión, las características de los agregados a ser empleados, así como el procedimiento constructivo requerido. En la gama de materiales que se presentan, se tienen gradaciones abiertas y cerradas; siendo la que se asemeja mayormente a los agregados que se tiene en nuestra obra, el correspondiente a las gradaciones cerradas. La característica de este material es que la cantidad que pasa la malla N° 200 es como máximo 15%, siendo el valor mínimo de Equivalente de Arena de 35%. Indica también que se pueden emplear Arenas Limosas con 20% pasante la malla N° 200.

Para estabilización de suelos se emplean emulsiones asfálticas del tipo rotura lenta, debido a que ésta permite el tiempo suficiente como para efectuar el batido de los materiales para su homogenización, antes de su rotura.

Es importante destacar la significación que tiene el contar con los ensayos de laboratorio que permiten obtener las propiedades y aptitud del suelo estabilizado para soportar las cargas del tránsito, y de la misma manera el hecho de construir tramos estabilizados para verificar el buen resultado in situ. Actividades que el Consorcio de Gestión de Carreteras ha efectuado a plenitud para garantizar la durabilidad y performance adecuada de la obra.

Además, se debe garantizar que tanto la aplicación del cambio de estándar así como su mantenimiento, pueda realizarse en forma sencilla, económica y con el equipamiento disponible.

De acuerdo a lo antes señalado, se establecieron en campo (tramos de prueba) diversas alternativas de tipo de pavimento para su análisis y evolución de comportamiento; éstas han consistido en lo siguiente:

- Afirmado (de 12 cm).
- Afirmado (de 12 cm), con una cubierta asfáltica de Slurry Seal.
- Afirmado (de 12 cm) estabilizado con aditivo Roadchem.
- Afirmado (de 12 cm) estabilizado con aditivo Roadchem, con una superficie de Slurry Seal.
- Afirmado (de 7 cm), con una superficie (de 5 cm) estabilizada con emulsión.
- Afirmado (de 7 cm), una capa (de 5 cm) estabilizada con emulsión, y una cubierta de Slurry Seal.

En los dos últimos casos, inicialmente se conformaron los 12 cm de afirmado, para luego escarificarse 5 cm de la capa superficial y estabilizarlo con emulsión asfáltica.

Otra alternativa analizada, y que se concluyó era la más conveniente, es:

- Afirmado (de 7 cm), una capa (de 5 cm) estabilizada con emulsión, y una cubierta Monocapa asfáltica. Y para optimizar mejor se llegó a tomar la siguiente solución:
- Afirmado (de 7 cm), una capa (de 5 cm) estabilizada con emulsión, y una cubierta de Capa Seal (Monocapa asfáltica más Slurry Seal).

## CAPÍTULO IV: ANÁLISIS DE DEFLEXIONES

El análisis de las deflexiones se han separado en tres casos de acuerdo al tipo de pavimento, estos son: Pavimentos tradicionales, económicos y con material de afirmado, los cuales se detallan a continuación:

### a) En pavimentos tradicionales

Un pavimento tradicional es un pavimento flexible, conformado por: Sub base, base y carpeta asfáltica. Se utiliza el método desarrollado por el CONREVIAl el cual a manera resumida se muestra en el Cuadro N° 4.01, asimismo el diagrama de flujo de dicho método se encuentra en los anexos, Figura A1.04.

La diferenciación de los casos mostrados en el Cuadro N° 4.01 se lleva a cabo relacionando las tres siguientes condiciones:

Evaluación estructural del pavimento:

- Adecuada: Si  $d_c < d_{adm}$ .
- No adecuada: Si  $d_c > d_{adm}$ . "Requiere refuerzo estructural".

Resistencia del material granular:

- Buena : Si  $R_c+$  (la mayor parte de la deflexión ocurre en la subrasante), no hay falla estructural por fisuras.
- Débil : Si  $R_c-$  (la mayor parte de la deflexión ocurre en la capa de material granular), no hay falla estructural por ahuellamiento.

Estado del pavimento:

- Bueno: No presenta fallas estructurales.
- Malo: Presenta fallas estructurales.

**Cuadro N° 4.01.** Análisis para un pavimento tradicional, método CONREVIAL

Estado	1er caso	2do caso	3er caso	4to caso	5to caso
(1) Resistencia del Asfalto	débil	débil	débil	débil	bueno
(2) Resistencia del Material granular	bueno	bueno	débil	bueno	bueno
(3) Resistencia de la Subrasante	bueno	bueno	bueno	bueno	bueno
(4) Resistencia del Pavimento	débil	débil	débil	débil	bueno
(5) Estado del Pavimento	bueno	malo	malo	malo	bueno
(6) $D_c < D_{adm}$	no	no	no / si	si	si
(7) Radio de curvatura	$R_c+$	$R_c+$	$R_c-$	$R_c+$	$R_c+$
(8) Presenta fallas estructurales	no	si	si	si	no
Capa crítica	(1)	(1)	(2)	(1)	-
Falla por fatiga (ahuell. Del asfalto)	no	no	no	si	no
Falla por fatiga (fisuras)	no	no	si	no	no
Falla por insuficiencia (ahuell. Del asfalto)	no	si	no	no	no
Diseño del pavimento	mal diseño del asfalto, diseño de material granular: OK	mal diseño del asfalto, diseño de material granular: OK	diseño del asfalto y material granular: OK	diseño del asfalto y material granular: OK	diseño del asfalto y material granular: OK
Resultado de análisis de la estructura	insuficiente	insuficiente	fatigada	fatigada	adecuada
Política	refuerzo	refuerzo o reconstrucción parcial	refuerzo o reconstrucción parcial/total	refuerzo o reconstrucción parcial	mejora superficial
Las deflexiones son empleadas para el cálculo del refuerzo	si	si	no	no	-

Fuente: Elaboración propia

## ANÁLISIS DEL PAVIMENTO

El análisis del Cuadro N° 4.01, para los cinco casos se muestra a continuación:

En el 1er caso, el pavimento tiene un estado bueno por no presentar ningún tipo de falla estructural. Al no presentar ningún tipo de falla estructural hace que la capa de material granular esté en buenas condiciones de resistencia, lo que no ocurre con la capa asfáltica por no tener un buen diseño, y si no se hace las correcciones necesarias "refuerzo" se producirá la falla por insuficiencia estructural.

Las deflexiones son representativas para el cálculo del refuerzo.

En el 2do caso, el pavimento tiene un estado malo por presencia de falla por insuficiencia estructural, debido al mal diseño de la capa asfáltica, teniendo la capa de material granular y la subrasante en buenas condiciones de resistencia.

Este caso es especial, porque el pavimento falla por insuficiencia estructural y no por fatiga. Falla ajena a una capa débil debajo de la capa asfáltica. Son mezclas

asfálticas inestables por exceso de asfalto o granulometría inadecuada de sus agregados, en este caso las capas asfálticas no van a fisurarse sino a deformarse de manera permanente.

El pavimento tiene una buena resistencia a la fatiga cuando  $R_c+$ , y si la resistencia de la subrasante es débil entonces el pavimento falla por fatiga. De lo anterior se justifica que la resistencia de la subrasante debe ser buena, porque el pavimento solo puede fallar de dos maneras: por fatiga o por insuficiencia.

Las deflexiones son representativas para el cálculo del refuerzo.

En el 3er caso, el pavimento tiene un estado malo por presencia de falla de fisuras, esta falla hace que la resistencia del asfalto sea mala, el origen de éstas fisuras es debido a que el material granular tiene una resistencia débil ( $R_c-$ ). Si la resistencia de la subrasante es débil, esto no es un indicativo que la deflexión característica sea mayor a la admisible, es por esta razón que se considera la resistencia de la subrasante sea buena.

En el 4to caso, el pavimento tiene un estado malo por presencia de falla de ahuellamiento, teniendo la capa asfáltica en mala condición de resistencia y material granular en buenas condiciones ( $R_c+$ ). Se considera el mismo criterio que el 3er caso para la resistencia de la subrasante.

En el 5to caso, el pavimento tiene un estado bueno por no presentar fallas estructurales, la resistencia a la fatiga es buena y presenta un comportamiento estructural adecuado.

## ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN

Del resultado del análisis, se tiene las diferentes alternativas de solución, para cada caso:

### 1er caso

- Reforzar capa asfáltica.

#### 2do caso

- Reforzar capa asfáltica, después de reparar la falla de ahuellamiento por insuficiencia.
- Reconstrucción parcial: Colocar nueva capa asfáltica, con nuevo diseño.

#### 3er caso

- Reforzar capa asfáltica, después de reparar la falla de fisura longitudinal o tipo piel de cocodrilo.
- Reconstrucción parcial: Colocar nueva capa asfáltica con el mismo diseño, después de mejorar resistencia de la capa de material granular empleando para dicha mejora estabilizantes.
- Reconstrucción Total: Colocar nueva capa asfáltica y material granular.

#### 4to caso

- Reforzar, si el ahuellamiento no es severo, después de reparar el ahuellamiento por fresado.
- Reconstrucción parcial: Colocar nueva capa asfáltica con el mismo diseño.

#### 5to caso

- Mejora superficial

#### **b) En pavimentos económicos:**

Se adecúa el método dado por CONREVIAl, para ser usado en pavimentos económicos.

La solución básica solo presenta deformaciones verticales elásticas del material granular y del suelo de la subrasante. Esto porque en un pavimento económico se asume que el tratamiento superficial no aporta estructuralmente provocando que no se genere deformaciones horizontales elásticas de tensión por flexión en la parte inferior de las capas asfálticas.

La diferenciación de los casos mostrados en el Cuadro N° 4.02 se lleva a cabo relacionando las tres siguientes condiciones:

**Evaluación estructural del pavimento:**

- Adecuada: Si  $d_c < d_{adm}$ .
- No adecuada: Si  $d_c > d_{adm}$ . "Requiere refuerzo estructural".

**Resistencia del pavimento:**

- Buena : Si  $R_c+$  (la mayor parte de la deflexión ocurre en la subrasante).
- Débil : Si  $R_c-$  (la mayor parte de la deflexión ocurre en el pavimento).

**Estado del pavimento:**

- Bueno: No presenta fallas estructurales.
- Malo: Presenta fallas estructurales.

**Cuadro N° 4.02. Análisis para un pavimento económico**

Estado	1er caso	2do caso	3er caso	6to caso	4to caso	5to caso
(1) Resistencia del pavimento	débil	débil	débil	débil	débil	buena
(2) Resistencia de la Subrasante	buena	buena	buena	buena	buena	buena
(3) Estado del Pavimento	bueno	malo	malo	malo	malo	bueno
(4) Radio de curvatura	$R_c+$	$R_c+$	$R_c-$	$R_c-$	$R_c+$	$R_c+$
(5) $D_c < D_{adm}$	no	no	si	no	si	si
(6) Presenta falla estructural	no	si	si	si	si	no
Capa crítica	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	-
Falla por fatiga (ahuell. Del pavimento)	no	no	si	si	si	no
Falla por insuficiencia(ahuell. Del pavimento)	no	si	no	no	no	no
Diseño del pavimento	mal diseño del pavimento	mal diseño del pavimento	buen diseño del pavimento	buen diseño del pavimento	buen diseño del pavimento	buen diseño del pavimento
Resultado de análisis de la estructura	insuficiente	insuficiente	fatigada	fatigada	fatigada	adecuada
Política	reforzar	refuerzo o reconstrucción parcial	reforzar o reconstrucción parcial	reforzar o reconstrucción parcial	reforzar o reconstrucción parcial	mejora superficial

Fuente: Elaboración propia

**ANÁLISIS DEL PAVIMENTO**

El análisis del Cuadro N° 4.02, para los cinco casos se muestra a continuación:

En el 1er caso, el estado del pavimento es bueno por no presentar falla estructural por fatiga ni tampoco por insuficiencia, la resistencia de la subrasante está en buenas condiciones, la resistencia del pavimento es débil por no tener un buen diseño, y si no se hace las correcciones necesarias "refuerzo" se producirá la falla por insuficiencia estructural.

En el 2do caso, el estado del pavimento es malo por presentar falla por "insuficiencia estructural", debido a que la resistencia del pavimento es débil. Además la resistencia de la subrasante es buena. Este caso es consecuencia del 1er caso, por no realizar el "refuerzo".

Nota: El pavimento solo puede presentar un tipo de falla, sea ésta por insuficiencia estructural o fatiga.

En el 3er caso, el estado del pavimento es malo por presentar falla por fatiga "ahuellamiento en el pavimento", debido a que la resistencia del pavimento es débil ( $R_c^-$ ). Además la resistencia de la subrasante es buena.

En el 4to caso, el estado del pavimento es malo por presentar falla por fatiga "ahuellamiento en el pavimento", la resistencia de la subrasante es buena. Además la resistencia del pavimento es débil por presentar falla estructural.

En el 5to caso, el estado del pavimento es bueno por no presentar ningún tipo de falla, debido a que la resistencia de la subrasante es buena y la resistencia del pavimento es buena ( $R_c^+$ ).

En el 6to caso, el estado del pavimento es malo por presentar falla por fatiga "ahuellamiento en el pavimento", debido a que la resistencia del pavimento es débil ( $R_c^-$ ).

## ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN

Del resultado de análisis, se tiene las diferentes alternativas de solución para cada caso:

### 1er caso

- Reforzar: Aumentar capa de base estabilizada.

2do, 3er, 4to y 6to caso

- Reforzar: Reparar falla haciendo fresado y aumentar capa de base estabilizada.
- Reconstrucción parcial: Quitar base estabilizada.

5to caso

- Mejora superficial: reconstrucción o cambio del tratamiento superficial.

### **c) En material de Afirmado**

Se tiene dos casos:

**Caso1:** Si la carpeta de afirmado existente soporta las solicitaciones de tránsito.

Se tiene dos alternativas:

Alternativa 1: Mantener el afirmado como superficie de rodadura.

Se debe incorporar un estabilizante que tenga la propiedad de mantener ligada la carpeta. Entre ellos se tiene cal, cemento, emulsiones, estabilizantes químicos, etc. En el Cuadro N° 3.05 se muestra algunas respuestas de suelos típicos a la incorporación de estabilizantes. Adicionalmente se puede utilizar sobre superficies afirmadas por lo menos: riego de imprimación, paliativos de polvo, riegos de liga, o estabilizantes químicos.

Alternativa 2: Cambiar la superficie de rodadura.

En este caso y con el fin de evitar su disgregación, se recomienda la colocación de una capa delgada de asfalto a modo de protección de la base, las mismas que pueden ser de varios tipos:

- Tratamiento superficial simple o doble.
- Lechada asfáltica (espesor entre 6 y 12 mm).
- Imprimación reforzada.
- Cape Seal (combinación de una primera aplicación de tratamiento superficial mas una lechada asfáltica de espesor entre 15 a 20 mm).
- Capa de mezcla asfáltica (espesor de 40 a 50 mm).

**Caso 2:** Si la carpeta de afirmado existente no soporta las solicitaciones de tránsito. Se tiene dos alternativas:

Alternativa 1: La adición de un material granular a fin de absorber las solicitaciones de tránsito.

Alternativa 2: Utilización de estabilizantes para mejorar las propiedades del afirmado-suelo existente entre ellas la capacidad de soporte. Se tiene entre los estabilizantes más conocidos al cemento, cal, emulsión asfáltica, cloruro de sodio, cloruro de magnesio, cloruro de calcio, entre otros.

En estas dos últimas alternativas es recomendable que la superficie se recubra con una capa delgada de asfalto, similar a la indicada en la situación 1.

#### **4.1 ANÁLISIS DE RESULTADOS**

De los anexos, el Cuadro A2.01 muestra la medición de las deflexiones, con la Viga Benkelman, realizada en la salida de campo, además muestra la sectorización que se ha hecho al tramo de estudio.

El Cuadro N° 4.03 muestra la deflexión y radio característico para cada tramo homogenizado, además la deflexión admisible la cual ha sido calculada en base al estudio de tráfico del CGC realizado en Junio 2008.

Primero se debe realizar la corrección por temperatura, no se aplica el ajuste por estacionalidad porque las lluvias son excepcionales.

Se hace uso el programa de computo Minitab V15, para verificar la distribución normal y la homogenización de sectores.

Para verificar si un sector presenta una distribución normal, se utilizó el método de Anderson-Darling. El cual dice lo siguiente:

- Si  $p\text{-value} > 0.05$ , entonces presentará una distribución normal.

Si la distribución es normal, entonces para el cálculo de la deflexión o radio característico se utiliza un intervalo de confianza del 95% ( $D_c = D_m + 1.645 * \sigma$ ).

Si la distribución no es normal, entonces para el cálculo del límite superior del intervalo de confianza (95%), se utiliza un algoritmo de simulación "Bootstrap" que está insertado en el programa de computo Minitab V16.

Para homogenizar sectores, presenten o no una distribución normal, se pueden analizar por dos métodos, usando el Minitab V15:

- El test de Mann-Whitney.
- La Gráfica de la Función Empírica de Distribución Acumulada.

La homogenización se realiza en función a la deflexión. Una vez obtenidos los sectores homogéneos, se procede a calcular la deflexión y radio característico para cada tramo homogenizado. Para esto se usa el promedio ponderado.

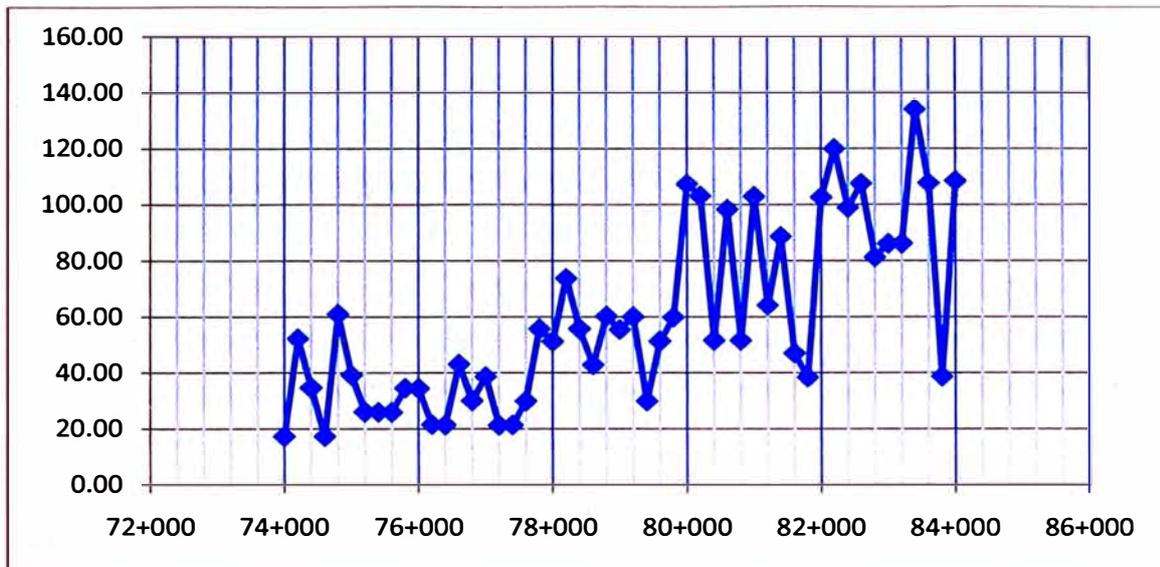
La Figura N° 4.01 muestra el deflectograma y la sectorización del tramo. Deflexiones ( $10^{-2}$  mm) vs progresivas.

De los anexos la Figura A2.01, muestra la gráfica de probabilidad de todo el tramo aplicando el método de Anderson-Darling. Se concluye de ésta, que el tramo no presenta una distribución normal (p-value<0.05).

De los anexos el Cuadro A2.02, muestra la homogenización de sectores. Se ha demostrado que todos los sectores presentan una distribución normal con respecto a la deflexión.

El Cuadro N° 4.03 muestra los resultados del análisis estructural.

**Figura N° 4.01. Deflectograma carril izquierdo.**



**sector 1 sector 2 sector3 sector4 sector5**

Fuente: Evaluación del pavimento con Viga Benkelman-Método empírico, Carretera Cañete-Chupaca. Metodología de discriminación de datos. Manrique Sánchez, Joel Santiago.

**Cuadro N° 4.03. Resultados del análisis estructural**

Sector	Homogéneo	Año 2009		Año 2010		
		Dc (10 <sup>-2</sup> mm)	Dadm (10 <sup>-2</sup> mm)	Dc (10 <sup>-2</sup> mm)	Rc (m)	Dadm (10 <sup>-2</sup> mm)
Sector 1	Homogéneo 1	40.57	147.49	42.22	262.47	123.46
Sector 2				61.11		
Sector 3	Homogéneo 2	46.33		92.12	209.09	
Sector 4	Homogéneo 3	91.60		110.49	100.77	
Sector 5	Homogéneo 4	58.85				

Fuente: Evaluación del pavimento con Viga Benkelman-Método empírico, Carretera Cañete-Chupaca. Metodología de discriminación de datos. Manrique Sánchez, Joel Santiago.

Del Cuadro N° 4.03, se observa:

- En todos los sectores homogéneos las deflexión característica es menor a la admisible.
- Todos los sectores presentan radios de curvatura mayor a 100m.

Teniendo presente que la visita a obra se realizó el 27 de Noviembre del 2010 y observó que el tramo de estudio no presenta fallas de origen estructural.

Por lo tanto los sectores se encuentran en el 5to caso. Solo hay que realizar una mejora superficial.

## 4.2 ANÁLISIS DE LA CURVA DE DETERIORO

Se proyectan las deflexiones características para los años superiores a 2010 empleando el modelo de regresión lineal que para su desarrollo se tomó el método de mínimos cuadrados, teniendo como base los años 2009 y 2010.

Las Figuras N° 4.02 al 4.05, muestran el deterioro del pavimento para cada sector homogéneo. En el eje de las abscisas está el año, en el eje de las ordenadas la diferencia de la deflexión admisible con la deflexión característica.

Si la deflexión característica supera a la deflexión admisible, entonces el paquete (pavimento-subrasante) presenta un comportamiento estructural no adecuado y es necesario en ese momento realizar una conservación al pavimento (Ver Cuadro N° 4.04). Es importante destacar que esta conservación se refiere a una rehabilitación, proporcionando un refuerzo estructural al pavimento.

Todas las curvas mostradas en cada sector homogéneo, más adelante, muestran el "deterioro lento y poco visible" y el estado regular de la fase "deterioro acelerado y quiebre", de un pavimento (Ver Figura N° 4.03). Esto porque ningún sector presenta fallas estructurales.

Entonces para estar dentro de un esquema sano de conservación el pavimento debe reforzarse antes que sea necesaria una rehabilitación. Los tiempos establecidos en el Cuadro N° 4.04 indican las fechas límites para cumplir lo mencionado anteriormente.

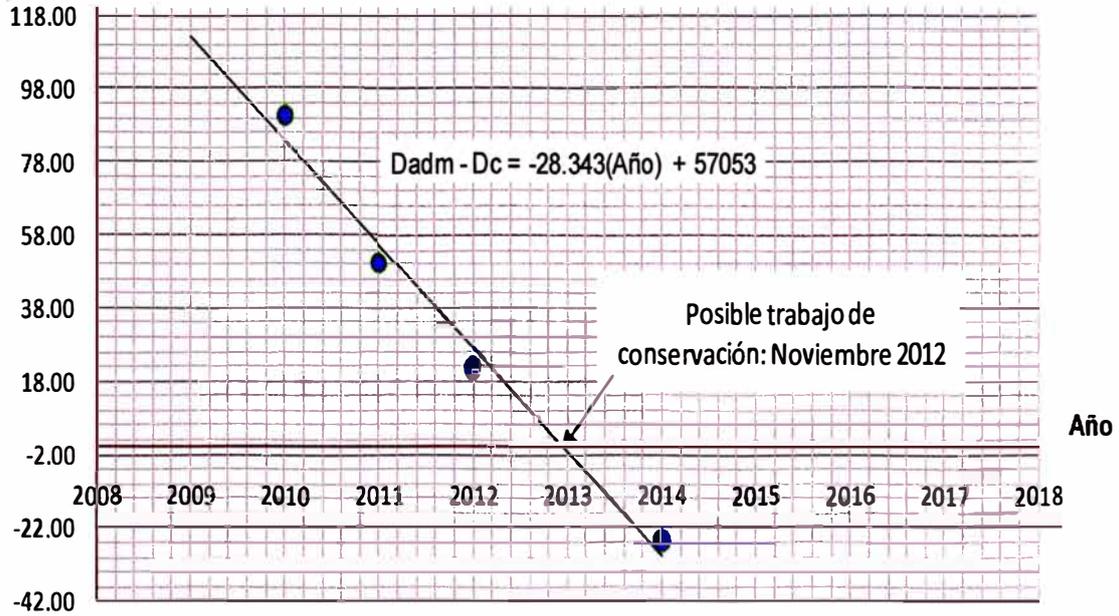
**Cuadro N° 4.04.** Fecha límite de conservación para los sectores homogéneos, para estar dentro de una política óptima

Sector	Posible fecha de conservación
Sector homogéneo 1	Noviembre 2012
Sector homogéneo 2	Enero 2013
Sector homogéneo 3	Octubre 2013
Sector homogéneo 4	Diciembre 2010

Fuente: Evaluación propia

**Figura N° 4.02** Gráfico de la Curva de Deterioro – Sector Homogéneo 1

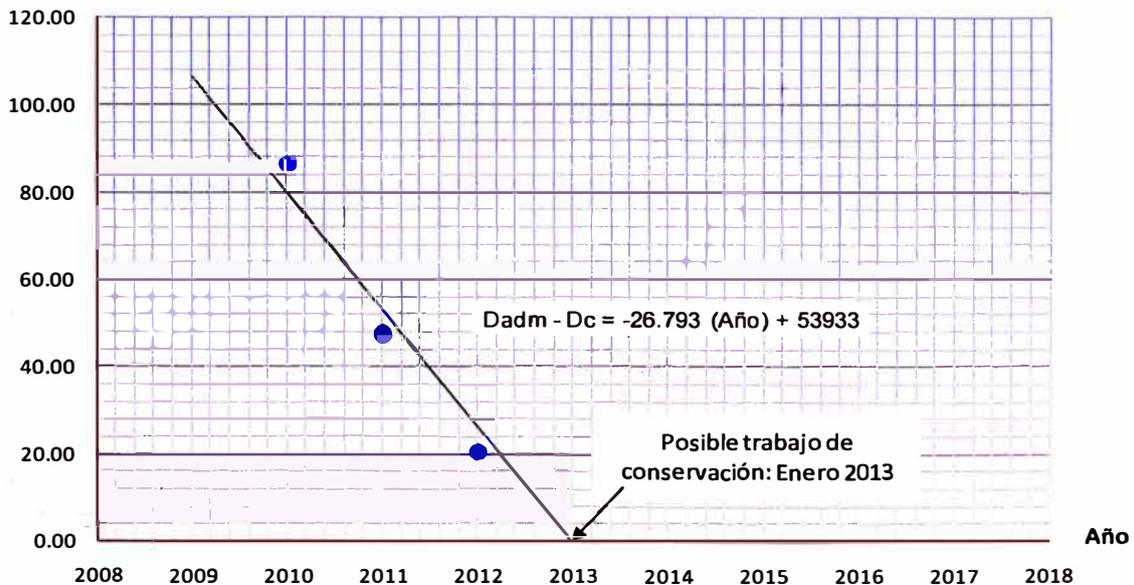
Dadm - Dc



Fuente: Evaluación del pavimento con Viga Benkelman-Método empírico, Carretera Cañete-Chupaca. Modelo de deterioro y contrastación en campo. Nureña Zegarra, Gonzalo.

**Figura N° 4.03** Gráfico de la Curva de Deterioro – Sector Homogéneo 2

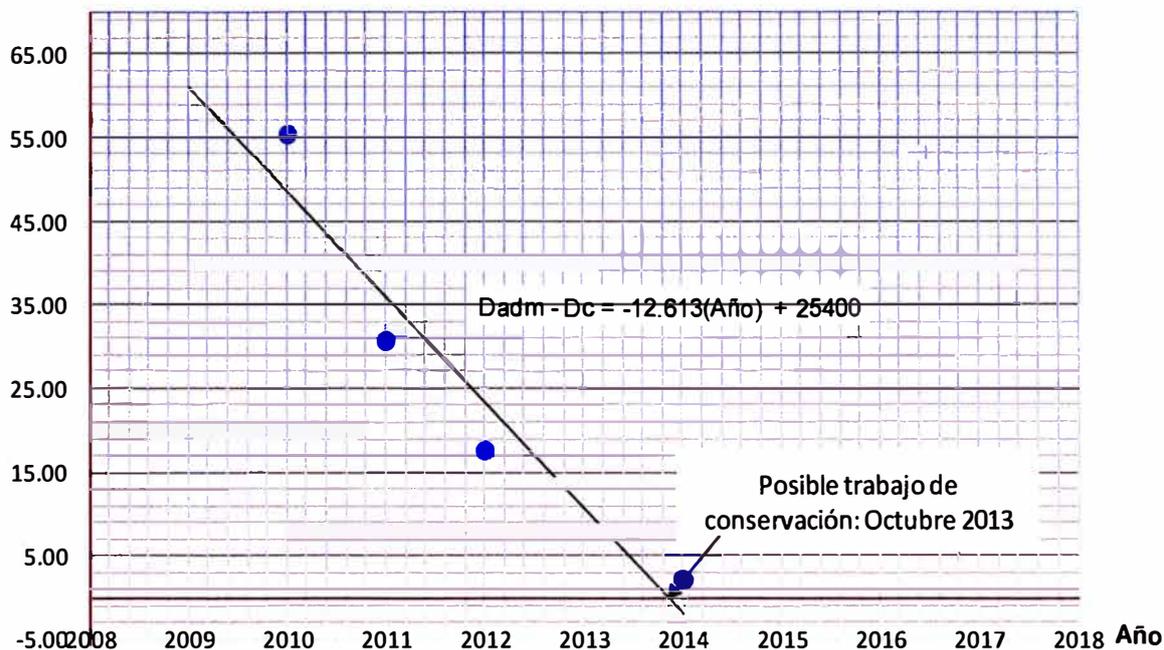
Dadm - Dc (mm)



Fuente: Evaluación del pavimento con Viga Benkelman-Método empírico, Carretera Cañete-Chupaca. Modelo de deterioro y contrastación en campo. Nureña Zegarra, Gonzalo.

**Figura N° 4.04.** Gráfico de la Curva de Deterioro – Sector Homogéneo 3

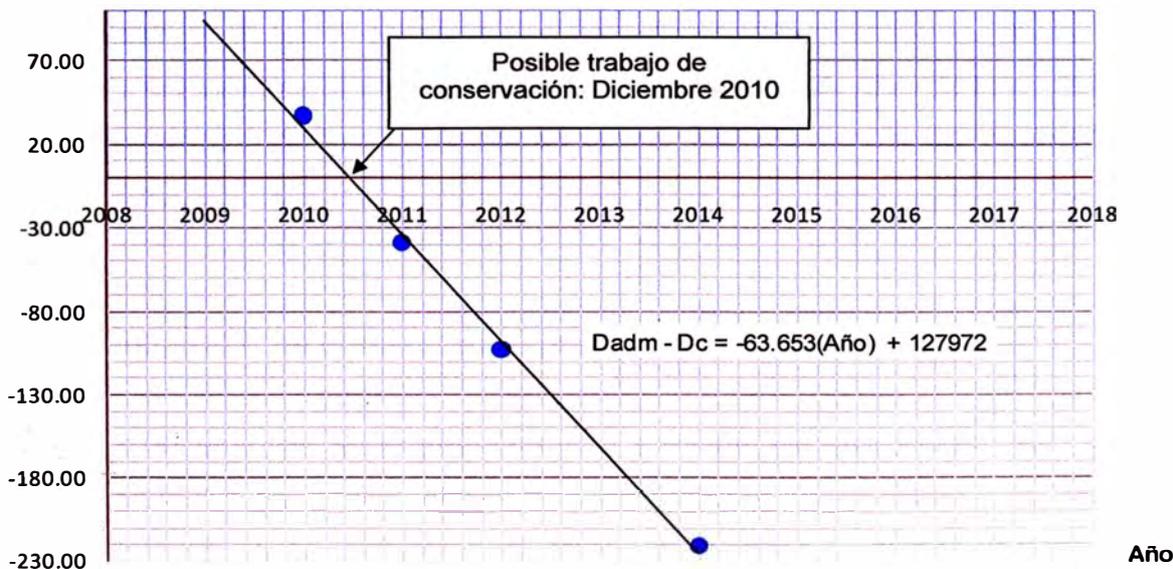
Dadm - Dc (mm)



Fuente: Evaluación del pavimento con Viga Benkelman-Método empírico, Carretera Cañete-Chupaca. Modelo de deterioro y contrastación en campo. Nureña Zegarra, Gonzalo.

**Figura N° 4.05.** Gráfico de la Curva de Deterioro – Sector Homogéneo 4

Dadm - Dc (mm)



Fuente: Evaluación del pavimento con Viga Benkelman-Método empírico, Carretera Cañete-Chupaca. Modelo de deterioro y contrastación en campo. Nureña Zegarra, Gonzalo.

## **CAPITULO V: POLÍTICA DE MANTENIMIENTO**

### **5.1 ELABORACIÓN DE LA POLÍTICA DE MANTENIMIENTO PARA EL TRAMO EN ESTUDIO**

#### **5.1.1 Criterios para la elaboración de la Política de Mantenimiento**

Primero se deberá evaluar el comportamiento estructural del pavimento para poder establecer las políticas, ver si es necesario un refuerzo estructural o solo un tratamiento superficial antes del posible trabajo de conservación.

Luego es necesario conocer el tiempo aproximado para aplicar la política, tiempo que se obtendrá analizando la curva de deterioro, considerando siempre que no se debe esperar que el pavimento presente una deficiente transitabilidad.

#### **5.1.2 Política de Mantenimiento para el tramo de estudio**

Para plantear las políticas de mantenimiento se utiliza la evaluación de las deflexiones realizadas en el capítulo anterior. Ésta evaluación indica que todos los sectores se encuentran en el quinto caso, cuya evaluación y solución, se detalla a continuación:

Evaluación:

El estado del pavimento es bueno por no presentar ningún tipo de falla, debido a que la resistencia de la subrasante es buena y la resistencia del pavimento es buena ( $R_c+$ ).

Solución:

Mejora superficial: reconstrucción o cambio del tratamiento superficial.

En todos los sectores tener presente que la frecuencia más exacta para aplicar la conservación de la vía, dependerá de factores complementarios como el tráfico inducido a la carretera, el clima, el drenaje y demás factores que desfavorecen la vida útil del pavimento.

Las actividades del mantenimiento rutinario y periódico, para todos los sectores se describen a continuación:

**Mantenimiento Rutinario:**

Conjunto de actividades que se ejecutan permanentemente.

- Roce y eliminación de desmonte manual.
- Poda, corte y retiro de árboles.
- Limpieza de obras de arte (alcantarillas, drenajes, tuberías, pontones, puentes vehiculares y peatonales, viaductos, túneles, etc.).
- Limpieza de la calzada y bermas.
- Limpieza de cunetas, rápidas y zanjas de coronación.
- Limpieza de señales verticales, hitos kilométricos, postes delineadores, defensas metálicas y defensas en concreto.
- Pintura, renovación de los hitos kilométricos.
- Remoción de derrumbes localizados a lo largo de las Rutas contratadas, en material común o conglomerados (de hasta 200 m<sup>3</sup> por evento).
- Reposición de señales, hitos y elementos de seguridad vial.
- Sello de Fisuras.

Todas las actividades de Conservación se deberán ejecutar de acuerdo a las Especificaciones Técnicas Generales para la Conservación de Carreteras y a las Especificaciones Técnicas Generales para la Construcción de Carreteras (EG-2000) y a los requisitos que para tal fin disponga la Supervisión.

### **Mantenimiento Periódico:**

Conjunto de actividades que se ejecutan entre períodos. Este mantenimiento se tendrá que aplicar antes de las fechas indicadas en el Cuadro N° 4.04 , que provienen del análisis de la curva de deterioro.

- Tratamiento superficial, este dependerá de la evaluación superficial, cuando no exista una buena transitabilidad, el cual se verificará con el valor del PCI.
- Recapeo del tratamiento superficial.
- Cambio de pavimento básico.
- La decisión de optar por un recapeo o un cambio de pavimento básico está condicionado con la información procedente de la evaluación superficial.

## CONCLUSIONES

- Con una política de mantenimiento adecuada, para el tramo de estudio, se logrará mejorar la transitabilidad y serviciabilidad del pavimento básico.
- Las políticas de mantenimiento son una herramienta necesaria para la conservación, con esto se logrará una eficiencia en el uso de los recursos, gastar lo menos posible para resolver los problemas de los caminos.
- Según la evaluación estructural del pavimento básico, los cuatro sectores homogéneos del tramo de estudio tienen un comportamiento adecuado, el pavimento solo necesita una mejora superficial.
- No es suficiente el análisis de las deflexiones para determinar las políticas de mantenimiento. Porque si el resultado de la evaluación fuese adecuado, éste no indica cuán lejos se encuentra del momento para el cual ya es necesario un mantenimiento periódico. Este momento, se obtiene del análisis de la curva de deterioro del pavimento.
- La política de mantenimiento resultante del análisis de las deflexiones y de la curva de deterioro del pavimento básico no garantiza que sea la más adecuada, porque el pavimento no necesariamente puede requerir un mantenimiento periódico, en la fecha establecida por dicha política. Ejemplo de esto se da en el cuarto sector homogéneo, del tramo de estudio del presente Informe de Suficiencia.
- El empleo del método empírico, para la evaluación estructural del pavimento, permite establecer la respuesta de la estructura frente a solicitaciones de cargas, sin embargo los resultados proporcionados no son del todo confiables para el cálculo del refuerzo por métodos de diseño, porque se obtienen resultados similares sin discriminar la zona donde se encuentra la vía evaluada.

- La evaluación estructural con la Viga Benkelman es de vital importancia, porque es el punto de partida para poder establecer las políticas de mantenimiento del presente Informe de Suficiencia. Con la evaluación se va poder establecer que es lo que hay que hacer en el pavimento básico, como por ejemplo: solo un refuerzo estructural cuando no hay fallas presentes, un fresado previo antes de colocar el refuerzo cuando hay fallas, cambio de la base estabilizada, cambio de solución básica, o solo se tiene que realizar una mejora superficial.

## RECOMENDACIONES

- Las deflexiones son muy determinantes para la elaboración de la curva de deterioro y ésta a su vez influye en la decisión de la política de mantenimiento a emplear, motivo por el cual se recomienda que dichas deflexiones deben ser recogidas por personal muy calificado.
- Las políticas de mantenimiento dependen mucho del análisis de la curva de deterioro, es por eso que para su elaboración se recomienda tomar la mayor cantidad de evaluaciones posibles, no es suficiente sólo dos. Con esto se logrará resultados más representativos.
- Las políticas de mantenimiento se realizan con la finalidad de mejorar la transitabilidad y serviciabilidad del pavimento básico. Por esta razón para obtener una mejor política se recomienda investigar las innovaciones tecnológicas de bajo costo que existen a nivel mundial, referidas a la estabilización de la base. La emulsión asfáltica no es la única alternativa, ni se puede asegurar que sea la más adecuada para ciertos tramos.
- Para mejorar las políticas de mantenimiento planteadas en este Informe de Suficiencia, se recomienda realizar estudios complementarios como por ejemplo la evaluación superficial.
- Si el pavimento necesita un refuerzo estructural, éste debe ser determinado por el método AASHTO. Por ser la manera más apropiada de obtener dicho refuerzo.
- El resultado del análisis de las deflexiones y de la curva de deterioro del pavimento básico deberá ser contrastado con una verificación en campo para confirmar si la política de mantenimiento es la más adecuada.
- Es importante conocer qué tipo de mantenimiento se debe hacer y qué tanto durará éste, de modo que se pueda planificar otra intervención si es necesario.

## BIBLIOGRAFÍA

- Ancajima Márquez, Cristhian Jair; "Evaluación del pavimento con Viga Benkelman Método empírico, Carretera Cañete Chupaca. Especificaciones y costos de mantenimiento"; Universidad Nacional Ingeniería; Perú; 2011.
- Comisión económica para América Latina y el Caribe (CEPAL); "Caminos, un nuevo enfoque para la gestión y conservación de redes viales"; Chile; 1994.
- Consorcio Gestión de Carreteras; "Estudios técnicos. Tramo: Zúniga-Dv. Yauyos-Ronchas"; Perú; 2008.
- Del Águila Minusa, Pablo; "Estudios de evaluación estructural de pavimentos basados en la interpretación de curvas de deflexiones (ensayos no destructivos)"; Perú; 1985.
- Gutiérrez Lázares, José Wilfredo; "Modelación Geotécnica de Pavimentos Flexibles con Fines de Análisis y Diseño en el Perú"; Universidad Nacional Ingeniería; Perú; 2007.
- Instituto Peruano de Economía; "Lecciones del Mantenimiento de Carreteras en el Perú, 1992-2007"; Afín; Perú; 2008.
- Manrique Sánchez, Joel Santiago; "Evaluación del pavimento con Viga Benkelman - Método empírico, Carretera Cañete - Chupaca. Metodología de discriminación de datos"; Universidad Nacional Ingeniería; Perú; 2011.
- Ministerio de Transportes, Comunicaciones, Vivienda y Construcción; "Sistema de Gestión de Carreteras", Normas y Manuales V, Volumen 3: Anexo 3 a 12; Asociación BCEOM - OIST; Perú, 2001.

- Ministerio de Transportes y Comunicaciones; "Manual técnico de mantenimiento rutinario para la red vial departamental no pavimentada; Provias departamental; Perú, 2006.
- Nureña Zegarra, Gonzalo; "Evaluación del pavimento con Viga Benkelman - Método empírico, Carretera Cañete - Chupaca. Modelo de deterioro y contrastación en campo"; Universidad Nacional Ingeniería; Perú; 2011.
- Rodríguez Mogollón, Wilder; "Pavimentos económicos sobre vías afirmadas, experiencia peruana"; Colegio de Ingenieros de Costa Rica; Costa Rica; 2010.
- Sánchez Fonseca, Diego; "Modelos sostenibles de mantenimiento vial en Suramérica"; Corporación Andina de Fomento; México; 2009.
- Universidad Nacional de Ingeniería, Facultad de Ingeniería Civil; "Data del Proyecto corredor vial N°13: Cañete – Lunahuaná – Pacarán – Chupaca (Rehabilitación del tramo Zúñiga – Dv. Yauyos – Ronchas)."; Convenio UNI-MTC; Perú; 2010.

#### Páginas Web Consultadas

- <http://ticss.bligoo.com/content/view/96587/Manual-Basico-sobre-la-creacion-de-Politicasyde-Empresa.html>; "Manual básico sobre la creación de políticas de empresa"; Noviembre; 2007.
- <http://www.mastrad.com/fwdsp.htm>.
- [http://training.ce.washington.edu/WSDOT/Modules/09\\_pavement\\_evaluation/09-5\\_body.htm](http://training.ce.washington.edu/WSDOT/Modules/09_pavement_evaluation/09-5_body.htm).
- <http://www.zietlow.com/docs/libroleg/Libroleg.htm>.

# ANEXOS

## ANEXO 1

### DEFLECTOMETRÍA, MÉTODO CONREVIAL

#### a) Deflexión

La deflexión es parte de carácter elástico, pero también intervienen esfuerzos plásticos. Los primeros desaparecen en cuanto se renueva la carga, mientras que los segundos son permanentes, y su acumulación a través de las reiteraciones de las cargas produce las distorsiones o ahuellamientos en la superficie del pavimento. Por este motivo, deben distinguirse:

- La deflexión total ( $d_t$ ) (flecha hacia abajo de la deformación producida por la carga).
- La deflexión recuperable o elástica ( $d_r$ ) (flecha hacia arriba de la recuperación de la superficie que se produce al retirar la carga).
- La deflexión permanente o residual ( $d_p$ ) (diferencia entre la posición original de la superficie antes de aplicar la carga y después de retirarla).

Se puede observar que:

$$d_t = d_r + d_p \quad (1.1)$$

#### b) Equipo Necesario

##### ✓ Viga Benkelman modificada

La Viga Benkelman es un dispositivo mecánico que mide los desplazamientos de un punto de contacto colocado entre las ruedas duales de un camión, bajo el eje de carga, con una determinada presión de aire en los neumáticos y una carga pre-establecida en el eje; es decir, se mide la flecha máxima de la línea de deformación bajo una carga constante.

La Viga Benkelman usual está constituida por una palanca de gran longitud, que pivota alrededor de un eje de rotación horizontal, situado en un punto fijo, que divide la palanca en dos brazos desiguales, generalmente en la relación 2:1. En uno de los extremos de la palanca, que corresponde al brazo de mayor longitud, se encuentra la punta de prueba, diseñada para situarse entre las llantas de la

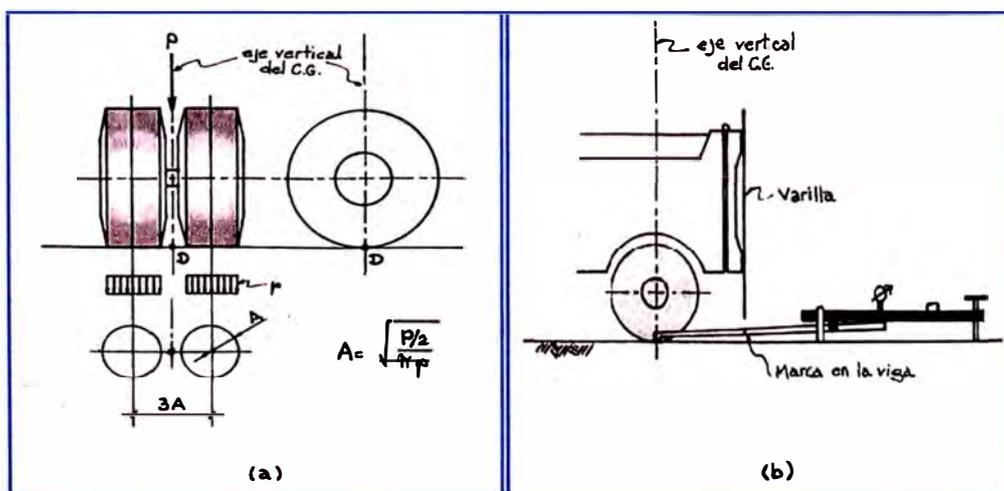
rueda dual. En el otro extremo se sitúa el palpador de un flexímetro o comparador, soportado por un bastidor independiente de la palanca. Los desplazamientos de los extremos de la palanca son registrados a través del flexímetro, guardando lógicamente la misma relación que los brazos de la misma. La viga se apoya en dos patas delanteras y en una trasera de posición regulable. Un pequeño vibrador asegura un estrecho y continuo contacto entre flexímetro y palanca. Un volante permite trabar la palanca, para el traslado de la misma.

La viga modificada consta de dos palancas en un mismo bastidor. Se trata de dos vigas desplazadas 0.25m. una de otra, de manera que cuando la punta de prueba de la viga 1, o principal, se sitúa entre las llantas de la rueda dual, la correspondiente a la viga 2 queda ubicada a 25 cm de aquella. La ventaja radica en que permite la determinación simultánea de la deflexión bajo carga y a 25 cm de la misma, de utilidad para una mejor caracterización del pavimento, según se describe más adelante. Por este motivo, todos los componentes relativos al funcionamiento de las palancas, se hallan duplicados.

#### ✓ Camión para la carga de prueba

Se utiliza un camión con un solo eje trasero, cargado a 8,2 toneladas, ruedas duales. Se aconseja llantas 10 x 20, 12 lonas, infladas a una presión de 5.6 bares. En la Figura A1.01 se muestra las vistas de perfil y frontal del eje cargado.

**Figura A1.01.** Esquema de la transmisión de carga y equipo medidor de deformaciones



Fuente: Estudios de evaluación estructural de pavimentos basados en la interpretación de curvas de deflexiones, Del Aguila Minusa, Pablo

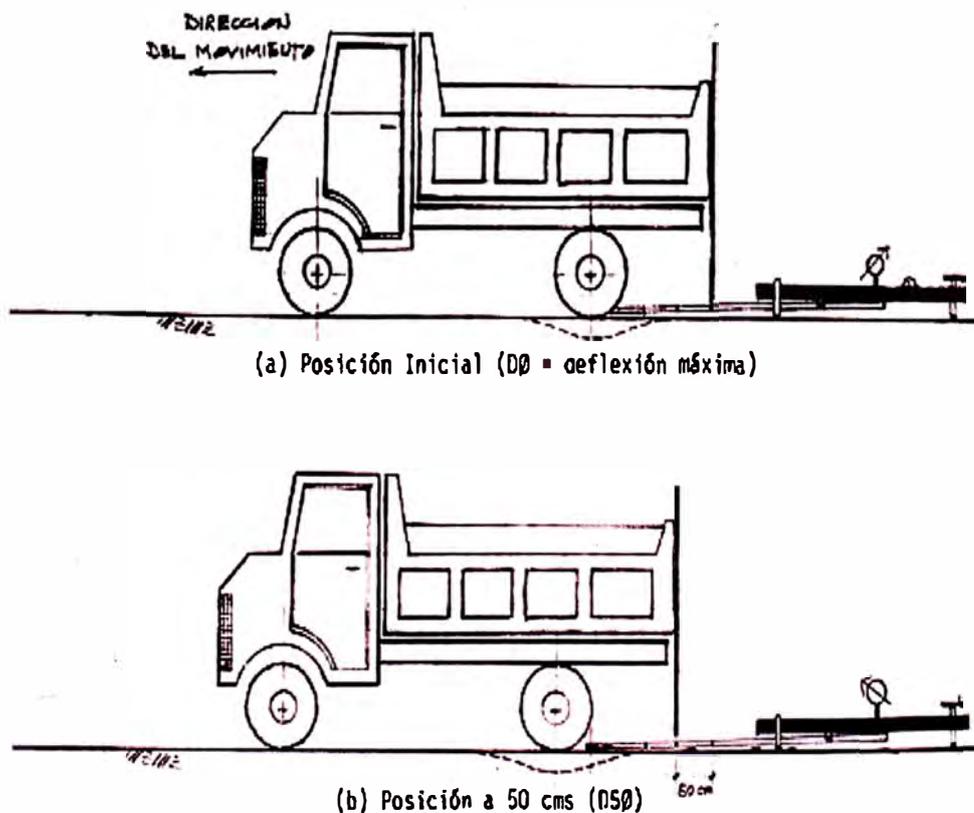
- ✓ Termómetro electrónico digital para la medición de la temperatura del asfalto.
- ✓ Equipo para perforación de pavimento asfáltico, para medición de temperatura (cincel o punzón de acero y comba de 10 libras)

### c) Procedimiento de medición

Cuando el camión se encuentra estacionado en la zona de medida, se introducen los puntos de prueba entre los neumáticos (uno a nivel del eje , el otro se coloca automáticamente 25 cm detrás). El procedimiento para la medición de las deflexiones se muestra en la Figura A1.02.

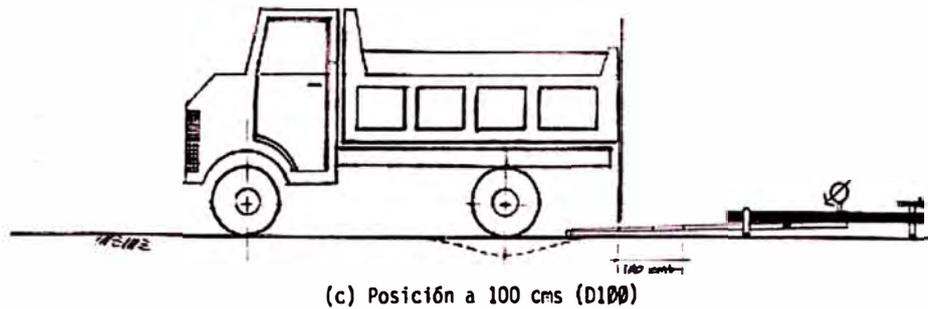
- Se anotan los dos valores en los dos flexímetros.
- El camión avanza fuera de la zona de medida, se anotan otra vez los dos valores. Además, se anota la temperatura de las capas asfálticas.

**Figura A1.02.** Medición de deflexiones con la Viga Benkelman



Fuente: Estudios de evaluación estructural de pavimentos basados en la interpretación de curvas de deflexiones. Del Águila Minusa, Pablo

Continúa **Figura A1.02. Medición de deflexiones con la Viga Benkelman**



Fuente: Estudios de evaluación estructural de pavimentos basados en la interpretación de curvas de deflexiones, Del Águila Minusa, Pablo

**d) Proceso de las medidas**

La deflexión recuperable medida por la viga 1 (o principal) y la viga 2 se obtienen por la fórmula siguiente:

$$D_t = (L_f - L_i)R \quad (1.2)$$

Donde:

$D_t$  : Deflexión recuperable en centésimos de mm, medida a la temperatura "t" °C.

$L_f$  : Lectura final del flexímetro de la viga considerada (en centésimos de mm).

$L_i$  : Lectura inicial del flexímetro de la viga considerada (en centésimos de mm).

$R$  : 2 ó 4 según la relación de brazos de la viga.

Nota: Es conveniente chequear la unidad usada por los flexímetros. Si no es el centésimo de mm, se debe ajustar el coeficiente de transformación en dicha unidad.

### Ajuste por temperatura

La fórmula indicada más arriba permite conocer las deflexiones recuperables (deflexión máxima y a 25 cm del eje), a la temperatura medida. Se debe ajustarlas para una temperatura estándar de 20 °C usando la fórmula siguiente:

$$D_{20^{\circ}} = \frac{D_t}{(10^{-3} * e * (t - 20) + 1)} \quad (1.3)$$

Donde:

$D_t$  : Deflexión recuperable en centésimos de mm, medida a la temperatura " t " ° C.

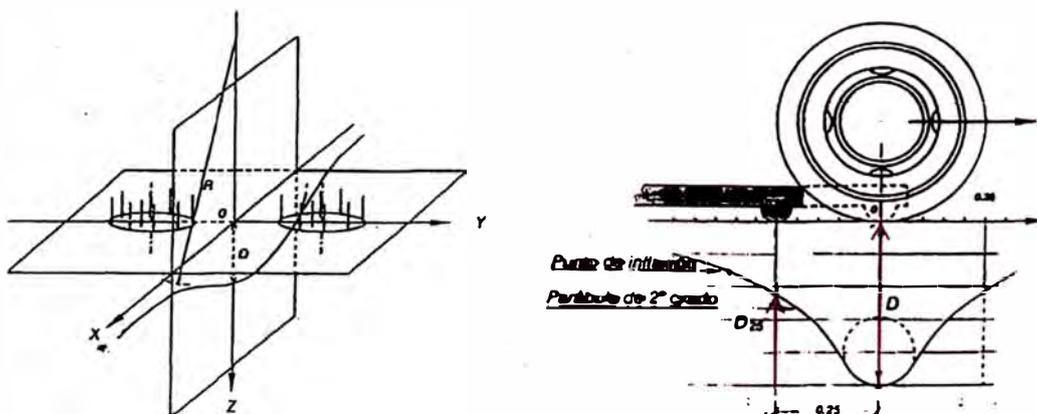
$D_{20^{\circ}}$  : Deflexión recuperable a la temperatura estándar (20° C).

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

### Radio de Curvatura

La línea de deflexión se aproxima a una parábola hasta una distancia algo mayor de 25 cm, del eje de carga para sufrir luego una inflexión y tender asintóticamente hacia la horizontal. En la Figura A1.03 se esquematiza el radio de curvatura y además también la deflexión recuperable que mide la Viga Benkelman.

**Figura A1.03.** Esquema conceptual del radio de curvatura



Fuente: Estudio de rehabilitación de carreteras en el Perú- MTC-CONREVIAl

El cálculo del radio de curvatura se hace con la fórmula siguiente:

$$R_c = \frac{6250}{2*(D_0 - D_{25})} \quad (1.4)$$

Donde:

$R_c$  : Radio de curvatura en metros.

$D_0$  : Deflexión recuperable en el eje vertical de la carga, en centésimas de mm para la temperatura estándar de 20 °C.

$D_{25}$  : Ídem, pero a 25 cm del eje.

#### e) Análisis estadísticos de los resultados - Deflexión característica

Si en un tramo las deflexiones siguen una distribución normal, entonces para el cálculo de la deflexión característica se usan las siguientes ecuaciones:

**Deflexión media:**

$$D_m = \frac{\sum D}{N} \quad (1.5)$$

Donde:

$D_m$  : Media aritmética de los valores individuales.

$D$  : Valor individual de un ensayo.

$N$  : Número de ensayos individuales.

**Desviación Estándar:** este valor representa la dispersión de resultados en pavimentos que posean el mismo valor medio  $D_m$ .

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (D - D_m)^2}{N - 1}} \quad (1.6)$$

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

$$C_v = \frac{\sigma}{D_m} * 100 \quad (1.7)$$

La  $\sigma$  corresponde a la distorsión de resultados que posean el mismo valor medio  $D_m$ , de deflexión. El valor  $C_v$ , indica un mayor o menor grado de dispersión, aún para un distinto valor medio.

Para realizar el diseño del refuerzo, la **deflexión característica** representa mejor a una determinada sección, mediante la expresión:

$$D_c = (D_m + t * \sigma) \quad (1.8)$$

Tal como muestra en el Cuadro A1.01, el valor de "t" corresponde a un porcentaje del área total con probabilidad de presentar deflexiones superiores a la deflexión característica  $D_c$ .

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

**Cuadro A1.01.** Valor de "t" y probabilidad de ocurrencia de  $D_m > D_c$

Valor diseño	$D_c$	Área $D_m > D_c$
50	$D_m + \sigma$	50
75	$D_m + 0.674\sigma$	25
85	$D_m + \sigma$	15
90	$D_m + 1.3\sigma$	10
95	$D_m + 1.645\sigma$	5
98	$D_m + 2\sigma$	2
99	$D_m + 2.33\sigma$	1
99.9	$D_m + 3\sigma$	0.1

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

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

El método CONREVIAl adopta un valor de  $D_c$  igual a  $(D_m + 1.645 \sigma)$  que corresponde al 95% de probabilidad de diseño, superada sólo por el 5% de las determinaciones efectuadas.

#### f) Ajuste estacional

En principio, las deflexiones se miden en la época más húmeda del año. Si se miden en época seca, se debería aplicar un coeficiente correctivo a las deflexiones características cuando el contenido de agua de la subrasante es significativamente diferente durante los dos periodos.

Dicho coeficiente se define por experiencia (comparación de las deflexiones de un mismo tramo en período húmedo y seco). Depende:

- Del tipo de material de la subrasante (arena o arcilla).
- De la estación.

Por falta de datos comparativos en el Perú, se pueden aplicar los coeficientes de referencia propuestos por CONREVIAl que se muestra en el Cuadro A1.02. Si por convención el coeficiente vale 1 para la estación "lluviosa", el coeficiente por aplicar a medidas hechas durante la estación "seca" se encuentra en los rangos siguientes:

**Cuadro A1.02.** Coeficientes de corrección por estacionalidad

Tipo de suelo de la subrasante	Coeficiente de corrección	
	Periodo lluvias	Periodo seco
Arena permeable	1,0	1,1 a 1,3
Arcilla sensible al agua	1,0	1,2 a 1,4

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

Se comparan las precipitaciones de los dos meses anteriores a la medida del período más lluvioso del año, para determinar empíricamente el valor del coeficiente. Esos coeficientes se pueden aplicar en las zonas de sierra y selva.

En principio, no se aplica corrección por este concepto en la zona costera, por ser excepcionales las lluvias.

### g) Deflexión admisible

Esta deflexión corresponde a aquella que alcanzará el pavimento al final del tiempo de diseño. Por lo tanto esta deflexión se calcula considerando la sollicitación de cargas para ese tiempo de diseño, representado en el valor "N" de ejes equivalentes acumulados hasta el último día de servicio. Luego la expresión será:

$$D_{adm} = \left( \frac{1.15}{N} \right)^{1/4} \quad (1.9)$$

Donde:

$N$  Número de ejes estándar equivalentes de 8.2 toneladas acumulados en el período de diseño.

$D_{adm}$  Deflexión característica admisible en mm.

### h) Juicio sobre la capacidad estructural-CONREVAL

Una vez finalizadas las distintas tareas de campo y obteniéndose los datos necesarios para aplicar el Método Empírico, se realizará un análisis de los resultados que conduzca a establecer la capacidad estructural del pavimento en relación al tránsito que debe soportar la calzada.

Como resultado de este análisis se llega a:

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

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

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

El Cuadro A1.03 indica los casos típicos, no son los únicos, dependen de las circunstancias que puedan existir. Y en la Figura A1.04 se presenta el diagrama de flujo para estos casos.

A continuación se detalla los casos presentados:

#### **Primer caso**

Se caracteriza porque la deflexión característica es superior a la tolerable para el tránsito actual o futuro previsto y no presentar fallas estructurales generalizadas.

Se trata de pavimentos infradiseñados que necesitan con urgencia un refuerzo estructural para resistir el tránsito futuro.

Debe prestarse especial atención que no existe inmediatamente debajo de la capa asfáltica un cierto espesor de capa de base degradado y/o con elevado contenido de humedad. En forma no destructiva la presencia de esta zona débil puede ser detectada a través de reducidos valores del radio de curvatura en relación a la deflexión. Las deflexiones obtenidas son representativas para el cálculo del refuerzo.

#### **Segundo caso**

La característica que lo diferencia del primero es la generalización del desarrollo de fallas estructurales, que obedecen a causas ajenas a la presencia de espesor de base débil, inmediatamente debajo de la capa asfáltica.

Es el paso avanzado del primer caso cuando no se han tomado a tiempo las medidas necesarias. Las deflexiones son empleadas para el cálculo del refuerzo, sin embargo para valores excesivamente altos puede negarse su utilización en razón de que:

- Es extremadamente difícil estimar el poder reductor de las deflexiones por efecto de un espesor de refuerzo excesivamente grande.
- La utilización de un único material de refuerzo (concreto asfáltico) resulta, en la generalidad de los casos, antieconómica.

Por estos motivos, en estas circunstancias es conveniente por lo menos verificar el refuerzo calculado en base a métodos de diseño racionales.

### **Tercer caso**

Está caracterizado por la presencia de una capa débil subyacente a la asfáltica, que determina que la deformación de esta última bajo cargas no encuentre apoyo suficiente y sea mayor que la que correspondería en ausencia del espesor débil.

En este caso los radios de curvatura de la línea de deflexión son reducidos y el desarrollo de fisuramiento es posible aún con deflexiones tolerables, cuando la estructura total puede defender adecuadamente a la fundación, pero la base no presta el necesario apoyo.

### **Cuarto Caso**

Se tratan de pavimentos antiguos reforzados con grandes espesores asfálticos que evitan fallas por fatiga, pero que no compensan la debilidad de la fundación primitiva, por lo que se observan deformaciones permanentes que afectan toda la estructura (no atribuidas a las capas asfálticas).

### **Quinto caso**

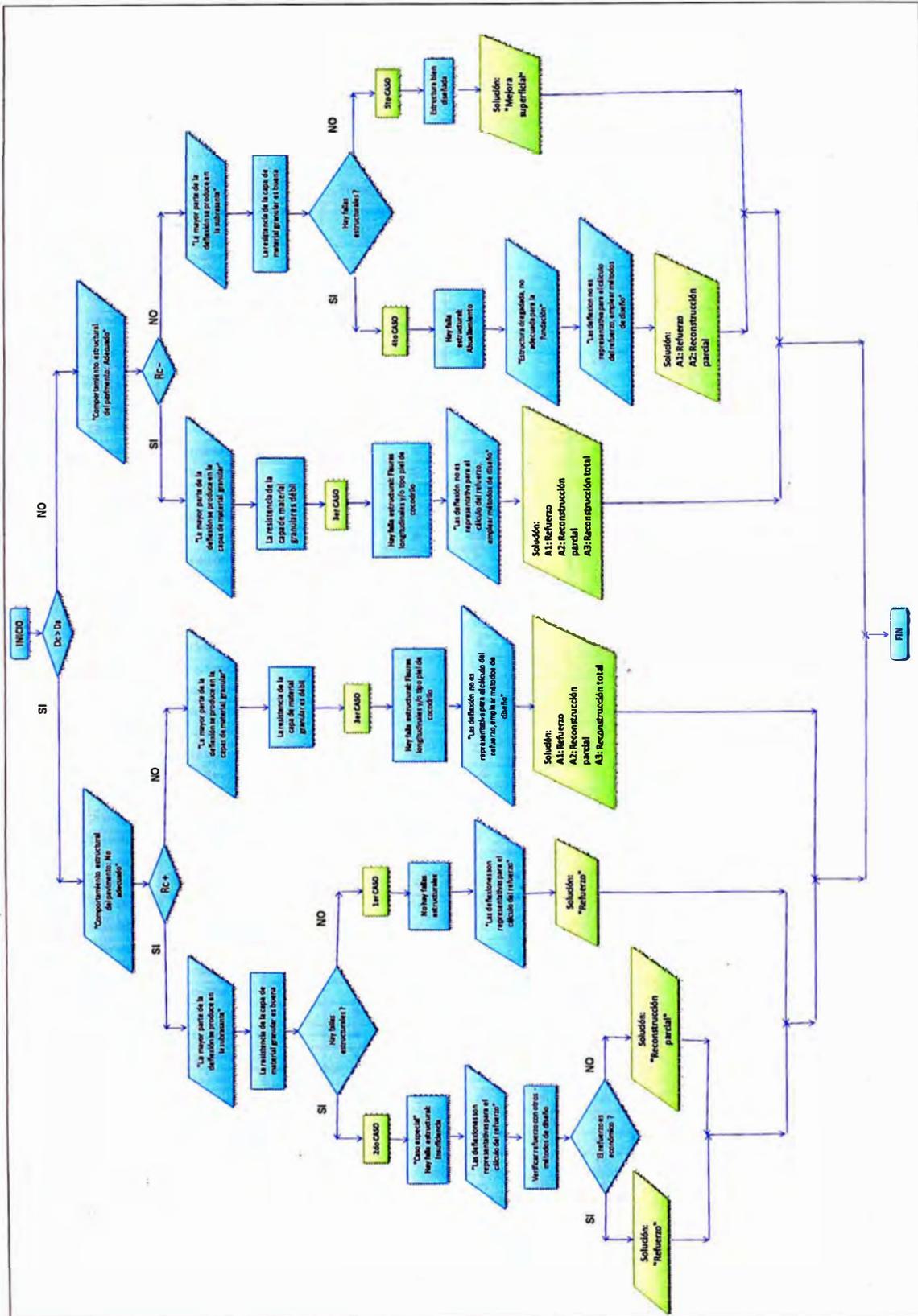
No se observan signos de degradación estructural, las deflexiones son inferiores a la tolerable y la estructura del pavimento no revela infradiseño. La capacidad estructural del pavimento resulta satisfactoria por lo que la rehabilitación se limitará a una corrección de las deficiencias superficiales que se observan en la superficie de rodamiento.

**Cuadro A1.03. Juicio de la capacidad estructural del pavimento**

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

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

Figura A1.04. Diagrama de Flujo del Juicio de la capacidad estructural para pavimentos tradicionales



Fuente: Elaboración propia

**ANEXO 2**

**Cuadro A2.01. Medición de las deflexiones con la Viga Benkelman**

**MEDICIÓN DE DEFLEXIONES CON VIGA BENKELMAN**

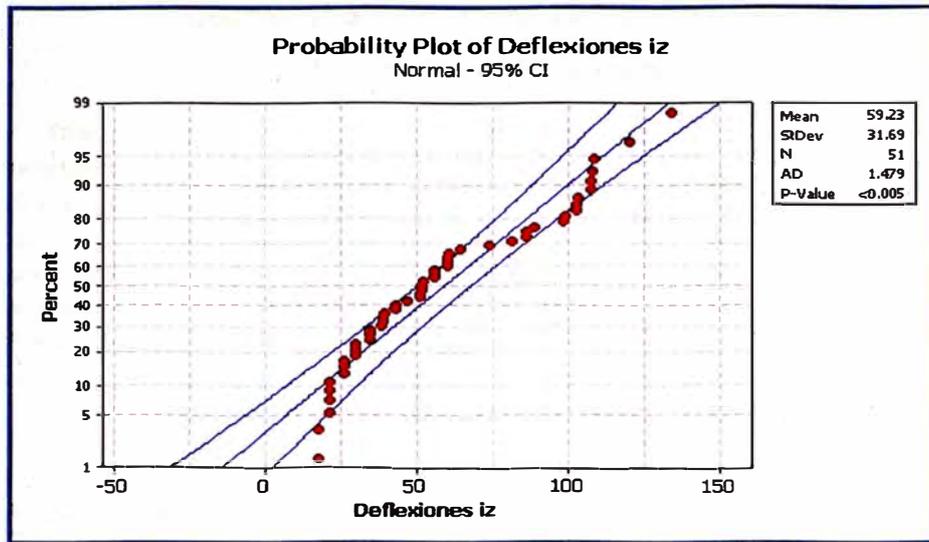
SECTOR: Km 74+000-Km 84+000  
CARRIL: Izquierdo  
CAPA: Slurry Seal-Monocapa  
Fecha: 27/11/2010

OPERADOR : Varios  
RELACION VP : 4:1

Progresiva (km)	Lado	LECTURAS DE CAMPO (10 <sup>-2</sup> mm)					Esp. (mm)	Ahue. (mm)	Temp (°C)	Ancho (m)	Tipo materia	Sector
		Brazo largo				Brazo corto						
		L <sub>25</sub>	L <sub>50</sub>	L <sub>75</sub>	L <sub>máx</sub>	L <sub>máx</sub>						
74+000	Izquierdo	1	2	3	4	1	10	0	31,9	3,5	Sector 1	
74+200	Izquierdo	2	5	8	12	6	10	0	30,8	4,3		
74+400	Izquierdo	1	3	5	8	6	10	0	33,6	4,3		
74+600	Izquierdo	1	2	3	4	3	10	0	32,8	4,2		
74+800	Izquierdo	4	8	11	14	8	10	0	30,5	4,5		
75+000	Izquierdo	1	4	7	9	2	10	0	30,9	5,5		
75+200	Izquierdo	1	3	5	6	4	10	0	31,5	5,5		
75+400	Izquierdo	2	3	4	6	3	10	0	32,5	5,2		
75+600	Izquierdo	1	2	3	6	5	10	0	34,5	4,2		
75+800	Izquierdo	1	4	5	8	5	10	0	35,2	4,7		
76+000	Izquierdo	2	4	5	8	6	10	0	37,8	5,4		
76+200	Izquierdo	1	2	3	5	3	10	0	38,2	5,0		
76+400	Izquierdo	1	3	4	5	1	10	0	42,3	4,9		
76+600	Izquierdo	3	7	8	10	1	10	0	40,3	5,2		
76+800	Izquierdo	2	4	6	7	3	10	0	43,5	4,7		
77+000	Izquierdo	3	5	7	9	2	10	0	42,2	4,4		
77+200	Izquierdo	1	3	4	5	1	10	0	47,8	5,6		
77+400	Izquierdo	1	2	3	5	3	10	0	42,5	5,6		
77+600	Izquierdo	2	4	6	7	1	10	0	47,5	5,2		
77+800	Izquierdo	1	4	6	13	5	10	0	47,5	4,5		
78+000	Izquierdo	2	7	9	12	7	10	0	49	4,1		
78+200	Izquierdo	5	8	12	17	7	10	0	33,5	4,7		
78+400	Izquierdo	5	9	11	13	5	10	0	44,8	5,4		
78+600	Izquierdo	2	4	5	10	4	10	0	45,9	5,2		
78+800	Izquierdo	1	3	5	14	10	10	0	40,2	5,4		
79+000	Izquierdo	3	7	9	13	8	10	0	47,9	4,5		
79+200	Izquierdo	3	7	9	14	5	10	0	44,3	3,9		
79+400	Izquierdo	1	2	3	7	4	10	0	47,7	3,4		
79+600	Izquierdo	2	4	7	12	5	10	0	47,9	5,7		
79+800	Izquierdo	3	6	9	14	5	10	0	47,6	3,9		
80+000	Izquierdo	3	9	14	25	16	10	0	43,5	4,0		
80+200	Izquierdo	2	6	9	24	17	10	0	43,8	3,4		
80+400	Izquierdo	2	5	8	12	10	10	0	43,1	4,0		
80+600	Izquierdo	2	6	9	23	18	10	0	49,5	5,2		
80+800	Izquierdo	2	5	7	12	11	10	0	42	5,3		
81+000	Izquierdo	5	9	12	24	19	10	0	45,6	4,7		
81+200	Izquierdo	1	4	6	15	7	10	0	47	5,2		
81+400	Izquierdo	2	4	7	21	14	10	0	60	4,9		
81+600	Izquierdo	2	5	7	11	6	10	0	47,9	5,0		
81+800	Izquierdo	2	4	5	9	5	10	0	47,8	4,8		
82+000	Izquierdo	2	6	10	24	12	10	0	47,8	5,0		
82+200	Izquierdo	2	9	12	28	16	10	0	45,3	4,3		
82+400	Izquierdo	1	4	5	23	13	10	0	41,5	5,3		
82+600	Izquierdo	1	5	9	25	16	10	0	41,6	3,1		
82+800	Izquierdo	1	6	8	19	14	10	0	47,5	4,0		
83+000	Izquierdo	1	3	6	20	9	10	0	42,1	6,2		
83+200	Izquierdo	1	5	9	20	13	10	0	40,8	4,9		
83+400	Izquierdo	1	5	8	31	19	10	0	37,2	4,8		
83+600	Izquierdo	2	7	11	25	15	10	0	40,2	4,3		
83+800	Izquierdo	2	5	7	9	6	10	0	40,6	5,7		
84+000	Izquierdo	2	4	6	25	20	10	0	33,4	5,1		

Fuente: Elaboración propia

**Figura A2.01.** Gráfica de probabilidad de deflexiones máximas, carril izquierdo. Fecha de evaluación: 27/11/2010.



Fuente: Evaluación del pavimento con Viga Benkelman-Método empírico, Carretera Cañete-Chupaca. Metodología de discriminación de datos. Manrique Sánchez, Joel Santiago.

**Cuadro A2.02.** Matriz de sectores homogéneos. Fecha de evaluación: 27/11/2010.

Sector	Sector i1	Sector i2	Sector i3	Sector i4	Sector i5
Sector i1					
Sector i2					
Sector i3					
Sector i4					
Sector i5					

Fuente: Evaluación del pavimento con Viga Benkelman-Método empírico, Carretera Cañete-Chupaca. Metodología de discriminación de datos. Manrique Sánchez, Joel Santiago.

Los cuadros resaltados, representan sectores homogéneos. Se identificó como únicos sectores homogéneos al Sector i1 y Sector i2

**ANEXO 3**

**Cuadro A3.01. Análisis de gastos generales**

<b>CÁLCULO DE GASTOS GENERALES</b>					
<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>Unidad</b>	<b>N° Participación</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio</b>	<b>Total</b>
<b>1-GASTOS GENERALES FIJOS</b>					
<b>1.1 Ensayos de subrasante</b>					
Proctor modificado	Und.	1	2	65	130.00
Ensayos de compactación	Und.	1	10	35	350.00
<b>1.2 Ensayos de afirmado</b>					
Límites de consistencia	Und.	1	2	40	80.00
Equivalente de arena	Und.	1	2	100	200.00
Abrasión	Und.	1	2	100	200.00
Granulometría	Und.	1	2	50	100.00
Proctor modificado	Und.	1	10	75	750.00
<b>1.3 Ensayos de mezclas asfálticas</b>					
Ensayos asfálticos en frío	Und.	1	1	2000	2000.00
Ensayos asfálticos en caliente	Und.	1	1	2000	2000.00
<b>1.4 Varios</b>					
Útiles de escritorio	Und.	1	1	400	400.00
Fotografías	Und.	1	1	450	450.00
Fotocopias	Und.	1	1	300	300.00
Ploteo de planos	Gbl.	1	1	550	550.00
Viga Benkelman	Gbl.	1	1	1500	1500.00
<b>TOTAL GASTOS GENERALES FIJOS</b>					<b>S/. 9,410.00</b>
<b>2-GASTOS GENERALES VARIABLES (12 Meses)</b>					
<b>2.1 Sueldos</b>					
Ing. Residente	Meses	1	5	8000	80000
Ing. Pavimentos	Meses	1	5	8000	80000
Asistente de Ing. Residente	Meses	11	6	4000	48000
Maestro de obra	Meses	1	12	3000	60000
Almacenero	Meses	1	12	1800	43200
Guardián	Meses	2	12	1500	36000
Asistente administrativo	Meses	1	12	1800	43200
Secretaria	Meses	1	12	1600	38400
Alquiler de camioneta	Meses	1	12	12000	36000
Gastos de oficina	Meses	1	12	900	21600
<b>TOTAL GASTOS GENERALES VARIABLES</b>					<b>S/. 393,200.00</b>
<b>TOTAL DE GASTOS GENERALES</b>					<b>S/. 402,610.00</b>

Fuente: Evaluación del pavimento con Viga Benkelman-Método empírico, Carretera Cañete-Chupaca. Especificaciones y costos de mantenimiento. Ancajima Márquez, Cristhian Jair.