

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



**EVALUACIÓN DEL PAVIMENTO CON VIGA BENKELMAN  
MÉTODO EMPIRICO, CARRETERA CAÑETE – CHUPACA  
MODELO DE DETERIORO Y CONTRASTACIÓN EN CAMPO**

**INFORME DE SUFICIENCIA**

**Para optar el Título Profesional de:**

**INGENIERO CIVIL**

**GONZALO NUREÑA ZEGARRA**

**Lima- Perú**

**2011**

*A mis Padres, por su  
apoyo incondicional.*

## ÍNDICE

RESUMEN	3
LISTA DE TABLAS	4
LISTA DE GRAFICOS	4
LISTA DE FIGURAS	5
LISTA DE SIMBOLOS Y SIGLAS	5
INTRODUCCIÓN	6
<b>CAPITULO I: GENERALIDADES</b>	
1.1 ANTECEDENTES	7
1.2 UBICACIÓN DE LA CARRETERA	8
1.3 CARACTERISITICAS DE LA CARRETERA	8
1.4 TRAMO EN ESTUDIO	10
1.5 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	13
1.6 OBJETIVOS	14
<b>CAPITULO II: ESTADO DEL ARTE</b>	
2.1 ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS	15
2.2 MODELOS DE DETERIORO	19
<b>CAPITULO III: MARCO TEORICO</b>	
3.1 EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO	22
3.2 VIGA BENKELMAN	23
3.3 METODO EMPIRICO CONREVIAL	26
3.3.1 Procedimiento de medición y proceso de datos	26
3.3.2 Deflectometría Método Empírico	30
<b>CAPITULO IV: MODELO DE DETERIORO Y CONTRASTACIÓN EN CAMPO</b>	
4.1 GENERALIDADES	39
4.2 GESTION DEL MANTENIMIENTO DE LOS PAVIMENTOS	39
4.3 DESARROLLO DE MODELOS DE DETERIORO DE LOS PAVIMENTOS	39

4.4	TÉCNICAS PARA EL DESARROLLO DE LOS MODELOS	41
4.4.1	Extrapolación Lineal	41
4.4.2	Regresión	43
4.4.3	Distribución de probabilidad	43
4.4.4	Modelo de deterioro de pavimentos asfálticos (HDM)	45
4.5	CALIBRACIÓN DE LOS MODELOS DE DETERIORO	47

## **CAPITULO V: APLICACIÓN AL TRAMO Km 74+000 – Km 84+000**

5.1	RECOPIACIÓN DE DATOS	49
5.2	PROCESAMIENTO DE DATOS Y ANALISIS DE RESULTADOS	51

	CONCLUSIONES	64
--	--------------	----

	RECOMENDACIONES	66
--	-----------------	----

	BIBLIOGRAFIA	67
--	--------------	----

## **ANEXOS**

ANEXO 1: Manual del software DETOUR.

ANEXO 2: Ejemplo de Software DETOUR.

ANEXO 3: Estratigrafía del tramo en estudio

ANEXO 4: Plano de ubicación

ANEXO 5: Panel fotográfico.

## RESUMEN

El presente Informe de Suficiencia muestra un modelo de deterioro de la Carretera Cañete – Chupaca del Km. 74+000 al Km. 84+000, distrito de Catahuasi, provincia de Yauyos, departamento de Lima.

El modelo de deterioro proporcionara un periodo estimado para poder desarrollar una política de conservación adecuada.

La información tomada para el desarrollo del modelo de deterioro presentado en este informe requirió de las deflexiones características del 2009, así como las deflexiones admisibles del 2010 al 2014, ambas informaciones proporcionados por la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Ingeniería, y por los datos recogidos de la vista a campo desarrollada en noviembre del año 2010.

El modelo de deterioro propuesto en el presente informe plantea una regresión lineal como curva de deterioro, al ser la curva que mejor se ajusta al comportamiento presentado por estas dos mediciones realizadas en el tramo de carretera en estudio los años 2009 y 2010 y a la extrapolación a la que se indujo a dicha curva, teniendo en consideración adicional las deflexiones admisibles. Adicionalmente se presenta los periodos de conservación estimados para el tramo en estudio. Es importante acotar que la carretera podría presentar otro tipo de comportamiento dependiendo de la cantidad de datos históricos que se tengan.

Actualmente las condiciones de transitabilidad en el tramo mencionado son aceptables, sin embargo este requerirá de un mantenimiento el cual deba de ser periódico y rutinario constituyendo así un conjunto de actividades oportunas y adecuadas para evitar mayores deterioros en la superficie de la carretera de bajo volumen de transito.

## LISTA DE TABLAS

TABLA N°3.1	Factores de corrección por estación climatológica	32
TABLA N°3.2	Deflexiones características	36
TABLA N°3.3	Juicio de la capacidad estructural del pavimento	38
TABLA N°5.1	Deflexiones características obtenidas en el año 2009	50
TABLA N°5.2	Deflexiones características obtenidas en el año 2010	51
TABLA N°5.3	Deflexiones admisibles	51
TABLA N°5.4	Deflexiones características – Sector homogéneo 1	52
TABLA N°5.5	Método de mínimos cuadrados – Sector Homogéneo 1	52
TABLA N°5.6	Diferencia de deflexiones por año de servicio – Sector Homogéneo 1	54
TABLA N°5.7	Deflexiones características – Sector homogéneo 2	55
TABLA N°5.8	Método de mínimos cuadrados – Sector Homogéneo 2	55
TABLA N°5.9	Diferencia de deflexiones por año de servicio – Sector Homogéneo 2	56
TABLA N°5.10	Deflexiones características – Sector homogéneo 3	57
TABLA N°5.11	Método de mínimos cuadrados – Sector Homogéneo 3	58
TABLA N°5.12	Diferencia de deflexiones por año de servicio – Sector Homogéneo 3	59
TABLA N°5.13	Deflexiones características – Sector homogéneo 4	60
TABLA N°5.14	Método de mínimos cuadrados – Sector Homogéneo 4	60
TABLA N°5.15	Diferencia de deflexiones por año de servicio – Sector Homogéneo 4	61
TABLA N°5.16	Periodos de conservación	63
TABLA N°5.17	Confiabilidad de la curva de deterioro	63

## LISTA DE GRAFICOS

GRAFICO N°5.1	Deflectograma correspondiente al año 2009	49
GRAFICO N°5.2	Deflectograma correspondiente al año 2010	50
GRAFICO N°5.3	Grafico de la de la vida remanente – Sector Homogéneo 1	53
GRAFICO N°5.4	Grafico de la Curva de Deterioro – Sector Homogéneo 1	54
GRAFICO N°5.5	Grafico de la de la vida remanente – Sector Homogéneo 2	56
GRAFICO N°5.6	Grafico de la Curva de Deterioro – Sector Homogéneo 2	57
GRAFICO N°5.7	Grafico de la de la vida remanente – Sector Homogéneo 3	58

GRAFICO N°5.8	Grafico de la Curva de Deterioro – Sector Homogéneo 3	59
GRAFICO N°5.9	Grafico de la de la vida remanente – Sector Homogéneo 4	61
GRAFICO N°5.10	Grafico de la Curva de Deterioro – Sector Homogéneo 4	62

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA N°1.1	Ubicación de la carretera	8
FIGURA N°2.1	Empleo de la viga Benkelman	15
FIGURA N°2.2	Equipo Dynaflec	16
FIGURA N°2.3	Equipo Road Rater	17
FIGURA N°2.4	Equipo DRR	17
FIGURA N°2.5	Equipo Falling- Weight deflectometer	18
FIGURA N°2.6	Equipo KUAB - FWD	19
FIGURA N°3.1	Esquema y principio de operación de la Viga Benkelman	26
FIGURA N°3.2	Posición inicial del ensayo, dial marcando en cero	29
FIGURA N°3.3	Procedimiento de mediciones deflectométricas	29
FIGURA N°4.1	Procedimiento para la creación de un modelo de deterioro	41
FIGURA N°4.2	Extrapolación lineal	42

## LISTA DE SÍMBOLOS Y SIGLAS

AASHTO	Asociación Americana de Agencias Oficiales de Carreteras y Transportes.
AASHO	American of State Highway Officials
MDOT	Mississippi Department of Transportation.
CBR	Relación de Soporte de California.
CONREVIAl	Consorcio de Rehabilitación Vial
FWD	Falling- Weight deflectometer
HDM	Highway Design and Maintenance Standards Model.
MTC	Ministerio de Transporte y Comunicaciones.
m <sup>2</sup>	Metro Cuadrado.
m <sup>3</sup>	Metro Cúbico.
RDD	Deflectómetro dinámico de balanceo.
SGP	Sistemas de gestión de pavimentos
TRRL	Trasportation and Road Reserch Laboratory.

## INTRODUCCIÓN

Como parte del Curso de Titulación 2010- II en la especialidad de Transporte, se ha desarrollado el proyecto “Evaluación del pavimento con Viga Benkelman método empírico, carretera Cañete- Chupaca, Modelo de Deterioro y Contrastación en campo”, que forma parte del corredor Vial N° 13 del programa de infraestructura vial Proyecto Perú de Provias Nacional.

El primer capítulo brinda información a modo de resumen las generalidades de la carretera, la ubicación y los objetivos propuestos para el presente informe.

El segundo capítulo es el estado de arte, el cual contiene las distintas herramientas teóricas y/o prácticas en las que se puede evaluar la carretera.

El tercer capítulo contiene el marco teórico el cual ilustra los procedimientos a seguir de la viga Benkelman y el empleo del método CONREVIAl.

En el cuarto capítulo se enfoca en los modelos de deterioro y sus distintas técnicas empleadas para ser desarrolladas.

El quinto capítulo es el análisis de los datos recogidos y la evaluación de los resultados lo cual se resume en periodo de mantenimiento.

En la sección de anexos se ha registrado información de referencia, planos de ubicación, resultados de deflexiones características, gráficos de curvas de deterioro y pronósticos de plan de mantenimiento.



## **CAPITULO I: GENERALIDADES**

### **1.1 ANTECEDENTES**

Actualmente el Ministerio de Transportes y Comunicaciones, mediante el proyecto Perú viene desarrollando la rehabilitación y mantenimiento de las carreteras de bajo volumen de tránsito mediante contratos de mantenimiento por un período de 5 años.

Las carreteras beneficiadas con este programa son aquéllas que no presentan un alto tránsito vehicular, este es el caso de la presente carretera a evaluar.

En la actualidad la carretera en estudio pertenece a la carta N° PE-24 de la Red Vial Nacional según la clasificación de ruta aprobada mediante DS N° 017-2007-MTC y forma parte del corredor Vial N° 13 del programa de infraestructura vial Proyecto Perú de Provias Nacional.

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 el servicio de conservación vial por niveles de servicio de carretera Cañete- Lunahuana- Pacarán- Chupaca y la Rehabilitación del tramo Zuñiga- Dv. Yauyos- Rochas.

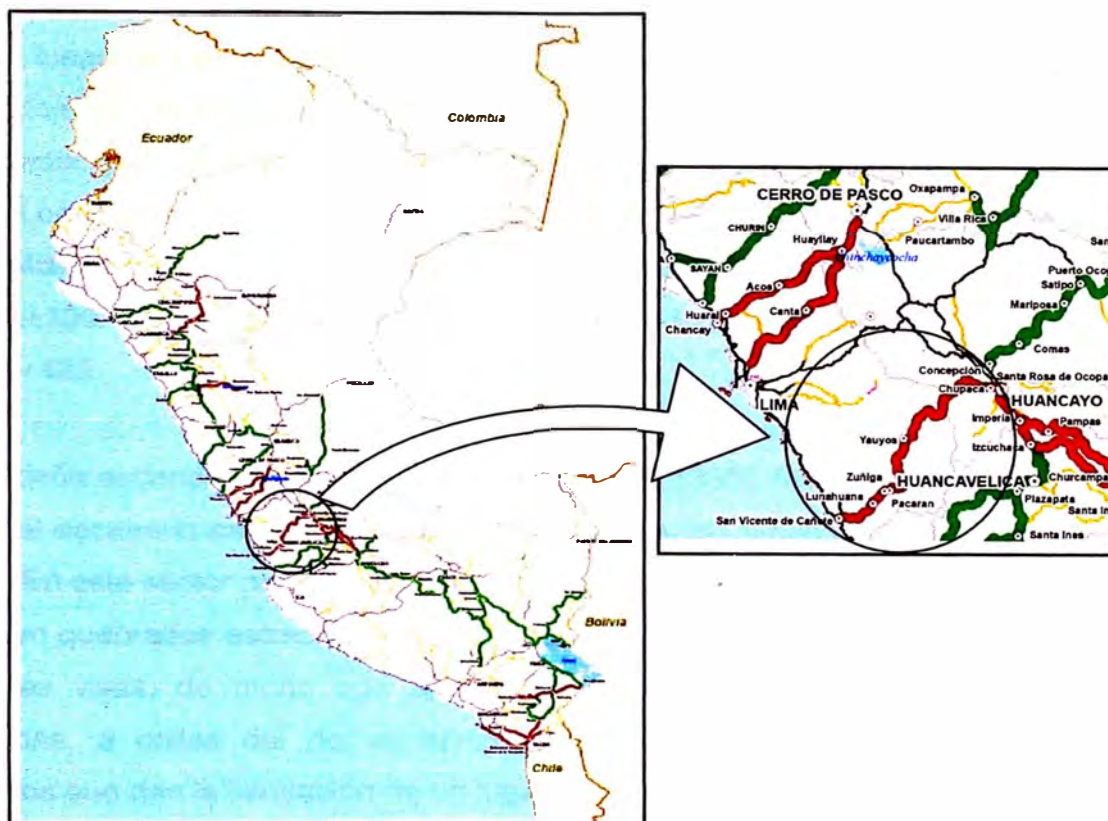
En este contexto la Universidad Nacional de Ingeniería firma un convenio de monitoreo de las labores de conservación en la carretera mencionada.

Como parte del cambio de estándar de la carretera a inicios del 2010 se ha colocado una capa de material granular y un recubrimiento superficial Slurry Seal, con el cual se espera una vida útil del pavimento de 2 años como mínimo. Sin embargo todo esto depende del crecimiento del tránsito, de la calidad de los materiales, del proceso constructivo, de las variaciones climáticas, entre otros factores que pueden disminuir considerablemente el período de duración estimado.

## 1.2 UBICACIÓN DE LA CARRETERA

La carretera pertenece al corredor vial N° 13 Cañete- Lunahuaná- Chupaca- Huancayo, forma parte de la ruta Nacional N° 22, con una longitud total de 281.73 Km, a la cual se le brinda el servicio de conservación vial.

**Figura 1.1: Ubicación de la carretera**



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

## 1.3 CARACTERÍSTICAS DE LA CARRETERA

### 1.3.1 Descripción de la carretera

El valle de Cañete es estrecho y de forma triangular, siendo más amplia en el límite con la región Chala o Costa y el vértice por el lugar donde ingresa generalmente uno de los afluentes principales del río; en este sector se encuentran terrazas que son empleadas para el cultivo. Continúa “la quebrada” que se forma a manera de una estrecha garganta cuanto más se aproxima a los contrafuertes andinos. Todas las superficies de los cerros son pétreas,

rocallosas, resacas y completamente desprovistas de condiciones naturales para la agricultura, por falta de agua. Esta área corresponde a la región Yunga (500 msnm – 2300 msnm). Las localidades que se encuentran con esta configuración son: Zúñiga (821 msnm) en el km 56+600, Catahuasi (1206 msnm) en el km 77+000, Capillucas (1581 msnm) en el km 94+640, Calachota (1740 msnm) en el km 105+040, y Dv. Yauyos o Magdalena (2289 msnm) en el km 127+000).

Continúa la vía por la región Quechua (2300 msnm – 3500 msnm), donde por lo general luego de una estrecha garganta o pongo, se abre una nueva quebrada cuyos fondos planos son relativamente estrechos y son inmediatamente continuados por las faldas de los cerros de suave declive, interrumpidas por lomas. Localidades ubicadas en esta región son: Tinco Huantan (2640 msnm) en el km 140+360, Llapay (2950 msnm) en el km 154+300, y Alis (3261 msnm) en el km 163+100. Al otro lado de la cordillera se ubica Ronchas (3358 msnm) en el km 255+185.

Se continúa ascendiendo llegando a la región Suni (3500 msnm a 4000 msnm), donde el escenario cambia a bruscas ascensiones de acantilados, peñoleras y cerros. En este sector normalmente no se encuentran valles, mas por el contrario se tienen quebradas estrechas que abren cañones muy profundos, erosionando las rocas vivas, de modo que al recorrer esta región por el fondo de las quebradas, a orillas del río, el horizonte perceptible se cierra en circuitos pequeños que dan la sensación de un lugar amurallado.

La localidad llamada Tomas (km 171+090) está ubicada en esta región. Se encuentra a 3566 msnm. Al otro lado de la cordillera se ubican: San José de Quero (3908 msnm) en el km 229+300, Chaquicocha (3650 msnm) en el km 239+600, y Collpa (3508 msnm) en el km 246+200.

La carretera atraviesa también la región Puna, que comprende alturas entre los 4000 msnm y 4800 msnm. Esta región aparece a ambos lados del declive andino, separando cumbres nevadas entre si, reuniendo las cumbres, de menos de 4800 metros para formar nudos y mesetas, y hendiendo las cordilleras para dar paso a las otras. Se considera a la Puna como una gran llanura elevada o altiplano; sin embargo esta región ofrece muy variados relieves en relación con su ubicación. En esa región ubicamos localidades o lugares como: Tinco

Yauricocha (4040 msnm) en el km 181+680, Abra Chauca (4751 msnm) en el km 193+510, Abra Negro Bueno (4666 msnm) en el km 211+320.

## **1.4 TRAMO EN ESTUDIO**

El tramo de la carretera en estudio se encuentra ubicado entre las localidades de Catahuasi y Capillucas entre los kilómetros 74+000 al 84+000.

### **1.4.1 Clima**

#### **a) Temperatura**

El área comprometida en el proyecto tomo como referencia la clasificación del Dr. Javier Pulgar Vidal (expuesta en su tesis "Geografía del Perú").

Según esta clasificación el tramo en estudio se encuentra dentro de la región Yunga marítima, siendo sus principales características la presencia de sol durante casi todo el año, una temperatura fluctuante entre 20 y 27°C durante el día y las noches son frescas, a causa de los vientos que bajan de las regiones más altas.

#### **b) Precipitación**

La precipitación promedio anual existente en este tramo de carretera es escasa variando de 10mm en Cañete a 29mm en Catahuasi.

### **1.4.2 Geomorfología**

El relieve en el tramo carretero estudiado pertenece a la zona bioclimática del Matorral desértico.

Zona del Matorral desértico (cuenca baja): Los sectores más llanos corresponden a la llanura aluvial reciente del río Cañete, donde las acumulaciones aluviales modernas han cubierto prácticamente todas las irregularidades topográficas salvo algunas lomadas y colinas que aparecen sobre el llano a modo de "montes relictos". En forma más localizada, algunos

sectores de llanura interior, alejados del curso fluvial, tienen también muy poca pendiente, debido en parte a la actividad eólica y aluvial de los últimos milenios que contribuyó a rellenar las depresiones regularizando las superficies.

Pero de manera dominante, las llanuras interiores tienen numerosos accidentes topográficos, como disecciones, ondulaciones, exposiciones del substrato rocoso y dunas, que se deben a las acciones eólicas y eventuales lluvias en los últimos miles de años.

Los relieves de colinas y montañas que enmarcan las llanuras costeras, son el resultado de la orogenia y elevación plio pleistocénica de los Andes, a consecuencia de la cual, se encajonaron los cursos de agua dando lugar a la configuración de la configuración montañosa actual de la cordillera andina, especialmente en la sierra y selva alta.

En la costa, las colinas y montañas corresponden de manera general a las estribaciones occidentales finales de la Cordillera Occidental, y conjuntamente con las planicies, conforman los grandes conjuntos morfológicos fisiográficos de la costa.

### **1.4.3 Geología**

De acuerdo a la información obtenida del ONERN1 se puede indicar que la composición frecuentemente observada son las rocas ígneas intrusivas las que constituyen el batolito andino de la Costa que aflora desde la localidad de Trujillo en el Norte de forma ininterrumpida, hasta las cercanías de la quebrada de Pescadores, Arequipa, en el sur del país.

En la cuenca alta del río Cañete se observan además capas de lutitas carbonosas con areniscas de grano fino, estratos de calizas margosas, sill tipo basáltico, calizas masivas dispuestas en bancos potentes, calizas silíceas en gruesos estratos, así como pseudo brechas calcáreas. Este conjunto pétreo es de gran importancia, ya que en las calizas de este grupo está localizada la mejor mineralización de la zona, como la evidencian las minas existentes en la cuenca alta, en la que las laderas presentan considerables superficies en las que

predominan las exposiciones del substrato rocoso, que se alternan con taludes coluviales periglaciares y depósitos morrénicos solifluidos.

#### **1.4.4 Flora**

La determinación de la flora en el tramo de la carretera, se basó en observaciones de campo, información proporcionada por los pobladores locales y revisión de otros estudios realizados en la zona. Como resultado se obtuvo la siguiente información:

Vegetación en ambientes terrestres se tienen 12 especies identificadas en la zona de vida estepa-Montano Tropical; 16 especies en bosque húmedo-montano tropical; 9 especies en páramo muy húmedo – Subalpino Tropical; y algunas especies hemocriptofíticas entremezcladas con algunas gramíneas del género *Stipa* en Tundra pluvial-Alpino Tropical.

#### **1.4.5 Fauna**

En cuanto a especies de aves ligadas a ambientes acuáticos, se registran 26 especies y 46 especies de aves ligadas a ambientes terrestres, lo cual indica la importancia de estos ecosistemas como zona de tránsito y hábitat para las aves. También se refiere un número de 17 especies de mamíferos identificados en el área de estudio.

#### **1.4.6 Hidrología e Hidrografía**

El tramo de carretera va a interceptar en su recorrido los cursos de agua de los ríos Cañete y Mantaro que pertenecen a la vertiente del Pacífico y del Atlántico respectivamente. Estos ríos tienen características diferentes en lo que respecta a volumen de sus aguas, régimen y pendientes de sus lechos.

- **Hidrología de la cuenca del río Cañete**

La cuenca del río Cañete tiene una extensión aproximada de 6,192 Km<sup>2</sup>, nace en la laguna Ticllacocha, ubicada al pie de las cordilleras de Ticlla y Pichahuarco. La longitud del río Cañete es de aproximadamente 220 Km., con una pendiente

promedio de 2%. Presente un régimen irregular y de carácter torrencioso, con marcadas diferencias entre sus parámetros extremos, así la descarga máxima ha sido de 689 m<sup>3</sup>/seg y la mínima de 5.63 m<sup>3</sup>/seg, con una media anual de 54 m<sup>3</sup>/seg, equivalente a un volumen de 1'708,778 m<sup>3</sup>.

- **Cuenca media del río Cañete**

La cuenca se encuentra conformada por suelos un tanto profundos de textura media, generalmente de naturaleza calcárea. Los Litosoles dominan las superficies muy empinadas y de escasa cubierta edáfica.

La actividad agrícola se desarrolla medianamente al fondo del valle, en áreas conformadas por terrazas aluviales y pequeñas zonas de cultivo. Los cultivos que se producen son: Frutales (manzanos, palta, mango, lima dulce y tomate), Tubérculos (vainita, frijol nemer y en las partes más altas maíz, alfalfa, papas, habas y arvejas).

## **1.5 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

Se requiere de un modelo de deterioro para carreteras de bajo volumen de tránsito, debido a que no se cuenta con modelos convenientemente formulados para determinar el desempeño de este tipo de carreteras.

El modelo no solo debe considerar el espesor de las capas del pavimento sino también requiere de otros factores, tales como drenaje y volumen de tránsito, los que pueden hacer que el tiempo de vida estimado no se cumpla. Es por eso que es imprescindible evaluar constantemente las condiciones del pavimento, durante su período de diseño, para que de esta manera se pueda detectar cualquier variación importante y plantear la solución que pueda mantener y prolongar la vida útil de la carretera.

## **1.6 OBJETIVOS**

### **Objetivo General**

Presentar un modelo de deterioro que permita determinar la vida útil de la carretera, teniendo en consideración las sollicitaciones a la que se encuentra sometido.

### **Objetivos Específicos**

- Identificar mediante los datos deflectométricos de campo (obtenidos con la viga Benkelman) el estado actual de la estructura del pavimento identificando las zonas que han sufrido un mayor deterioro.
- Con datos deflectométricos iniciales, contrastar que tiempo de vida útil presentará la vía para su conservación.
- Plantear un modelo de deterioro que represente de la mejor manera posible el comportamiento del pavimento durante su tiempo de vida útil.



## CAPITULO II: ESTADO DEL ARTE

### 2.1 ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS

Son aquellos que se realizan, sin la necesidad de realizar calicatas o perforaciones en la vía, mediante el uso de equipos especializados en medir deformaciones del terreno a través de las aplicaciones de cargas estáticas y/o dinámicas.

#### 2.1.1 Viga Benkelman

Es un instrumento manual que consta de 02 brazos, uno que va en contacto con el terreno y el otro que sirve de pivote donde se realizan las mediciones producidas por una carga estática normalizada. Este equipo se verá con más detalle en el capítulo III.

**Figura 2.1 Empleo de la viga Benkelman**



*Fuente: Tesis de Maestría, Modelación Geotécnica de Pavimento Flexible con Fines de Análisis y Diseño en el Perú, Ing. Wilfredo Gutierrez, 2007)*

### 2.2.2 Dynaflec

Es un sistema acoplado, montado y puede ser remolcado por un vehículo estándar. Cuenta con un peso estático de 2000 a 2100 libras (8.9 KN a 9.3 KN) 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.

**Figura 2.2 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)

### 2.2.3 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.

**Figura 2.3 Equipo Road Rater**

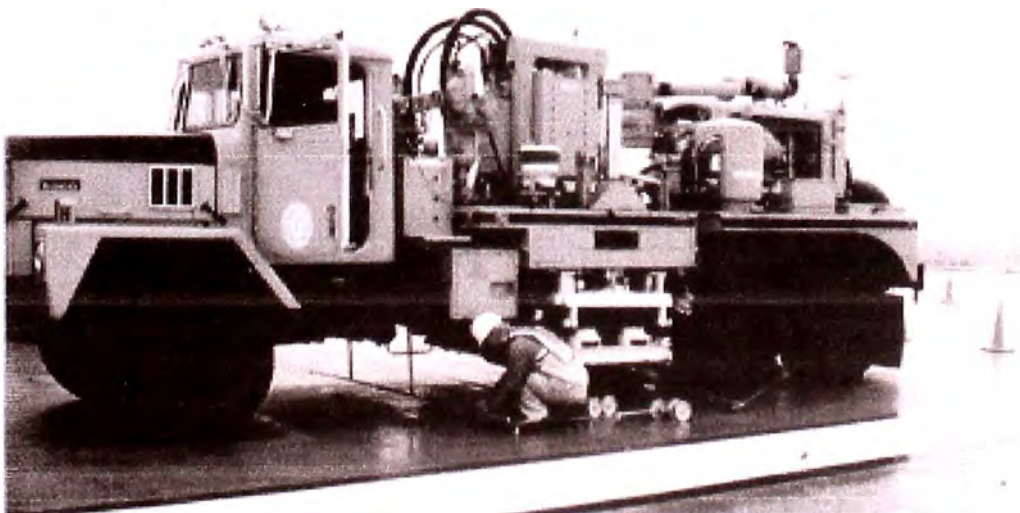


Fuente: [http://training.ce.washington.edu/WSDOT/Modules/09\\_pavement\\_evaluation/09-5\\_body.htm](http://training.ce.washington.edu/WSDOT/Modules/09_pavement_evaluation/09-5_body.htm), 2009)

#### 2.2.4 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.

**Figura 2.4 Equipo DRR**



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

### 2.2.5 FWD (Falling- Weight deflectometer)

El falling- weight deflectometer, empleado frecuentemente en Estados Unidos, es el sistema Dynatest modelo 8000. La fuerza de impulso es creada soltando un peso sobre una placa que va apoyada en el pavimento. Este instrumento permite medir las deflexiones del pavimento producidas por una carga senosoidal que impacta sobre una placa de carga, esta ultima posee 07 transductores de medida.

**Figura 2.5 Equipo Falling- Weight deflectometer**



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)

### 2.2.6 KUAB - FWD

La fuerza de impulse 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.

**Figura 2.6 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 MODELOS DE DETERIORO

Los modelos de deterioro existentes y que a continuación se presentan corresponden a la revisión que realizó *K.P. George* como parte del estudio denominado *MDOT Pavement Management System: Prediction Models and feedback System* (Octubre 2000) conducido por el *Department of Civil Engineering The University of Mississippi* en colaboración con el *Mississippi Department of Transportation* y el *U.S. Department of Transportation Federal Highway Administration*.

### **2.2.1 Modelo desarrollado por el Brazil-UNDP Road Cost Study (GEIPOT, 1976 – 1982)**

Este modelo predice el número de ejes equivalentes de 18Kip para el inicio de grietas de 1mm de ancho.

El estudio de Brasil fue extendido y combinado posteriormente con otros estudios para desarrollar el modelo del HDM-III auspiciado por el Banco Mundial.

### **2.2.2 Modelo desarrollado por el estudio RTIM2**

Desarrollado a partir del Transportation and Road Reserch Laboratory (TRRL) Road Costs Study en Kenya, combina el inicio y la progresión del agrietamiento en una relación expresada en términos de agrietamiento y parchado.

### **2.2.3 Modelo desarrollado por el Texas Flexible Pavement Design System**

Este modelo utiliza una curva sigmoideal y es una modificación de la función damage definido por la *Test Road AASHO (American of State Highway Officials)*. La forma sigmoideal o forma S espera representar el comportamiento del pavimento a largo plazo.

### **2.2.4 Modelo desarrollado por el HDM**

El modelo de estándares de conservación y diseño de carreteras Highway Design and Maintenance Standards Model (HDM), desarrollado por el Banco Mundial, es un Software que se viene usando desde los años 90's, para combinar la evaluación técnica y económica de proyectos, preparar programas de inversión y analizar estrategias de redes de carreteras.

El ámbito de HDM se ha ampliado considerablemente, superando las evaluaciones tradicionales de los proyectos, para proporcionar un potente sistema para el análisis de la gestión de carreteras y de las alternativas de inversión.

### **2.2.5 Modelo DETOUR**

El Banco Mundial ha desarrollado un modelo orientado a carretas sin pavimentar llamado DETOUR. Este software es proporcionado de manera gratuita por el banco Mundial y fue desarrollado en MS-Excel, en él se implementan las relaciones de deterioro vial de las carreteras no pavimentadas del Diseño y Mantenimiento de Carreteras Normas Modelo (HDM-III), que son los mismos que el contenido en el Desarrollo de Carreteras y Modelo de Gestión (HDM- 4).

## **CAPITULO III: MARCO TEÓRICO**

### **3.1 EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO**

#### **3.1.1 DESCRIPCIÓN**

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

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

#### **3.1.2 EVALUACIÓN CON ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS**

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

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

Siendo la deflexión una medida de la respuesta estructural del conjunto pavimento-subrasante frente a una determinada solicitud 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.

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

## **3.2 VIGA BENKELMAN**

### **3.2.1 Concepto de la Viga Benkelman**

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

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

Las deflexiones de un pavimento flexible bajo una carga estática puede ser determinada por la "Viga Benkelman", llamado así en honor al Ing. A.C Benkelman, quien desarrollo dicho instrumento en 1955, como parte del programa de ensayos viales de la AASTHO. Desde entonces en su uso se ha venido difundiendo ampliamente en proyectos de evaluación estructural de pavimentos flexibles, tanto por su practicidad como por la naturaleza directa y objetiva de los resultados que proporciona.

### 3.2.2 Ventajas y desventajas de la Viga Benkelman

#### Ventajas:

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

#### Desventajas:

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

### 3.2.3 Descripción del Equipo

El deflectómetro denominado como Viga Benkelman funciona según el principio de la palanca. Es un instrumento completamente mecánico y de diseño simple. La unidad está diseñada para una máxima comodidad de uso y precisión. Esta construida en aluminio de peso ligero y su diseño es de tipo telescópico con el fin de ahorrar espacio y reducir su peso. El cuadrante indicador de lectura directa elimina la necesidad de tener que efectuar conversiones o cálculos y el sistema de vibración asegura medidas exactas del pavimento.

### 3.2.4 Principio de Operación de la Viga Benkelman

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

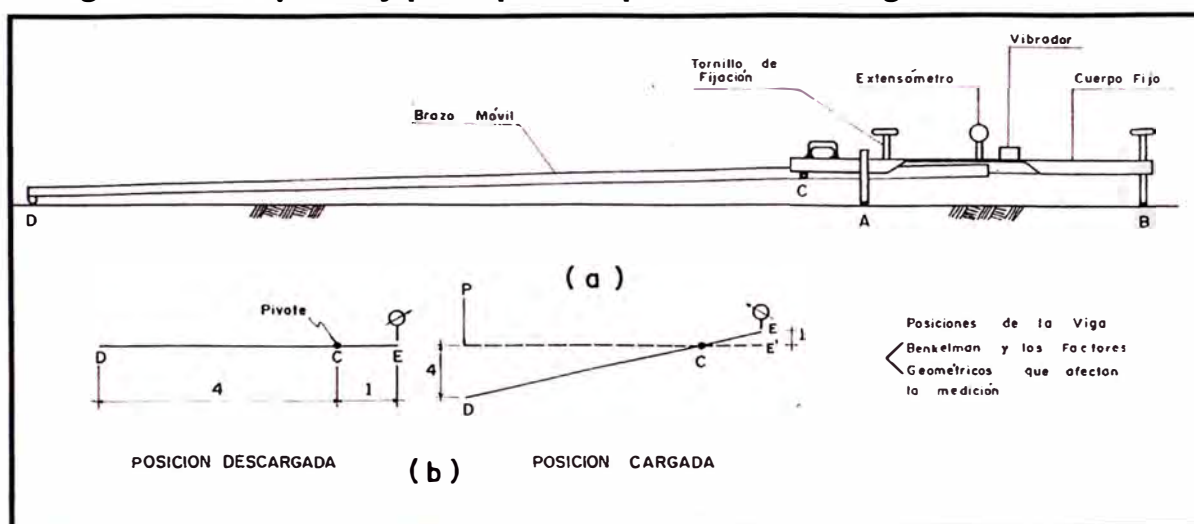
Como se puede ver en la figura 3.01 "Esquema y principio de operación de la Viga Benkelman", la viga consta de dos partes: (1) un cuerpo de sostén que se sitúa directamente sobre el terreno mediante 3 apoyos (dos delanteros fijos "A" y uno posterior regulable "B" y (2) un brazo móvil acoplado al cuerpo fijo mediante una articulación de giro en pivote "C", uno de cuyos extremos apoya sobre el terreno (Punto D), y el otro se encuentra en contacto sensible con el vástago de un extensómetro de movimiento vertical (Punto E). El equipo posee adicionalmente un vibrador incorporado que al ser accionado, durante la realización de los ensayos, evita que el indicador del dial se trabe y/o de cualquier interferencia exterior afecte las lecturas.

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

El peso aplicado produce una deformación del pavimento, consecuencia de lo cual la punta baja a una cierta cantidad, con respecto al cuerpo AB, determinando que el extremo "E" produzca un movimiento vertical en el vástago del extensómetro apoyado en el, generando así una lectura en el dial indicador. Si se retiran luego las llantas cargadas, el punto D se recupera en lo que la deformación elástica se refiere y por el mismo mecanismo anterior se genera otra lectura en el dial extensómetro (durante el movimiento del camión cargado se puede tomar más de un dato en el dial indicador). La operación expuesta

presenta el "Principio de medición" con la Viga Benkelman. Lo que se hace después son los cálculos tomados del dial indicador. Así con las dos o más lecturas obtenidas es posible determinar cuánto se deflectó el pavimento en el lugar subyacente al punto D de la viga, durante el procedimiento descrito. Es de anotar que en realidad lo que se mide es la recuperación de punto D al remover la carga (rebote elástico) y no la deformación al colocar esta. Para calcular la deflexión deberá considerarse la geometría de la viga, toda vez que los valores dados por el extensómetro (EE') no están en escala real si no que depende de la relación de brazos existentes.

**Figura 3.1: Esquema y principio de operación de la Viga Benkelman**



Fuente: Tesis de Maestría, *Modelación Geotécnica de Pavimento Flexible con Fines de Análisis y Diseño en el Perú*, Ing. Wilfredo Gutierrez, 2007).

### 3.3 METODO EMPIRICO CONREVIAL

#### 3.3.1 Procedimiento de medición y proceso de datos

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

#### EQUIPO

- Deflectómetro Viga Benkelman.

- Camión cargado con 18000 libras (8.2 ton) igualmente distribuidos en un par de llantas duales del eje de la parte posterior. La distancia de separación entre las dos llantas duales mencionadas debe ser como mínimo de 50 mm (2 pulg.). La presión de las llantas recomendadas es de 80 psi. El uso de llantas con cámaras y cocadas es recomendado.
- Medidor de presión de llantas.
- Termómetro digital para medir la temperatura del pavimento.
- Un clavo de 4" acerado para ejecutar los orificios en el pavimento.

#### PERSONAL A EMPLEAR:

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

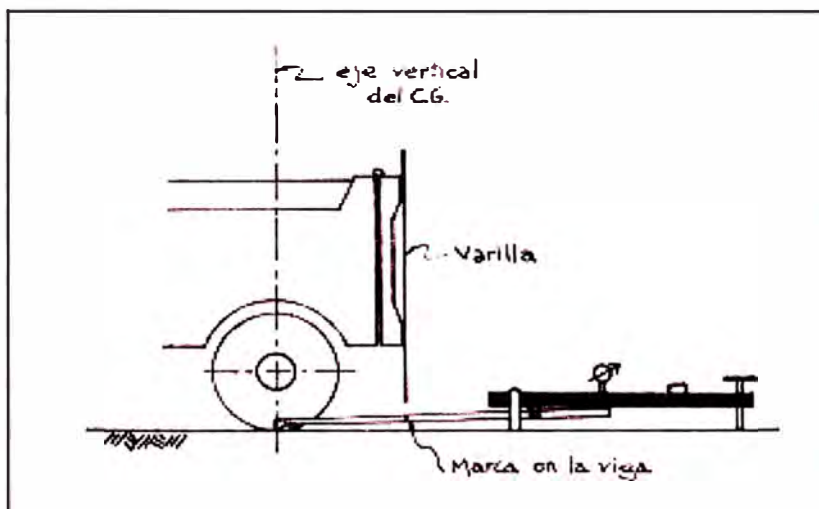
#### PROCEDIMIENTO:

- El punto seleccionado donde se efectuara la medición es ubicado en la vía, para el caso de este estudio es ubicado en las progresivas cada 200 mts y marcado en el pavimento.

- Los puntos deben ser ubicados a 0.6 m del borde del pavimento, si el ancho del carril es menor que 3.35 m, y 0.9 m si el ancho del carril es mayor a 3.35 m. La determinación del punto también se puede precisar con el ahuellamiento en la vía en donde se ve más pronunciada.
- La rueda dual externa del camión deberá ser colocada sobre el punto seleccionado quedando este entre las dos ruedas. Una ubicación dentro de los 75 mm del punto es aceptable.
- Colocar la punta de prueba del primer brazo de la Viga Benkelman entre las ruedas duales y situarlo en los puntos seleccionados para el ensayo.
- Se retiran las trabas de la viga y la base se ajusta por medio del tornillo trasero de modo tal que los brazos de medición queden en contacto con los vástagos de los diales.
- Anotar la lectura inicial del dial. Generalmente giramos la esfera del flexímetro para obtener la posición cero.
- Realizar las marcaciones de las medidas en la palanca de la Viga Benkelman a 0.25, 0.50, 0.70 mts.
- Establecida la lectura inicial en cero, se hace avanzar suave y lentamente el camión hasta una distancia de 0.25, 0.5, 0.7 y 5 m o más del punto de inicio.
- Anotar las lecturas internas a 0.25, 0.5, 0.7 y la lectura final del dial a 4 a más metros de distancia del punto inicial o hasta que la lectura del dial sea constante.
- Medir la temperatura de la superficie del pavimento de la siguiente manera:
  - En un punto en no menos de 25 cm del borde del pavimento, realizar un pequeño orificio en el pavimento de 1 cm de profundidad.
  - Se coloca aceite al orificio se coloca el termómetro y se registrar la medida de la temperatura y al mismo tiempo registrar la temperatura ambiente.
- Revisar que la presión de las llantas del camión sea uniforme. Esta revisión será antes de utilizar la viga y tendrá 80 psi de presión en las llantas.
- Determinar el espesor del pavimento.
- Debe determinarse también los tipos y condición general de los materiales en el resto de la estructura del pavimento.

Como se puede apreciar en la figura 3.02 la posición inicial del camión y la ubicación de la Viga Benkelman, antes de dar inicio se verifica que los diales marquen cero.

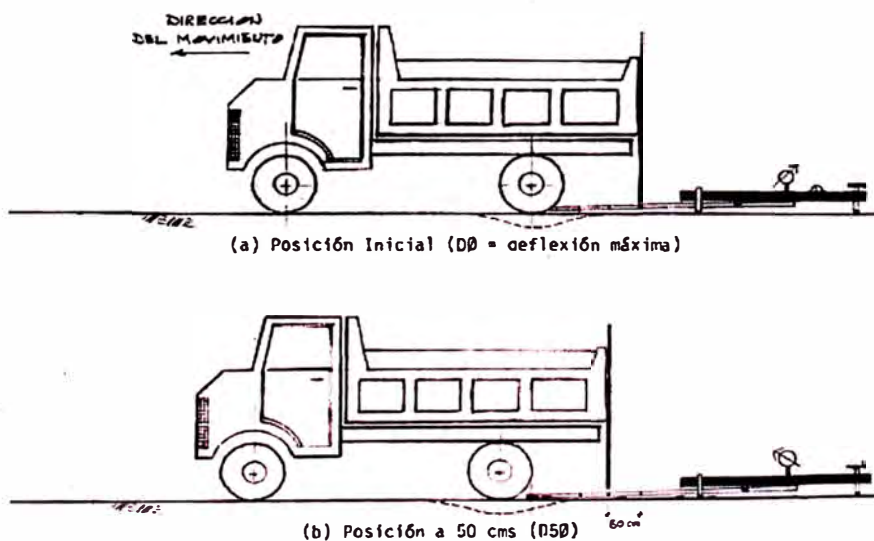
**Figura 3.2: Posición inicial del ensayo, dial marcando en cero.**

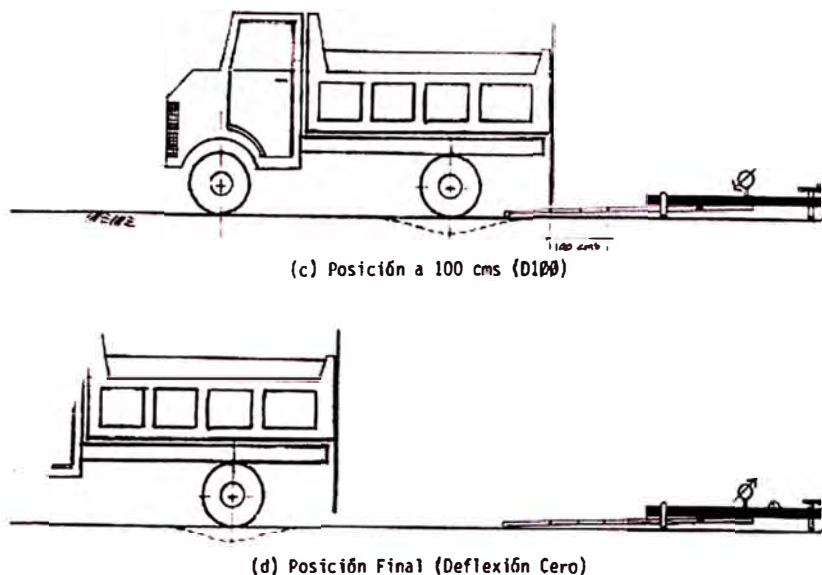


Fuente: Tesis de Maestría, Modelación Geotécnica de Pavimento Flexible con Fines de Análisis y Diseño en el Perú, Ing. Wilfredo Gutierrez, 2007).

En la figura 3.3 indica la secuencia del ensayo, poniendo al camión en movimiento lento y tomando las lecturas de los diales a las distancias de 0.25, 0.5 y 0.7mts del punto inicial.

**Figura 3.3: Procedimiento de mediciones deflectométricas.**





Fuente: Extraído del curso de caminos II, de la Universidad Nacional de la Plata.

### 3.3.2 Deflectometría Método Empírico (CONREVIAL)

Se basan en el valor de la deflexión máxima y el tipo de curvatura que adopta la superficie cargada, siendo sus resultados confiables a medida que exista una base de comparación en una gran gama de variedades de estructuras.

#### MEDICIÓN DE DEFLEXIONES CON LA VIGA BENKELMAN

El procedimiento para el cálculo de las deflexiones es simple. Para el caso de la deflexión máxima, se debe calcular la diferencia entre la lectura inicial y la lectura final. Para el caso de la deflexión a 25 cm, se debe encontrar la diferencia entre la lectura a 25 cm y la lectura final.

Para el ejemplo se tiene:

$$\text{Deflexión máxima} = (200 - 155) \times 2 = 90 \times 10^{-2} \text{ mm}$$

$$\text{Deflexión a 25cm} = (188 - 155) \times 2 = 66 \times 10^{-2} \text{ mm}$$

Las diferencias se multiplican por 2, debido a que la relación de brazos de la Viga Benkelman empleada es 1: 2.



## CORRECCIÓN DE LAS DEFLEXIONES POR EFECTO DE LA TEMPERATURA

Para medir la temperatura del pavimento se realiza un orificio (antes y durante el ensayo) y se llena con agua. Una vez pasado el tiempo necesario para que adquiera la temperatura del pavimento, se inserta el termómetro y se lee la temperatura.

Para un pavimento dado, la magnitud de las deflexiones aumenta con un incremento en la temperatura de la carpeta, atribuido a una menor rigidez de la mezcla. Para corregir la deflexión por efecto de la temperatura, se aplica la siguiente fórmula:

$$D_{20^{\circ}C} = \frac{D_t}{1 \times 10^{-3} \cdot (1 / cm^{\circ}C) \times h \times (t - 20^{\circ}C) + 1}$$

Donde:

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

$D_{20}$  = Deflexión recuperable, medida a la temperatura estándar (20 °C).

h = Espesor de la carpeta asfáltica en cm. medido en el borde del pavimento.

t = temperatura de la carpeta asfáltica al momento de ejecutarse el ensayo.

## CORRECCIÓN DE LAS DEFLEXIONES POR ESTACIONALIDAD

La capacidad de deformación de los suelos está influenciada por el grado de saturación que experimentan, por lo tanto, es deseable que la medición de deflexiones se realice durante la estación de lluvias, durante la cual los suelos se encuentran en la situación más crítica. De no ser así, se debe efectuar la corrección de las medidas a fin de tomar en cuenta dicho aspecto. Para fines prácticos se propone el uso de los siguientes factores de corrección, considerando el tipo de suelo de subrasante y la época en que se realizaron los ensayos.

**Tabla 3.1 Factores de corrección por estación climatológica**

Tipo de suelo de subrasante	Estación Lluviosa	Estación Seca
Arenosa- 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-CONREVAL.

### CALCULO DEL RADIO DE CURVATURA

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

El radio de curvatura queda definido por la siguiente relación, en la cual se considera que la línea de Deflexión se aproxima a una parábola hasta una distancia algo mayor de 25 cm del eje de carga, para sufrir luego una inflexión y tender asintóticamente hacia la horizontal, la curvatura de la parábola queda definida por su parámetro, que en la zona de máxima curvatura se confunde prácticamente con el radio del círculo osculador en dicho punto.

$$D_{20^{\circ}C} = \frac{10 \times 25^2}{2 \cdot (D_0 - D_{25})} = \frac{6250}{2 \cdot (D_0 - D_{25})}$$

Donde:

R = Radio de Curvatura en metros.

Do = Deflexión recuperable en el eje vertical de la carga, en centésimas de milímetros.

D<sub>25</sub> = Deflexión recuperable en el eje vertical de la carga, en centésimas de milímetros, a 25 del eje de carga.

10 = Coeficiente por cambio de unidades.

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

Se han efectuado un análisis estadístico por sectores de comportamiento homogéneo con la finalidad de determinar la Deflexión Característica, la Deflexión Admisible, la Deflexión Promedio y si requiere un aporte estructural o no.

#### a. Deflectograma

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

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

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

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

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

Con este propósito los resultados obtenidos se vuelcan en un Deflectograma donde se grafica los resultados obtenidos en campo, permitiendo una visión global del conjunto de datos obtenidos. El Deflectograma constituye un elemento fundamental para el análisis de la variabilidad de la capacidad estructural. En este sentido cabe destacar que el principal objetivo de la medición de deflexiones radica en poder diferenciar secciones de distinta capacidad estructural en un mismo tramo.

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

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

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

## ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LAS DEFLEXIONES

Los estudios de deflexiones recuperables han demostrado que las deflexiones medidas en una sección de pavimento, presentan una distribución de frecuencias que se asemejan a una distribución normal.

Por ende, a partir de las deflexiones individuales, asumiendo que se hallan distribuidas de acuerdo a la ley de Gauss se han determinado la deflexión media ( $\bar{D}$ ), el desvío cuadrático medio o desviación standard ( $\sigma$ ) y el coeficiente de variación (CV), usando las siguientes expresiones; donde n es el número de determinaciones:

$$\bar{D} = \frac{\sum_i^N D_i}{n}$$

Dado que la desviación estándar aumenta con un incremento de las deflexiones, y mayores deflexiones están asociadas a pavimentos más débiles, puede concluirse que estos son en general más variables, y que la deflexión de diseño, cuando se utiliza en algún método para el cálculo del refuerzo, debe basarse tanto en la deflexión media como en la dispersión.

#### DEFLEXIÓN CARACTERÍSTICA

Para diseño se emplea la deflexión característica, valor que representa mejor a una determinada sección; siguiendo el criterio adoptado normalmente en análisis estadístico, se puede establecer como deflexión característica el valor:

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

Donde:

$D_C$  = Deflexión Característica

$\bar{D}$  = Deflexión promedio de los valores individuales de  $D_0$  corregidos por temperatura y estacionalidad

t = Coeficiente que representa al porcentaje del área total con probabilidad de presentar deflexiones superiores a la deflexión característica  $D_C$

$\sigma$  = Desviación Estándar

Considerando que cada deflexión media representa una cierta extensión o área de pavimento, cada valor de "t" corresponderá a un porcentaje del área total con

probabilidad de presentar deflexiones superiores a las características  $D_c$  correspondiente.

En la tabla siguiente se indican los valores más frecuentes:

**Tabla 3.2: Deflexiones características**

VALOR DE DISEÑO (%)	DEFLEXIÓN CARACTERÍSTICA	EXTENSIÓN DEL PAVIMENTO CON $D > D_c$
50	$D$	50
75	$D + 0.674 \sigma$	25
85	$D + \sigma$	15
90	$D + 1.3 \sigma$	10
95	$D + 1.645 \sigma$	5
98	$D + 2 \sigma$	2
99	$D + 2.33 \sigma$	1
99.9	$D + 3 \sigma$	0.1

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

## DEFLEXIÓN ADMISIBLE

La deflexión admisible es un parámetro definido en función al tráfico de diseño, que establece un límite para la deflexión característica por encima del cual no se garantiza un comportamiento satisfactorio de la estructura durante el periodo considerado, se encuentra íntimamente relacionado al Número de Ejes Standard Equivalentes Acumulados de 8.2 Ton. La formula, ampliamente difundida por el CONREVIAl, es la que se muestra a continuación:

$$D_{admisible} = \left( \frac{1.15}{N} \right)^{0.25}$$

Donde:

$D_{admisible}$  = Deflexión admisible en mm.

$N$  = Número total de eje equivalente a 8.2 Ton. en millones.

La estimación de la vida remanente se establece a través de la expresión dada en donde la deflexión admisible es igual a la deflexión característica.

## GRAFICAS DEFLECTOMÉTRICAS

Resulta siendo la resultante de graficar las deflexiones máximas obtenidas en cada estación evaluada. La homogeneidad de la gráfica evaluada a partir de la amplitud alcanzada permite determinar sectores de comportamiento similar y de esta manera sectorizar el tramo.

## JUICIO DE LA CAPACIDAD ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO

Una vez finalizadas las distintas tareas de campo y procesamiento de datos de campo, descritos en los ítems anteriores, con los resultados, se debe llevar a cabo un análisis de los mismos que conduzca a establecer la capacidad la capacidad estructural del pavimento en relación al tráfico de diseño, para condiciones de resistencia del suelo.

A continuación se presenta el tipo de rehabilitación requerida, de acuerdo a tres situaciones representativas:

- Estructura adecuada ( $D_c < D_{admisible}$ ): Solo podría requerir una mejora superficial.
- Estructura de fatiga ( $D_c > D_{admisible}$ ) y  $R_c$  reducido: Requiere un refuerzo estructural.
- Estructura deficiente ( $D_c \gg D_{admisible}$ ): Requiere reconstrucción parcial o total.

En la tabla 3.3 se indica los casos típicos, no son los únicos, dependen de las circunstancias que puedan existir.

**Tabla 3.3: Juicio de la capacidad estructural del pavimento**

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

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



## **CAPITULO IV: MODELO DE DETERIORO Y CONTRASTACIÓN EN CAMPO**

### **4.1 GENERALIDADES**

Durante el desarrollo de los siguientes capítulos se presentaran los conceptos básicos de los distintos modelos de deterioro que sirven como una poderosa herramienta para la gestión de pavimentos y conocer el comportamiento de los mismos.

### **4.2 GESTION DEL MANTENIMIENTO DE LOS PAVIMENTOS**

Los pavimentos son diseñados para un tiempo de vida determinado, para que el pavimento entregue el servicio esperado deben realizarse actividades de conservación adecuadas, esta situación incentiva la creación de los sistemas de gestión de pavimentos (SGP).

Un SGP se define como “el conjunto de operaciones que tienen como objetivo conservar por un período de tiempo las condiciones de seguridad, comodidad y capacidad estructural adecuadas para la circulación, soportando las condiciones climáticas y de entorno de la zona en que se ubica la vía en 40 cuestión. Todo lo anterior minimizando los costos monetarios, sociales y ecológicos.

### **4.3 DESARROLLO DE MODELOS DE DETERIORO DE LOS PAVIMENTOS**

Los modelos de deterioro son por lo general, expresiones matemáticas que representan la evolución del estado del pavimento en el tiempo, con base al conocimiento de sus condiciones en el momento de la puesta en servicio y de realización del análisis.

Los modelos de deterioro pronostican el efecto de las actividades de mantenimiento en función del tiempo, con el objetivo de estimar con mayor precisión el momento de aplicación de actividades de conservación y conocer el nivel de deterioro resultante después de la misma y su progresión en el tiempo.

Los modelos de deterioro de pavimentos aplican a diversos aspectos de la gestión de pavimentos como:

- En la creación de un SGP que se sirva de los modelos para: predecir el deterioro del pavimento en el tiempo, evaluar los resultados de aplicar diversas alternativas de mantenimiento, hacer el plan de conservación del pavimento y optimizar los resultados del nivel de servicio del pavimento como de los costos asociados para lograrlo.
- En la generación de estándares y políticas de mantenimiento del nivel de servicio requerido del pavimento.
- En la evaluación del efecto relativo de algunas características de diseño.
- En el país existe la necesidad de crear sistemas formales de gestión de pavimentos aplicables a nuestras redes viales, esto crea a su vez la necesidad de contar con modelos de deterioros confiables, bien cuantificados y adecuadamente validados.

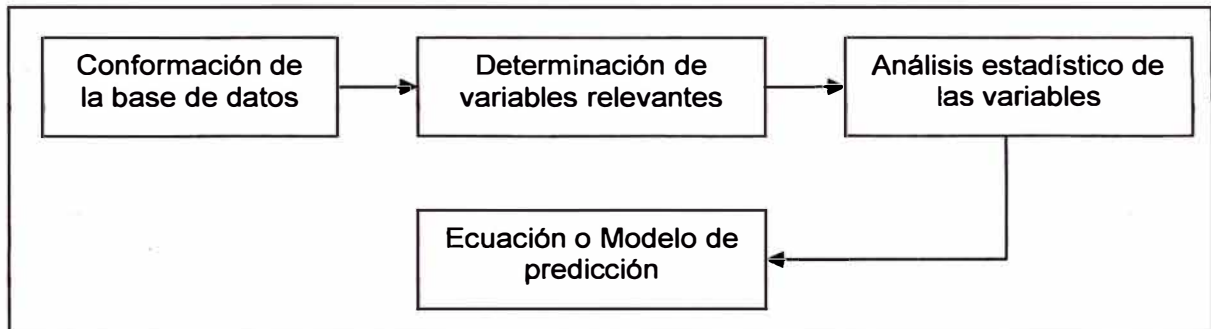
Los modelos de deterioro pueden surgir a partir de desarrollos empíricos y/o mecanicistas, la diferencia entre éstos es el tipo de datos a utilizar.

Para los desarrollos empíricos se requieren datos reales de los pavimentos existentes referidos a diversos aspectos del pavimento como: datos de diseño, datos del drenaje, datos de tránsito, datos de medio ambiente y deterioros sufridos a lo largo de su vida útil, mientras que para los desarrollos mecanicistas, además de los datos del pavimento, las características del comportamiento de las capas que conforman la estructura del pavimento, específicamente sus propiedades físicas y mecánicas.

Después de determinar las variables más relevantes en la formación de cada deterioro, se lleva a cabo con ellas un análisis estadístico que dará origen al modelo de predicción del comportamiento futuro del pavimento con base a una ecuación que relaciona las variables seleccionadas.

En la figura 4.1 se observa un diagrama de flujo que indica el desarrollo de los modelos de deterioro.

**Figura 4.1. Procedimiento para la creación de un modelo de deterioro**



Fuente: Dra. Elva Bengoa Pérez, Descripción de Sistemas de Gestión de Pavimentos y uso de los Programas HDM-III y HDM-4 Pág. 10.

#### 4.4 TÉCNICAS PARA EL DESARROLLO DE LOS MODELOS

Existen muchas técnicas para el desarrollo de modelos de deterioro, las más utilizadas son:

- Extrapolación lineal
- Regresión
- Distribución de probabilidad
- Modelo propuesto por el HDM

La precisión de los modelos es un punto de gran importancia dependerá del uso que se desee dar a los resultados.

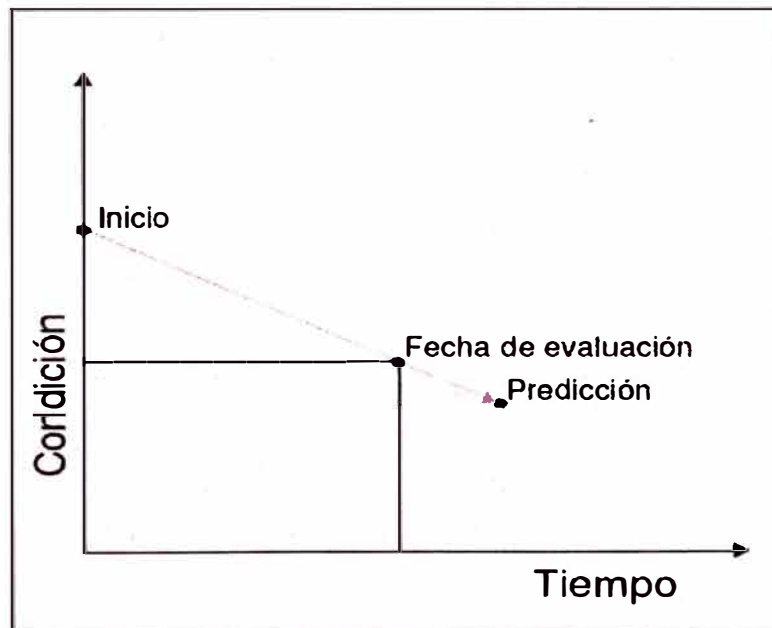
##### 4.4.1 Extrapolación Lineal

Este método se basa en la extrapolación lineal de los dos últimos puntos de la condición del pavimento, sus principales características son:

- Es aplicable sólo a secciones individuales de pavimentos y no puede usarse en otras secciones.
- Se requiere al menos una medición de la condición del pavimento además de la realizada al final de la etapa de construcción (Figura 4.2).

- Asume que las cargas de tránsito, los niveles de mantenimientos y tasas de deterioro se mantendrán en el futuro, por lo tanto, no es preciso para períodos largos de tiempo.
- En el caso de aplicar este tipo de modelos en nuestro país, es este punto especialmente importante dada la variabilidad principalmente de las cargas y actividades de mantenimiento.
- No es aplicable predecir tasas de deterioros de pavimentos recién construidos que hayan sufrido recientemente una rehabilitación mayor.
- Para una sección de pavimento específica, los factores de suelo de cimentación, clima, estructura de pavimentos y tránsito pasado se consideran explícitamente en el análisis.

**Figura 4.2 Extrapolación lineal**



Fuente: Dra. Elva Bengoa Pérez, Descripción de Sistemas de Gestión de Pavimentos y uso de los, Programas HDM-III y HDM-4 Pág. 11.

#### 4.4.2 Regresión

El análisis de regresión es usado para establecer una relación empírica entre dos o más variables. Cada variable es descrita en términos de media y su variación. Los distintos tipos de variación se describen a continuación.

Regresión lineal entre dos variables, se describe con el modelo siguiente:

$$- y_i = a + b x_i + \text{error}$$

Para estimar una regresión Lineal simple se puede hacer uso del método de mínimos cuadrados.

Regresión lineal múltiple, en este caso se asume que la variable dependiente es una función lineal de las variables independientes y se describe:

$$- y = a + b_1.x_1 + b_2.x_2 + \dots + \text{error}$$

Regresión no lineal, se puede utilizar cuando la relación entre la variable dependiente y la independiente es no lineal. Una relación no lineal puede ser analizada como un modelo lineal transformando la variable dependiente.

#### 4.4.3 Distribución de probabilidad

La condición de un pavimento, puede ser tratada como una variable aleatoria con una probabilidad asociada a sus valores. Una distribución de probabilidades describe la probabilidad asociada con todos los valores de la variable aleatoria. Entre las más importantes tenemos:

- Distribución Binomial

Esta distribución corresponde a la realización de un experimento aleatorio que cumple con las siguientes condiciones:

\* Al realizar el experimento sólo son posible dos resultados: el suceso A, llamado éxito, o su contrario A', llamado fracaso.

\* Al repetir el experimento, el resultado obtenido es independiente de los resultados obtenidos anteriormente.

\* La probabilidad del suceso A es constante, es decir, no varía de una prueba del experimento a otra. Si llamamos p a la probabilidad de A,  $p(A) = P$ , entonces  $p(A') = 1 - p = q$  \* En cada experimento se realizan n pruebas idénticas.

#### •Distribución de Poisson

Para determinar la probabilidad de que ocurran x éxitos por unidad de tiempo, área, o producto, la fórmula a utilizar sería

Hay que hacer notar que en esta distribución el número de éxitos que ocurren por unidad de tiempo, área o producto es totalmente al azar y que cada intervalo de tiempo es independiente de otro intervalo dado, así como cada área es independiente de otra área dada y cada producto es independiente de otro producto dado.

#### •Distribución Normal

La distribución de una variable normal está completamente determinada por dos parámetros, su media ( $\mu$ ) y su desviación estándar ( $\sigma$ ). No importa cuáles sean los valores de  $\mu$  y  $\sigma$  para una distribución de probabilidad normal, el área total bajo la curva siempre es 1, de manera que podemos pensar en áreas bajo la curva como si fueran probabilidades

Tiene algunas propiedades que la hacen aplicable a un gran número de situaciones en la que es necesario hacer inferencias mediante la toma de muestras.

La distribución normal casi se ajusta a las distribuciones de frecuencias reales observadas en muchos fenómenos, incluyendo características humanas, resultados de procesos físicos y muchas otras medidas de interés.

#### 4.4.4 Modelo de deterioro de pavimentos asfálticos (HDM)

Los modelos de HDM (Highway Design and Maintenance) adoptan un sistema que combina métodos empíricos avanzados. La metodología utilizada es fundamentalmente empírica, de manera que se desarrollaron modelos paramétricos utilizando técnicas de **regresión estadística** de la información proveniente de series de tiempo: información que había sido coleccionada en una base de datos factorial mente diseñada, a partir de pavimentos en servicio bajo diferentes condiciones de estructura y tránsito.

Por otra parte, la forma funcional y los parámetros de los modelos se basaron en teorías mecanicistas y en el conocimiento experimental del comportamiento estructural de los pavimentos y de los materiales que lo conforman.

La forma del modelo HDM es incremental, es decir que predice el cambio en la condición del pavimento a lo largo de un cierto incremento de tiempo como función de la condición actual del pavimento, de sus características estructurales y de las solicitaciones externas (tránsito y condiciones climáticas).

Los modelos de deterioro incrementales de pavimentos asfálticos, teniendo como referencia el modelamiento en el HDM, fueron básicamente los que siguen:

- **Agrietamiento:** En función de su extensión (como el % del área superficial influenciada), severidad (de acuerdo al ancho de las grietas) y tipo (patrón visual de las grietas existentes).
- **Pérdida de áridos:** En función de su extensión (de manera análoga a las grietas).
- **Baches:** de acuerdo a su extensión (igual que las grietas) y volumen de baches abiertos por kilómetro de pista.

- Ahuellamiento: en función del promedio y la desviación estándar de la profundidad de la huella de la pista.
- Rugosidad: en términos de un perfil superficial estadístico del camino, relacionado con la respuesta de los vehículos en movimiento.

Adicionalmente existe un software llamado DETOUR (Deterioro), el cual fue desarrollado para el Grupo Temático de Transporte Rural del Banco Mundial y está diseñado principalmente para ingeniería caminos sin pavimentar, de cualquiera de las superficies de grava o tierra, ya que los modelos empíricos se basan en una variedad de tales caminos. Cuando sea necesario, también es posible utilizar las relaciones para las pistas como una primera estimación, pero el usuario debe ser consciente de que los efectos ambientales del drenaje y las precipitaciones pueden ser mal representados.

El software DETOUR permite evaluar los caminos sin pavimentar empleando el modelo de deterioro HDM, este software es proporcionado de manera gratuita por el Banco Mundial y fue desarrollado en MS-Excel, en él se implementan las relaciones de deterioro vial de las carreteras no pavimentadas del Diseño y Mantenimiento de Carreteras Normas Modelo (HDM-III), que son los mismos que el contenido en el Desarrollo de Carreteras y Modelo de Gestión (HDM- 4).

De esta evaluación se tuvo en consideración las siguientes características:

- a) Medio ambiente, geometría y tránsito.
- b) Propiedades de la capa de grava.
- c) Propiedades de la capa de tierra.
- d) Periodos de mantenimiento.

Para obtener más información acerca de la rugosidad y los aspectos económicos de las carreteras de bajo volumen, visite el Diseño y Evaluación de Infraestructura de Transporte Rural de la página web gestionada por el Banco Mundial Grupo Temático de Transporte Rural.



## 4.5 CALIBRACIÓN DE LOS MODELOS DE DETERIORO

Calibrar un modelo de deterioro consiste en definir un procedimiento de cálculo de factores de calibración numéricos, que modifican la predicción del modelo ajustándolo de acuerdo a la información provista por bases de datos de pavimentos de una región o país.

Esto se realiza a través de la minimización de la diferencia entre las predicciones del modelo y un conjunto de datos de deterioro medidos en terreno.

El objetivo de la calibración es obtener modelos de predicción ajustados, que ofrezcan estimaciones realistas y confiables de los deterioros y que permitan establecer planes de conservación que tiendan a optimizar los recursos disponibles y minimizar el costo total de operación del camino (costo total = costo de operación vehicular + costo de conservación + costo exógeno).

Ya que los modelos de deterioro son desarrollados con una base empírica determinada y bajo condiciones específicas de clima, tipo y forma, materiales, etc., al ser estos utilizados bajo condiciones distintas, pueden presentarse diferencias considerables entre los deterioros que el modelo predice y los que se observan en la realidad, para reducir estos errores ó para verificar si el modelo es inadecuado o incompleto, detectando posibles debilidades y limitaciones, los procedimientos de calibración o ajuste resultan muy útiles. Las causas de las diferencias son las siguientes:

- Errores en los datos observados: Debido a inadecuadas técnicas de medición, mal registro de los datos ó toma datos que no correspondan.
- Errores en los datos estimados: En aquellos datos sobre los cuales no se disponga toda la información necesaria y deben ser estimados, el error en la estimación muy probablemente ocasiona error en la predicción.
- Condiciones diferentes a las originales del modelo: si el modelo se aplica fuera de su espacio de inferencia original.

- **Modelo Inadecuado:** Si el modelo no contiene algunas variables que son claramente importantes, ya sea porque no resultaron estadísticamente significativas con los datos originales o porque un proceso de análisis poco profundo o incompleto no las tuvo en cuenta, esto puede ocasionar una mala predicción.
- **Aleatoriedad del comportamiento de los materiales y las estructuras:** siempre existe un cierto margen de error introducido por un comportamiento aleatorio o estocástico de los materiales que componen las estructuras en el mundo real que genera dispersión en los resultados.

## CAPITULO V: APLICACIÓN AL TRAMO Km 74+000 – Km 84+000

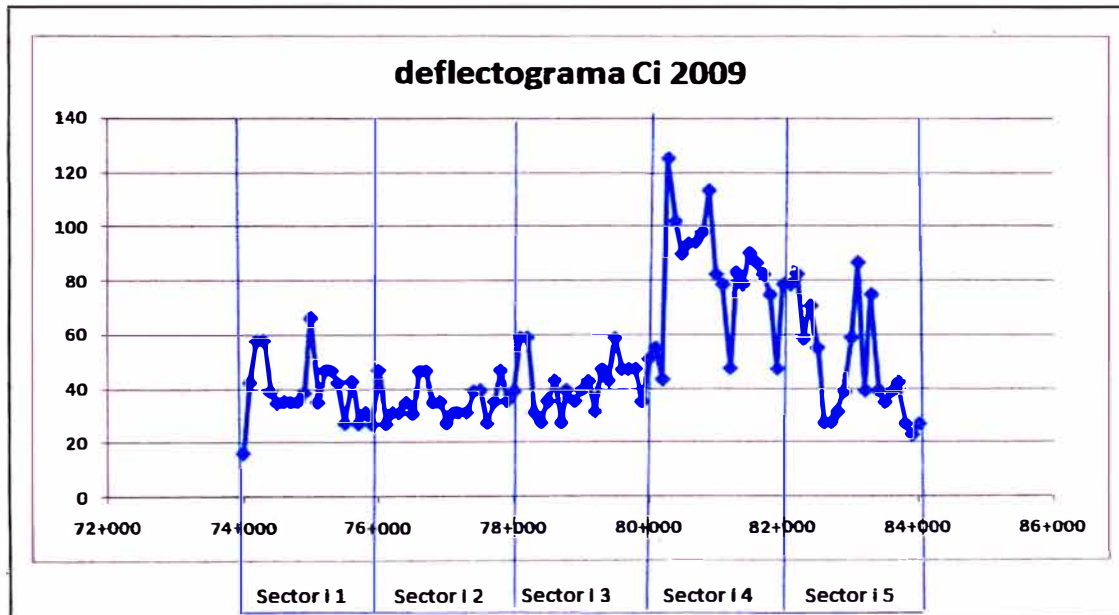
### 5.1 RECOPIACIÓN DE DATOS

De los resultados obtenidos del deflectograma en la margen izquierda del carril, se obtuvieron las deflexiones características para cada sector en estudio.

Las gráficas deflectométricas, tanto del 2009 como el de la evaluación realizada en noviembre del 2010, fueron desarrolladas con el uso del programa Minitab.

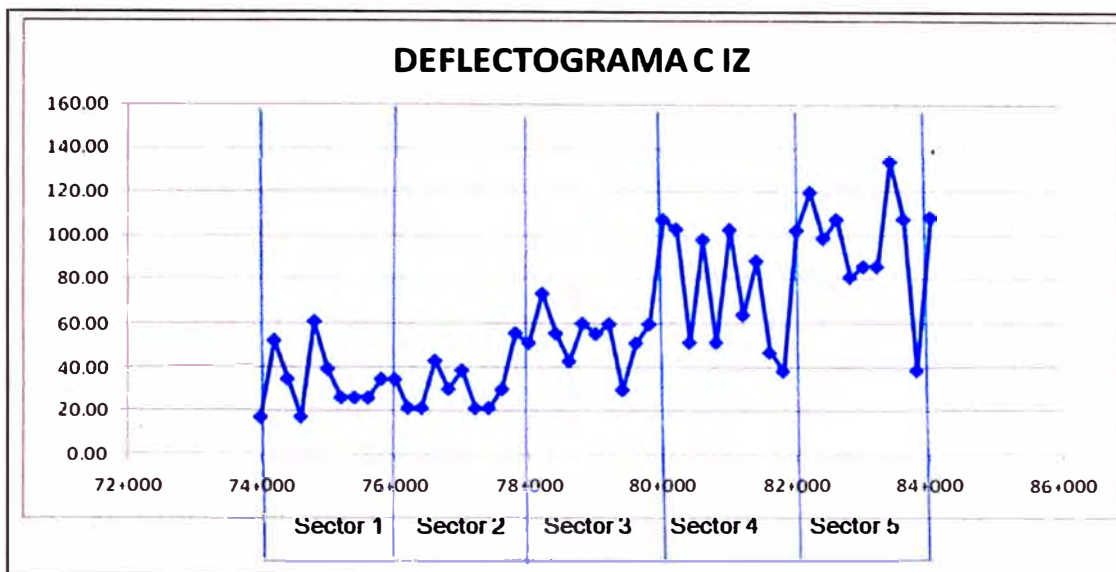
A continuación se presenta los deflectogramas obtenidos para cada uno de los sectores, correspondiente al tramo evaluado.

**Grafica 5.1: Deflectograma correspondiente al año 2009**



*Fuente: Propia. Evaluación desarrollada correspondiente al año 2009 - Datos proporcionados por Escuela Profesional de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Ingeniería.*

**Grafica 5.2: Deflectograma correspondiente al año 2010**



Fuente: Propia. Evaluación actual, datos recogidos de la visita a la carretera cañete – Chupaca.

En la tabla 5.1 y 5.2 se puede observar las deflexiones características recogidas de las graficas anteriormente mostradas (Grafico 5.1 y 5.2).

**Tabla 5.1: Deflexiones características obtenidas en el año 2009.**

Sectores	Homogéneo	Deflexiones Características (mm)
Sector 1	Homogéneo 1	40.57
Sector 2		
Sector 3	Homogéneo 2	46.33
Sector 4	Homogéneo 3	91.60
Sector 5	Homogéneo 4	58.85

Fuente: Evaluación Propia.

**Tabla 5.2: Deflexiones características obtenidas en el año 2010.**

Sectores	Homogéneo	Deflexiones Características (mm)
Sector 1	Homogéneo 1	56.90
Sector 2		
Sector 3	Homogéneo 2	61.11
Sector 4	Homogéneo 3	92.20
Sector 5	Homogéneo 4	110.49

Fuente: Evaluación Propia.

Así también se tiene como dato las deflexiones admisibles para los años 2010, 2011, 2012 y 2014, proporcionado por la Escuela Profesional de la Facultad de Ingeniería Civil.

**Tabla 5.3: Deflexiones admisibles**

Año	D <sub>admisible</sub> (mm)
2010	147.49
2011	123.46
2012	111.06
2014	96.81

Fuente: Extraído de los datos proporcionados por Escuela Profesional de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Ingeniería.

## 5.2 PROCESAMIENTO DE DATOS Y ANALISIS DE RESULTADOS

### 5.2.1 Evaluación empleando el Modelo de Regresión Lineal

Con la finalidad de obtener la curva de deterioro se tomo los resultados obtenidos como deflexión característica y los años en que se tomaron las mediciones así como los datos proporcionados de deflexión admisible.

Para el desarrollo de la Regresión Lineal, se tomo el método de mínimos cuadrados como soporte de desarrollo, teniendo en consideración que:

$$y = a + b \cdot x \quad (\text{Ec. 5.1})$$

Donde:

$$b = \frac{\sum (x - x_{prom})(y - y_{prom})}{\sum (x - x_{prom})^2} \quad (\text{Ec. 5.2})$$

$$a = y_{prom} - b \cdot x_{prom} \quad (\text{Ec. 5.3})$$

x = Años

y = Deflexiones características

Así también el error generado por la regresión lineal se estimo mediante la ecuación 5.4

$$\text{error} = \sqrt{\frac{1}{(n-2)} \left[ \sum (y - y_{prom})^2 - \frac{[\sum (x - x_{prom})(y - y_{prom})]^2}{\sum (x - x_{prom})^2} \right]} \quad \text{Ec. (5.4)}$$

Donde:

n: Es el tamaño de la muestra.

### Datos iniciales- Sector Homogéneo 1

**Tabla 5.4: Deflexiones características – Sector homogéneo 1**

Año	Deflexión Característica
2009	40.57
2010	56.90

Fuente: Evaluación propia

### **Desarrollo de la curva de deterioro- Sector Homogéneo 1**

Para realizar la regresión lineal la cual interprete el deterioro del pavimento se empleo el método de mínimos cuadrados

**Tabla 5.5: Método de mínimos cuadrados – Sector Homogéneo 1**

x	y	$x-x_{prom}$	$y-y_{prom}$	$(x-x_{prom})^2$	$(y-y_{prom})^2$	$(x-x_{prom})(y-y_{prom})$
2009	40.57	-0.50	-8.17	0.25	66.67	4.08
2010	56.90	0.50	8.17	0.25	66.67	4.08
<b>Sumatoria:</b>				<b>0.50</b>	<b>133.33</b>	<b>8.17</b>

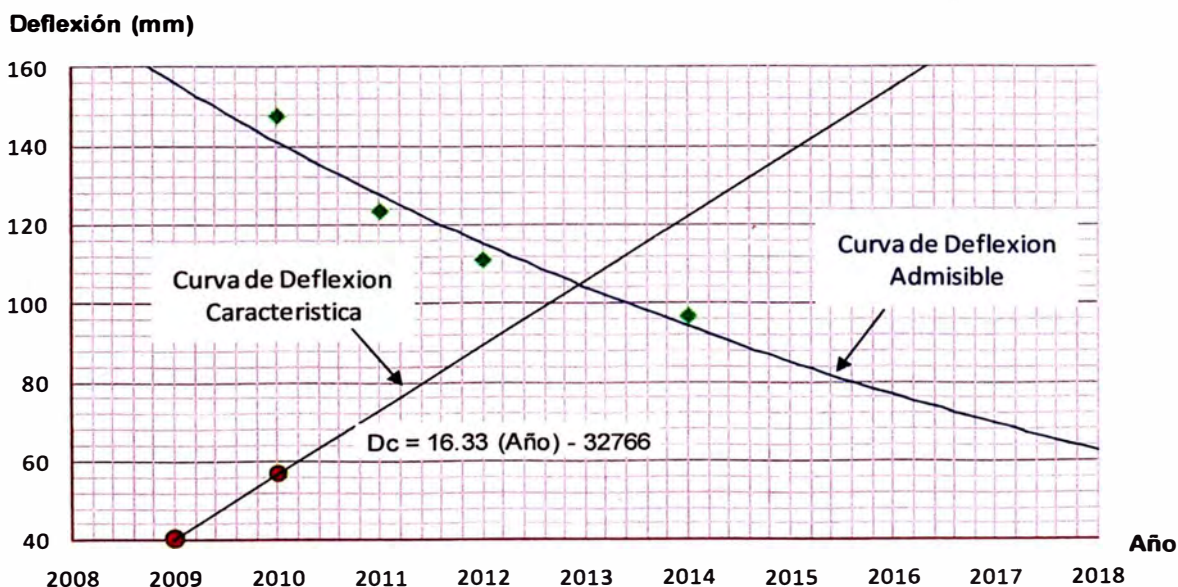
Fuente: Evaluación propia

$b = 16.33$

$a = -32766.4$

Utilizando los datos de las tablas 5.3 y 5.4 se obtuvo la grafica de la vida remanente del sector homogéneo 1.

**Grafico 5.3: Grafico de la de la vida remanente – Sector Homogéneo 1**



Fuente: Evaluación propia

Las curvas tanto de Deflexión admisible como la de Característica se extrapolaron con la finalidad de obtener una cantidad de datos que se encuentre dentro del plan de conservación propuesto para la carretera, es decir hasta el año 2013.

De la evaluación realizada, se obtuvieron los siguientes valores presentados en la tabla 5.6, para elaborar la curva de deterioro del sector de la carretera.

**Tabla 5.6: Diferencia de deflexiones por año de servicio – Sector Homogéneo 1**

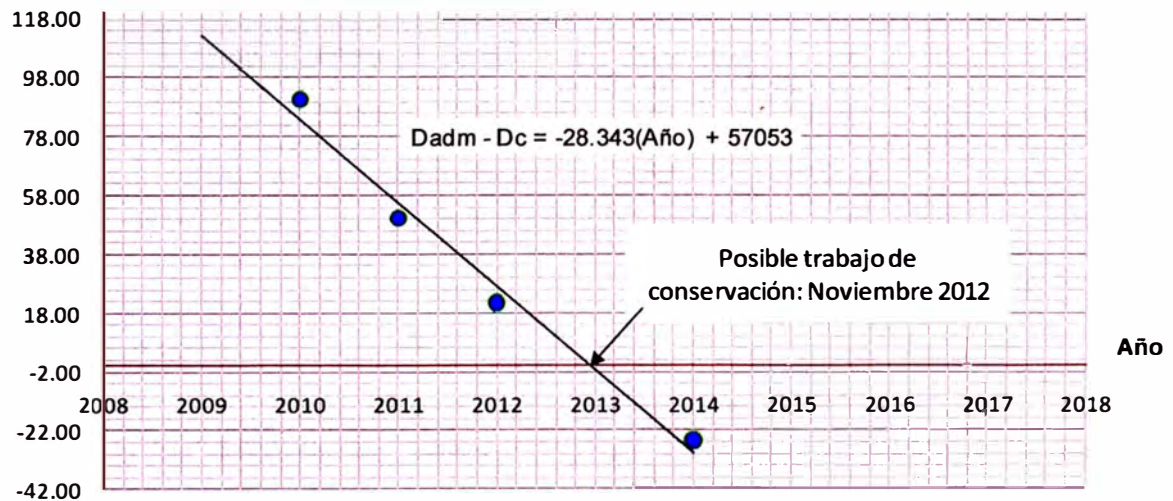
Año	D <sub>admisible</sub> - D <sub>c</sub>
2010	90.59
2011	50.23
2012	21.50
2014	-25.41

Fuente: Evaluación propia

De los valores obtenidos y mostrados en la tabla 5.6, se procedió a elaborar la curva de deterioro.

**Grafico 5.4: Grafico de la Curva de Deterioro – Sector Homogéneo 1**

D<sub>adm</sub> - D<sub>c</sub>



Fuente: Evaluación propia

El gráfico de esta curva de deterioro (Gráfico 5.4) fue analizado referencialmente mediante una regresión lineal simple.



**Datos iniciales- Sector Homogéneo 2**

**Tabla 5.7: Deflexiones características – Sector homogéneo 2**

<b>Año</b>	<b>Deflexión Característica</b>
2009	46.33
2010	61.11

*Fuente: Evaluación propia*

**Desarrollo de la curva de deterioro- Sector Homogéneo 2**

Para realizar la regresión lineal la cual interprete el deterioro del pavimento se empleo el método de mínimos cuadrados.

**Tabla 5.8: Método de mínimos cuadrados - Sector Homogéneo 2**

<b>x</b>	<b>y</b>	<b>x-x<sub>prom</sub></b>	<b>y-y<sub>prom</sub></b>	<b>(x-x<sub>prom</sub>)<sup>2</sup></b>	<b>(y-y<sub>prom</sub>)<sup>2</sup></b>	<b>(x-x<sub>prom</sub>) (y-y<sub>prom</sub>)</b>
2009	46.33	77.18	-0.50	-7.39	0.25	54.61
2010	61.11	63.19	0.50	7.39	0.25	54.61
<b>Sumatoria:</b>				<b>0.50</b>	<b>109.22</b>	<b>7.39</b>

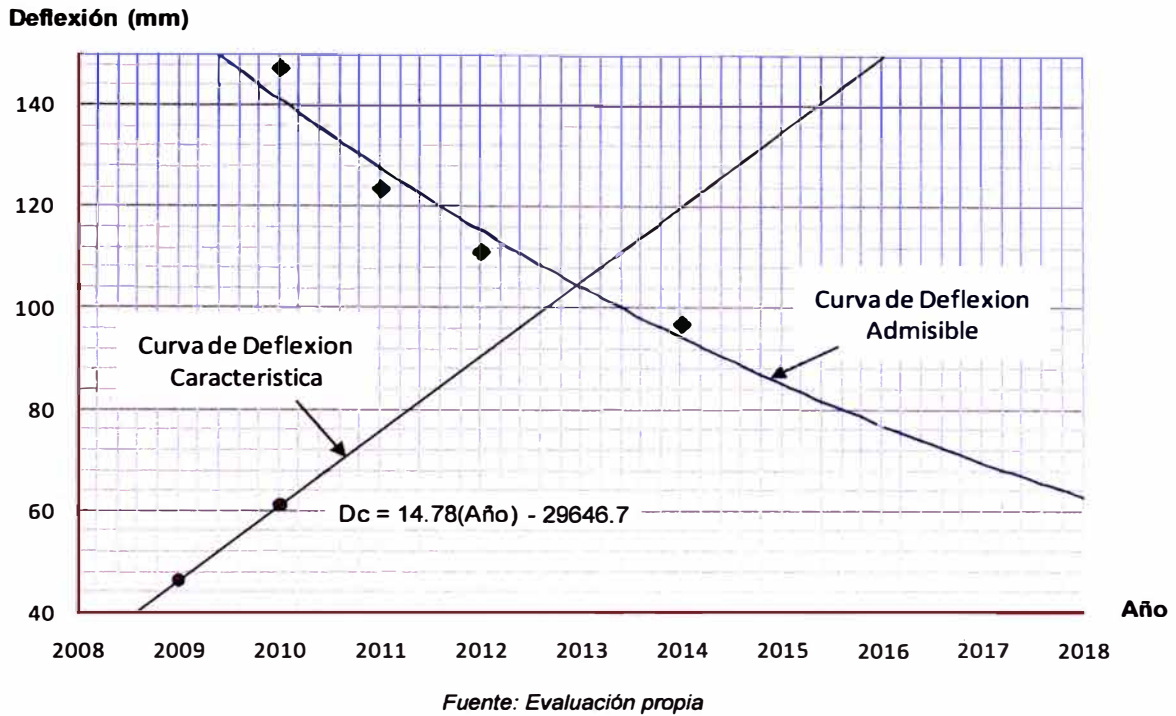
*Fuente: Evaluación propia*

$$b = 14.78$$

$$a = -29646.69$$

Utilizando los datos de las tablas 5.3 y 5.7 se obtuvo la grafica de la vida remanente del sector homogéneo 2

**Grafico 5.5: Grafico de la de la vida remanente – Sector Homogéneo 2**



Las curvas tanto de Deflexión Admisible como la Característica se extrapolaron con la finalidad de obtener una cantidad de datos que se encuentre dentro del plan de conservación propuesto para la carretera, es decir hasta el año 2013.

De la evaluación realizada, se obtuvieron los valores presentados en la tabla 5.9.

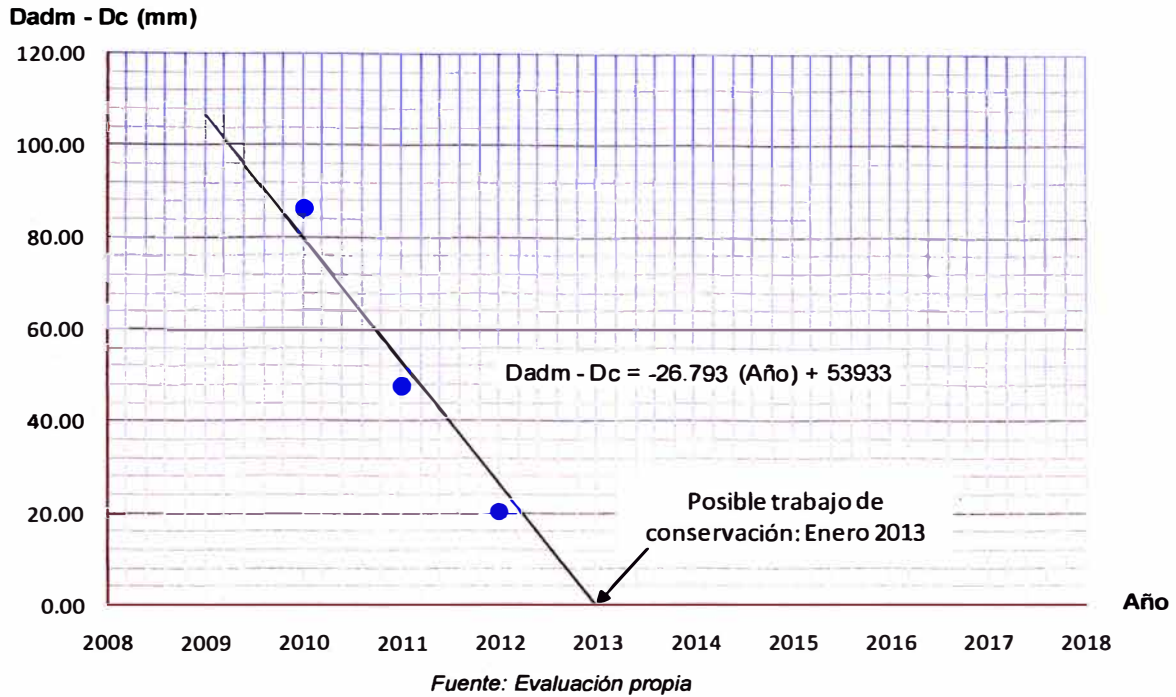
**Tabla 5.9: Diferencia de deflexiones por año de servicio – Sector homogéneo 2**

Año	$D_{\text{admisible}} - D_c$
2010	86.38
2011	47.57
2012	20.39
2014	-23.42

Fuente: Evaluación propia

De los valores obtenidos y mostrados en la tabla 5.9, se procedió a elaborar la curva de deterioro.

**Grafico 5.6: Grafico de la Curva de Deterioro – Sector Homogéneo 2**



El grafico de esta curva de deterioro (Grafico 5.6) fue analizado referencialmente mediante una regresión lineal simple.

**Datos iniciales- Sector Homogéneo 3**

**Tabla 5.10: Deflexiones características – Sector homogéneo 3**

Año	Deflexión Característica
2009	91.60
2010	92.20

Fuente: Evaluación propia

### Desarrollo de la curva de deterioro- Sector Homogéneo 3

Para realizar la regresión lineal la cual interprete el deterioro del pavimento se empleo el método de mínimos cuadrados.

**Tabla 5.11: Método de mínimos cuadrados - Sector Homogéneo 3**

x	y	$x-x_{prom}$	$y-y_{prom}$	$(x-x_{prom})^2$	$(y-y_{prom})^2$	$(x-x_{prom})(y-y_{prom})$
2009	91.60	-0.50	-0.30	0.25	0.09	0.15
2010	92.20	0.50	0.30	0.25	0.09	0.15
<b>Sumatoria:</b>				<b>0.50</b>	<b>0.18</b>	<b>0.30</b>

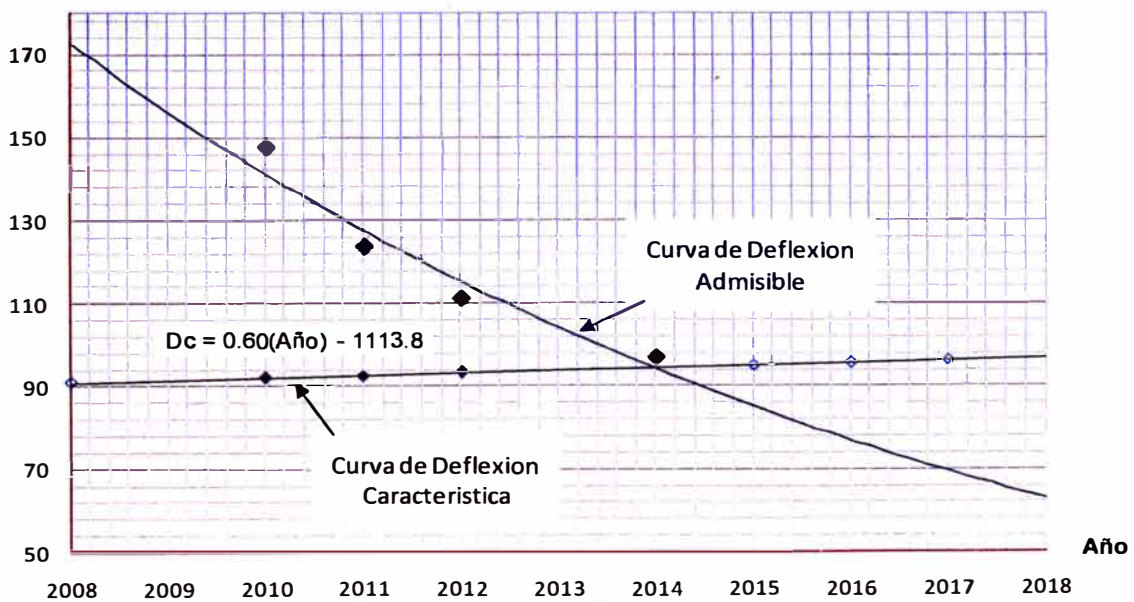
Fuente: Evaluación propia

$b = 0.60$

$a = -1113.8$

**Grafico 5.7: Grafico de la de la vida remanente – Sector Homogéneo 3**

Deflexión (mm)



Fuente: Evaluación propia

Las curvas tanto de Deflexión Admisible como la Característica se extrapolaron con la finalidad de obtener una cantidad de datos que se encuentre dentro del plan de mantenimiento propuesto para la carretera, es decir hasta el año 2013.

De la evaluación realizada, se obtuvieron los valores mostrados en la tabla 5.12.

**Tabla 5.12: Diferencia de deflexiones por año de servicio – Sector homogéneo 3**

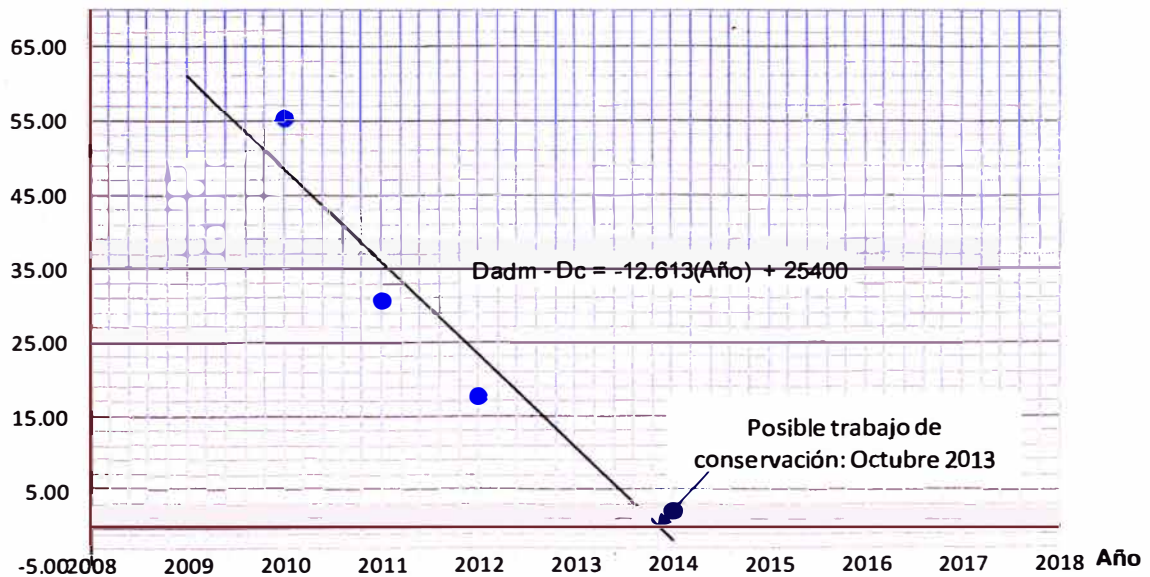
Año	D <sub>admisible</sub> - D <sub>c</sub>
2010	56.21
2011	31.64
2012	18.70
2014	3.37

Fuente: Evaluación propia

De los valores obtenidos y mostrados en la tabla 5.12, se procedió a elaborar la curva de deterioro.

**Grafico 5.8: Grafico de la Curva de Deterioro – Sector Homogéneo 3**

D<sub>adm</sub> - D<sub>c</sub> (mm)



Fuente: Evaluación propia

El gráfico de esta curva de deterioro (Gráfico 5.8) fue analizado referencialmente mediante una regresión lineal simple.

**Datos iniciales- Sector Homogéneo 4**

**Tabla 5.13: Deflexiones características – Sector homogéneo 4**

<b>Año</b>	<b>Deflexión Característica</b>
2009	58.85
2010	110.49

Fuente: Evaluación propia

**Desarrollo de la curva de deterioro- Sector Homogéneo 4**

Para realizar la regresión lineal la cual interprete el deterioro del pavimento se empleo el método de mínimos cuadrados.

**Tabla 5.14: Método de mínimos cuadrados - Sector Homogéneo 4**

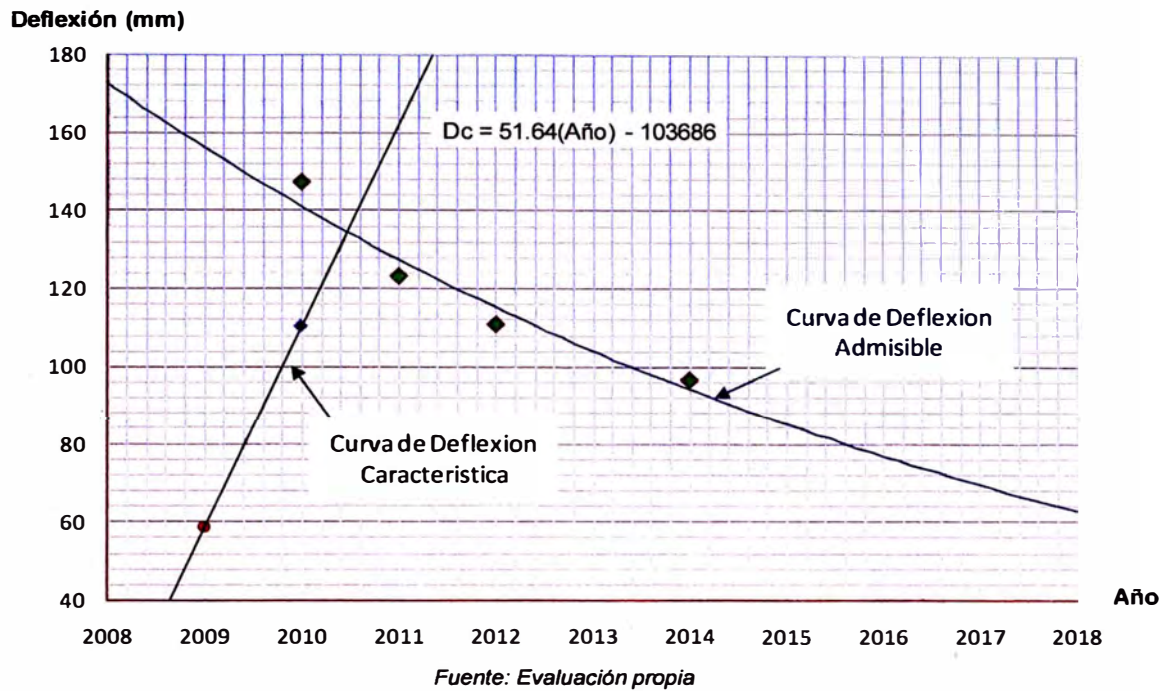
<b>x</b>	<b>y</b>	<b>x-x<sub>prom</sub></b>	<b>y-y<sub>prom</sub></b>	<b>(x-x<sub>prom</sub>)<sup>2</sup></b>	<b>(y-y<sub>prom</sub>)<sup>2</sup></b>	<b>(x-x<sub>prom</sub>) (y-y<sub>prom</sub>)</b>
2009	58.85	-0.50	-25.82	0.25	666.67	12.91
2010	110.49	0.50	25.82	0.25	666.67	12.91
<b>Sumatoria:</b>				<b>0.50</b>	<b>1333.34</b>	<b>25.82</b>

Fuente: Evaluación propia

$b = 51.64$

$a = -103686$

**Grafico 5.9: Grafico de la de la vida remanente – Sector Homogéneo 4**



Las curvas tanto de Deflexión Admisible como la Característica se extrapolaron con la finalidad de obtener una cantidad de datos que se encuentre dentro del plan de mantenimiento propuesto para la carretera, es decir hasta el año 2013.

De la evaluación realizada, se obtuvieron los valores presentados en la tabla 5.15.

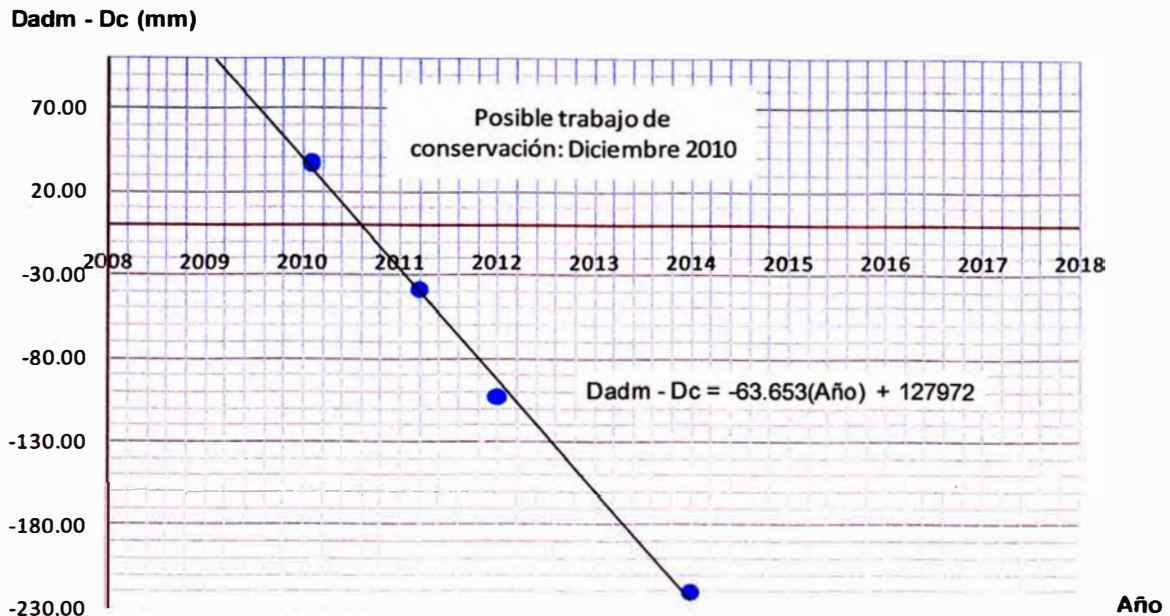
**Tabla 5.15: Diferencia de deflexiones por año de servicio – Sector homogéneo 4**

Año	$D_{\text{admisible}} - D_c$
2010	36.21
2011	-39.56
2012	-103.70
2014	-221.43

Fuente: Evaluación propia

De los valores obtenidos y mostrados en la tabla 5.15, se procedió a elaborar la curva de deterioro.

**Grafico 5.10: Grafico de la Curva de Deterioro – Sector Homogéneo 4**



Fuente: Evaluación propia

El grafico de esta curva de deterioro (Grafico 5.11) fue analizado referencialmente mediante una regresión lineal simple.

Las curvas de deterioro ilustradas en las graficas 5.4, 5.6, 5.8 y 5.10 presentan el periodo de conservación de cada uno de los sectores del tramo de la carretera en estudio, considerando al año 2009 como el año a partir del cual se ha terminado el desarrollo de la carretera Cañete – Chupaca y al año 2014 como año límite para el próximo plan de conservación.



**Tabla 5.16: Periodos de Conservación**

Sector	Progresiva de sectores	Periodo de posible trabajo de conservación	Año en que se requiera posible trabajo de conservación
Sector homogéneo 1	Km 74+000 al Km 78+000	3 años y 11 mes	2012
Sector homogéneo 2	Km 78+000 al Km 80+000	4 años	2013
Sector homogéneo 3	Km 80+000 al Km 82+000	4 año y 10 meses	2013
Sector homogéneo 4	Km 82+000 al Km 84+000	1 año y 12 meses	2010

Fuente: Evaluación propia

El error y el rango de confiabilidad para la curva de deterioro en cada uno de los sectores del tramo en estudio se muestran a continuación en el cuadro 5.17.

**Tabla 5.17: Confiabilidad de la Curva de Deterioro**

Sector	Progresiva de sectores	Error de la Curva de Deterioro (mm)	Intervalo de Confiabilidad (mm)
Sector homogéneo 1	Km 74+000 al Km 78+000	± 7.82	(0, 82.08)
Sector homogéneo 2	Km 78+000 al Km 80+000	± 7.82	(0, 78.01)
Sector homogéneo 3	Km 80+000 al Km 82+000	± 7.82	(4.44, 48.47)
Sector homogéneo 4	Km 82+000 al Km 84+000	± 7.82	(0, 25.56)

Fuente: Evaluación propia

El intervalo de confianza fue calculado empleando un nivel de confianza del 95% y el desarrollo de la distribución t-student.

## CONCLUSIONES

1. El sector comprendido entre las progresivas Km 74+000 al Km 82+000, se considera un periodo de conservación de aproximadamente 4 años. Este periodo de conservación puede ampliarse de considerar y desarrollar un buen control de calidad del plan de mantenimiento periódico y rutinario a la carretera.
2. Entre los las progresivas Km 82+000 al Km 84+000, el plazo mínimo para la ejecución de un posible plan de conservación se sugiere no sea mayor a 2 años, este periodo sugiere realizar exploraciones geotécnicas a mayor profundidad, con la finalidad de constatar que no exista una capa con material de relleno por debajo de la estructura del pavimento que este originando el deterioro estructural del pavimento. (Ver anexo N°3: Perfil estratigráfico del tramo en estudio).
3. La Regresión Lineal fue la técnica empleada para el desarrollo del modelo de deterioro en este informe, debido a que era la curva que mejor representaba el comportamiento del pavimento, para ello se tuvo en consideración los datos de las deflexiones características correspondientes a los años 2009 y 2010. Es importante acotar que la carretera podría presentar otro tipo de comportamiento dependiendo de la cantidad de datos históricos que se tengan.
4. La curva de deterioro presenta un error de  $\pm 7.82\text{mm}$  para cada uno de los sectores estudiados, lo cual expresa las desviaciones o dispersiones existentes entre la tendencia de la curva de deterioro y los datos tomados como desarrollo de la curva.
5. La confiabilidad de la curva de deterioro se muestra en la tabla 5.17, inicialmente este intervalo presentaba rangos de valores negativos, sin embargo este suceso es tratado de evitar a través de planes de conservación sobre la carretera, es decir, no se pueden hablar de deflexiones características superiores a las admisibles debido a que esto expresaría el requerimiento de una rehabilitación, por lo tanto el intervalo de confianza tomado como valor inicial es el valor de 0.00 mm, lo cual es interpretado como la diferencia límite entre la deflexión admisible y la deflexión característica.

6. Debido a que 2 semanas antes de la visita a campo, se había desarrollado un proceso de mantenimiento el cual consistió en un recapeo con Slurry Seal sobre todo el tramo en estudio (74+00 km al 84+00 km), evito que se conociera el deterioro superficial actual sufrido por la carretera en el periodo del 2009 al 2010. En la visita realizada se pudo observar que las condiciones de transitabilidad en el tramo mencionado son aceptables. (Ver anexo N° 5: Panel fotográfico).

## RECOMENDACIONES

1. Realizar visitas técnicas y periódicas en toda la carretera con la finalidad de tener una colección mayor de datos (cualitativos y cuantitativos) que permita representarlo en un modelo de deterioro, el cual exprese el comportamiento real de dicha carretera en relación al tiempo y poder así generar un plan de conservación.
2. Generar un plan de conservación periódico y rutinario, que permita prolongar la serviciabilidad del pavimento, teniendo en cuenta los periodos de conservación obtenidos del modelo de deterioro y complementándolo con la evaluación superficial para obtener mejores resultados.
3. Se sugiere que para el desarrollo de los procesos de conservación de la carretera, contar con una supervisión que verifique la calidad de los materiales y el adecuado procedimiento constructivo y así obtener la respuesta estructural requerida para el tránsito futuro.
4. El mantenimiento periódico y rutinario en los tramos en estudio evitará que se ingrese al costoso ciclo de rehabilitación-destrucción- rehabilitación, como el caso frecuente de muchas carreteras del país, que lo han demostrado en los últimos años.

## BIBLIOGRAFIA

- HDM-4 Highway Development and Management, Versión 1". World Road Association, 2000.
- Gutierrez Lazares, Wilfredo, "Modelación Geotécnica de Pavimento Flexible con Fines de Análisis y Diseño en el Perú", Tesis de Maestría 2007
- Kramer Carlos y otros. "Ingeniería de Carreteras", Editorial Mc Graw Hill, España Madrid, 2003 – 2004, Tomo I, numerales 20, 21 y 24.
- Mendoza Díaz, Alberto y otros. "Aplicación Del HDM–III A La Red Carretera Federal Del Estado De Puebla", Instituto Mexicano del Transporte, Publicación Técnica No. 164, Sanfandila, Qro. 2001.
- Ministerio de Transportes y comunicaciones, Manual de Diseño de carreteras pavimentadas de bajo volumen de transito, MTC Lima – Perú, 2010.
- MTC – Provías Nacional; Proyecto Especial de Infraestructura de Transporte Nacional: Conservación vial de la Carretera Cañete-Lunahuaná-Pacarán-Chupaca y Rehabilitación del Tramo Zuñiga-Dv. Yauyos-Ronchas, 2008.
- Zahidul Hoque, Dr Tim Martin and Lith Choummanivong, Development of HDM-4 Road Deterioration (RD) Model Calibrations for Sealed Granular and Asphalt Roads, Editorial Austroads Incorporated, Sydney 2008.

### Información de páginas de internet:

- <http://www.camineros.com/docs/cam068.pdf>
- <http://www.worldbank.org/transport/roads/tools.htm>
- [http://www.construccioncivil.puc.cl/revista/Rev\\_9/\\_REVISTA\\_N9\\_FULL.pdf](http://www.construccioncivil.puc.cl/revista/Rev_9/_REVISTA_N9_FULL.pdf)
- <http://www.dot.ca.gov/hq/maint/MTAGChapter8-SlurrySeals.pdf>
- <http://training.ce.washington.edu/WSDOT>
- <http://www.lanamme.ucr.ac.cr/revista-digital>

**ANEXO 1:**  
**MANUAL DEL SOFTWARE**  
**DETOURE**

## **Descargo de responsabilidad**

El software de ingeniería para el modelo de deterioro de caminos sin pavimentar de ingeniería así como la documentación es propiedad del Banco Mundial

### **Advertencia:**

El modelo está diseñado principalmente para ingeniería caminos sin pavimentar, de cualquiera de las superficies de grava o tierra, ya que los modelos empíricos se basan en una variedad de tales caminos. Cuando sea necesario, es posible utilizar las relaciones también para las pistas como una primera estimación, pero el usuario debe ser consciente de que los efectos ambientales del drenaje y las precipitaciones pueden ser mal representados.

El término "camino de tierra" se utiliza a veces para referirse a una pista en lugar de un camino de ingeniería. En este modelo, "camino de tierra" se refiere a los caminos sin pavimentar de ingeniería que tiene una superficie de materiales del suelo predominantemente fino con fino de 35 por ciento más de 0,075 mm de tamaño de partícula.

El modelo no hace ninguna distinción específica entre los climas de lluvias uniformes y de temporada. Las relaciones de predicción se aplican también a las carreteras sin pavimentar de moderada a buena geometría de corte transversal y para condiciones secas a mojadas, pero no se aplican a las carreteras con falta de drenaje superficial en condiciones de mucha lluvia.

## **Instrucciones**

Modelo de deterioro para carreteras sin pavimentar (DETOUR).

El deterioro de la carretera

El modelo de deterioro de caminos sin pavimentar (DETOUR) implementa en Excel las relaciones de deterioro vial de las carreteras no pavimentadas normadas del modelo de Diseño y Mantenimiento de Carreteras (HDM-III), que son los mismos que la próxima Desarrollo de Carreteras y Modelo de Gestión (HDM-4).

Para utilizar el modelo, ir a la "Road Deteroration" hoja de cálculo de este libro de Excel e introduzca la siguiente información en las celdas de entrada con el fondo amarillo situado en la en la zona.

- Características del entorno vial, la geometría y el tráfico
- Características de la capa de grava
- Características de la capa de la Tierra
- Política de mantenimiento recurrente
- Periódica de la política de mantenimiento
- Material de calibración de la pérdida

DETOUR calcula automáticamente el deterioro de las carreteras más de veinte años (la progresión del tráfico, la progresión de la rugosidad, grosor de grava, y la colocación de los nuevos plazos capa de grava) y presenta los resultados en el área de salida, que se encuentra por debajo del área de entrada de datos. En la tabla justo por debajo del área de entrada de datos contiene los resultados carretera principal deterioro y un gráfico de la rugosidad y la progresión de espesor de grava, y la tabla de la derecha contiene los resultados de deterioro de las carreteras secundarias.

Debajo del área de resultados, se encuentran cuatro botones, que llevan a cabo las siguientes tareas.

- |                        |   |
|------------------------|---|
| Cálculo automático on  | Activa el cálculo automático  |
| Cálculo automático off | Apaga el cálculo automático de  |
| Manual de Cálculo      | Vuelve a calcular el todo si el cálculo automático está apagado                                       |
| Imprimir informe       | Imprime todas las entradas y principales resultados de deterioro de las carreteras en una sola página |

Las entradas



Introduzca los datos de entrada en las celdas con fondo amarillo. No cambie a otras celdas o cambie la estructura de hojas de trabajo al mover un rango o mediante la adición o eliminación de filas. Al introducir los datos, tenga en cuenta lo siguiente.

a) Si se introduce un espesor de grava igual a cero en la zona de "Características de la capa de grava", el modelo considera la carretera un camino de tierra y hace caso omiso de todas las otras entradas en el área de "capa de grava Características" de entrada.

b) Si se introduce cero para la rugosidad actual, la rugosidad inicial, rugosidad mínima, máxima o la aspereza en el "Características de la capa de grava", "Tierra de capa Características", o "Mantenimiento periódico", el modelo calcula internamente el valores correspondientes sobre la base de las propiedades de capa de material. Puede ver los valores estimados en la tabla de deterioro de la carretera por debajo de los datos de entrada (rugosidad y aspereza inicial actual) y en el deterioro de la carretera secundaria resultados de la tabla (rugosidad mínima y máxima rugosidad).

c) Si se introduce cero para el "Intervalo de Clasificación", se llevará a cabo sin gradaciones.

d) Si se introduce cero para el "Spot Regravelling" como cantidad, no regravelling se llevará a cabo.

e) Si se introduce cero para el "Regravelling ", no regravelling se llevará a cabo y el modelo ignora los otros insumos de mantenimiento periódico.

#### Camino Agencia y costos para el usuario

Para estimar los costos de mantenimiento anuales de circulación de las agencias y los costos anuales de usuarios de la carretera, llegamos a la "Agencia de carretera y los usuarios" hoja de cálculo de este libro de Excel e introduzca la siguiente información en las celdas de entrada con el fondo amarillo.

- Recurrente costos unitarios de mantenimiento
- Unidad de mantenimiento periódico de los costos
- Coeficientes de polinomios cúbicos en relación a los costos de la rugosidad usuarios de las carreteras

DETOUR calcula el organismo resultante anual de circulación, los costos del usuario y los costos totales de la sociedad, y muestra los resultados por debajo del área de entrada cada vez que el "camino de deterioro" hoja de cálculo se vuelve a calcular.

Por lo tanto, si cambia alguna de las entradas de la "Agencia de carretera y los usuarios" los resultados no se actualizarán automáticamente hasta que la "Ruta de deterioro" se vuelve a calcular.

Para actualizar manualmente los resultados de la "Agencia de carretera y los usuarios", pulse: ctrl-m o el botón denominado "Resultados Calcular", ubicada en la parte inferior de la tabla. Para imprimir la tabla, presione el botón de impresión de Excel.

#### Mantenimiento de los niveles

Para llevar a cabo un análisis de sensibilidad de una serie de niveles de mantenimiento, vaya a la "Niveles de Mantenimiento" e introduzca la siguiente información en las celdas de entrada con el fondo amarillo.

- Clasificación de intervalo
- Spot regravelling
- Regravelling, umbral y el grosor

Para realizar el análisis de sensibilidad, presione el botón "Pulse aquí para calcular los resultados", ubicado en la parte superior de la tabla. El modelo calcula los valores medios durante el período de veinte años de análisis de los siguientes indicadores.

- Rugosidad
- Espesor de grava
- Carretera costos de agencia

- Carretera costos para el usuario
- Costos Sociedad

Para imprimir la tabla, presione el botón de impresión de Excel.

### Granulometrías Gráfico

La "Clasificación curvas Gráfico" presenta un gráfico de la curva granulométrica de la grava y la tierra (subsuelo) de capa.

### Mesa de soporte

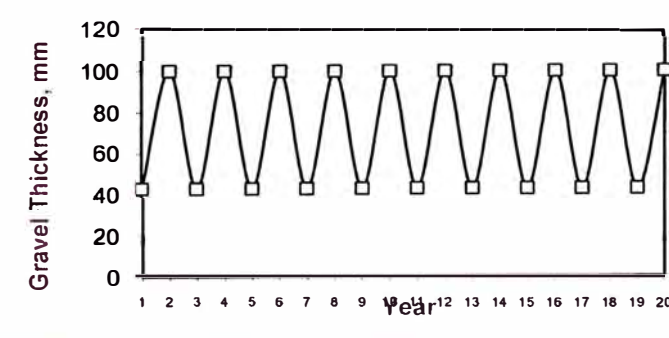
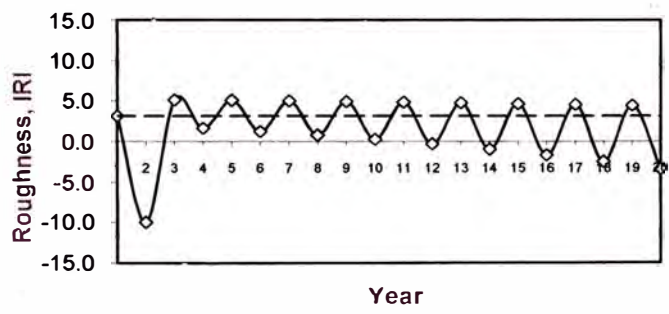
Las "Tablas de Apoyo" contienen algunos valores sugeridos, recogidos de varias fuentes, de propiedades de los materiales, ambientes, y la geometría de las carreteras. Utilice estos valores como guía.

**ANEXO 2:**  
**EVALUACION DEL SOFTWARE**  
**DETOURE**

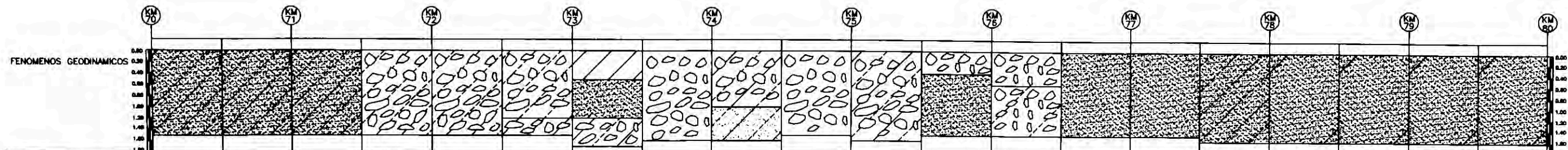
## DETOUR - Deterioration of Engineered Unpaved Roads - Version 1.0

<i>In</i>	Road Name	Carretera Cañete - Chupaca		
<b>Environment, Geometry, and Traffic</b>				
	Road Width (m)	3.5	Rainfall (m/month)	1.69
	Rise and Fall (m/km)	30	Shoulder Width (m)	0.0
	Light Vehicle Traffic, GVW<3.5 tons (vpd)	70	Horizontal Curvature (degree/km)	30
	Heavy Vehicle Traffic, GVW>3.5 tons (vpd)	30	Light Vehicle Traffic Growth (%)	3%
			Heavy Vehicle Traffic Growth (%)	3%
<b>Gravel Layer Characteristics</b>				
	Thickness (mm)	100	Maximum Roughness (IRI)	0
	Age (years)	2	Maximum Particle Size (mm)	24.0
	Mechanical Compaction (Y/N)	Y	Plasticity Index (#)	10.1
	Current Roughness (IRI)	0	% Passing 2.000 mm Sieve	51.1
	Minimum Roughness (IRI)	0	% Passing 0.425 mm Sieve	41.6
			% Passing 0.075 mm Sieve	25.5
<b>Earth Layer Characteristics</b>				
	Minimum Roughness (IRI)	0	Plasticity Index (#)	0.0
	Maximum Roughness (IRI)	0	% Passing 2.000 mm Sieve	0.0
	Maximum Particle Size (mm)	0.0	% Passing 0.425 mm Sieve	0.0
			% Passing 0.075 mm Sieve	0.0
<b>Recurent Maintenance Policy</b>				
	Grading Interval (days)	1825	Spot Regravelling (m3/km/year)	5
<b>Periodic Maintenance Policy</b>				
	New gravel layer at gravel thickness (mm)	10	Maximum Roughness (IRI)	0
	New gravel layer thickness (mm)	100	Maximum Particle Size (mm)	24.0
	Mechanical Compaction (Y/N)	Y	Plasticity Index (#)	10.1
	Initial Roughness (IRI)	0	% Passing 2.000 mm Sieve	51.1
	Minimum Roughness (IRI)	0	% Passing 0.425 mm Sieve	41.6
			% Passing 0.075 mm Sieve	25.5
<b>Material Loss Calibration</b>				
	Gravel Loss Factor	1.0	Traffic-induced Loss Factor	1.0

<i>Out</i>	Road Deterioration				
Year	Traffic (vpd)	Roughness (IRI)	Gravel Thickness (mm)	Gravel Layer (in year)	
1	100	3.2	43		
2	103	-9.9	100	2	
3	106	5.2	43		
4	109	1.7	100	4	
5	113	5.1	43		
6	116	1.3	100	6	
7	119	5.0	43		
8	123	0.8	100	8	
9	127	4.9	43		
10	130	0.3	100	10	
11	134	4.9	43		
12	138	-0.3	100	12	
13	143	4.8	43		
14	147	-0.9	100	14	
15	151	4.7	43		
16	156	-1.6	100	16	
17	160	4.6	43		
18	165	-2.5	100	18	
19	170	4.5	43		
20	175	-3.4	100	20	
<b>Average</b>				<b>Average Interval (years)</b>	Note:  RURAL ROADS THEMATIC GROUP THE WORLD BANK, DETOUR10.XLS, 9/9/99, RAC
1-20	134	1.6	72		
1-5	106	1.0	66		
6-10	123	2.5	77		
10-15	143	2.6	66	2.0	
15-20	165	0.3	77		



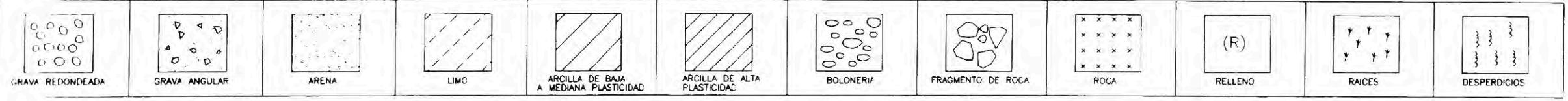
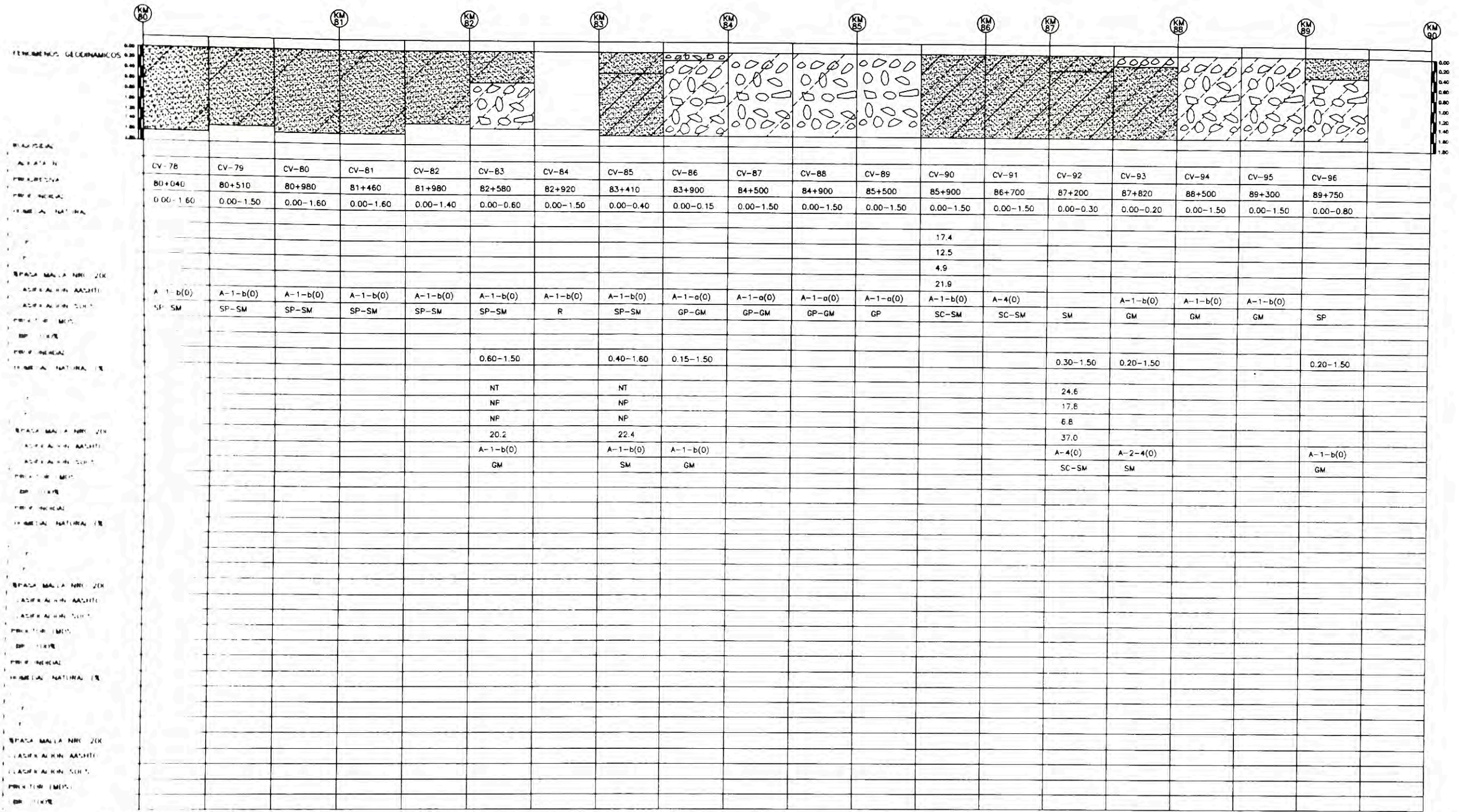
**ANEXO 3:**  
**ESTRATIGRAFIA DEL TRAMO EN**  
**ESTUDIO**



RUGOSIDAD																				
CALICATA N°	CV-56	CV-57	CV-58	CV-59	CV-60	CV-61	CV-62	CV-63	CV-64	CV-65	CV-66	CV-67	CV-68	CV-69	CV-70	CV-71	CV-72	CV-75	CV-76	CV-77
PROGRESIVA	70+000	70+500	71+000	71+500	72+000	72+500	73+000	73+500	74+020	74+540	75+000	75+500	76+000	76+640	77+280	77+610	78+100	78+580	79+080	79+560
PROFUNDIDAD	0.00-1.50	0.00-1.50	0.00-1.50	0.00-1.50	0.00-1.50	0.00-1.20	0.00-0.50	0.00-1.60	0.00-1.00	0.00-1.50	0.00-1.60	0.00-0.40	0.00-0.60	0.00-1.50	0.00-1.50	0.00-1.60	0.00-1.60	0.00-1.60	0.00-1.60	0.00-1.60
HUMEDAD NATURAL																				
L. L.		NT		NT					20.5										NT	NT
L. P.		NP		NP					16.2										NP	NP
I. P.		NP		NP					4.3										NP	NP
%PASA MALLA NRO 200		16.3		16.7					21.0										19.5	19.5
CLASIFICACION AASHTO	A-1-b(0)	A-1-b(0)	A-1-b(0)	A-1-b(0)	A-1-b(0)	A-1-b(0)	A-6(7)	A-1-a(0)	A-1-b(0)	A-1-a(0)	A-1-b(0)	A-1-a(0)	A-1-a(0)	A-1-a(0)	A-1-a(0)	A-1-b(0)	A-1-b(0)	A-1-b(0)	A-1-b(0)	A-1-b(0)
CLASIFICACION SUCS	SM	SM	SM	GM	GM	GM	CL	GP	GC-GM	GP	GC-GM	GP	GP	SP	SP	SM	SM	SM	SM	SM
PROCTOR (MDS)																				
CBR (100%)																				
PROFUNDIDAD						1.20-1.50	0.50-1.20		1.00-1.60				0.40-1.50	0.60-1.50						
HUMEDAD NATURAL (%)																				
L. L.									24.4			NT	NT							
L. P.									17.6			NP	NP							
I. P.									6.8			NP	NP							
%PASA MALLA NRO 200									79.7			1.6	9.8							
CLASIFICACION AASHTO							A-1-b(0)		A-4(B)			A-1-a(0)	A-1-a(0)							
CLASIFICACION SUCS							GC-GM	SP	CL-ML			SP	GP-GM							
PROCTOR (MDS)																				
CBR (100%)																				
PROFUNDIDAD							1.20-1.70													
HUMEDAD NATURAL (%)																				
L. L.																				
L. P.																				
I. P.																				
%PASA MALLA NRO 200																				
CLASIFICACION AASHTO								A-1-b(0)												
CLASIFICACION SUCS								GC-GM												
PROCTOR (MDS)																				
CBR (100%)																				

CUADRO DE REFERENCIAS												
	GRAVA REDONDEADA	GRAVA ANGULAR	ARENA	LIMO	ARCILLA DE BAJA A MEDIANA PLASTICIDAD	ARCILLA DE ALTA PLASTICIDAD	BOLONERIA	FRAGMENTO DE ROCA	ROCA	RELLENO	RACES	DESPERDICIOS

NF : Nivel Freático



NI Nivel Freático

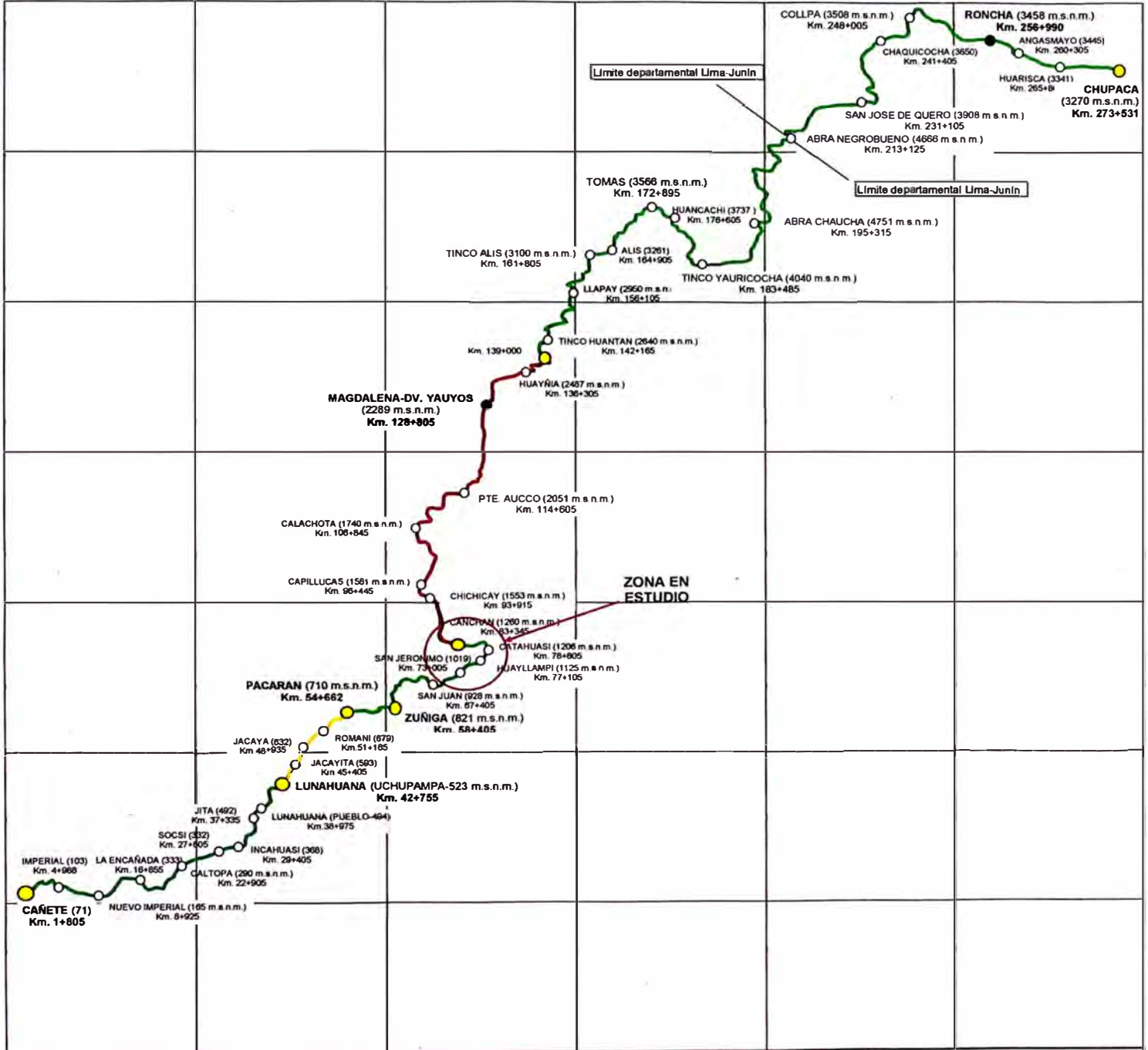


**ANEXO 4:**  
**PLANO DE UBICACION**



**PLANO CLAVE**

**CORREDOR VIAL: CAÑETE-LUNAHUANA-PACARAN-ZUÑIGA-DV. YAUYOS-RONCHA-CHUPACA**



<b>Datos Generales</b>		<b>UBICACIÓN</b>	<b>LEYENDA</b>
Longitud de vía (Km.)	271+723	Departamentos:	Mantenimiento rutinario
Tiempo de servicio (años)	5	Lima y Junín	Mantenimiento periódico (Slurry seal-mortero asfáltico)
Modalidad de servicio	Por niveles de servicio		Cambio de estándar (tratamiento superficial monocaña)

**ANEXO 5:**  
**PANEL FOTOGRAFICO**



Fotografía 1: Estado actual del tramo de la carretera en estudio  
Progresiva 76+400



Fotografía 2: Estado actual del tramo de la carretera en estudio  
Progresiva 77+800



Fotografía 3: Estado actual del tramo de la carretera en estudio  
Progresiva 83+800



Fotografía 4: Estado actual del tramo de la carretera en estudio  
Progresiva 82+800