

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



**EVALUACION FUNCIONAL DEL PAVIMENTO MEDIANTE  
EL IRI – EQUIPO MERLIN.  
MONITOREO DE CONSERVACIÓN CARRETERA CAÑETE –  
HUANCAYO Km. 104+000 AL Km. 106+000.**

**INFORME DE SUFICIENCIA**

**Para optar el Título Profesional de:**

**INGENIERO CIVIL**

**KATIA VIRGINIA VELÁSQUEZ GÓMEZ**

**Lima- Perú**

**2010**

## ÍNDICE

	Pag.
<b>RESUMEN</b>	4
<b>LISTA DE CUADROS</b>	5
<b>LISTA DE FIGURAS</b>	6
<b>LISTA DE FOTOGRAFÍAS</b>	7
<b>LISTA DE SÍMBOLOS Y DE SIGLAS</b>	8
<b>INTRODUCCION</b>	10
<b>CAPITULO I: GENERALIDADES DE LA CARRETERA</b>	
<b>1.1. ANTECEDENTES DEL PROYECTO.</b>	11
<b>1.2. UBICACIÓN.</b>	12
<b>1.3. OBJETIVO DEL PROYECTO.</b>	12
<b>1.4. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO.</b>	13
1.4.1. Características de la Carretera.	13
1.4.2. Estado Situacional de la Carretera.	15
<b>1.5. SITUACIÓN ACTUAL DEL TRAMO EN ESTUDIO</b>	
<b>Km.104+000 AL Km. 106+000.</b>	16
1.5.1. Ubicación.	16
1.5.2. Características del Tramo en Estudio.	16
1.5.3. Trabajos Realizados.	18
1.5.4. Evaluación Geológica y Geotécnica.	19
1.5.5. Estudios de Tráfico.	22
<b>CAPITULO II: ESTADO DEL ARTE</b>	
<b>2.1. OBJETIVO DE LA EVALUACIÓN FUNCIONAL DEL PAVIMENTO.</b>	23
<b>2.2. SERVICIABILIDAD DEL PAVIMENTO.</b>	25
2.2.1. Índice de Serviabilidad Presente (PSI).	26
<b>2.3. CONCEPTO DE RUGOSIDAD.</b>	29
2.3.1. Índice de Rugosidad Internacional (IRI).	31
2.3.2. Determinación del IRI.	31
2.3.3. Modelo del Cuarto de Coche.	33
<b>2.4. MÉTODOS PARA LA MEDICIÓN DE LA RUGOSIDAD.</b>	36

2.4.1. Clasificación de los Métodos.	36
2.4.2. Métodos Clase 1.	37
2.4.3. Métodos Clase 2.	38
2.4.4. Métodos de Clase 3.	39
2.4.5. Métodos Clase 4.	39
<b>2.5. CALIBRACIÓN DE LOS EQUIPOS DE MEDICIÓN DE RUGOSIDAD</b>	<b>39</b>
<b>2.6. EL EQUIPO MERLÍN.</b>	<b>40</b>
2.6.1. Uso del MERLIN por el TRRL.	40
2.6.2. Uso del MERLIN en el Perú.	42
2.6.3. Clasificación del Método con el Rugosímetro MERLIN	43
2.6.4. Diseño del Equipo MERLIN.	44
 <b>CAPITULO III: MARCO TEORICO</b>	
<b>3.1. METODOLOGÍA PARA LA DETERMINACIÓN DEL IRI.</b>	<b>47</b>
3.1.1. Fundamentos Teóricos.	47
3.1.2. Correlaciones D versus IRI.	48
3.1.3. Calculo del Rango D.	49
3.1.4. Factor de Correlación para el ajuste de "D".	50
3.1.5. Variación de la Relación de Brazos.	51
3.1.6. Calculo del Rango "D" corregido.	52
3.1.7. Determinación de la Rugosidad en la escala IRI.	52
<b>3.2. ESPECIFICACIONES DE LA RUGOSIDAD EN EL PERÚ.</b>	<b>52</b>
<b>3.3. LIMITES DE LA RUGOSIDAD PARA EL CONTROL DE PAVIMENTOS.</b>	<b>53</b>
3.3.1. Parámetros de Medición.	53
3.3.2. Definición de Secciones Homogéneas	54
3.3.3. Penalidades en función al IRI característico	55
 <b>CAPITULO IV: APLICACIÓN AL TRAMO Km. 104+000 – Km. 106+000- CARRIL IZQUIERDO.</b>	
<b>4.1. PROCEDIMIENTO DE CAMPO.</b>	<b>57</b>
<b>4.2. DETERMINACION DE LA RUGOSIDAD.</b>	<b>58</b>
4.2.1. Aplicación de la Metodología.	58
4.2.2. Calculo del IRI.	59

<b>4.3. DETERMINACION DEL PSI.</b>	<b>59</b>
<b>CAPITULO V: ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS.</b>	
<b>5.1. ANALISIS DE LOS VALORES DE IRI ENCONTRADOS.</b>	<b>60</b>
5.1.1. Análisis de la data obtenida con el Merlin	60
5.1.2. Análisis del Parámetro IRI en el Tiempo	60
5.1.3. Variaciones del IRI según la Longitud de Evaluación	64
5.1.4. Análisis del IRI utilizando Secciones Homogéneas	65
<b>5.2. ANALISIS COMPARATIVO CON OTROS METODOS DE MEDICION (BUMP INTEGRATOR).</b>	<b>65</b>
<b>5.3. PROPUESTA PARA EL MANTENIMIENTO VIAL.</b>	<b>66</b>
<b>CONCLUSIONES</b>	<b>68</b>
<b>RECOMENDACIONES</b>	<b>70</b>
<b>BIBLIOGRAFIA</b>	<b>71</b>
<b>ANEXOS</b>	<b>72</b>

## RESUMEN

La elaboración del siguiente Informe de Suficiencia se realizará en el marco del proyecto de “Monitoreo de la Conservación Vial de la carretera Cañete – Huancayo del Km. 104+000 al Km. 106+000” para la especialidad en Conservación Vial, realizando una evaluación superficial con métodos no destructivos utilizando el equipo MERLIN.

La carretera Cañete – Huancayo es una vía considerada de bajo volumen de tránsito, y con la finalidad de mantener la vía en condiciones óptimas de transitabilidad se ha implementado la modalidad de conservación vial por niveles de servicio, empleándose para ello nuevas estrategias de conservación tanto para el mantenimiento periódico y rutinario como para el cambio de estándar de afirmado a solución básica con recubrimiento bituminoso. Esta mejora en la transitabilidad de la vía ha dado como resultado un incremento del flujo vehicular que se ve reflejado por el aumento del IMD (veh/día), todo esto ha influenciado en el estado actual de la vía.

El tramo en estudio se encuentra entre las progresivas del Km. 104+000 al Km. 106+000 de la carretera Cañete – Huancayo y presenta una superficie de rodadura con tratamiento superficial monocapa, aquí se observó un deterioro del pavimento por lo que se realizó una evaluación superficial para determinar la rugosidad de la vía en el carril izquierdo, para la evaluación se utilizó el equipo MERLIN.

El uso de este equipo proporcionará datos confiables y exactos que se utilizarán en el cálculo del parámetro IRI (Índice de Rugosidad Internacional), este parámetro del IRI se podrá relacionar mediante una ecuación de correlación y se obtendrá el valor del PSI (Índice de Serviciabilidad Presente) con la conjugación de estos dos parámetros se podrá establecer un juicio del estado actual de la superficie de rodadura.

Esta evaluación funcional del pavimento en conjunto con trabajos de conservación vial dentro del tramo en estudio, ayudará a establecer pautas para un adecuado mantenimiento preventivo a fin de evitar una disminución en la serviciabilidad de la vía.

## LISTA DE CUADROS

	Pag.
Cuadro Nº 1.01 Área de Influencia del proyecto	13
Cuadro Nº 1.02 Cuadro Comparativo de Distancias	14
Cuadro Nº 1.03 Clasificación del Clima.	14
Cuadro Nº 1.04 Situación Actual de la Carretera.	80
Cuadro Nº 1.05 Obras de Drenaje.	22
Cuadro Nº 2.01 Tarjeta de Calificación.	25
Cuadro Nº 2.02 Escala de Calificación de la Serviciabilidad	26
Cuadro Nº 2.03 Índices de serviciabilidad de referencia.	27
Cuadro Nº 2.04 Índices de Serviciabilidad Críticos.	28
Cuadro Nº 2.05 Clasificación de las características geométricas de la superficie de los pavimentos	29
Cuadro Nº 2.06 Requerimientos de seguridad para la medida perfilométrica del IRI	38
Cuadro Nº 2.07 Primeros estudios de rugosidad con equipo Merlin en Perú.	43
Cuadro Nº 3.01 Aceptación y penalidades en función del IRIcar	56
Cuadro Nº 3.02 Niveles de dispersión tolerable	56
Cuadro Nº 5.01 Lecturas del Merlin cada 2 m - Tramo 1	97
Cuadro Nº 5.02 Lecturas del Merlin cada 2 m - Tramo 2	98
Cuadro Nº 5.03 Variación del IRI en el tiempo	61
Cuadro Nº 5.04 Variación del PSI en el tiempo	62
Cuadro Nº 5.05 Variación de IRI promedio en el Tiempo.	63
Cuadro Nº 5.06 Valores de IRI promedio cada 400 m..	100
Cuadro Nº 5.07 Valores de IRI promedio cada 2 Km.	101
Cuadro Nº 5.08 Métodos de las Diferencias Acumuladas	65
Cuadro Nº 5.09 Costos de Mantenimiento	67

## LISTA DE FIGURAS

	Pag.	
Figura N° 1.01	Mapa de Ubicación	12
Figura N° 1.02	Plano Clave	81
Figura N° 1.03	Ubicación del tramo en estudio	17
Figura N° 1.04	Perfil Altitudinal	82
Figura N° 1.05	Sección transversal del tramo en estudio	19
Figura N° 1.06	Ubicación de Canteras, Fuentes de Agua y Botaderos	83
Figura N° 2.01	Curvas de comportamiento de un pavimento	27
Figura N° 2.02	Curvas de IRI para pavimentos con IRI	32
Figura N° 2.03	Perfiles del camino	32
Figura N° 2.04	Modelo del cuarto de coche para el cálculo del IRI	34
Figura N° 2.05	Influencia de la gama de irregularidades	35
Figura N° 2.06	Escala de la Rugosidad IRI	37
Figura N° 2.07	Primera Versión del Merlin	41
Figura N° 2.08	Segunda Versión del Merlin	41
Figura N° 2.09	Esquema Longitudinal del equipo Merlin	45
Figura N° 2.10	Esquema Frontal del equipo Merlin	45
Figura N° 3.01	Desviaciones de la superficie	47
Figura N° 3.02	Histograma de distribución de frecuencias	48
Figura N° 3.03	Definición de Secciones Homogéneas	54
Figura N° 4.01	Sectorización del Tramo	90
Figura N° 4.02	Formato de Campo de 200 lecturas – Tramo 1	91
Figura N° 4.03	Formato de Campo de 200 lecturas – Tramo 2	92
Figura N° 4.04	Histograma de Frecuencias – Tramo 1	93
Figura N° 4.05	Histograma de Frecuencias – Tramo 2	94
Figura N° 5.01	Variaciones de las desviaciones – Tramo 1	104
Figura N° 5.02	Variaciones de las desviaciones – Tramo 2	105
Figura N° 5.03	Gráfica del IRI <sub>prom</sub> versus Tiempo	63
Figura N° 5.04	Gráfica del PSI versus Tiempo	64
Figura N° 5.05	Gráfica del IRI <sub>prom</sub> versus Tiempo	65
Figura N° 5.06	Ploteo de valores de IRI versus Distancia	106
Figura N° 5.07	Valores de IRI promedio cada 2Km.	107
Figura N° 5.08	Determinación de Secciones Homogéneas	108
Figura N° 5.09	Valores de IRI <sub>prom</sub> e IRI <sub>car</sub> para las secc	109

## LISTA DE FOTOGRAFÍAS

		Pag.
Fotografía N° 1.01	Topografía de la Vía en media ladera.	84
Fotografía N° 1.02	Pendiente del Tramo.	84
Fotografía N° 1.03	Zona con poco visibilidad.	84
Fotografía N° 1.04	Anchos de calzada angostos.	84
Fotografía N° 1.05	Conformación de afirmado estabilizado.	87
Fotografía N° 1.06	Superficie de plataforma luego de ser compactada.	87
Fotografía N° 1.07	Producción de gravilla de 3/8".	87
Fotografía N° 1.08	Aplicación de RC-250 para riego de liga.	87
Fotografía N° 1.09	Colocación del Tratamiento Superficial.	87
Fotografía N° 1.10	Compactado del monocapa.	87
Fotografía N° 1.11	Tramo con monocapa terminado.	87
Fotografía N° 1.12	Mejoras en la estabilización de laderas.	85
Fotografía N° 1.13	Deficiencias en las medidas de estabilización.	85
Fotografía N° 1.14	Drenaje Transversal con tubería de 6".	87
Fotografía N° 1.15	Drenaje Longitudinal.	87
Fotografía N° 1.16	Alcantarilla con deficiente encauzamiento.	88
Fotografía N° 1.17	Falta de mejora de drenaje transversal	88
Fotografía N° 4.01	Ubicación de los Tramos.	95
Fotografía N° 4.02	Realización del Ensayo No Destructivo.	95
Fotografía N° 4.03	Presencia de curvas en el tramo.	95
Fotografía N° 5.01	Deterioro de la superficie de rodadura.	110
Fotografía N° 5.02	Parchados con Slurry Seal.	110
Fotografía N° 5.03	Desgaste producido en la carpeta de monocapa.	110
Fotografía N° 5.04	Parchados con Slurry Seal.	111
Fotografía N° 5.05	Desprendimiento de la gravilla de 3/8"	111



## LISTA DE SÍMBOLOS Y SIGLAS

AASHTO	American Association of State Highway and Transportation Officials.
ASTM	American Society of Testing and Materials.
BI	Bump Integrator.
CBR	California Bearing Ratio.
C.G.C.	Consortio de Gestión de Carreteras.
Dv.	Desvío
ICCGSA	Ingenieros Civiles y Contratistas Generales S.A.
IMD	Índice Medio Diario
IRI	Índice de Rugosidad Internacional
IRRE	International Road Roughness Experiment (Experimento Internacional de Rugosidad de Carreteras)
MERLIN	Machine for Evaluation Roughness using Low-Cost Instrumentation
MTC	Ministerio de Transportes y Comunicaciones.
MDS	Máxima Densidad Seca.
PIARC	Asociación Mundial de la Carretera.
PSI	Índice de Serviciabilidad Presente
PSR	Rango de Serviciabilidad Presente.
SUCS	Sistema Unificado de Clasificación de Suelos.
TMC	Tubería Metálica Corrugada.
TRRL	Transportation Road Research Laboratory (Laboratorio de Investigación de Transportes y Caminos)

A	Área bajo la curva.
CD	Diferencia Acumulada.
D	Rugosidad en Términos de la Escala Merlin.
Ø	Diámetro
E	Base de logaritmo neperiano.
EP	Espesor de la pastilla.
FC	Factor de Corrección.
IRI <sub>car</sub>	Índice de Rugosidad Característico
IRI <sub>prom</sub>	Índice de Rugosidad Promedio.
K	Factor de correlación.
L	Distancia Total.
LI	Posición Inicial del puntero.
Li	Distancia al punto i.
LF	Posición Final del puntero.
n	Numero de puntos.
P <sub>prom</sub>	Precipitación promedio
R	Rugosidad en IRI.
RB	Relación de Brazos.
σ	Desviación Estándar.
Xi	Valor del parámetro rugosidad en el punto i.

## INTRODUCCION

Con la finalidad de evaluar objetivamente la serviciabilidad de la vía este Informe de Suficiencia busca brindar un aporte en la especialidad de conservación vial, enfocándolo a la determinación de la rugosidad para pavimentos con tratamiento superficial y así establecer un adecuado mantenimiento preventivo que evite el aumento del deterioro de la superficie de rodadura en el tiempo.

Se realizará el análisis de los resultados obtenidos luego de procesar la información de campo, y esto dará una idea más realista del estado actual de la superficie de rodadura, que servirá para identificar posibles deficiencias en el mantenimiento vial que se ejecuta actualmente sobre el tramo en estudio.

En el Capítulo I se desarrollará una breve descripción de los estudios e intervenciones realizadas anteriormente en esta carretera, a fin de tener un panorama general de las condiciones físicas, geográficas, económicas y sociales del área de influencia del proyecto. Así también se describirá la situación actual para el tramo en estudio del Km. 104+000 al Km. 106+000 - Carril Izquierdo.

En el Capítulo II se desarrollará lo referente al Estado del Arte, donde se planteará el objetivo de la evaluación superficial y se hará una descripción del equipo a utilizar.

En el Capítulo III se verá lo referente a los fundamentos y conceptos teóricos necesarios para el desarrollo del presente informe.

En el Capítulo IV se realizará una descripción del procedimiento realizado durante el trabajo de campo y el posterior trabajo de gabinete con los datos obtenidos, hallando mediante procedimientos de cálculo el parámetro del IRI.

El Capítulo V presentará un análisis de los valores numéricos obtenidos luego de terminado el capítulo IV, y se propondrán criterios para un mantenimiento preventivo que permita conservar la serviciabilidad de la vía. Además se realizará un comparativo de datos con respecto a otros métodos de medición como el realizado con el Bump Integrator.

## CAPITULO I: GENERALIDADES DE LA CARRETERA

### 1.1. ANTECEDENTES DEL PROYECTO

El programa “Proyecto Perú” creado mediante Resolución Ministerial N° 408-2007-MTC/02, es un programa diseñado para mejorar la infraestructura vial y tiene como objetivo mejorar las vías de integración de corredores económicos interdepartamentales, conformando ejes de desarrollo sostenido con el fin de elevar el nivel de competitividad de las zonas rurales. La carretera Cañete – Yauyos – Huancayo pertenece al corredor económico vial N°13, habiéndose realizado hasta el momento por parte del MTC, lo siguiente:

- Estudio de preinversión a nivel de perfil para el mejoramiento y rehabilitación de la carretera ruta 22, tramo: Lunahuaná – Yauyos – Chupaca.
- Estudio de preinversión a nivel de factibilidad para el mejoramiento y rehabilitación de la carretera ruta 22, tramo: Lunahuaná –Yauyos – Chupaca.
- Contrato por Niveles de Servicio para la Conservación Vial de la “Carretera Cañete-Lunahuaná-Pacarán-Chupaca y Rehabilitación del Tramo Zúñiga-Dv. Yauyos-Ronchas” con la empresa Consorcio Gestión de Carreteras.

Con el fin de mantener la carretera en condiciones óptimas de transitabilidad se implemento un modelo de contratación piloto para la conservación de la infraestructura vial, donde las prestaciones se controlarían por niveles de servicio para periodos igual o mayores a (03) años. Se empleo para ello nuevas estrategias de conservación tanto para el mantenimiento rutinario y periódico, así como para el cambio de estándar de afirmado a solución básica (base granular estabilizada) protegida con recubrimiento bituminoso (slurry seal o monocapa).

Esta mejora en la transitabilidad de la vía ha producido un incremento del IMD (veh/día) en los últimos dos años del 2008 al 2009, este aumento del flujo vehicular sumado a factores de la geodinámica externa puede ocasionar una baja en la transitabilidad de la vía por lo que la supervisión y administración de este contrato para la conservación vial esta bajo la responsabilidad de la Unidad Zonal de Lima de Provías Nacional el cual ha firmado un convenio con la Universidad Nacional de Ingeniería para el monitoreo de estos trabajos de conservación.

## 1.2. UBICACIÓN

La carretera se encuentra ubicada en las provincias de Cañete y Yauyos en el departamento de Lima, Concepción y Chupaca en el departamento de Junín. Figura N° 1.01.



**Figura N° 1.01: Mapa de Ubicación**

Fuente: MTC – Provías Nacional – Proyecto Perú.

## 1.3. OBJETIVO DEL PROYECTO

### 1.3.1. Objetivo General

Las mediciones realizadas en campo para el tramo en estudio del Km. 104+000 al Km. 106+000 – Carril Izquierdo utilizando el equipo Merlin, tienen como objetivo general evaluar superficialmente al pavimento a través de la rugosidad y poder determinar los parámetros IRI y PSI, a fin de proponer medidas adecuadas para un mantenimiento vial preventivo.

### 1.3.2. Objetivos Específicos

- Obtener confiabilidad en los datos obtenidos de manera que brinde resultados exactos para realizar una buena evaluación de la vía.

- Evaluar la metodología utilizada comparándola con otros métodos de medición como el Bump Integrator y lograr una validación de los datos.

- Realizar una evaluación objetiva de la serviciabilidad que brinda actualmente la vía al público usuario, en base a los resultados obtenidos del tramo en estudio para 2 Km. de carretera.

## 1.4. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

### 1.4.1. Características de la Carretera

a) Longitud de la Vía.- Toda la extensión de la carretera se sitúa dentro de las siguientes coordenadas geográficas:

- 76° 21" Longitud Oeste y 13° 02' Latitud Sur (Cañete, Km. 1+805)
- 76° 09' Longitud Oeste y 12° 55' Latitud Sur (Lunahuaná, Km.42+755)
- 75°18' Longitud Oeste, 12° 05' Latitud Sur (Chupaca, Km. 273+531).Ver Figura 1.02 (Anexo B.1)

El trazo actual de la carretera tiene como área de influencia a las localidades de Cañete, Lunahuaná, Pacarán, Zúñiga, Catahuasi, Calachota, Puente Auco, Magdalena (desvío a Yauyos), Alis, Tomas, Chaucha, San José de Quero, Collpa, Roncha y Chupaca, como se muestra en el Cuadro N° 1.01.

Distritos	Provincia	Departamento	Altitud (m.s.n.m.)	Progresiva (Km)
Cañete	Cañete	Lima	71	0+000
Lunahuaná	Cañete	Lima	523	40+950
Pacarán	Cañete	Lima	710	52+857
Zúñiga	Cañete	Lima	821	56+600
Catahuasi	Yauyos	Lima	1206	77+000
Calachota	Yauyos	Lima	1740	105+040
Magdalena	Yauyos	Lima	2289	127+000
Alis	Yauyos	Lima	3261	163+100
Tomas	Yauyos	Lima	3566	171+090
San José de Quero	Concepción	Junín	3908	229+300
Collpa	Concepción	Junín	3508	246+200
Roncha	Concepción	Junín	3358	255+185
Chupaca	Chupaca	Junin	3270	271+726

**Cuadro N° 1.01: Área de Influencia del Proyecto.**

Fuente: Elaboración propia

El Consorcio Gestión de Carretera realizó un inventario vial entre los meses de abril y julio del 2008 determinando que la carretera tiene una longitud de 271.712 Km, existiendo por lo tanto una diferencia de 10.00 Km. con respecto a lo indicado en los términos de referencia. Cuadro N°1.02.

Tramo	Longitud Inventario CGC (Km)	Longitud MTC – Provías Nacional (Km)
Cañete – Lunahuaná	40.75	40.95
Lunahuaná – Pacarán	12.49	11.91
Pacarán – Zúñiga.	4.15	3.74
Zúñiga – Dv. Yauyos	72.60	70.40
Dv. Yauyos – Ronchas	135.13	128.19
Ronchas – Chupaca	16.61	16.54
<b>Total</b>	<b>281.73</b>	<b>271.73</b>

**Cuadro N° 1.02: Cuadro Comparativo de Distancias.**

Fuente: Elaboración Propia en base al Informe Técnico Anual 2009 - UNI.

b) Clima.- El clima que se presenta en la carretera es variable, pues el área comprometida en el estudio se ubica en diferentes regiones como se muestra en el Cuadro N° 1.03.

Región	Temperatura mínima	Temperatura media	Temperatura Máxima	Precipitación	Característica
Yunga (500-2300 msnm)		20° a 27°C		Pprom=100-150 mm	Sol dominante casi todo el año.
Quechua (2300-3500 msnm)	-4 a 7°C	11° a 16°C	22° a 29°C	Pprom=800-1200 mm	Clima templado
Suni o Jalca (3500-4000 msnm)	-1 a -16°C	7° a 10°C	>20°C	Pprom.= 800 mm por año.	Clima frío
Puna (4000-4800msnm)	-25° a -9°C	0° a 7°C	22°C	Pprom entre 200 mm y 1000 mm al año.	Clima muy frío

**Cuadro N° 1.03: Clasificación del Clima.**

Fuente: Estudio Técnico para el Cambio de Estándar, CGC - MTC.

c) Hidrología.- En la carretera existen tres tramos bien diferenciados en cuanto a niveles de precipitación:

El primer tramo está comprendido entre las localidades de Cañete (71 m.s.n.m.) y Catahuasi (1206 m.s.n.m.) donde las precipitaciones promedio anuales son escasas variando de 10 mm en Cañete a 29 mm en Catahuasi.

El segundo tramo corresponde a la cuenca media del río Cañete, comprendido entre los 2000 y 3500 msnm con una precipitación promedio de 297.1 mm anuales. Un tercer tramo corresponde a la cuenca alta del río Cañete; de la cota de 3500 msnm hasta el nivel de cumbre superior a los 4500 msnm donde la precipitación se incrementa considerablemente como lo indican las estaciones de Carania 551 msnm y Yauricocha 944.1 mm.

En cuanto se refiere a la variación de la precipitación promedio mensual, es conocido que en toda la zona altoandina existe una marcada estacionalidad. A partir de septiembre se inician las primeras lluvias incrementándose paulatinamente hasta el mes de marzo o abril. En el período entre enero y marzo se concentra el mayor volumen de precipitación. Entre los meses de abril y agosto son escasas las lluvias<sup>1</sup>.

d) Geología y Geotecnia.- Esta zona de estudio se encuentra mayormente conformada sobre unidades sedimentarias, volcánicas y metamórficas, en cuanto a las formaciones geológicas de la ruta se encuentran las formaciones de Cañete, Cerro Negro, Torán, Cocachacra y Pariatambo. La composición de los suelos tiene un 49% de material suelto, 33% de roca suelta y 18% de roca fija, en el tramo de Lunahuaná a Yauyos y en el Tramo Yauyos Chupaca se tiene 53% de material suelto, roca suelta 32% y roca fija 15%.

e) Actividad Económica.- La población influenciada por este proyecto, tiene como base económica principal, la explotación de la actividad agropecuaria (tradicionales), en comparación a los sistemas de producción mecanizados que se desarrolla en la costa. Siendo la actividad agropecuaria más común el cultivo de maíz, y alfalfa.

De igual forma la población de esta zona se dedica a actividades como comercio y turismo (Lunahuaná y Reserva Paisajística Nor-Yauyos Cochas).

#### **1.4.2. Estado Situacional de la Carretera**

Al proyectarse esta carretera como ruta alterna a la carretera central se ha necesitado elevar su capacidad vehicular para poder atender la demanda futura, actualmente la carretera tiene deficiencias en la superficie de rodadura

---

<sup>1</sup> Fuente: Consorcio de Gestión de Carreteras – Plan de Manejo Socio Ambiental.



además de no tener un diseño geométrico adecuado que permita el uso cómodo de la misma. Se observaron además algunas deficiencias en la señalización y en el sistema de drenaje.

En la actualidad se han culminado trabajos de Cambio de Estándar de nivel afirmado a nivel de Solución Básica en un 83 %, con lo que se busca obtener una mejora en la serviciabilidad de la vía. Este cambio de estándar incluye la colocación de una base estabilizada con emulsión y un recubrimiento bituminoso con slurry seal o monocapa. Cabe indicar que la vía ha sido previamente reconformada antes de colocar la Solución Básica que se observa sobre la superficie actual de la vía sin haberse realizado cambios en su geometría al momento de la ejecución del cambio de estándar.

La carretera se ha dividido en nueve sectores o tramos, teniendo en cuenta el tipo de superficie de rodadura actual, de los cuales uno se encuentra pavimentado con una infraestructura vial apropiada, los tramos restantes se encuentran con tratamiento superficial y nivel afirmado y cuentan con una infraestructura vial insuficiente. En el Cuadro N° 1.04 (Anexo B.1) se puede apreciar esta y otras características de la vía.

## **1.5. SITUACION ACTUAL DEL TRAMO EN ESTUDIO Km. 104+00 al Km. 106+000**

### **1.5.1. Ubicación**

El tramo en estudio se encuentra ubicado entre las progresivas del Km. 104+000 al Km. 106+000, pertenece al distrito de San Lorenzo de Putinza, Provincia de Yauyos, Departamento de Lima. Se encuentra cercano al poblado de Calachota en el Km. 106+845. Figura N° 1.03.

### **1.5.2. Características del Tramo en Estudio.**

**a) Altitud:** La altitud de la vía en este tramo es en promedio de 1740 m.s.n.m. y pertenece a la región Yunga, esta región se caracteriza por ser de sol dominante durante casi todo el año. La temperatura fluctúa entre 20 y 27°C durante el día; las noches son frescas, a causa de los vientos que bajan de las regiones más altas. Figura N° 1.04 (Anexo B.1)

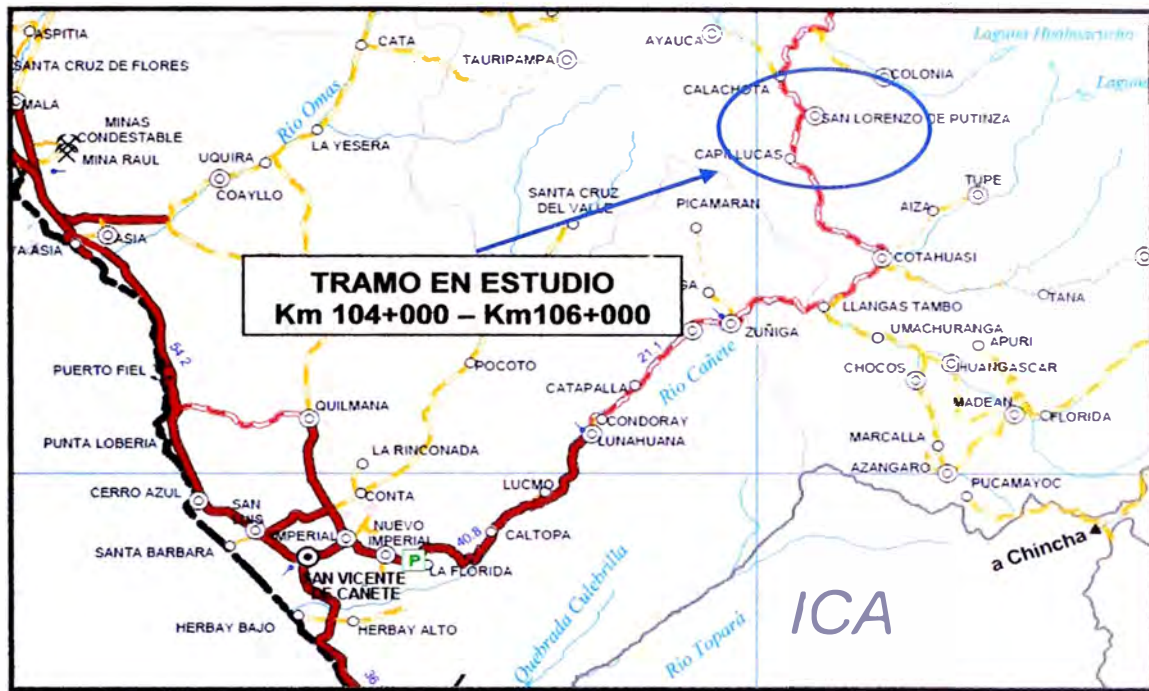


Figura N° 1.03. Ubicación del tramo en estudio.

Fuente: MTC – Provias Nacional.

**b) Topografía:** La topografía en este tramo es bastante accidentada, se desarrolla sobre media ladera con taludes de gran altura y vía existente bastante ondulada. La plataforma consta de una calzada con un solo carril de dos sentidos de circulación y con un ancho que varía de 3.0 a 4.0 m, y pendientes en el rango de 1.25 % a 2.80 %., Fotografía N° 1.01, Fotografía 1.02. (Anexo B.1).

Las características geométricas de la vía en el tramo en estudio, las cuales no han sido modificadas, durante la realización del cambio de estándar son las siguientes:

- Velocidad Directriz : 25 km/h
- Ancho de Calzada : Variable de 3 a 4 m
- Berma : Sin berma

Como falta de un adecuado diseño geométrico se observa una deficiente visibilidad en los tramos en curva, así como anchos de calzada demasiado angostos para que circule un flujo vehicular en doble sentido, que en combinación con radios de giro pequeños generan mayores riesgos a la seguridad de los usuarios de la vía. Fotografía N° 1.03, 1.04 (Anexo B.1).

### 1.5.3. Trabajos Realizados.

El tramo en estudio pertenece al sector Zúñiga – Dv. Yauyos dentro del contrato de servicios para la conservación vial, aquí se realizó el cambio de estándar que consistió en colocar una base de material granular estabilizado con emulsión que posteriormente fue protegido con un recubrimiento bituminoso (Monocapa Asfáltico). Ver Fotografías N° 1.05 hasta N° 1.11 (Anexo B.1).

Dentro de las actividades de mantenimiento rutinario se realizaron:

- Roce.
- Poda, corte y retiro de árboles.
- Limpieza de obras de arte (alcantarillas, drenajes, tuberías, etc.).
- Limpieza de la calzada y bermas.
- Limpieza de cunetas y zanjas de coronación.
- Remoción de derrumbes localizados a lo largo de la vía, en material común o conglomerados (de hasta 200 m<sup>3</sup> por evento), incluido el acarreo a los botaderos autorizados.
- Bacheo superficial y profundo localizado.

Y se complementaron actividades de mantenimiento periódico como:

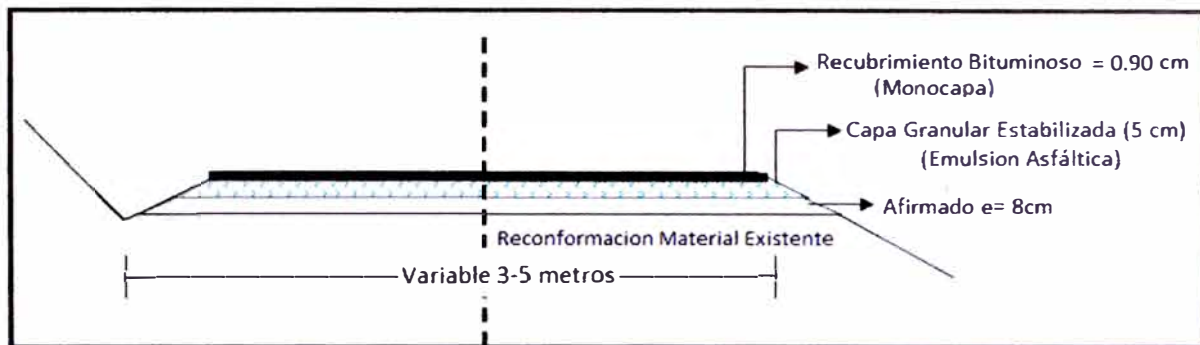
- Bacheo de la carpeta asfáltica.
- Renivelación de la carpeta asfáltica.
- Sello de Fisuras y Sobre carpetas de 5 cm de espesor.

Para el cambio de estándar de la vía, de afirmado a solución básica, el Consorcio de Gestión de Carreteras realizó una propuesta de diseño técnico, verificando su comportamiento en tramos de prueba, resultando la estructura proyectada del pavimento para el tramo en estudio la que sigue:

Superficie de Rodadura	: 0.90 cm
Afirmado estabilizado con emulsión	: 5 cm
Afirmado	: 8 cm

El tramo en estudio abarca una longitud de 2 Km. desde la progresiva Km. 104+00 hasta Km. 106+000, la superficie de rodadura colocada fue un

tratamiento superficial simple (Monocapa) que consiste en una sola aplicación uniformemente distribuida de ligante bituminoso, seguido de una aplicación de agregado pétreo de tamaño tan uniforme como sea posible. Esta se realiza sobre una superficie imprimada y con una estructura apropiada a las condiciones de sollicitación a que va a estar expuesta. Ver Figura N° 1.05.



**Figura N° 1.05. Sección del tramo en estudio.**

Fuente: Elaboración Propia.

#### 1.5.4. Evaluación Geológica y Geotécnica.

##### A) Suelos

Los estudios de suelos realizados consistieron en prospecciones (calicatas) cada 1 Km. en la plataforma vial, para el sector Km. 57+390 – Km. 130+000 se obtuvieron muestras representativas de todos los estratos, las que fueron ensayadas en el laboratorio de campo del Consorcio Gestión de Carreteras. Las perforaciones efectuadas "a cielo abierto" tienen una profundidad comprendida entre 1.0m y 1.5m.

Del análisis de los resultados de campo y laboratorio se obtuvo el perfil estratigráfico para el tramo en estudio, de la siguiente manera:

- **Km. 96+600 – Km. 106+600.** Presencia mayoritaria de arenas limo-arcillosas, con clasificación de suelos SUCS igual a SC-SM, mientras que en AASHTO es igual a A-1-b (0). Su plasticidad es baja y variable entre 4,9% y 6,0%. Se tiene presencia de bolonerías, en poca proporción en la capa superior, mientras que a partir de 0,50 aumenta su presencia a 50%. De acuerdo al estudio de suelos el valor del CBR al 95 % de la MDS es igual al 20%. (Ver Estudio de Suelos - Anexo C).

## **B) Canteras, Fuentes de Agua y Botaderos:**

Dentro del área de influencia para el tramo en estudio se tiene la quebrada Concubay en el Km. 103+200 aquí el terreno presenta intervalos de materiales sueltos y rocas competentes y cortes de talud para alturas hasta mayores a 20m. Se encontró cercanas las canteras:

- **Cuncubay I:** ubicada en el Km. 102+500, con accesos de 80 m desde el lado izquierdo de la vía. El material de ésta cantera es granular, con partículas subangulosas a angulosas, con arenas y limos, con material fino menor de la malla # 200, en regular porcentaje, de mediana plasticidad, con clasificación GM, GC-GM (SUCS) ó A-1b (0), A-2-4 (0) (AASHTO) respectivamente. El material de esta cantera podrá emplearse para Relleno únicamente. La potencia de esta cantera es de aproximadamente 312,500 m<sup>3</sup>, con 90% de rendimiento.
- **Cuncubay II:** ubicada en Km. 103+200, con acceso de 100 m desde el lado izquierdo de la vía. El material de ésta cantera es granular, con partículas subangulosas, con arenas y limos, con material fino -menor de la malla # 200, en regular porcentaje, de mediana plasticidad, con clasificación GC-GM, SC-SM (SUCS) ó A-1b (0) (AASHTO). El material de esta cantera podrá emplearse para sub-base y Relleno únicamente. La potencia de la zona estudiada es de aproximadamente 165,000 m<sup>3</sup> con 90% de rendimiento.

Es por tal motivo el Consorcio de Gestión de Carreteras durante la realización del Estudio Técnico de Cambio de Estándar ubicó a lo largo de la carretera varias fuentes de materiales, encontrando la cantera ubicada en el Km. 183+000 cuyos agregados fueron utilizados para el tratamiento asfáltico Monocapa. Este es un depósito coluvial, cuyos agregados son de forma subangular.

El tamaño de los agregados se encuentra entre ½" y la malla N° 8 (2,36mm). Su Abrasión es 29%, y sometida al ensayo de Durabilidad con Sulfato de Magnesio se obtiene 14,1%, su Peso Especifico se encuentra en 2,773 g/cm<sup>3</sup>, y su Peso Unitario compactado es 1 463 kg/m<sup>3</sup>. Las Sales Solubles Totales medidas, se encuentran por debajo de lo exigido por la especificación EG 2000 (0,04% < 0,5%).

Para la eliminación de material excedente el botadero más cercano en el tramo es el que se encuentra en el Km. 105+000. Como fuente de agua se ha considerado la proveniente del Río Cañete en el Km. 105+200 que tiene un acceso de 150 m hacia el río y presenta un caudal regular y permanente. Ver Figura N° 1.06 (Anexo B.1.)

### **C) Geodinámica**

La carretera en estudio recorre en su mayor parte la cuenca del río Cañete, una de las cuencas que más problemas de geodinámicas presenta, tanto externos (Huaycos, inundaciones, deslizamiento y otros ya enumerados) como internos (en el litoral frente a Cañete, se localizan los epicentros de un buen número de sismos que han asolado la Costa Central del Perú). Los fenómenos de geodinámica externa están condicionados a: Factores hidrológicos (fuertes precipitaciones pluviales, y elevado caudal que eleva las posibilidades de erosiones e inundaciones). Otros factores son los fenómenos de meteorización, fracturamiento y erosión de las masas rocosas de la cuenca (principalmente rocas ígneas), el intenso fallamiento y plegamiento de las rocas en la cuenca y la escasa vegetación y aridez.

En el tramo en estudio se observaron algunos trabajos de estabilización de laderas para evitar deslizamientos, como se muestra en la Fotografía N° 1.12, así también se observaron zonas con deficientes medidas preventivas. Fotografía N° 1.13 (Ver Anexo B.1).

### **D) Drenaje**

Durante la salida de campo se inspeccionó el tramo en estudio identificando el sistema actual de drenaje, obteniendo como resultado la relación de alcantarillas. Ver Cuadro N° 1.05.

A pesar de las mejoras en las obras de drenaje a lo largo de la carretera, se observó en el tramo algunas deficiencias, como la falta de un adecuado encauzamiento a la salida de las alcantarillas, y la falta de drenaje en un cambio de pendiente ubicado en el Km. 104+480. Ver Fotografías N°1.14, N° 1.15, N°1.16 y N° 1.17 (Anexo B.1).

PROGRESIVA	DESCRIPCIÓN
Km. 104+740	Alcantarilla TCM Ø=48" en buen estado con emboquillado al ingreso, cunetas artesanales limpias.
Km. 105+455	Drenaje transversal con tubería de F.G. Ø=6, drenaje lateral con cunetas artesanales limpias.
Km. 105+600	Alcantarilla TCM en buen estado, emboquillado al ingreso, cunetas artesanales limpias.
Km. 105+830	Alcantarilla TCM Ø=48" en buen estado, no tiene encauzamiento a la salida. Drenaje longitudinal con cunetas artesanales con mantenimiento.
Km. 105+990	Alcantarilla TCM Ø=48" en buen estado con emboquillado a la salida, drenaje longitudinal con cunetas artesanales con mantenimiento.

**Cuadro N° 1.05: Obras de Drenaje.**

Fuente: Elaboración Propia

### 1.5.5. Estudios de Tráfico.

El tramo en estudio del Km. 104+000 al Km. 106+000 pertenece al sector Zúñiga – Dv. Yauyos establecido dentro de los términos de referencia del contrato entre el CGC y el MTC-Provías Nacional. Para la evaluación del tráfico se utilizará el estudio realizado por la empresa ICCGSA en el año 2009 como parte del relevamiento de información estipulado en el contrato y se complementará con el estudio de tráfico realizado por la UNI - 2009.

En este estudio de tráfico se sectorizó la carretera en nueve tramos, el tramo en estudio pertenece al sector seis dentro del tramo Capillucas – Dv. Yauyos. El análisis de la demanda del tráfico se verá con más detalle en el resumen del perfil que se muestra en el Anexo A.

## CAPITULO II: ESTADO DEL ARTE

En los últimos años se ha dado un impulso sustancial a los trabajos relacionados con las carreteras y a pesar que se han desarrollado varios cientos de kilómetros, no se cuenta con metodologías propias que se adecuen a la variedad de condiciones que presenta el territorio nacional por ello se han aplicado metodologías foráneas para la evaluación superficial de los pavimentos.

En la actualidad el Ministerio de Transportes y Comunicaciones, a través del Provías Nacional está encargado de proyectos de construcción, mejoramiento, rehabilitación y mantenimiento de la Red Vial Nacional para ello se basan en las metodologías diversas y emplea la medición de la rugosidad de la superficie asfáltica de los pavimentos, como un medio para establecer la serviciabilidad y la vida remanente de las estructuras en servicio, para el control de calidad y aceptación de las carreteras nuevas, y, para el seguimiento y elaboración de estrategias de mantenimiento de la red vial.

Los métodos de evaluación superficial de pavimentos son utilizados tradicionalmente en pavimentos asfálticos, siendo la carretera en estudio una vía con tratamiento superficial asfáltico no se puede afirmar que el uso de esta metodología sea la forma correcta de evaluarla, teniendo claro que la finalidad del diseño fue obtener un cambio de estándar de la vía para el mejoramiento de la serviciabilidad.

### 2.1. OBJETIVO DE LA EVALUACIÓN FUNCIONAL DEL PAVIMENTO

La evaluación de la condición o estado de la superficie del pavimento está orientada a su carácter funcional principalmente, no comprende la determinación de la capacidad portante del pavimento (evaluación estructural). Comprende básicamente tres aspectos:

- La determinación de las fallas observadas en su superficie, mostrando la severidad y extensión del deterioro.
- La evaluación del comportamiento o serviciabilidad del pavimento, relacionado con la comodidad de manejo o transitabilidad.



- La evaluación de la seguridad ofrecida por la superficie del pavimento, principalmente orientada a los riesgos de patinaje (calzada resbaladiza).

Si bien cada aspecto mencionado anteriormente tiene objetivos diferentes existe una gran interrelación entre los mismos. La evaluación del deterioro del pavimento está orientada a establecer necesidades de mantenimiento y/o rehabilitación, mientras que la serviciabilidad se relaciona con la comodidad para los usuarios y sus costos de operación. Es decir que si bien ambos se interrelacionan, desde el momento que el deterioro es la causa de la pérdida de serviciabilidad presente y futura, la “medición” de las fallas del pavimento no constituye en sí una representación de la respuesta de los usuarios, evaluada a través de los estudios de serviciabilidad o comportamiento.

A fin de satisfacer el objetivo para la evaluación funcional de un pavimento, un sistema de evaluación de la condición superficial debe cumplir los siguientes requisitos:

- Objetividad.- Tradicionalmente esta evaluación se ha efectuado clasificando los pavimentos en estudio en base a una apreciación subjetiva, donde el factor personal ha tenido siempre un peso importante. Sin embargo en la actualidad se ha orientado a sistematizar la evaluación a fin de dotarla de objetividad, procurando de este modo independizar los datos que se recojan de la influencia personal del operador, a fin de obtener resultados producibles y congruentes entre los distintos tramos evaluados.
- Continuidad en el espacio.- El estado del pavimento puede variar de un punto a otro aun en un espacio cercano debido a heterogeneidades en la construcción, por ello la evaluación debe comprender la totalidad del tramo a fin de ser representativo.
- Periodicidad en el tiempo.- Es imprescindible que la evaluación se lleve a cabo en forma periódica ya que un pavimento se desgasta de forma gradual, progresiva y continúa y resulta más útil saber la evolución de la condición del pavimento con el tiempo que su condición en un instante dado. La frecuencia para la evaluación dependerá del tipo y edad del pavimento, del clima y tránsito, etc.

## 2.2. SERVICIABILIDAD DEL PAVIMENTO

La evaluación del comportamiento o serviciabilidad del pavimento implica llevar a cabo un análisis de la respuesta funcional del mismo a través de su evolución en el tiempo. Para su apreciación se requieren relevamientos periódicos, asociando la respuesta obtenida al tráfico soportado durante lapso transcurrido.

El concepto de serviciabilidad ha sido desarrollado en el A.A.S.H.O. Road Test<sup>2</sup> en la década de los 50 y se relaciona con el propósito para el que fue construido el pavimento: asegurar una circulación suave, confortable y segura, su apreciación depende del usuario, de las características propias del vehículo, de la velocidad de operación y de la condición del pavimento. Se definieron los siguientes términos:

**a) Rango de Serviciabilidad Presente P.S.R.:** es la opinión de un observador sobre la capacidad o habilidad del pavimento para servir al tránsito que se considera debe soportar. La escala de calificación subjetiva empleada por los paneles de observadores de la A.A.S.H.O. Road Test varía de 5 (excelente) a 0 (esencialmente impasable). Ver Cuadro N° 2.01.

Sección N°:		Ruta N°	
Tipo de Pavimento	Vehículo	Fecha: a.m p.m.	Evaluador:

Influencia de los elementos de comportamiento en la calificación de la serviciabilidad presente (PSR).

0-1	Muy pobre
1-2	Pobre
2-3	Regular
3-4	Bueno
4-5	Muy bueno

Aceptable	
Si	
No	
Dudoso	

ELEMENTO	Sin influencia	Influencia Menor	Influencia Apreciable	Pronunciada influencia
Distorsión longitudinal				
Distorsión Transversal				
Fisuración				
Dislocamientos				
Deterioro Superficial				

**Cuadro N° 2.01. Tarjeta de Calificación**

Fuente: A.A.S.H.O, 1959

<sup>2</sup> American Association of State Highway Officials Road Test (Carretera Experimental de la Asociación Americana de Funcionarios de Carreteras Estatales).

**b) Índice de Serviciabilidad Presente, P.S.I.:** es la estimación de la media de las calificaciones obtenidas por un panel de observadores, y su relación con los defectos observados en el pavimento. Ver Cuadro N° 2.02.

CALIFICACION		DESCRIPCION
NUMÉRICA	VERBAL	
5-4	Muy Buena	Solo pavimentos nuevos (o casi nuevos) son lo suficientemente suaves y sin deterioro para clasificar en esta categoría. La mayor parte de los pavimentos construidos o recapeados durante el año de inspección normalmente se clasificarían como muy buena.
4-3	Buena	Los pavimentos de esta categoría, si bien no son tan suaves como los "Muy Buenos", entregan un manejo de primera clase y se muestran muy poco o ningún signo de deterioro superficial. Los pavimentos flexibles pueden estar comenzando a mostrar signos de ahuellamiento y fisuración aleatoria. Los pavimentos rígidos pueden estar empezando a mostrar evidencias de un leve deterioro superficial, como desconches y fisuras menores.
3-2	Regular	En esta categoría la calidad de manejo es notablemente inferior a la de los pavimentos nuevos, y puede presentar problemas para altas velocidades de tránsito. Los defectos superficiales en pavimentos flexibles pueden incluir ahuellamiento, parches y agrietamiento. Los pavimentos rígidos en este caso pueden presentar fallas en las juntas, agrietamientos, escalonamientos y pumping.
2-1	Mala	Los pavimentos de esta categoría se han deteriorado hasta un punto donde pueden afectar la velocidad de tránsito de flujo libre. Los pavimentos flexibles pueden tener grandes baches y grietas profundas; el deterioro en pavimentos rígidos incluye desconche de juntas, escalonamientos, parches, agrietamiento y bombeo.
1-0	Muy Mala	Los pavimentos de esta categoría se encuentran en una situación de extremo deterioro. Los caminos se pueden pasar a velocidades reducidas y con considerables problemas de manejo. Existen grandes baches y grietas profundas. El deterioro ocurre en un 75% o más de la superficie.

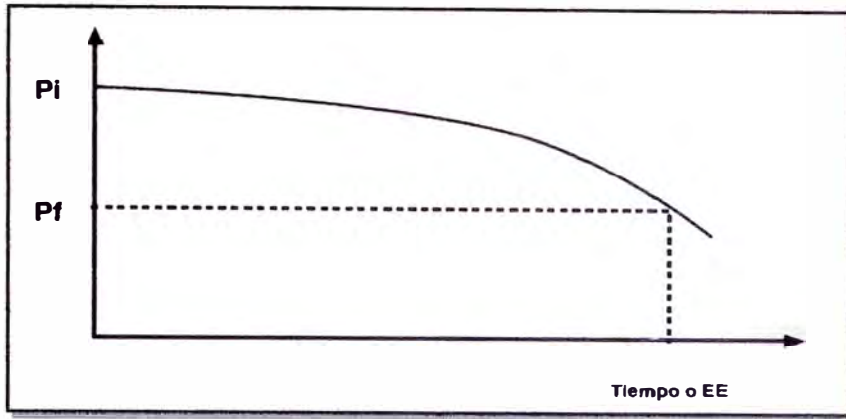
**Cuadro N° 2.02. Escala de la Calificación de la Serviciabilidad**

Fuente: A.A.S.H.T.O, 1962

### 2.2.1. Índice de Serviciabilidad Presente (PSI)

Para disminuir el carácter subjetivo de este índice se relacionaron estas evaluaciones con ciertas características físicas del pavimento que pueden medirse objetivamente. De esta manera se obtiene el denominado PSI (Índice de Serviciabilidad Presente).

Como el comportamiento del pavimento puede ser representado por la historia de la serviciabilidad de dicho pavimento considerando el estado inicial ( $PSI_i$ ) y el final ( $PSI_f$ ) como se muestra en la Figura N° 2.01. En definitiva es posible reemplazar la calificación subjetiva de serviciabilidad por un índice numérico calculado a partir de variables física medibles (deterioros).



**Figura N° 2.01. Curva de comportamiento de un pavimento**

Fuente: Elaboración propia

Como el comportamiento de un pavimento se puede asociar a valores del índice de serviciabilidad en distintos momentos del mismo, entonces es posible definir ciertos valores del indicador para la toma de decisiones. El Cuadro N° 2.03 muestra algunos valores de referencia para pavimentos nuevos y nivel de restauración para el Índice de Serviciabilidad Presente tal como lo define AASHTO.

CONDICION	ÍNDICE DE SERVICIABILIDAD (PSI)
Pavimento Asfáltico Nuevo	4.2
Pavimento Concreto Nuevo	2.5
Nivel de Restauración más Exigente	2.5
Nivel de Restauración adoptado en Perú	2.0

**Cuadro N° 2.03: Índices de Serviciabilidad de Referencia**

Fuente: AASHTO, 1963

Entonces para obtener la curva de la Figura N° 2.01 se pueden asociar distintos puntos a valores del Índice de Serviciabilidad como muestra el Cuadro N° 2.03. Esto indica que para distintos momentos en la vida de los pavimentos existirán valores de índice de serviciabilidad asociados.

En las ecuaciones para determinar el Índice de Serviciabilidad Presente (PSI), se incluyen, dependiendo del tipo de pavimento, mediciones de ahuellamiento, agrietamiento, baches e irregularidades del pavimento; siendo esta última la que domina los valores estimados de serviciabilidad. Esto significa que las irregularidades del pavimento tienen el mayor efecto en la evaluación de los

usuarios que califican la calidad de rodado. Entonces, como es posible representar el comportamiento de un pavimento en el tiempo a partir de valores del índice de serviciabilidad, en la práctica también se puede representar dicho comportamiento a través de la regularidad del pavimento (rugosidad).

En la década de los 60, con la aparición de aparatos de medición (Perfilómetros), se obtuvo una ecuación para el caso de pavimentos flexibles:

$$PSI = 5.03 - 1.91 * \log(1+ SV) - 1.38*(RD)^2 - 0.01*(C+P)^{0.5} \quad (A)$$

donde:

SV : Varianza de la pendiente promedio en la sección del pavimento\*106  
(dato obtenido con el perfilómetro CHLOE).

RD : Profundidad del ahuellamiento medio, en pulgadas.

C : Cantidad de agrietamiento tipo "Piel de Cocodrilo" en  $\text{pies}^2/1000 \text{ pies}^2$ .

P : Cantidad de baches en  $\text{pies}^2/1000 \text{ pies}^2$ .

Es así que muchas agencias de carreteras de Estados Unidos, convirtieron el valor de SV en un Índice de Rugosidad medido con otro aparato diferente al CHLOE. Otras agencias en cambio correlacionaron el PSI directamente con las medidas de la rugosidad, debido a que los términos de rugosidad (SV y RD) en la ecuación (A), prevalecen sobre los términos de daños (C y P).

Tomando como base a la respuesta de los usuarios, la AASHTO considera como críticos (limites en los que se requiere alguna rehabilitación) a los siguientes valores de PSI:

Volumen de Tráfico	PSI Crítico	IRI Crítico (m/Km)
Alto (> 10,000 IMD)	3.0 – 3.5	1.97 – 1.38
Medio (3,000 – 10.000 IMD)	2.5 – 3.0	2.68 – 1.97
Bajo (< 3,000 IMD)	2.0 – 2.5	3.55 – 2.68

**Cuadro N° 2.04: Índices de Serviabilidad Críticos**

Fuente: AASHTO, 1963

Para efectos del presente estudio, se utilizará para la determinación analítica del PSI la expresión aproximada establecida por Sayers en 1986, que relaciona la rugosidad con el Índice de Serviabilidad, la correlación adoptada se desarrolló

usando los datos obtenidos en el Ensayo Internacional sobre Rugosidad en Caminos, realizado en Brasil en 1982, que tiene la siguiente expresión:

$$PSI = 5.0 / e^{(R/5.5)} \pm 25\%; \quad \text{para } R < 12$$

Donde:

R = Rugosidad en IRI.

### 2.3. CONCEPTO DE RUGOSIDAD

La norma E 867-06 de la ASTM (American Society of Testing and Materials), define la rugosidad como la desviación de una determinada superficie de pavimento respecto a una superficie plana teórica, con dimensiones que afecten la dinámica del vehículo, calidad en el desplazamiento, cargas dinámicas y drenaje, tal como, perfil longitudinal y perfil transversal (ASTM, 1995).

La rugosidad se diferencia de otras medidas de las características geométricas de la superficie como las mayormente utilizadas macrotextura y microtextura, por las longitudes de onda y amplitudes de las irregularidades en el sentido de la marcha como se muestra en el Cuadro Nº 2.05.

DOMINIO		RANGO DE DIMENSIONES (APROX.)	
		LONGITUDES DE ONDA (horizontal)	AMPLITUD (vertical)
Microtextura		0 - 0,5 mm	0 - 0,2 mm
Macrotextura		0,5 - 50 mm	0,2 - 10 mm
Megatextura		50 - 500 mm	1 - 50 mm
Regularidad Superficial	Ondas cortas	0,5 - 5 m	1 - 20 mm
	Ondas medias	5 - 15 m	5 - 50 mm
	Ondas largas	15 - 50 m	10 - 200 mm

**Cuadro Nº 2.05: Clasificación de las características geométricas de la superficie de los pavimentos.** Fuente: XVIII Congreso Mundial de Carreteras PIARC (Bruselas, 1987)

Según la clasificación propuesta en el XVIII Congreso Mundial de Carreteras por el Comité Técnico de Características Superficiales de la Asociación Mundial de Carreteras: PIARC (Kraemer C, Rocci S., 2004):

“Las Texturas dependen básicamente de los áridos utilizados (textura superficial, granulometría y tamaño máximo) y la matriz (mezclas bituminosas o concretos) mientras que los defectos de irregularidad superficial, que se

manifiestan mediante unas ondas de mayor longitud, son debidas a la puesta en obra (extensión, compactación), a deformaciones de la estructura del pavimento bajo el tráfico o a deformaciones de la capa de rodadura<sup>7</sup>.

La influencia de las regularidades superficiales son distintas en los fenómenos de interacción entre neumático y pavimento, mientras las texturas se asocian a resistencia al deslizamiento, la regularidad superficial (rugosidad) se asocia a la calidad y comodidad de la rodadura de los vehículos. Uno de los problemas con los que se encuentran los técnicos a la hora de valorar la calidad y comodidad de la rodadura de los vehículos y de comparar experiencias entre países, es la gran diversidad de técnicas, equipos e indicadores existentes en cada uno de estos. Como consecuencia de ello se planteó a nivel internacional el interés de desarrollar un índice único y común al que referirse, que fuera independiente del equipo o técnica de obtención de la geometría del perfil y que además representara significativamente el conjunto de las percepciones de los usuarios circulando en un vehículo medio a una velocidad media.

Así entre Mayo y Junio de 1982, el Banco Mundial, llevó a cabo en Brasil un experimento internacional llamado IRRE por sus siglas en inglés (International Road Roughness Experiment) y fue conducido por Equipos de Investigación de Brasil, Inglaterra, Francia, Estados Unidos y Bélgica. En dicho evento se utilizaron diferentes equipos de medición de rugosidad, con distinta metodología de aplicación, fueron 11 los equipos utilizados y se separaron en tres categorías:

- Equipos tipo respuesta RTRRMSS (03 Maysmeter, 02 Roadmeters, 01 Bump Integrator y 01 BPR Rougmeter).
- Perfilómetros dinámicos de alta velocidad (01 APL, 01 Perfilómetro dinámico superficial).
- Métodos estáticos de medición del perfil (01 Nivel y mira, 01 Viga desarrollada por el TRRL).

Los equipos fueron experimentados sobre 49 sitios: trece superficies de hormigón, doce secciones con tratamiento superficial, doce caminos de grava y doce caminos de tierra. Después de cuatro años se publicó los resultados en 1986, con el objetivo principal de establecer un parámetro único de medición de la Rugosidad, al que denominó IRI por sus siglas en inglés (International

Roughness Index); y con el objetivo adicional de agrupar los sistemas de medición de la Rugosidad. Esta medida de la rugosidad se realiza en la superficie a través del perfil longitudinal, aunque se debe clarificar que no necesariamente los orígenes de las deformaciones están en la superficie sino que se pueden producir en general, en toda la estructura del pavimento. Independientemente del origen de la deformación, la medición de IRI, por definición, considerará aquellas que se manifiestan en la superficie y que representan la diferencia entre una superficie de referencia plana y la real existente en el instante de la medida.

### **2.3.1. Índice de Rugosidad Internacional (IRI)**

El IRI es un indicador estadístico de la irregularidad superficial del pavimento; representa la diferencia entre el perfil longitudinal teórico (recta o parábola continua perfecta, IRI = 0) y el perfil longitudinal real existente en el instante de la medida. Las diferencias entre los perfiles (irregularidades) obedecen principalmente al proceso constructivo y a la utilización de la carretera.

Anteriormente se mencionó que el comportamiento de los pavimentos se puede asociar a valores de su regularidad en el tiempo, como el IRI es un indicador de esta, finalmente es posible asociar comportamiento del pavimento a valores de IRI. La importancia de este concepto entonces, está directamente relacionada con el comportamiento del pavimento en su vida útil. En la Figura N° 2.02 se puede observar cómo un pavimento con IRI inicial más bajo puede soportar muchos más vehículos que uno con mayor IRI inicial.

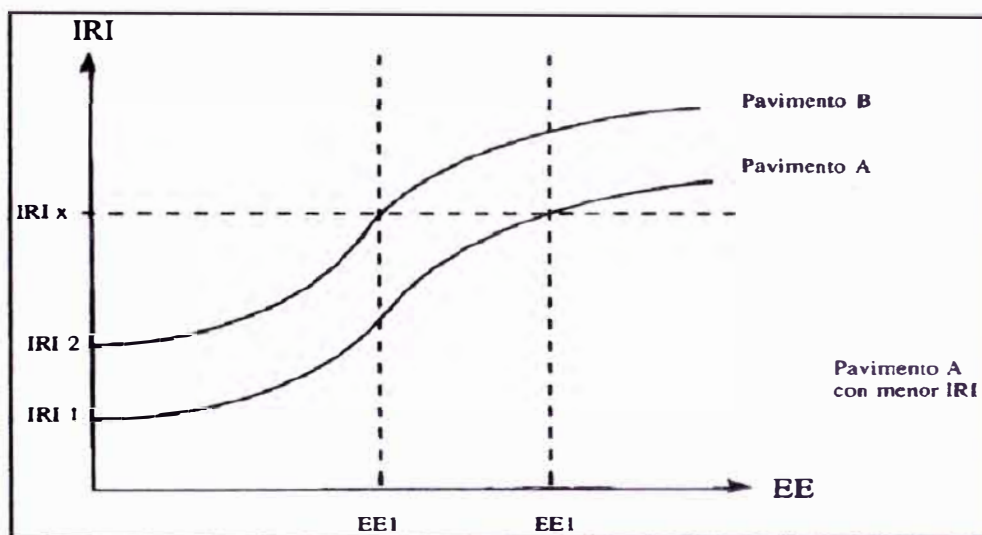
### **2.3.2. Determinación del IRI.**

El IRI se determina mediante un cálculo matemático realizado con las ordenadas o cotas de una línea del perfil longitudinal, obtenidas por cualquier técnica o equipo de medida del perfil longitudinal.

Por lo tanto la determinación del IRI no considera el perfil transversal, y sí considera cualquier tipo de deterioro o singularidad (algún tipo de escalonamiento, baches, gran densidad de grietas y/o pérdida de áridos, entre otros) que afecten la medida del perfil longitudinal en las longitudes de onda entre 0,5 m y 50 m como se indicó anteriormente. Ver Figura N° 2.03.

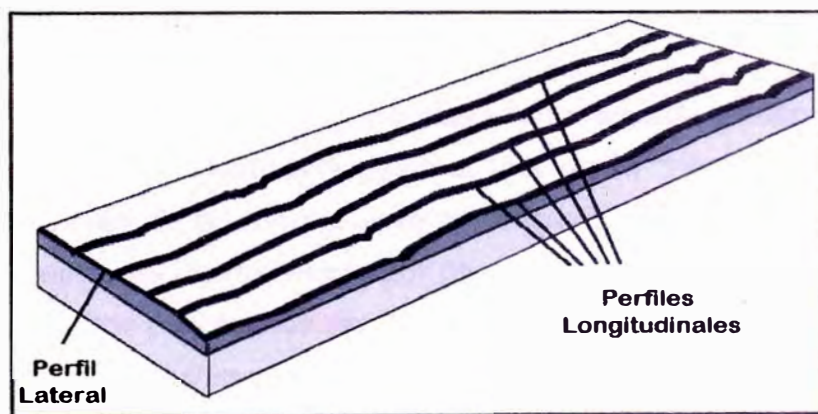


El primer paso del procedimiento para el cálculo del IRI, y el más importante de todos, consiste en medir las cotas o elevaciones de terreno que permiten representar el perfil real del camino. Esto significa que, el IRI es independiente de la técnica o equipo utilizado para obtener el perfil, y dependerá únicamente de la calidad del perfil longitudinal.



**Figura Nº 2.02. Curvas de IRI para pavimentos con IRI inicial distintos**

Fuente: Gestión de Infraestructura Vial, H. de Solminihaç, 2001.



**Figura Nº 2.03. Perfiles del Camino**

Fuente: Elaboración Propia, Web.

Estos datos son sometidos a un primer filtro, en el cual se realiza un análisis estadístico (media móvil) y adecuaciones matemáticas, para poder generar un nuevo perfil que permite ser analizado desde el punto de vista de las irregularidades que se pudieran observar. Las razones para aplicar este primer filtro son las siguientes:

a) Para simular el comportamiento entre las llantas de los vehículos y la carretera; y

b) Para reducir la sensibilidad del algoritmo del IRI al intervalo de muestreo.

Al nuevo perfil generado se le aplica un segundo filtro, el cual consiste en la aplicación de un modelo de cuarto de coche que se desplaza a una velocidad de 80 Km/h.

### 2.3.3. Modelo del Cuarto de Coche (Quarter Car o Golden Car).

Para determinar el IRI, se creó a través del Banco Mundial un modelo llamado “cuarto de coche”, modelo que simula que al avanzar a una velocidad determinada (80 Km./h) e ir siguiendo las irregularidades del camino, las masas se mueven en vertical (simulando el asiento del conductor).

A través del llamado cuarto de coche, se registran las características asociadas al camino basadas en los desplazamientos verticales inducidos a un vehículo estándar, el cual es modelado de forma simplificada como un conjunto de masas ligadas entre sí y con la superficie de la carretera, mediante resortes y amortiguadores. El movimiento sobre el perfil de la carretera produce desplazamientos, velocidades y aceleraciones en las masas, que lleva a medir los movimientos verticales no deseados atribuibles a la irregularidad del camino. Figura N° 2.04.

El modelo de simulación consta de una masa “amortiguada o suspendida” (masa de un cuarto de carro ideal) conectada a una masa “no amortiguada” (eje y neumático), a través de un resorte y un amortiguador lineal (suspensión), y por último el neumático es representado por otro resorte lineal. El modelo de cuarto de coche emplea los parámetros de lo que se ha denominado como el Carro de Oro, los cuales se muestran a continuación:

$$k_2 = \frac{k_s}{M_s} = 63.3 \quad k_1 = \frac{k_r}{M_s} = 653 \quad ; \quad c = \frac{C_s}{M_s} = 6 \quad \mu = \frac{M_r}{M_s} = 0.15$$

donde:

$K_s$  : constante del resorte de la suspensión

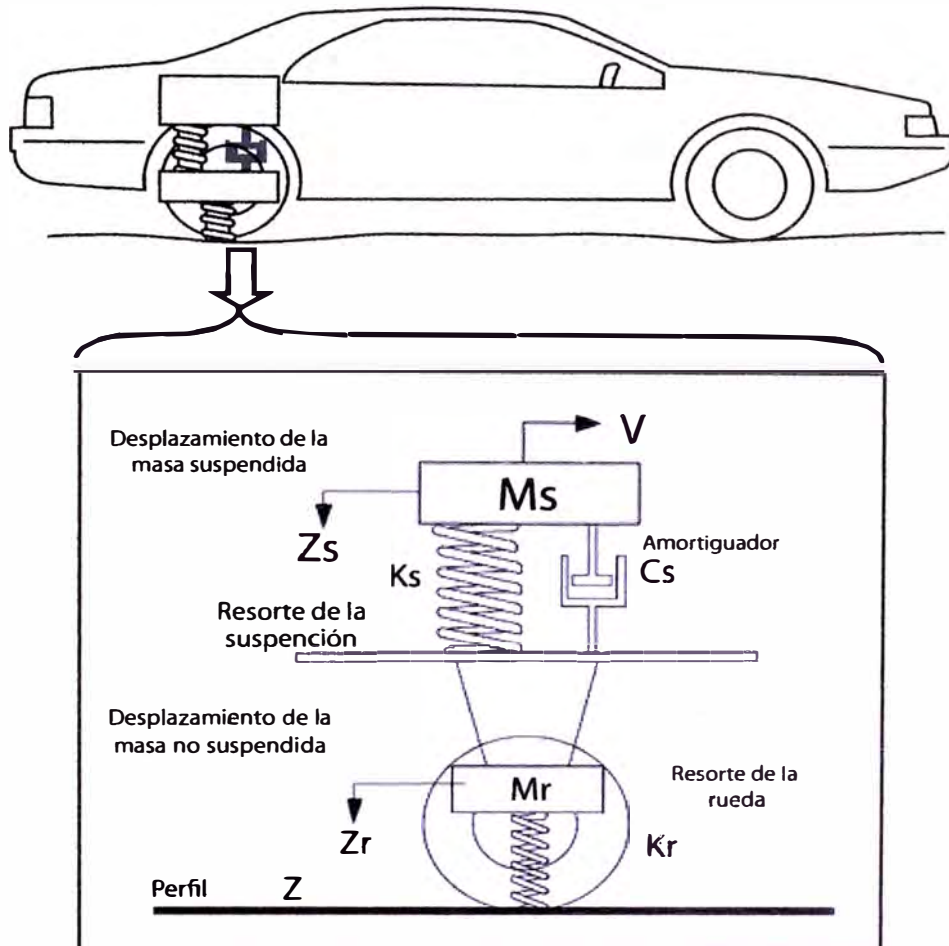
$K_r$  : constante del resorte de la rueda

$M_s$  : masa suspendida

$M_r$  : masa no suspendida

$C_s$  : amortiguador

Las ecuaciones dinámicas presentes en el modelo, forman un sistema de ecuaciones que utilizan como dato de entrada el perfil de la carretera (en la parte inferior del “resorte del neumático”).



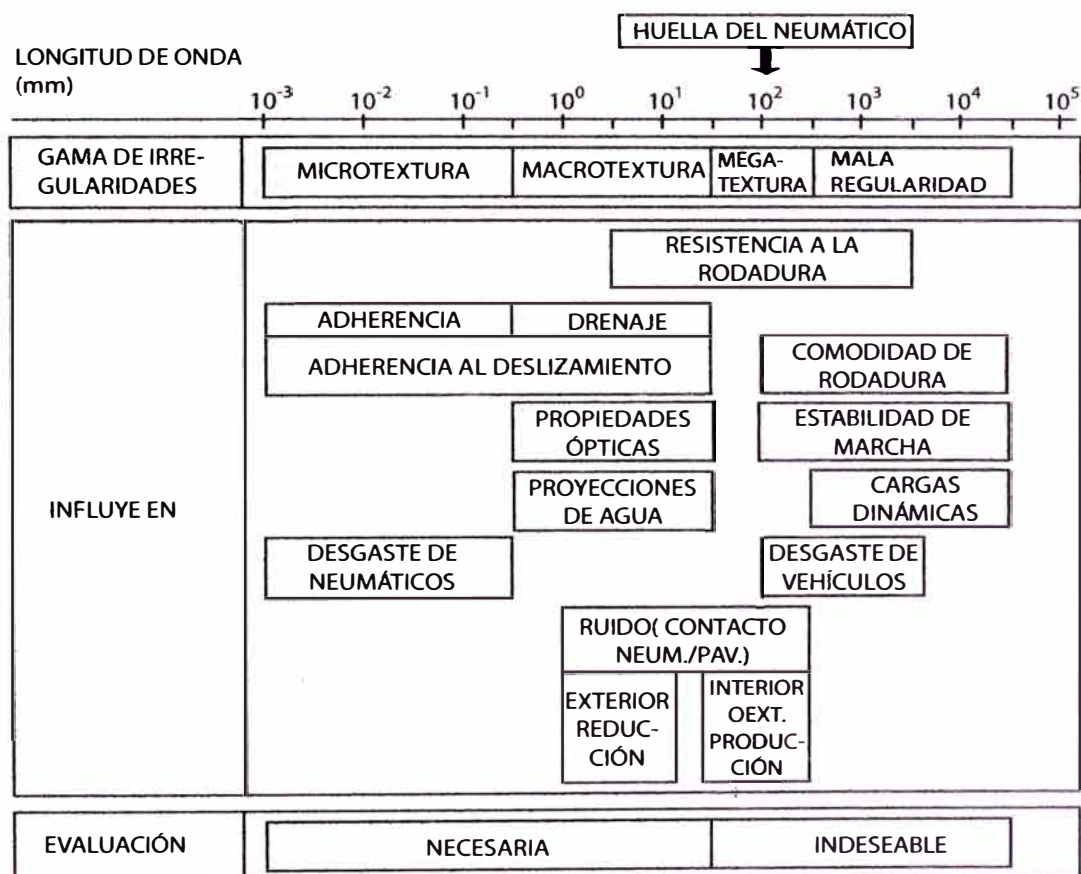
**Figura N° 2.04. Modelo de Cuarto de Coche para el cálculo del IRI.**

Fuente: De Solminihac, H. Planificación y Gestión Vial. 2006

Por lo tanto a lo que se conoce como IRI se define como el “Movimiento vertical (desplazamiento) en valor absoluto de las diferencias acumuladas de las masas superior e inferior divididos por el incremento de longitud del camino recorrido”. El valor en m/Km (metros acumulados por kilómetro viajado) es la medida final de la regularidad del camino.

El IRI representa el efecto que tienen las desviaciones de la superficie del pavimento (causa) sobre el vehículo del usuario del camino respecto a una

superficie plana teórica con dimensiones suficientes para afectar la dinámica del vehículo y la calidad al manejar. De lo anterior se deduce que no todas las dimensiones de irregularidades superficiales afectan la dinámica del vehículo y la calidad al manejar. En efecto, las distintas características superficiales de los pavimentos tienen diferentes influencias en los fenómenos de interacción entre vehículo y pavimento como se muestra en la Figura N° 2.05.



**Figura N° 2.05. Influencia de la gama de irregularidades en los fenómenos de interacción entre vehículo y pavimento.**

Fuente: Revista de la Construcción, Mauricio Pradena M., 2006.

Se aprecia que los defectos de regularidad del pavimento tienen condición de indeseable, mientras que las mayormente utilizadas microtextura y macrotextura son una condición necesaria. Mientras estas afectan a la adherencia, drenaje, resistencia al deslizamiento, neumáticos y ruido entre otras, no afectan la comodidad de rodadura como sí lo hace la mala regularidad por las oscilaciones que producirá, además de aumentar el consumo de combustible, el desgaste, e influyen en la estabilidad de los vehículos, y las cargas dinámicas sobre el pavimento.

## 2.4. METODOS PARA LA MEDICIÓN DE LA RUGOSIDAD

### 2.4.1. Clasificación de los Métodos

De acuerdo al Banco Mundial estos se clasifican en cuatro clases dependiendo de la forma de obtención del perfil longitudinal y el grado de precisión de las mediciones.

El Documento Técnico N° 46 del Banco Mundial (DT46BM) publicado en 1986, fue elaborado en base a los resultados del IRRE, como respuesta a la proliferación de instrumentos de medición de la Rugosidad y a las dificultades cada vez crecientes por correlacionar sus resultados. Este documento es aplicable a dos tipos de medida de la Rugosidad:

- Mediciones directas; y
- Estimaciones de la medición estándar de la rugosidad, usando sistemas de medición del tipo respuesta (RTRRMS por sus siglas en ingles: Response-Type Road Roughness Measuring Systems).

El DT46BM proporcionó una guía a los usuarios para adquirir información sobre la rugosidad, que les permita construir una base de datos para una red de carreteras. Para ello deberán:

- 1° Seleccionar un método para medir la rugosidad;
- 2° Calibrar el equipo de medición seleccionado, a una escala estándar de rugosidad; y
- 3° Emplear procedimientos que aseguren mediciones confiables en el uso rutinario.

La aplicación de esta guía permite asegurar también que:

- Las medidas de la rugosidad indiquen la condición de la carretera y de cómo ella afecta a los conductores en términos de calidad de la transitabilidad, costos de los usuarios y seguridad.
- La información recopilada en mediciones rutinarias sea relacionada a una escala estándar de rugosidad y que los datos erróneos puedan ser identificados antes de ingresarlos a la base de datos.
- Los datos de la rugosidad puedan ser comparados directamente con los adquiridos por otras organizaciones de carreteras que siguen la misma guía.

- Por último que las medidas de la rugosidad tengan el mismo significado en todos los tipos de carreteras utilizadas por los camiones y autos de pasajeros, incluyendo asfalto, concreto, tratamiento superficial, grava y camino de tierra. En la Figura N° 2.06 se puede observar la Escala de Rugosidad para diferentes tipos de carreteras.

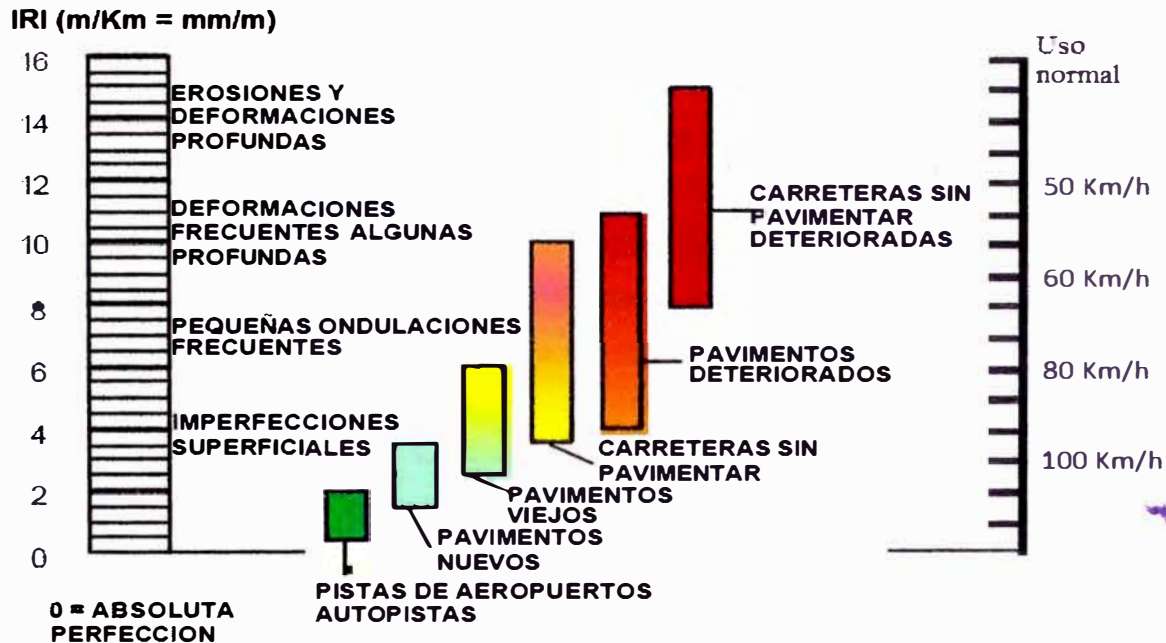


Figura N° 2.06. Escala de la Rugosidad IRI.

Fuente: Adaptado del DT46BM, 1986.

#### 2.4.2. Métodos Clase 1: Perfiles de Precisión

Representa los estándares de más alta seguridad en la medición del IRI. Se dividen en Métodos Perfilométricos Estáticos (usando Varilla y Nivel), en los que la distancia entre los puntos de medición no debe ser mayor de 25 cm y la precisión en las medidas de la elevación debe ser de 0.5 mm para pavimentos muy lisos, hasta 3.0 mm para otros tipos (ver Cuadro N° 2.06); y los Métodos que usan Perfilómetros de Alta Velocidad (como la Viga del TRRL), los que deben ser validados por los Métodos Perfilométricos Estáticos.

Un método clasifica como de clase 1, si el error en sus medidas es despreciable, comparado con la incertidumbre asociada con el intento de localizar exactamente la misma huella vehicular dos veces, en un tramo de prueba de 320m similar al usado en el experimento internacional IRRE del Brasil. La repetibilidad en esas condiciones es de 0.30 m/Km. en caminos pavimentados y de 0.5 m/Km. en todos los otros tipos de carreteras.

### 2.4.3. Métodos Clase 2: Otros Métodos Perfilométricos.

Incluye todos los otros métodos en los que se mide el perfil como la base para el cálculo directo del IRI, pero que no cumplen con la seguridad requeridas en las mediciones y tienen una exactitud menor que los de la Clase 1. En consecuencia las mediciones del IRI con equipos de Clase 2 pueden no ser seguros debido a los errores aleatorios en un cierto rango de condiciones. Esta clase incluye a los perfilómetros de alta velocidad como el Trailer APL (el único validado experimentalmente) y el Perfilómetro GMR del Tipo Inercial (que ha sido validado para caminos con IRI de hasta 3 m/Km). Los Perfilómetros de Alta Velocidad tienen la ventaja de ofrecer mediciones de calidad de manera rápida y sin requerir grandes esfuerzos en la calibración de mantenimiento, pero tienen la desventaja de ser los más caros, requerir personal con entrenamiento de ingeniería y depender en gran medida del fabricante.

Tanto los métodos Clase 1, como los Clase 2, establecen la rugosidad en unidades IRI haciendo uso de programas de cómputo, los cuales se basan en algoritmos matemáticos que simulan la respuesta dinámica que experimenta el sistema de suspensión de un vehículo modelo, al “transitar” por el perfil medido. Dicha respuesta se sintetiza finalmente en la cantidad de movimiento relativo vertical acumulado por unidad de longitud, expresado en m/Km. y que recibe el nombre de IRI.

En el Cuadro N° 2.06 se dan los requerimientos de precisión y espaciamiento para medidas de la rugosidad con Perfilógrafos Clase 1 y 2.

Rango de Rugosidad (m/Km)	Intervalo máximo entre puntos de ensayo (mm)		Precisión de las medidas (mm)*	
	Clase 1	Clase 2	Clase 1	Clase 2
1.0 – 3.0	250	500	0.5	1.0
3.0 – 5.0	250	500	1.0	1.5
5.0 – 7.0	250	500	1.5	2.5
7.0 – 10	250	500	2.0	4.0
10 - 20	250	500	3.0	6.0

\* Precisión Clase 1  $\leq (0.25 \text{ IRI (m/Km)})$

Precisión Clase 2  $\leq (0.50 \text{ IRI (m/Km)})$

#### Cuadro N° 2.06. Requerimientos de Seguridad para la Medida Perfilométrica del IRI.

Fuente: Adaptado del DT46BM, 1986.

#### **2.4.4. Métodos de Clase 3: Estimaciones del IRI a partir de Ecuaciones de Correlación.**

En esta clase pertenecen los métodos que recurren a una ecuación de correlación para la estimación del IRI, estos métodos son también denominados “tipo respuesta” (Response-Type Road Roughness Measuring System, o RTRRMS), establecen la rugosidad en base a la detección del movimiento relativo que experimenta el sistema de suspensión de un vehículo al transitar por el pavimento. Estas mediciones con métodos Clase 3 dependen de las características dinámicas de los vehículos, para proporcionar parámetros de rugosidad que puedan correlacionarse con el IRI, sin embargo las propiedades de cada vehículo cambian con el tiempo por lo que las mediciones directas deben ser correlacionadas con el IRI mediante una ecuación de calibración que debe ser obtenida experimentalmente y específicamente para el vehículo empleado. Se encuentran dentro de esta clase aquellos que usan la suspensión acumulada del movimiento como el Bump Integrator (Inglés).

La calibración se hace en tramos de carretera cuya Rugosidad ha sido determinada por dispositivos que califican en las Clases 1 ó 2. La “reproducibilidad” debe estar alrededor de 0.5 m/Km. para caminos pavimentados en secciones de 320 m de longitud y alrededor de 1 m/Km. para caminos no pavimentados de esa misma longitud.

#### **2.4.5. Métodos Clase 4: Evaluaciones Subjetivas y Mediciones no Calibradas.**

Se aplican a situaciones en las que se necesita una Base de Datos de Rugosidad, pero no se requiere, o no se puede alcanzar una gran seguridad en las mediciones. En esos casos se hace una inspección visual o se emplean las mediciones de un instrumento no calibrado. El rango de aplicación de estas estimaciones de la rugosidad está entre 2 y 6 m/Km.

### **2.5. CALIBRACIÓN DE LOS EQUIPOS DE MEDICION DE RUGOSIDAD**

La calibración de los equipos de medición de rugosidad depende del tipo de equipo que se emplee. Los perfilómetros de precisión utilizados en métodos de clase 1, no requieren de mayor calibración por tratarse de una medición directa



del perfil longitudinal y más bien son utilizados para calibrar equipos utilizados en la clase 2 y 3. Los equipos empleados en la clase 2 como son los perfilómetros de alta velocidad son menos precisos que los de clase 1. Por ser equipos de alta tecnología su calibración es usualmente realizada por cada fabricante y verificada en campo por equipos de Clase 1.

En lo que respecta a los métodos de Clase 3 que utilizan rugosímetro dinámicos y su grado de precisión depende del proceso de calibración utilizado y del grado de precisión de las ecuaciones de correlación utilizadas. Para la calibración de estos equipos se utilizan equipos de Clase 1 de preferencia y de no contar con estos, se calibrara con equipos de Clase 2. Los métodos de Clase 4 por ser subjetivos simplemente dependen de la experiencia del evaluador con resultados obtenidos con los otros métodos. En el Perú, los rugosímetro dinámicos con métodos de medición de Clase 3 son los más empleados.

Sin embargo en el presente trabajo se hará énfasis en el uso del rugosímetro tipo MERLIN, equipo de diseño simple fabricado especialmente para su uso en países en vías de desarrollo y que se ha utilizado en el Perú en ausencia de los rugosímetro dinámicos.

## **2.6. EL EQUIPO MERLIN**

### **2.6.1. Uso del MERLIN por el TRRL**

El Laboratorio Británico de Investigación de Transportes y Caminos conocido como por sus siglas en inglés como TRRL (Transport and Road Research Laboratory) de Gran Bretaña publicó en 1991, un documento elaborado por Cundill, sobre el MERLIN, un dispositivo de bajo costo desarrollado especialmente para los países en vías de desarrollo. MERLIN son las siglas en inglés de Machine for Evaluation Roughness using Low-Cost Instrumentation (Maquina para la Evaluación de la Rugosidad usando Instrumentación de Bajo Costo), equipo de medición cuyo principio de diseño y calibración fue en base a los datos de rugosidades obtenidos en el IRRE (Brasil 1982). Posteriormente se dio a conocer más en la década de los 90, con la finalidad de disponer de un equipo de tecnología intermedia con la ventaja de su bajo costo de fabricación y exactitud de los resultados que proporciona.

El primer diseño del Merlín era la versión Mk1 como se aprecia en la Figura N° 2.07, posteriormente en TRRL presentó otro diseño del Merlín siendo esta la versión Mk2 como se muestra en la Figura N° 2.08.

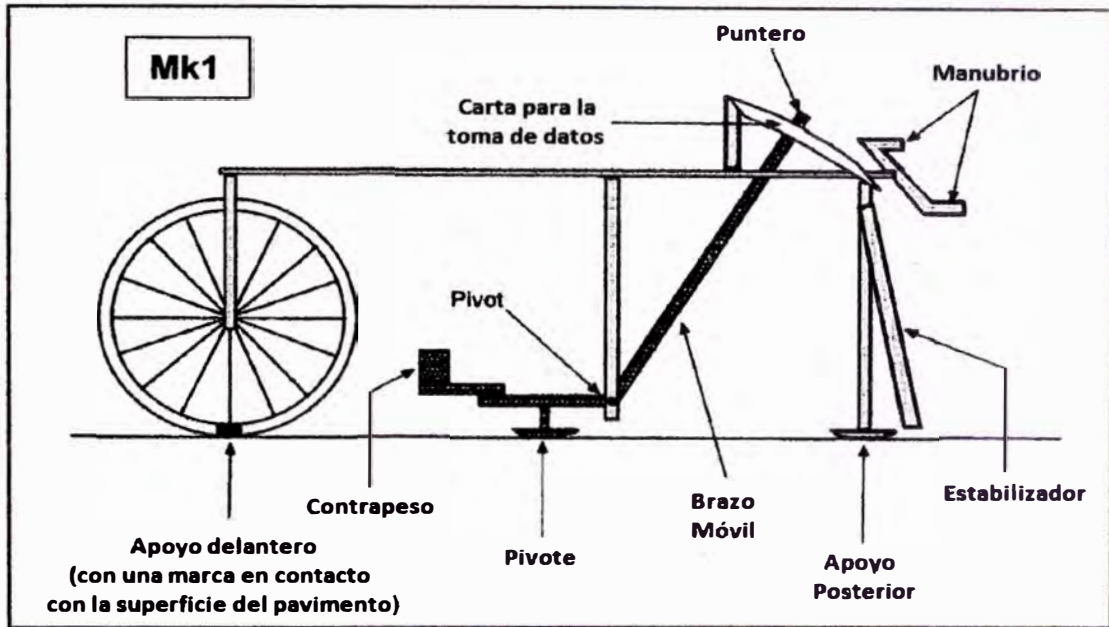


Figura N° 2.07. Primera Versión del Merlín.

Fuente: Cundill M.A. TRL Report 229, 1996.

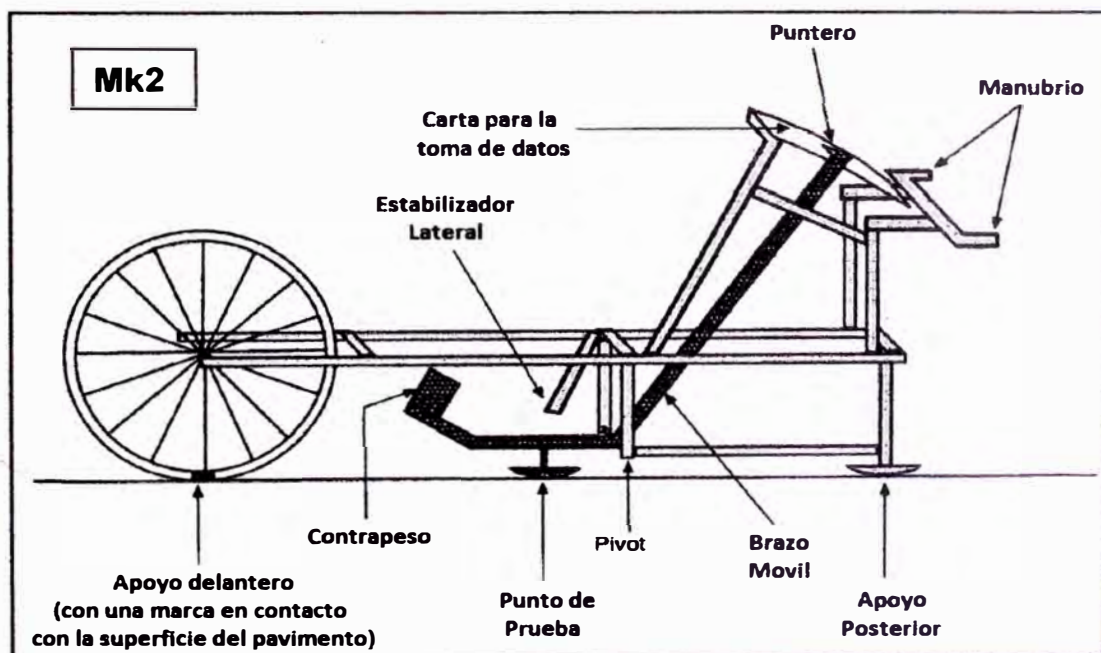


Figura N° 2.08. Segunda Versión del Merlín.

Fuente: Cundill M.A. TRL Report 229, 1996.

El TRRL en base a series de cuatro mediciones sobre 27 secciones de ensayo en superficies de concreto asfáltico (8secciones), tratamiento superficial (5 secciones), caminos de afirmado de grava (7 secciones) y caminos de tierra (7 secciones), ha desarrollado diferentes ecuaciones de calibración para todos los tipos de superficies:

$$\text{IRI} = 0.593 + 0.0471 D \quad (1)$$

$$\text{BI} = 0.983 + 47.5 D \quad (2)$$

donde:

IRI =Rugosidad en términos del Índice Internacional de Rugosidad, en m/Km.

D =Rugosidad en términos de la escala MERLIN, en mm.

BI =Rugosidad medida con el Bump Integrator a 32 Km/h, en mm/Km.

El TRRL advierte que las ecuaciones (1) y (2) fueron derivadas para un rango de rugosidades comprendido entre  $2.4 < \text{IRI} < 15.9$  ( $42 < D < 312$ ), pero sin embargo autoriza extrapolar fuera de él, siempre que se haga con cuidado.

### 2.6.2. Uso del MERLIN en el Perú.

En el Perú, el rugosímetro MERLIN se introdujo en el año 1993, tres años después que fuera dado a conocer por el TRRL (Laboratorio Británico de Investigación de Transportes y Caminos), en el marco del primer programa de rehabilitación de carreteras financiado por el Banco Interamericano de Desarrollo (BID), el cual estuvo bajo la administración inicial de la Unidad Ejecutora de Proyectos del Ministerio de Transportes, Comunicaciones, Vivienda y Construcción (UEP), que posteriormente se convirtió en el programa Especial de Rehabilitación de Infraestructura de Transportes (PERT), como parte de los estudios de los estudios para la rehabilitación de la carretera Huayre – Huánuco, parte de una vía de integración regional de gran importancia en el Perú. En esa oportunidad la evaluación se efectuó sobre un pavimento asfáltico en avanzado estado de deterioro, y sobre tramos de con tratamiento superficial bi-capa tal como se muestra en el Cuadro N° 2.07.

La primera aplicación del MERLIN para el control de la rugosidad de un pavimento asfáltico nuevo, se produjo en el mes de Febrero de 1995, en el tramo de la Carretera Panamericana Norte correspondiente a la vía de evitamiento de la ciudad de Trujillo, en el norte del Perú (Tramo Trujillo – Pacasmayo).

PROYECTO	SECTOR	TRAMO	SUBTRAMO	LONGITUD (Km)	DEPARTAMENTO	PAVIMENTO	FECHA
CARRETERA CENTRAL	HUAYRE-HUANUCO	HUAYRE-CHICRIN	KM 247+000-KM 323+500	76.5	JUNIN-PASCO	CARPETA ASFALTICA ANTIGUA	Sep-93
CARRETERA CENTRAL	HUAYRE-HUANUCO	HUAYRE-CHICRIN	KM 2+400-km 39+300	36.9	PASCO-HUANUCO	CARPETA ASFALTICA ANTIGUA	Sep-93
CARRETERA CENTRAL	HUAYRE-HUANUCO	HUAYRE-CHICRIN	Km 39+300-KM46+500	7.2	HUANUCO	TRATAMIENTO SUPERFICIAL BICAPA	Sep-93
CARRETERA CENTRAL	HUAYRE-HUANUCO	HUAYRE-CHICRIN	KM 46+500-KM 83+500	37	HUANUCO	CARPETA ASFALTICA ANTIGUA	Sep-93

**Cuadro N° 2.07. Primeros Estudios de Rugosidad con Equipo Merlin en el Perú.**

Fuente: Informe Técnico para la Asociación EICA-HOB. Del Águila P., 1993

Dichas carreteras fueron las primeras en ser evaluadas para determinar su rugosidad, primero durante los estudios para su rehabilitación y posteriormente al finalizar la etapa constructiva. Posteriormente se inicia un segundo programa de rehabilitación que continua hasta la fecha, el que incluye las principales vías de penetración hacia el interior del país, y en consecuencia, las mediciones se extienden a dicha red.

Entre 1993 y 1998, el MERLIN fue empleado para la evaluación de la rugosidad de más de 3,000 Km de carreteras en el Perú, basándose en los fundamentos del trabajo original del TRRL, en los conceptos del experimento internacional IRRE (Brasil, 1982) y en los resultados de la correlación de la rugosidad con el concepto de la "serviciabilidad" del método de diseño AASHTO, experiencia que sirvió para establecer las bases de una metodología propia. Si bien la metodología original para el cálculo de la rugosidad, comprende un método de medición simple y un procedimiento sencillo de cálculo gráfico, no permite de por sí obtener un buen rendimiento con el equipo, aspecto relevante identificado desde un principio. Es por ello se desarrollo un software para la determinación del IRI y una nueva ecuación de cálculo para el caso de pavimentos asfálticos nuevos, lo que propició su empleo masivo en estudios de rehabilitación, mantenimiento y control de calidad en la construcción de carreteras.

**2.6.3. Clasificación del Método con el Rugosímetro MERLIN.**

De acuerdo a la clasificación del Banco Mundial, el método de medición del MERLIN calificaría como de Clase 3, ya que hace uso de una ecuación de

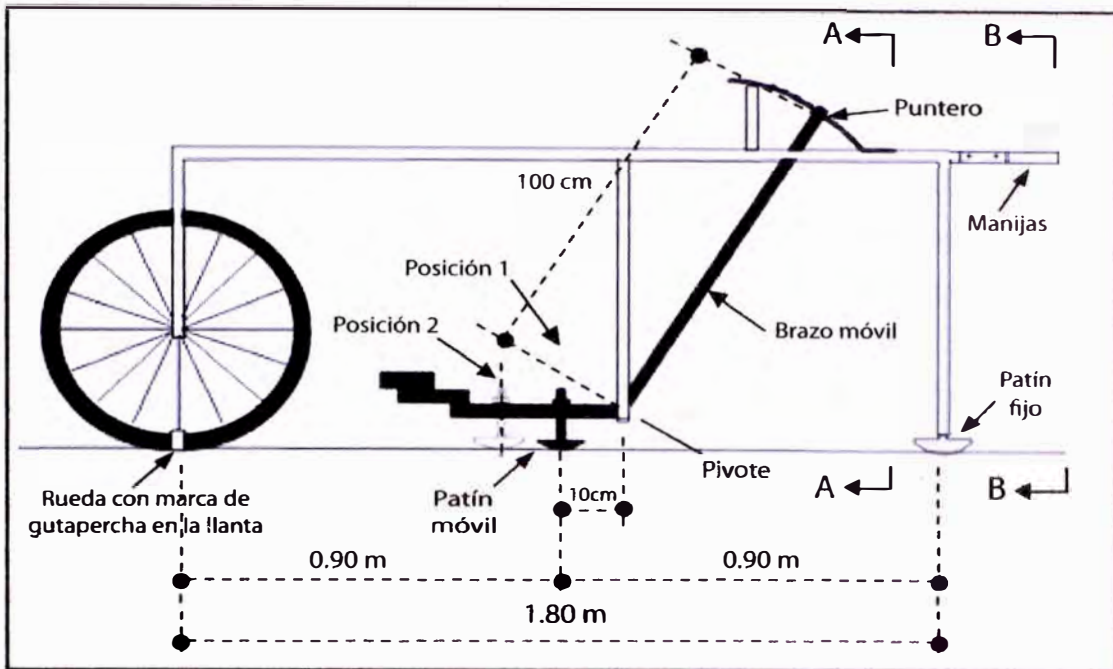
correlación para relacionar los valores que determina con la escala de IRI. Sin embargo, por haber sido diseñado como una variación de un perfilómetro estático, y debido a la exactitud de sus resultados, califica como de Clase 2, por lo que es recomendado para la calibración de equipos tipo respuesta como el Bump Integrator.

Cabe mencionar que en el Perú el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC) considera al equipo MERLIN dentro de la Clase 2.

#### **2.6.4. Diseño del Equipo MERLIN.**

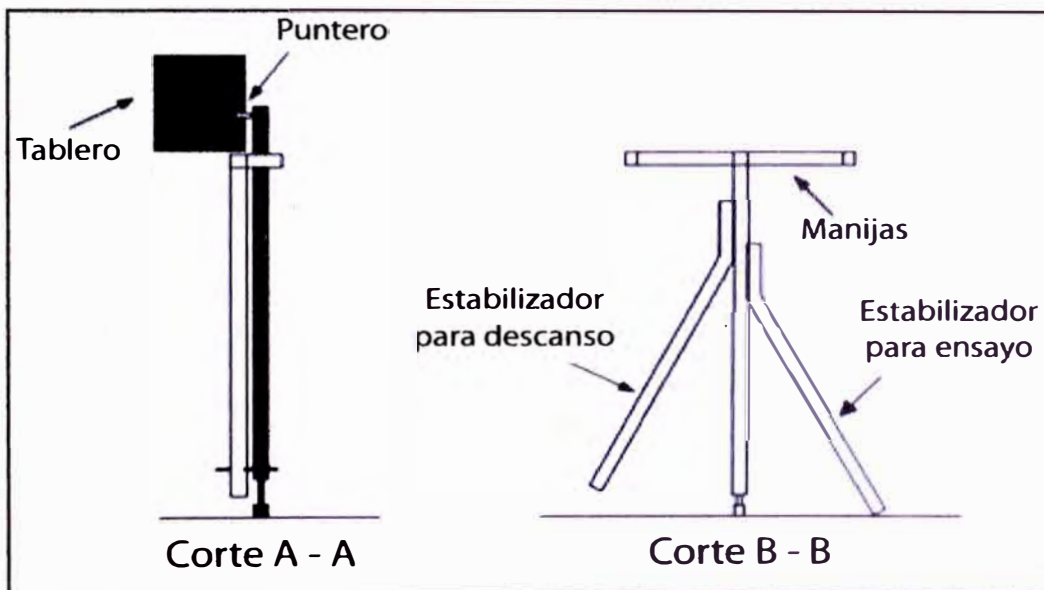
El MERLIN es un equipo de diseño simple que a continuación se describe:

- Consta de un marco formado por dos elementos verticales y uno horizontal. Para facilidad de desplazamiento y operación el elemento vertical delantero es una rueda, mientras que el trasero tiene adosados lateralmente dos soportes inclinados, uno en el lado derecho para fijar el equipo sobre el suelo durante los ensayos y otro en el lado izquierdo para descansar el equipo. El elemento horizontal se proyecta, hacia la parte trasera, con 2 manijas que permiten levantar y movilizar el equipo, haciéndolo rodar sobre la rueda en forma similar a una carretilla.
- Aproximadamente en la parte central del elemento horizontal, se proyecta hacia abajo una barra vertical que no llega al piso, en cuyo extremo inferior pivotea un brazo móvil. El extremo inferior del brazo móvil está en contacto directo con el piso, mediante un patín empernado y ajustable, el cual se adecua a las imperfecciones del terreno, mientras que el extremo superior termina en un puntero o indicador que se desliza sobre el borde de un tablero, de acuerdo a la posición que adopta el extremo inferior del patín móvil al entrar en contacto con el pavimento. Ver Figura N° 2.09 y Figura N° 2.10.
- La relación de brazos entre los segmentos extremo inferior del patín móvil-pivote y pivote-puntero es 1 a 10, de manera tal que un movimiento vertical de 1 mm, en el extremo inferior del patín móvil, produce un desplazamiento de 1 cm del puntero. Para registrar los movimientos del puntero, se utiliza una escala gráfica con 50 divisiones, de 5 mm de espesor cada una, que va adherida en el borde del tablero sobre el cual se desliza el puntero.



**Figura N° 2.09. Esquema Longitudinal del Equipo MERLIN.**

Fuente: TRL Report 229. M.A.Cundill, 1996.



**Figura N° 2.10. Esquema Frontal del Equipo MERLIN.**

Fuente: TRL Report 229. M.A.Cundill, 1996.

El procedimiento de campo para el uso del equipo MERLIN en la determinación de la rugosidad, se describe a continuación:

1º Se seleccionan tramos de aproximadamente 400 m. de longitud sobre un determinado carril de una vía.

Las mediciones se efectúan siguiendo la huella exterior del tráfico.

2º Una vez armado el equipo se procede a colocar el formato de lecturas sobre el tablero del equipo, teniendo en cuenta que debe estar centrada y sujeta con cinta adhesiva o protegida con una mica en casos de lluvia. La prueba empieza estacionando el equipo al inicio del tramo de ensayo de forma que la rueda descansa sobre la huella externa del tráfico vehicular.

3º En cada lectura el instrumento deberá descansar sobre el camino apoyado en tres puntos fijos e invariables: la rueda, el apoyo fijo trasero y el estabilizador para ensayo (Figura N° 2.09, Corte B-B). La posición que adopta el puntero corresponderá a una lectura entre 1 y 50, la que se anotará en un formato de campo. El formato consta de una cuadrícula compuesta por 20 filas y 10 columnas; empezando por el casillero (1,1), los datos se llenan de arriba hacia abajo y de izquierda a derecha. Entonces el operador espera que el puntero se estabilice y observa la posición que adopta respecto de la escala colocada sobre el tablero, realizando así la lectura que es anotada por el auxiliar.

4º Paso seguido, el operador toma el instrumento por las manijas, elevándolo y desplazándolo la distancia constante seleccionada para usarse entre un ensayo y otro. Como las lecturas deben realizarse estacionando el equipo a intervalos regulares, generalmente cada 2m de distancia; en la práctica esto se resuelve tomando como referencia la circunferencia de la rueda del MERLIN, que es aproximadamente esa dimensión, es decir, cada ensayo se realiza al cabo de una vuelta de la rueda.

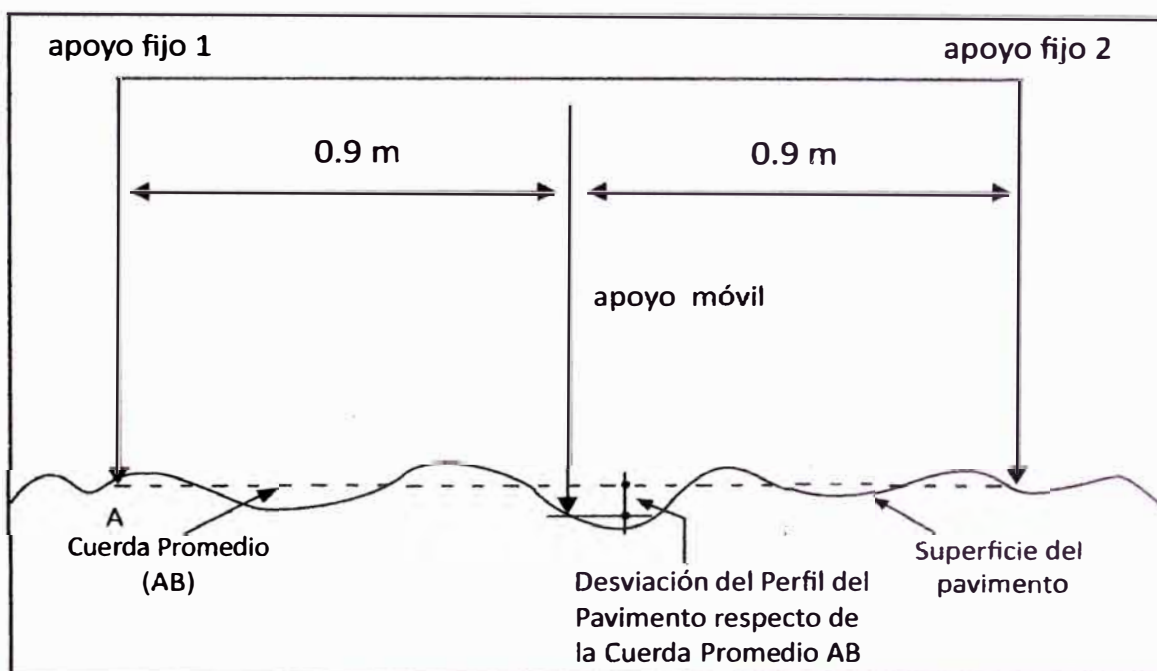
5º En la nueva ubicación se repite la operación explicada y así sucesivamente hasta completar las 200 lecturas. El espaciado entre los ensayos no es un factor crítico, pero es recomendable que las lecturas se realicen siempre estacionando la rueda en una misma posición, para lo cual se pone una señal o marca llamativa sobre la llanta (con gutapercha fosforescente, por ejemplo), la que debe quedar siempre en contacto con el piso. Ello facilita la labor del operador quién, una vez hecha la lectura, levanta el equipo y controla que la llanta gire una vuelta haciendo coincidir nuevamente la marca sobre el piso.

## CAPITULO III: MARCO TEÓRICO

### 3.1. METODOLOGIA PARA LA DETERMINACIÓN DE LA RUGOSIDAD

#### 3.1.1. Fundamentos Teóricos.

La determinación de la rugosidad de un pavimento se basa en el concepto de usar la distribución de las desviaciones de la superficie respecto de una cuerda promedio. El MERLIN mide el desplazamiento vertical entre la superficie del camino y el punto medio de una línea imaginaria de longitud constante. El desplazamiento es conocido como “la desviación respecto a la cuerda promedio”. Figura N° 3.01.



**Figura N° 3.01. Desviaciones de la superficie respecto a la cuerda promedio.**

Fuente: TRL Report 229. M.A.Cundill, 1996

La longitud de la cuerda promedio es 1.80m, por ser la distancia que proporciona los mejores resultados en las correlaciones. Asimismo, se ha definido que es necesario medir 200 desviaciones respecto de la cuerda promedio, en forma consecutiva a lo largo de la vía y considerar un intervalo constante entre cada medición. Para dichas condiciones se tiene que, a mayor rugosidad de la superficie mayor es la variabilidad de los desplazamientos. Si se define el histograma de la distribución de frecuencias de las 200 mediciones, es posible



medir la dispersión de las desviaciones y correlacionarla con la escala estándar de la rugosidad (Ver Figura N° 3.02). El parámetro estadístico que establece la magnitud de la dispersión es el Rango de la muestra (D), determinado luego de efectuar una depuración del 10% de observaciones (10 datos en cada cola del histograma). El valor D es la rugosidad del pavimento en "unidades MERLIN".

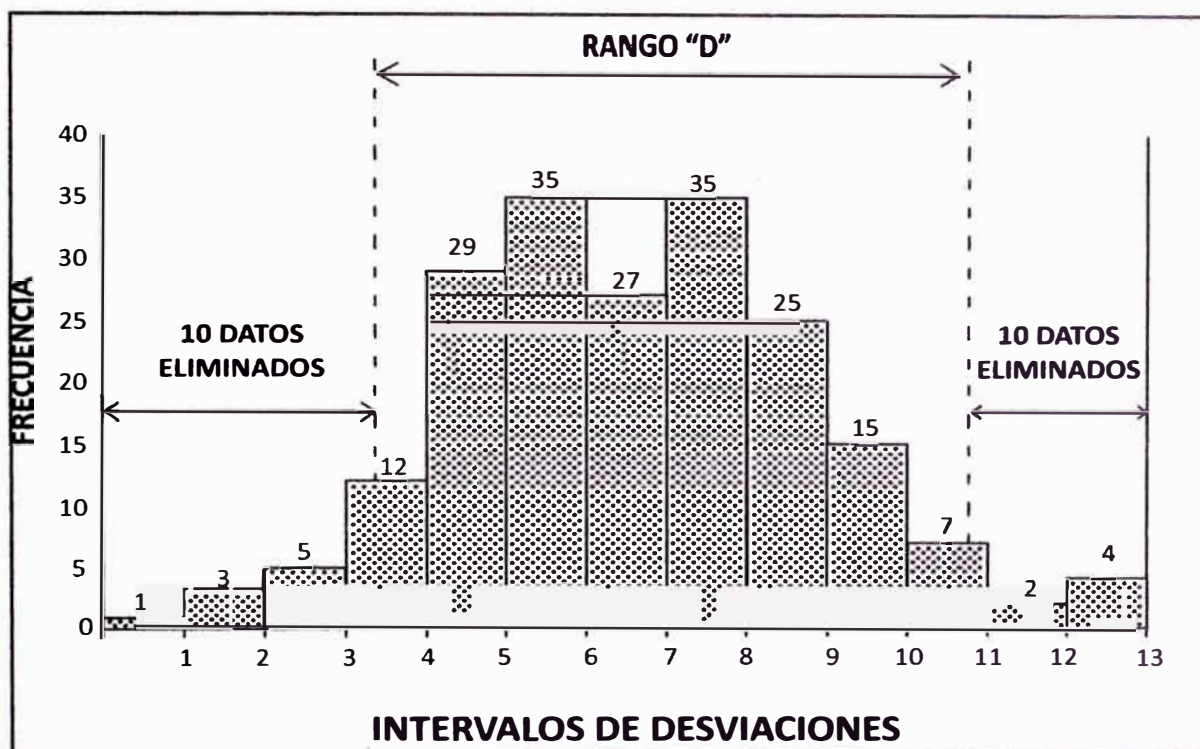


Figura N° 3.02. Histograma de distribución de frecuencia.

Fuente: Del Águila P., 1999.

### 3.1.2. Correlaciones D versus IRI

Para relacionar la rugosidad determinada con el MERLIN con el Índice de Rugosidad Internacional (IRI), que es el parámetro utilizado para uniformizar los resultados provenientes de la gran diversidad de equipos que existen en la actualidad, se utilizan las siguientes expresiones:

a) Cuando  $2.4 < IRI < 15.9$ , entonces  $IRI = 0.593 + 0.0471 D$  (1)

b) Cuando  $IRI < 2.4$ , entonces  $IRI = 0.0485 D$  (2)

donde:

IRI : Índice de Rugosidad Internacional m/Km.

D : Rugosidad en unidades MERLIN, mm.

La expresión (1) es la ecuación original establecida por el TRRL mediante simulaciones computarizadas, utilizando una base de datos proveniente del Ensayo Internacional sobre Rugosidad realizado en Brasil en 1982. La ecuación de correlación establecida es empleada para la evaluación de pavimentos en servicio, con superficie de rodadura asfáltica, granular o de tierra, siempre y cuando su rugosidad se encuentre comprendida en el intervalo indicado.

La expresión (2) es la ecuación de correlación establecida de acuerdo a la experiencia peruana y luego de comprobarse, después de ser evaluados más de 3,000 Km de pavimentos, que la ecuación original del TRRL no era aplicable para el caso de pavimentos asfálticos nuevos o poco deformados. Se desarrolló entonces, siguiendo la misma metodología que la utilizada por el laboratorio británico, una ecuación que se emplea para el control de calidad de pavimentos recién construidos<sup>3</sup>.

Existen otras expresiones que han sido estudiadas para el caso de superficies que presentan cierto patrón de deformación que incide, de una manera particular, en las medidas que proporciona en MERLIN. M.A. Cundill del TRRL estableció en 1996, para el caso de superficies con macadam de penetración de extendido manual, la siguiente expresión:

$$IRI= 1.913+0.0490 D \quad (3)$$

### 3.1.3. Cálculo del Rango D

Para la generación de los 200 datos que se requieren para determinar un valor de rugosidad, se emplea una escala arbitraria de 50 unidades colocada sobre el tablero del rugosímetro, la que sirve para registrar las doscientas posiciones que adopta el puntero del brazo móvil. La división N° 25 debe ser tal que corresponda a la posición central del puntero sobre el tablero cuando el perfil del terreno coincide con la línea o cuerda promedio. En la medida que las diversas posiciones que adopte el puntero coincidan con la división 25 o con alguna cercana (dispersión baja), el ensayo demostrará que el pavimento tiene un perfil igual o cercano a una línea recta (baja rugosidad). Por el contrario, si el puntero adopta repetitivamente posiciones alejadas a la división N°25 (dispersión alta),

<sup>3</sup> Del Águila Pablo, II Congreso Nacional del Asfalto. Lima 1999.

se demostrará que el pavimento tiene un perfil con múltiples inflexiones (rugosidad elevada).

La dispersión de los datos obtenidos con el MERLIN se analiza calculando la distribución de frecuencias de las lecturas o posiciones adoptadas por el puntero, la cual puede expresarse, para fines didácticos, en forma de histograma (Figura N° 3.02). Posteriormente se establece el Rango de los valores agrupados en intervalos de frecuencia (D), luego de descartarse el 10% de datos que correspondan a posiciones del puntero poco representativas o erráticas. En la práctica se elimina 5% (10 datos) del extremo inferior del histograma y 5% (10 datos) del extremo superior.

Efectuado el descarte de datos, se calcula el “ancho del histograma” en unidades de la escala, considerando las fracciones que pudiesen resultar como consecuencia de la eliminación de los datos. En la Figura N° 3.2, por ejemplo, en el extremo inferior del histograma, se tiene que por efecto del descarte de los 10 datos se eliminan los intervalos 1, 2 y 3, y un dato de los doce que pertenecen al intervalo 4, en consecuencia resulta una unidad fraccionada igual a  $11/12=0.92$ . Caso similar sucede en el extremo superior del histograma, en donde resulta una unidad fraccionada igual a  $3/7=0.43$ . Se tiene en consecuencia un Rango igual a  $0.92+6+0.43=7.35$  unidades.

El Rango D determinado se debe expresar en milímetros, para lo cual se multiplica el número de unidades calculado por el valor que tiene cada unidad en milímetros ( $7.35 \times 5\text{mm}=36.75\text{mm}$ ).

#### **3.1.4. Factor de Corrección para el ajuste de “D”**

Las ecuaciones 1 y 2 representan correlaciones entre el valor D y la rugosidad en unidades IRI, las cuales han sido desarrolladas para una condición de relación de brazos del rugosímetro de 1 a 10. Esta relación en la práctica suele variar, y depende del desgaste que experimenta el patín del brazo móvil del instrumento.

En consecuencia, para corregir los resultados se verifica la relación de brazos actual del instrumento, y, se determina un factor de corrección que permita llevar los valores a condiciones estándar. Para determinar el factor de corrección se

hace uso de un disco circular de bronce de aproximadamente 5 cm de diámetro y 6 mm de espesor, y se procede de la siguiente manera:

1. Se determina el espesor de la pastilla, en milímetros, utilizando un calibrador que permita una aproximación al décimo de mm. El espesor se calculará como el valor promedio considerando 4 medidas diametralmente opuestas. Por ejemplo: el espesor medido es 6.2mm.
2. Se coloca el rugosímetro sobre una superficie plana (un piso de terrazo, por ejemplo) y se efectúa la lectura que corresponde a la posición que adopta el puntero cuando el patín móvil se encuentra sobre el piso (por ejemplo, lectura=25). Se levanta el patín y se coloca la pastilla de calibración debajo de él, apoyándola sobre el piso. Ver Fotografía N° 3.01 (Anexo B.3).

Esta acción hará que el puntero sobre el tablero se desplace, asumiendo una relación de brazos estándar de 1 a 10, una distancia igual al espesor de la pastilla multiplicado por 10 (es decir:  $6.2 \times 10 = 62$  mm), lo que significa, considerando que cada casillero mide 5 mm, que el puntero se ubicará aproximadamente en el casillero 12, siempre y cuando la relación de brazos actual del equipo sea igual a la asumida. Si no sucede eso, se deberá encontrar un factor de corrección (F.C.) usando la siguiente expresión:

$$F.C. = (EP \times 10) / [(LI - LF) \times 5] \quad (4)$$

donde:

- EP : Espesor de la pastilla (mm)  
LI : Posición inicial del puntero.  
LF : Posición final del puntero.

### 3.1.5. Variación de la Relación de Brazos.

Para facilidad del trabajo, el rugosímetro admite dos posiciones para el patín del brazo pivotante (Ver Figura N° 2.03):

- a) Una posición ubicada a 10 cm del punto de pivote, posición estándar que se utiliza en el caso de pavimentos nuevos o superficies muy lisas (baja rugosidad). En ese caso la relación de brazos utilizada será 1 a 10.
- b) Una posición ubicada a 20 cm del punto de pivote, posición alterna que se utiliza en el caso de pavimentos afirmados muy deformados o pavimentos muy

deteriorados. En ese caso la relación de brazos será 1 a 5. De usar esta posición, el valor D determinado deberá multiplicarse por un factor de 2.

### **3.1.6. Cálculo del Rango “D” corregido.**

El valor D calculado en la sección 3.1.3, deberá modificarse considerando el Factor de Corrección (FC) y la Relación de Brazos empleada en los ensayos (RB=1). Este valor llevado a condiciones estándar es la rugosidad en “unidades MERLIN”.

### **3.1.7. Determinación de la rugosidad en la escala IRI**

Para transformar la rugosidad de unidades MERLIN a la escala del IRI, se usa las expresiones (1) o (2). Aplicando la expresión (2) para el caso de  $IRI < 2.5$ .

## **3.2. ESPECIFICACIONES DE LA RUGOSIDAD EN EL PERÚ.**

Las Especificaciones Técnicas para el control de la rugosidad de los pavimentos, se establecieron originalmente como una manera de controlar el acabado de la carpeta asfáltica, de esta manera la llegar al Perú los primeros rugosímetros se encontró una manera rápida y económica de controlar el acabado de los pavimentos asfálticos así como medir también su serviciabilidad.

Hay dos formas en que se está especificando la rugosidad que deben cumplir las carreteras en el Perú:

- a) Como valor absoluto.
- b) Como valor característico.

En el caso como valor absoluto para pavimentos flexibles la regularidad superficial de la carpeta asfáltica será aprobada por el supervisor y el contratista deberá determinar la rugosidad en unidades IRI, la cual no debe ser mayor de 1.5 IRI para pavimentos nuevos ni mayor de 2 IRI para recapados. Para el caso de bases granulares con la finalidad de asegurar un buen acabado se deberá proceder a verificar la regularidad superficial con equipos topográficos, rugosímetros o cualquier otro aprobado por el supervisor. Este valor no deberá ser mayor a 2.5 IRI.

En el caso de especificación como valor característico se dará mayor explicación en la sección 3.3.

En el Perú se utiliza las Especificaciones Técnicas Generales para Construcción de Carreteras (EG-2000) donde indica en la sección 405.15(c)(3) que para la aceptación de los trabajos la medida de la rugosidad no debe ser mayor a 2.5 IRI, salvo una especificación particular establezca un límite diferente. Para la medición de la rugosidad se seguirá lo especificado en la Subsección 410.18(e)(5).

### **3.3. LIMITES DE RUGOSIDAD PARA EL CONTROL DE CALIDAD EN PAVIMENTOS.**

#### **3.3.1. Parámetros de Medición.**

Para efectos de control de calidad se deberán usar equipos debidamente calibrados que pueden determinar la rugosidad para pavimentos asfálticos nuevos o rehabilitados, y la rugosidad o regularidad superficial se deberá controlar calculando el parámetro denominado IRI Característico, el cuál es definido por la siguiente expresión:

$$IRI_c = IRI_p + K \cdot \sigma \quad (5)$$

donde:

$IRI_c$  : IRI característico

$IRI_p$  : IRI promedio

$\sigma$  : Desviación Estándar

Con los datos de IRI obtenidos se calcula el promedio aritmético ( $IRI_{prom}$ ) y la desviación estándar ( $\sigma$ ), el factor de correlación empleado (K) relaciona el porcentaje de datos con probabilidad de presentar valores de rugosidad mayores al  $IRI_{car}$ . Así por ejemplo para un grado de confiabilidad de 95% el valor adoptado de K es 1.645 y se cumplirá que el 95% del pavimento experimentará una rugosidad igual o menor al IRI característico.

Calculado el IRI característico, el sector o tramo será aceptado si cumple con las siguientes condiciones:

- a. Para pavimentos asfálticos nuevos, el  $IRI_{car}$  deberá ser  $\leq 2.0$  m/Km.
- b. Para pavimentos con recapado asfáltico, el  $IRI_{car}$  deberá ser  $\leq 2.5$  m/Km.
- c. Para pavimentos con sellado asfáltico, el  $IRI_{car}$  deberá ser  $\leq 3.0$  m/Km.

En caso de no cumplirse con estos límites, el sector o tramo deberá subdividirse en secciones de rugosidad homogénea, y se calculará el IRI característico para cada una de ellas, los que deberán cumplir los límites indicados.

### 3.3.2. Definición de Secciones Homogéneas.

Se sabe que algunas características propias de un pavimento (Ej. Rugosidad, resistencia al deslizamiento, etc.) varían a lo largo de la longitud de la carretera, y el patrón de variación puede ser muy diferente de un tipo de parámetro a otro. Las secciones homogéneas son secciones del pavimento de comportamiento similar, como se muestra en la Figura N° 3.03, obtenidas por el método de diferencias acumuladas que se verá con más detalle en el Capítulo V.

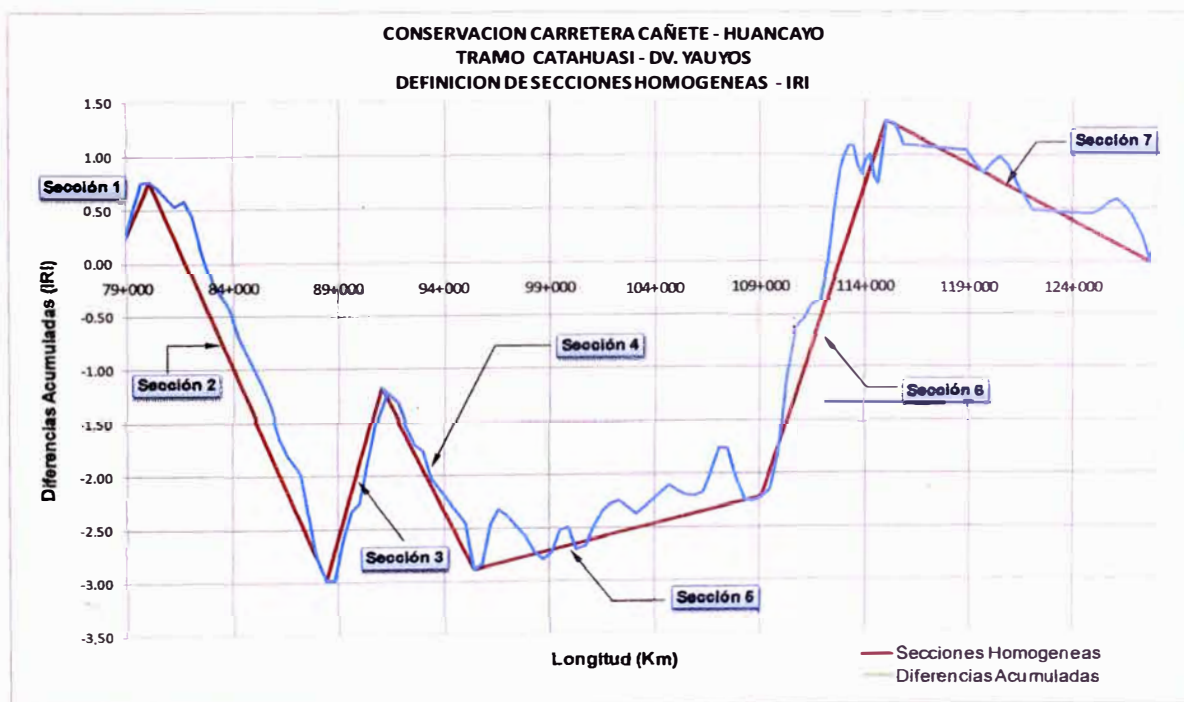


Figura N° 3.03. Definición de Secciones Homogéneas.

Fuente: Elaboración Propia.

Subdividir una longitud de pavimento en subsecciones razonablemente uniformes, cada una de las cuales puedan ser tratadas como un proyecto independiente el uno del otro, puede resultar difícil, y esta decisión debe estar

basada en el criterio ingenieril. Para casi cualquier parámetro del pavimento, puede hacerse una división automática en subsecciones usando diferentes procedimientos estadísticos, el procedimiento de diferencias acumuladas sugerido por la AASHTO, American Association of State Highway and Transportation Officials, contenido en el apéndice J de la AASHTO, Guide for Design of Pavement Structures, edición 1993, permite definir secciones homogéneas o de similar comportamiento. El parámetro a ser analizado es plotado versus la longitud de la carretera, y el total del área bajo la curva es calculado. La diferencia acumulada es calculada para cada punto, como la diferencia entre el área bajo la curva hasta el punto considerado, y el área promedio hasta el mismo punto.

$$A = \sum_{i=1}^n x_i(l_i - l_{i-1})$$

$$CD = \sum_{i=1}^n x_i(l_i - l_{i-1}) - \frac{A}{L}(l_i)$$

Donde:

A = es el área total bajo la curva.

n = es el número de puntos.

$X_i$  = es el valor del parámetro al punto i.

$L_i$  = es la distancia al punto i.

CD = es la distancia acumulada.

L = es la distancia total.

Los límites de las secciones homogéneas se encuentran donde la pendiente de la diferencia acumulada cambia de signo. Puede hacerse una subdivisión en el límite basada en las consideraciones prácticas de construcción y en los límites para otros parámetros.

### 3.3.3. Penalidades en función al IRI característico.

En caso de no cumplirse con estos límites, las especificaciones establecen una escala de penalidad, como se muestra el Cuadro N° 3.01.

Cabe señalar que el control de calidad se verifica solo con el IRI característico y no con el IRI promedio, siendo el IRI característico finalmente el parámetro que define la aceptación del tramo en función al grado de dispersión tolerable. Así



para un grado de confiabilidad de 95%, se tendrá los siguientes niveles de dispersión tolerable. Cuadro N° 3.02.

Confiabilidad (%)	IRI característico	Extensión del pavimento	
		Con IRI > IRIC	ACEPTADO O RECHAZADO
Menor a 85%		Mayor a 15%	Rechazado
85	IRI <sub>p</sub> + 1.037 $\sigma$	15	Aceptado con penalidad del 5% sobre el monto contractual del rubro pavimentos.
86	IRI <sub>p</sub> + 1.080 $\sigma$	14	Aceptado con penalidad del 4.5% sobre el monto contractual del rubro pavimentos.
87	IRI <sub>p</sub> + 1.126 $\sigma$	13	Aceptado con penalidad del 4% sobre el monto contractual del rubro pavimentos.
88	IRI <sub>p</sub> + 1.175 $\sigma$	12	Aceptado con penalidad del 3.5% sobre el monto contractual del rubro pavimentos.
89	IRI <sub>p</sub> + 1.226 $\sigma$	11	Aceptado con penalidad del 3% sobre el monto contractual del rubro pavimentos.
90	IRI <sub>p</sub> + 1.282 $\sigma$	10	Aceptado con penalidad del 2.5% sobre el monto contractual del rubro pavimentos.
91	IRI <sub>p</sub> + 1.340 $\sigma$	9	Aceptado con penalidad del 2% sobre el monto contractual del rubro pavimentos.
92	IRI <sub>p</sub> + 1.405 $\sigma$	8	Aceptado con penalidad del 1.5% sobre el monto contractual del rubro pavimentos.
93	IRI <sub>p</sub> + 1.476 $\sigma$	7	Aceptado con penalidad del 1% sobre el monto contractual del rubro pavimentos.
94	IRI <sub>p</sub> + 1.555 $\sigma$	6	Aceptado con penalidad del 0.5% sobre el monto contractual del rubro pavimentos.
95	IRI <sub>p</sub> + 1.645 $\sigma$	5	Aceptado.
Mayor a 95%		Menor a 5%	

**Cuadro N° 3.01. Aceptación y Penalidades en función del IRI<sub>car</sub> del tramo.**

Fuente: V Congreso Nacional del Asfalto.

PSI	IRI <sub>car</sub>	Desviación Estándar Máxima Tolerable ( $\sigma$ )
4.2	2.0	0.63
4.0	2.5	0.78
3.5	3.0	0.63

**Cuadro N° 3.02. Niveles de dispersión para un grado de confiabilidad de 95%.**

Fuente: V Congreso Nacional del Asfalto.

## **CAPITULO IV: APLICACIÓN AL TRAMO Km. 104+000 – Km. 106+000 CARRIL IZQUIERDO.**

### **4.1. PROCEDIMIENTO DE CAMPO.**

La evaluación de la condición funcional del pavimento se realizó para el tramo de carretera comprendido entre el Km. 104+000 – Km. 106+000 (2 Km.) para el carril izquierdo, esta evaluación consistió en la obtención de datos de la superficie de rodadura (monocapa asfáltica) utilizando para ello el equipo MERLIN.

Durante la evaluación de campo se realizó el siguiente procedimiento de trabajo:

1º Se sectorizó el tramo en estudio cada 400 metros empezando en la progresiva de Km. 104+000 hasta el Km. 106+000, debido a que la evaluación superficial del pavimento no se realizaría para toda la longitud del tramo (2 Km).

El principal motivo de esta sectorización, era encontrar tramos de 400 m libres de gibas y con pendientes no tan pronunciadas, además de reducir el tiempo del ensayo a lo dispuesto por la Dirección de Escuela Profesional (DEP-FIC).

Finalmente se ubicó los tramos para la realización del ensayo no destructivo del Km. 104+600 – Km. 105+000 y Km. 105+000 – Km. 105+400. Ver Figura N° 4.01 (Anexo B.4)

2º El equipo MERLIN utilizado fue proporcionado por la DEP-FIC, modelo TM-171/Serie 540, y la relación de brazos utilizada fue de 1:10. Se procedió a realizar las mediciones de los sub-tramos con el equipo MERLIN en forma decreciente se empezó en el Km. 105+400, y se terminó en el Km. 104+600. Se realizó una sola pasada con el equipo sobre la huella izquierda a un 1 m aproximadamente del borde, en el sentido de tráfico. Fotografías N° 4.01 al N°4.03

3º Se completó el formato de campo con las 200 lecturas obtenidas con el equipo para cada sub-tramo de 400 m, así también se colocó el tipo de tratamiento superficial sobre el cual se estaban realizando las mediciones. Ver Figuras N° 4.02 y N° 4.03 (Anexo B.4). Finalmente una vez obtenida toda la información de campo se procede a realizar los cálculos para la determinación

de la rugosidad superficial del pavimento, procedimiento que se explicara a continuación en la sección 4.2.

## 4.2. DETERMINACIÓN DE LA RUGOSIDAD.

La determinación de la rugosidad se realizará para los sub-tramos del Km. 104+600 – Km. 105+000 y Km. 105+000 – Km. 105+400, tramos que se encuentran con un tratamiento superficial de monocapa asfáltica.

### 4.2.1. Aplicación de la Metodología.

#### a) Correlaciones D versus IRI

Se utilizará la ecuación desarrollada por el TRRL para el cálculo del IRI:

$$IRI = 0.593 + 0.0471 \times D$$

Donde:

IRI : Índice de Rugosidad Internacional.

D : Rugosidad en unidades MERLIN (mm).

#### b) Calculo del Rango "D"

Para la determinación del rango D se utilizará el histograma de frecuencias que se muestra en la Figura N° 4.04 y Figura N°4.05 (Anexo B.4). Para la Figura N° 4.04, en cada extremo del histograma se efectuó el descarte del 5% de los datos, en el extremo inferior se efectuó el descarte de los intervalos del 1 al 6 que suman los 10 datos, en el extremo superior se efectuó el descarte de los intervalos 26 al 30, y cuatro datos de los siete que pertenecen al intervalo 25, en consecuencia se presenta una unidad fraccionada igual a  $3/7=0.43$ .

Se tiene un Rango "D" igual a:

$$D = 18+0.43 = 18.43 \text{ unidades de escala.}$$

Pero el valor de cada unidad de escala equivale a 5 mm.

$$\text{Por lo tanto: } D = 18.43 \times 5 \text{ mm} = 92.14 \text{ mm} \quad \dots\dots\dots(1)$$

#### c) Factor de Corrección para el ajuste de "D"

$$F.C. = (EP \times 10) / [(Li - Lf) \times 5]$$

Reemplazando los datos el F.C será:

$$F.C. = (6.47 \times 10) / [(25 - 10.5) \times 5] = 0.892 \quad \dots\dots\dots(2)$$

d) Variación de la relación de brazos:

Se utilizará la relación de brazos de 1 a 10. Por lo tanto:

$$RB = 1 \quad \dots\dots\dots(3)$$

e) Cálculo del Rango "D" corregido:

$$D_{\text{corregido}} = D \times FC \times RB$$

Reemplazando los valores de (1), (2) y (3) se tiene:

$$D_{\text{corregido}} = 92.14 \times 0.829 \times 1 = 82.19 \text{ mm}$$

#### 4.2.2. Calculo del IRI.

$$IRI = 0.593 + 0.0471 \times 82.19 = 4.46$$

Entonces para el sub-tramo del Km. 104+600 – Km. 105+000 se tiene:

$$IRI = 4.46 \text{ m/Km}$$

Se seguirá el mismo procedimiento para el sub-tramo Km. 105+000 – 105+400:

$$IRI = 4.74 \text{ m/Km}$$

#### 4.3. DETERMINACIÓN DEL PSI.

Para la determinación del PSI se utilizará la ecuación de la sección 2.2.1:

$$PSI = 5.0 / e^{(R/5.5)}$$

Reemplazando en la ecuación el valor R de la rugosidad se tiene:

- Para el sub-tramo Km. 104+600 – Km. 105+000  $PSI = 2.22$

- Para el sub-tramo Km 105+000 – Km 105+400  $PSI = 2.11$

## CAPITULO V: ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

### 5.1. ANÁLISIS DE LOS VALORES DE IRI ENCONTRADOS.

#### 5.1.1. Análisis de la data obtenida con el Merlin.

Para comprender los valores de IRI encontrados se analizará en primer lugar la data de campo obtenida con el equipo Merlin.

Se puede observar en el Cuadro N° 5.01 y Cuadro N° 5.02 (Anexo B.5) los valores de las desviaciones muestran una dispersión alta, que al momento de elaborar el histograma de frecuencias para el cálculo del rango “D” estas dispersiones en su mayoría son depuradas luego del descarte del 10% de los datos menos representativos. Sin embargo siguen quedando valores de desviaciones que indican la presencia de elevaciones dentro de los tramos en estudio pues los valores se alejan de la división N° 25 y se acercan a la división N° 40, como se puede observar en la Figura N° 5.01(b) y N° 5.02(b) – Anexo B.5.

Además cabe indicar que observando la gráfica Desviaciones del Merlin versus la Distancia (m) también se puede ubicar defectos puntuales del pavimento (por ej. Baches, parchados, depresiones, etc.), siempre y cuando estos se encuentren dentro de los tramos evaluados. Es por ello que durante el ensayo de campo se encontró defectos puntuales que se ven señalados como pares ordenados (Ver Figura N°4.02 y N°4.03), como se aprecia en la gráfica estas desviaciones representan valores de dispersión más altos. Ver Figura N° 5.01(a) y N° 5.02(a). Fotografías N° 5.01 al N° 5.03 del Anexo B.5.

#### 5.1.2. Análisis del parámetro IRI en el Tiempo.

En función a lo mencionado anteriormente se observa que el pavimento presenta un perfil con múltiples inflexiones (alta rugosidad) para los dos tramos consecutivos de 400 m. El Cuadro N° 5.03 presenta los valores de IRI hallados para los tramos en estudio, así también se hace necesario analizar cómo han variado en el tiempo los valores de IRI para estos mismos tramos.

Como se puede observar para el tramo N° 1 se tiene un valor de  $IRI_{\text{mayo}} < IRI_{\text{marzo}}$ , lo cual no es un valor correcto ni representativo del mes de mayo ya que

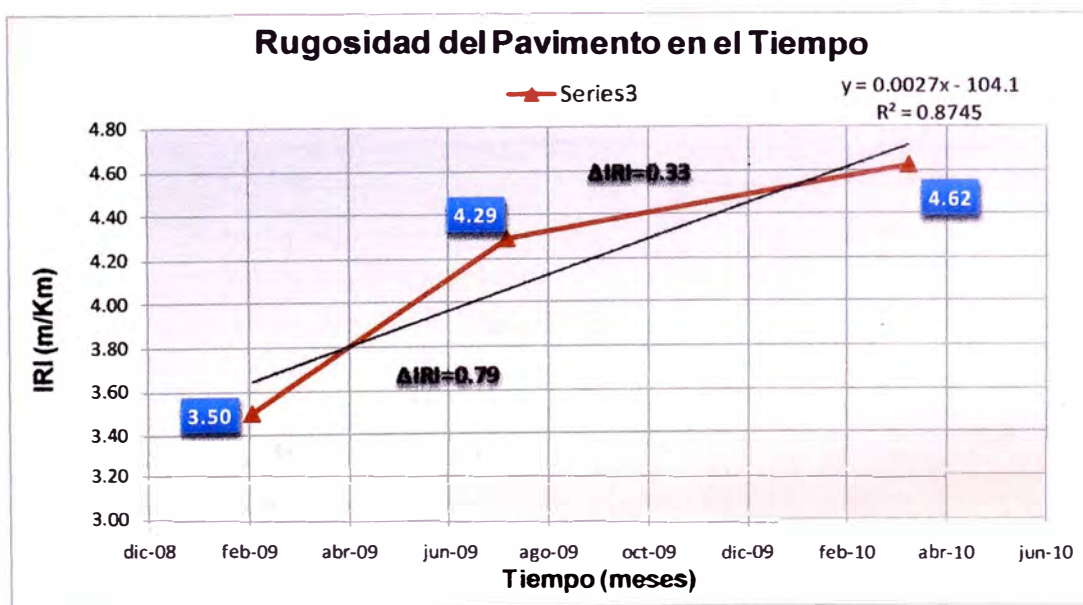
no cumple la tendencia de los valores IRI, este dato errado pudo ser resultado de haber realizado el ensayo de campo con el equipo MERLIN solamente en una pasada sobre la huella izquierda de la vía. Para el tramo N° 2 en cambio se observa que la data cumple con la tendencia incremental de los valores de IRI en el tiempo.

Tramo	Progresiva	IRI (m/Km)			
		feb-09	jul-09	mar-10	may-10
1	Km 104+600 - 105+000	3.50	4.28	4.87	4.46
2	Km 105+000 - 105+400	3.50	4.30	4.37	4.74
<b>IRI promedio (m/Km)</b>		<b>3.50</b>	<b>4.29</b>	<b>4.62</b>	<b>4.60</b>

**Cuadro N° 5.03. Variación del IRI en el Tiempo - Carril Izquierdo**

Fuente: Elaboración Propia en base al Informe Técnico N°06 - UNI

Entonces para el análisis de la curva de deterioro del pavimento en el tiempo se utilizarán valores promedio del IRI para ambos tramos. De aquí se puede observar que el valor de IRIpromedio para el mes de mayo también quedaría descartado por las razones arriba mencionadas. En la Figura N° 5.03 se observan las variaciones del IRI para estos dos periodos de tiempo.



**Figura N° 5.03. Grafica de IRIprom vs Tiempo - Carril Izquierdo**

Fuente: Elaboración Propia en base a Información proporcionada por DEP-FIC.

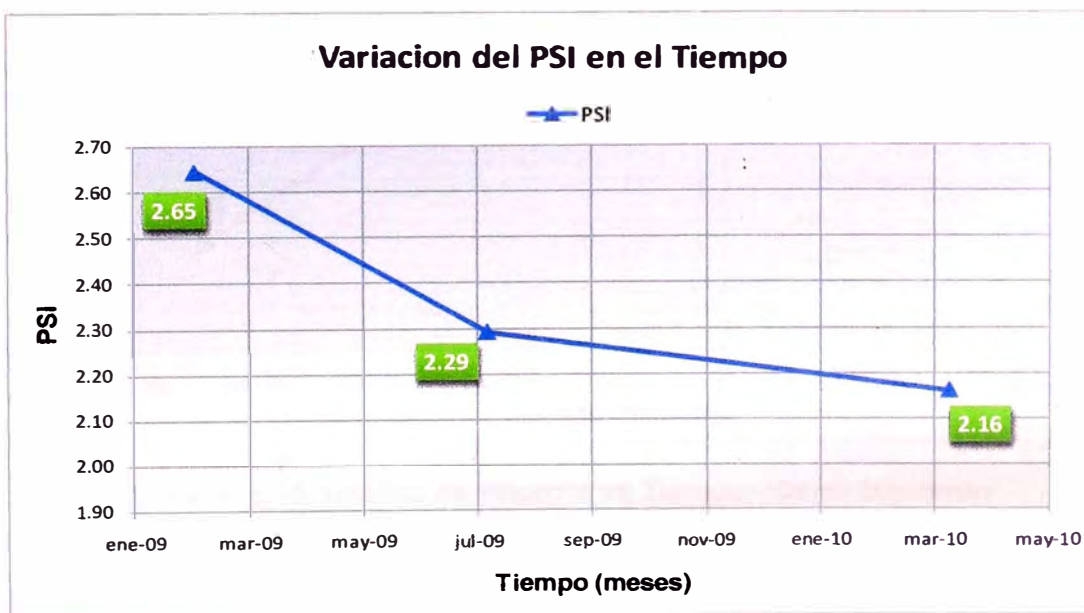
- Siguiendo la metodología se busca obtener el índice de serviciabilidad del pavimento, para ello se utilizó los valores de IRI del Cuadro N° 5.03 obteniéndose los valores de PSI que se muestran el Cuadro N° 5.04. Aquí se puede observar que el valor promedio de PSI para la data de mayo también quedaría descartada del análisis.

Tramo	Progresiva	PSI			
		feb-09	jul-09	mar-10	may-10
1	Km 104+600 - 105+000	2.65	2.30	2.06	2.22
2	Km 105+000 - 105+400	2.65	2.29	2.26	2.11
PSI		2.65	2.29	2.16	2.17

**Cuadro N° 5.04. Variación del PSI en el Tiempo-Lado Izquierdo**

Fuente: Elaboración Propia en base a la información del DEP- FIC.

La gráfica de la Figura N° 5.04 muestra la disminución del PSI en el tiempo para el tramo en estudio. De acuerdo a estos valores de PSI obtenidos se calificó utilizando la escala de serviciabilidad de la AASHTO, por lo que la superficie de rodadura hasta el mes de marzo del 2010 presentó un estado **Regular** ( $2.0 < \text{PSI} < 3.0$ ).



**Figura N° 5.04. Gráfica de PSI vs Tiempo - Carril Izquierdo**

Fuente: Elaboración Propia en base a Información proporcionada por DEP-FIC.

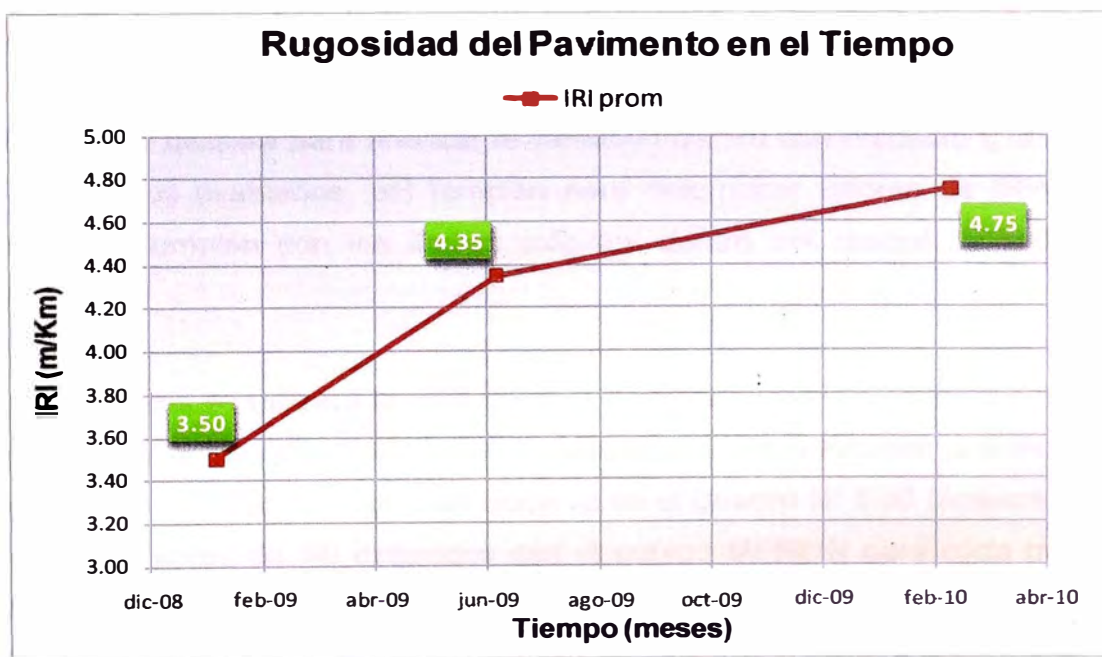
- Para poder estimar en base a los resultados obtenidos el tiempo óptimo dentro del cual se necesitaría realizar otra medición del parámetro IRI, se analizará también la información proporcionada por la DEP-FIC y se utilizará los valores de IRIprom obtenidos tal como se muestra en el Cuadro N° 5.05.

Tramo 79+000 - 128+100			
Tiempo	feb-09	jul-09	mar-10
IRIprom (m/Km)	3.50	4.35	4.75

**Cuadro N° 5.05. Variación del IRIprom en el Tiempo-Lado Izquierdo**

Fuente: Elaboración Propia en base a la información del DEP- FIC.

De la gráfica Figura N° 5.05 se observa que la variación de la rugosidad en el tiempo para un tramo de mayor longitud (aprox. 49 Km) es de similar tendencia a la realizada para un tramo de 800 m (Figura N°5.03).



**Figura N° 5.05. Gráfica de IRIprom vs Tiempo - Carril Izquierdo**

Fuente: Elaboración Propia en base a Información proporcionada por DEP-FIC.

Por lo tanto luego de comprobarse que la variación en los valores de IRI son similares, para el tramo en estudio se trabajará con la data analizada, que indica que la serviciabilidad de la vía se vería afectada si disminuye su capacidad funcional cuando el PSI < 2.0. Pero:



Para el  $PSI=2.0$ , reemplazamos en la ecuación:  $IRI = 5.5 \ln(5.0/PSI)$ , obteniendo:

$$IRI = 5.04 \text{ m/Km}$$

Entonces este valor de IRI se asume como límite para no afectar la serviciabilidad de la vía, y en base a ello se estima un período de tiempo proyectando la línea de tendencia y reemplazando en la ecuación:

$$IRI = 0.0027 T - 104.1$$

Se obtiene un período de tiempo máximo de 2.5 meses.

### 5.1.3. Variaciones del IRI según la Longitud de Evaluación.

Si bien se han analizado los resultados obtenidos durante la salida de campo para los dos tramos de 400 m., este análisis se ha complementado analizando la data de la carretera en estudio Cañete -Huancayo proporcionada por la DEP-FIC.

Esta data se utilizará para analizar la variación del IRI con respecto a la longitud de los tramos evaluados, así también para determinar valores de  $IRI_{car}$  para evaluar si cumplen con los límites exigidos dentro del control de calidad de pavimentos.

Para el análisis se utilizará la data del mes de marzo del 2010 tomada en el carril izquierdo de la vía, para un tramo de carretera de 45.6 Km comprendido entre Catahuasi y Dv. Yauyos. Como se observa en el Cuadro N° 5.06 (Anexos B.5) se tienen los valores de IRI obtenidos con el equipo MERLIN para cada tramo de 400m, si se plotea estos valores de IRI versus Distancia se obtiene la gráfica de la Figura N° 5.06 (Anexo B.5) donde se observa que para una confiabilidad del 95% de los datos no se cumple con el valor de  $IRI_{car} = 5.77 \text{ m/Km}$ .

En cambio si se toma para el análisis de la rugosidad tramos de longitud mayor a los 400 m. como por ejemplo 2 Km se obtendría el Cuadro N° 5.07 (Anexo B.5) donde para calcular el IRI se utilizó el promedio de IRI cada dos kilómetros, también se observa que la desviación estándar disminuye de 0.62 a 0.43. Por lo que se obtiene un  $IRI_{car} = 5.46 \text{ m/Km}$  menor al anterior de  $5.77 \text{ m/Km}$ , si se

plotean estos valores de IRI obtenidos versus Distancia se obtiene la gráfica de la Figura N° 5.07 (Anexo B.5) donde se tiene que para una confiabilidad del 95% de los datos si se cumpliría con el valor del IRIcar.

#### 5.1.4. Análisis del IRI utilizando Secciones Homogéneas.

El determinar secciones homogéneas para el tramo evaluado servirá para sectorizarlo según el parámetro de rugosidad (IRI) para ello se utilizará el método de las diferencias acumuladas explicado en el Capítulo 3 sección 3.3.1. Se obtiene mediante cálculos estadísticos los valores de las diferencias acumuladas (véase Cuadro N° 5.08 – Anexo B.5).

Estos valores se grafican versus la distancia del tramo obteniéndose la gráfica de la Figura N° 5.08 (Anexo B.5). Para el ejemplo propuesto se tienen 7 cambios de pendiente en la gráfica por lo tanto se identifican 7 secciones homogéneas para cada una de las cuales se debe determinar el IRIpromedio y el IRIcar (Figura N° 5.09 – Anexo B.5).

## 5.2. ANÁLISIS COMPARATIVO CON OTROS MÉTODOS DE MEDICIÓN (BUMP INTEGRATOR).

La medición de la rugosidad utilizando el Bump Integrator se realizó para los tramos en estudio del Km 104+600 – Km 105+00 y Km 105+000 - 105+400 y se utilizó como equipo de calibración al equipo MERLIN, se puede observar en el Cuadro N° 5.08 que los valores de IRI obtenidos con el BI:

Progresiva	IRI (m/Km)	
	MERLIN	BI
Km 104+600 - 105+000	4.46	4.12
Km 105+000 - 105+400	4.74	3.58

**Cuadro N° 5.08. Comparación de valores de IRI**

Fuente: Informe Técnico N°06 - 2° Trimestre 2010

Se observa del cuadro que los valores de IRI que se obtienen con el BI son menores para los dos tramos evaluados, por lo que se puede decir que estos valores presentan menor precisión que los obtenidos con el MERLIN.

### 5.3. PROPUESTA PARA EL MANTENIMIENTO VIAL.

En vista a lo observado en campo y a lo procesado luego en el trabajo de gabinete, se ha buscado encontrar factores que puedan afectar en mayor grado la serviciabilidad de la vía. Es así que llegando casi al término de la elaboración del presente informe se hace necesario el plantear una propuesta de mantenimiento vial

Para ello en el tramo en estudio se observaron las siguientes causas que pudieran afectar la serviciabilidad de la vía:

- Anchos de calzada muy angostos que varían entre 3.5 m y 4.5 m.
- Curva pronunciada en el Km 104+280 donde existe poca visibilidad en el margen izquierdo.
- Deficientes medidas en la estabilización de taludes con presencia de material aluvial.
- Falta mejorar el drenaje transversal en la progresiva del Km 104+680 debido a que este punto presenta un cambio de pendiente.
- Los valores de IRI se encuentra en el rango de 4 y 5 m/Km.
- Calificación de la serviciabilidad como Regular con tendencia a Mala en base al parámetro PSI.

De esta evaluación se puede decir que si bien factores como el drenaje transversal, longitudinal y factores climáticos propios del lugar afectan con cierta incidencia la serviciabilidad de la vía, es la Rugosidad el factor que mayor incidencia tiene, ya que la rugosidad permitirá calificar la vía a través de indicadores que midan su capacidad funcional (IRI) y su nivel de serviciabilidad actual (PSI). Para el tramo en estudio se plantea la siguiente Propuesta para el Mantenimiento Vial:

1. El tramo presenta un tratamiento superficial monocapa colocado en febrero del 2009 y al evaluar su comportamiento en el tiempo a través de indicadores como el IRI y el PSI, se tiene que la vía actualmente se encuentra en la categoría de Regular. Sin embargo durante la visita de campo se pudo observar que la transitabilidad de la vía todavía es de un nivel aceptable. Por lo tanto teniendo en cuenta los altos costos que implicaría realizar un mantenimiento

periódico por Km se considera continuar con el mantenimiento rutinario siempre y cuando se controle el indicador de la Serviciabilidad (PSI).

Conservación Periódica en solución básica.	S/. 135,901.14	Costo x Km
Mantenimiento Rutinario	S/. 25,112.23	Costo x Km-Año

**Cuadro N° 5.09. Costos para el mantenimiento.**

Fuente: Contrato de Conservación por Niveles de Servicio CGC – Provías Nacional.

2. De acuerdo al análisis realizado en la sección 5.1.2 el tiempo propuesto para realizar el próximo control de campo de la rugosidad es de 2.5 meses en vista a que los valores de IRI hallados hasta marzo del 2010 presentan valores cercanos a 5.0 IRI.
3. En vista de los resultados obtenidos durante la evaluación de campo para el mes de mayo 2010 lo más óptimo sería realizar el ensayo con el equipo MERLIN realizando tres pasadas sobre cada huella y obtener un valor de IRI promedio para cada tramo de 400 m. y para cada carril, esto daría mayor confiabilidad en los datos.
4. Como el principio de medición del Equipo Merlin se realiza para una línea recta, y se observa que en la carretera existen tramos con radios curvaturas pronunciadas, para efectos de cálculo se debería de realizar una corrección de los datos por radio de curvatura.
5. Si bien existen otros factores aparte del parámetro IRI que afectan con menor incidencia la serviciabilidad de la vía, se debería considerar dentro del mantenimiento vial una mejora en el drenaje transversal para la Progresiva del Km 104+680.
6. Para trabajos similares con tratamientos superficiales en carreteras de bajo de volumen de tránsito es necesario que el proceso constructivo este supervisado bajo un equipo técnico calificado y que los materiales cuenten con el control de calidad establecido en la norma EG-2000. Para evitar desprendimientos de la gravilla de 3/8" como viene ocurriendo en el tratamiento superficial monocapa, que conlleva al aumento del mantenimiento rutinario. Ver Fotografías N° 5.04 y N° 5.05 – Anexo B.5.

## CONCLUSIONES

- El IRI es un parámetro que mide la regularidad superficial y al estar relacionado con valores estimados del Índice de Serviciabilidad Presente, se ha llevado al IRI a ser utilizado a nivel mundial porque entrega una percepción directa al usuario de la calidad de servicio de la vía.
- Al estar el IRI relacionado con el comportamiento del pavimento durante su vida útil, es posible representar este comportamiento en el tiempo, lo cual permitirá tomar decisiones de intervención en el pavimento asociado a valores de IRI para una adecuada gestión vial.
- Si bien otras características geométricas de la superficie como la macrotextura y microtextura no afectan la comodidad de rodadura; los defectos de regularidad superficial que se deben principalmente al proceso constructivo y a la utilización de la carretera, sí afectan el confort al transitar, además de aumentar el consumo de combustible, el desgaste, e influir en la estabilidad de los vehículos y en las cargas dinámicas sobre el pavimento.
- Para el tramo en estudio se tiene un valor de **IRI<sub>prom</sub> = 4.60 m/Km.** para mayo del 2010 y un valor de **PSI = 2.17**, que indica según la escala de calificación de la AASTHO que el pavimento se encuentra con la condición de **REGULAR.**
- Este parámetro del IRI es determinado a través de mediciones sobre un perfil longitudinal, es por ello que se debe tomar ciertos criterios al evaluar el IRI sobre una longitud de camino, porque se debe entender que el cálculo del IRI depende altamente sobre que longitud es acumulado. Para tramos cada 400 m en una longitud de 45.6 Km. se tiene un **IRI<sub>car</sub> = 5.77 m/Km**, en cambio para tramos cada 2 Km. en la misma longitud se tiene un **IRI<sub>car</sub> = 5.46 m/Km.**
- Para las desviaciones medidas con el MERLIN, se puede concluir que las fallas constructivas (por ejemplo: Bache mal acabado) generan incrementos en el valor de estas desviaciones, y se tiene como consecuencia un incremento en la regularidad superficial, es por ello que el equipo Merlin ayuda a determinar ubicaciones puntuales de sitios donde se presentaron estas singularidades.

- Para el tramo de 45.6 Km. que se analizó se tiene una desviación estándar de 0.62 para tramos cada 400 m, mientras que para tramos cada 2 Km. se tiene una desviación estándar de 0.43, con lo cual se concluye que a mayores longitud de evaluación se pasan por alto mayor cantidad de fallas localizadas (por ej.: baches, peladuras, ahuellamientos, etc) lo que hace disminuir la variabilidad en el desgaste para el tratamiento superficial monocapa.
- Se debe introducir en el Perú el uso de procedimientos para dividir la red vial en tramos homogéneos, determinados en base a la metodología descrita por la AASHTO 1993, en donde se utilice la rugosidad como parámetro de control de calidad y exista penalidades por el incumplimiento de los objetivos establecidos en las Especificaciones Técnicas del proyecto.
- Después de realizado la sectorización de la carretera para una longitud de 45.6 Km. con el método de secciones homogéneas, se determinó que el tramo en estudio (Km. 104+000 al Km. 106+0000) pertenece a la sección 5 de la sectorización. El valor de  $IRI_{car} = 5.56$  m/Km. y el  $IRI_{prom} = 4.81$  m/Km, para una desviación estándar de 0.62. Con lo cual se obtiene un  $PSI = 2.08$  que indica la condición de **REGULAR**.
- Se puede concluir también que las mediciones de la rugosidad para tratamientos superficiales colocados sin modificar la geometría del terreno arrojan valores de IRI (m/Km) que no necesariamente se encuentran dentro de los rangos permitidos en las especificaciones técnicas, es por ello que se debe buscar parámetros que definan con mejor precisión la rugosidad de la superficie de rodadura.

## RECOMENDACIONES

- En vista de la importancia que tiene la longitud al momento de la determinación del IRI, es necesario establecer un intervalo de longitud, ya que intervalos de longitud mayores ocultan niveles altos de rugosidad superficial en los pavimentos, obteniendo de una manera inadecuada valores de IRI satisfactorios. La utilización de intervalos de longitud menores para la determinación del IRI, puede detectar niveles altos de irregularidad, contribuyendo a obtener pavimentos con mejores niveles de seguridad y confort.
- En casos de evaluar una carretera con tratamiento superficial sería conveniente anticipar controles del IRI en capas de afirmado estabilizado inferiores a la superficie de rodadura, ya que la evaluación por capas puede permitir corregir diferencias en la construcción de una capa y mejorar la regularidad superficial del pavimento.
- Si durante la evaluación se observa valores de IRI un tanto elevados se puede decir que el comportamiento de la superficie final del pavimento tendrá la misma tendencia en sus valores de IRI.
- Si bien cierto que al determinar el IRI de un pavimento con el equipo MERLIN este indica dentro de sus cálculos las variaciones puntuales que este puede presentar, algunas de ellas son descartadas en la depuración de datos pero esta información de campo de acuerdo a su magnitud se debe registrar e incluirse dentro del informe de evaluación de un pavimento.
- Debido a que el equipo MERLIN requiere de una ecuación para transformar la rugosidad de “unidades Merlin” a IRI (m/Km.) y esta ecuación depende del patrón de deformación de las superficies, se hace necesario definir una ecuación para el cálculo del IRI. En este caso por tratarse de un tratamiento superficial monocapa se tiene que buscar un tramo de prueba sobre el cual realizar mediciones de prueba con el equipo MERLIN y mediciones con un método exacto (mira y nivel) obteniendo una base de datos en unidades Merlin y determinando el IRI con el método topográfico.

## BIBLIOGRAFÍA

1. CONTRERAS SAUÑE, JORGE “Evaluación Superficial de Pavimentos – Aplicación del Índice de Rugosidad”, Tesis UNI-FIC. Lima-Perú, 2000.
2. CUNDILL, M.A. “MERLIN. A Low Cost Machine for Measuring Road Roughness in Developing Countries”. Transportation Research 1291. Crowthorne, 1990.
3. DEL AGUILA, P.M. “Metodología para la medición de la rugosidad de los pavimentos con equipo de bajo costo y gran precisión”. Sevilla, 1999.
4. DEL AGUILA, P.M. “Desarrollo de la Ecuación de correlación para la determinación del IRI en pavimentos asfálticos nuevos, utilizando el rugosímetro de Merlin”. Sevilla, 1999.
5. DEL AGUILA, P.M. “Estado del Arte sobre la Medición de la Rugosidad de Pavimentos en el Perú”. Trabajo presentado en el II Congreso Nacional del Asfalto. Lima-Perú, 1998.
6. DE SOLMINIHAC HERNÁN, “Gestión de Infraestructura Vial”. Chile, 2001.
7. Estudio del Consorcio de Rehabilitación Vial de Carreteras en el país - CONREVIAL. Perú, 1982.
8. Romero Vivar Germán, “Comentarios sobre la Medición e Interpretación de la Rugosidad en Pavimentos del Perú”. Ponencia presentada en el II Congreso Nacional del Asfalto. Lima-Perú, 1998.
9. MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES, “Manual de carreteras pavimentadas y no pavimentadas de bajo volumen de tránsito”. Lima – Perú, 2008.
10. MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES, “Manual para la Conservación de Carreteras No Pavimentadas de Bajo Volumen de Transito”. Lima – Perú, 2008.
11. [www.camineros.com](http://www.camineros.com)
12. [www.mtc.gob.pe](http://www.mtc.gob.pe)



**ANEXOS:**

- 1. ANEXO A : RESUMEN DEL PERFIL**
- 2. ANEXO B : ANEXO B.I - ANEXOS DEL CAPITULO I  
ANEXO B.IV - ANEXOS DEL CAPITULO IV  
ANEXO B.V - ANEXOS DEL CAPITULO V**
- 3. ANEXO C : ESTUDIO DE SUELOS**

## **ANEXO A: RESUMEN DEL PERFIL**

## FORMULACION Y EVALUACION

### Horizonte

Para la presente evaluación se considera que las alternativas de solución del proyecto tendrán un horizonte de 3 años.

### Balance Oferta - Demanda

La demanda del proyecto es la demanda actual existente, en este caso se proyectó la demanda usando el estudio de tráfico realizado en el año 2009, como el proyecto ya se viene ejecutando desde el 2008 el tráfico generado quedara descartado.

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

Tramo	Cañete- Lunahuana	Lunahuana- Pacaran	Pacaran- Zuñiga	Zuñiga- Catahuasi	Catahuasi- Capilluca	Capilluca- DV Yauyos	Dv Yauyos- Colpa	Colpa- Huarisca	Huarisca- Chupaca
Tipo Vehículo	E1	E 2	E 3	E 4	E5	E6	E7	E 8	E9
VL (Auto+SW+Camioneta)	829	232	253	175	102	51	228	477	705
Camta Rural	448	148	155	94	37	16	22	63	81
Microbus	157	7	27	11	4	0	2	14	0
Ómnibus	32	16	13	11	10	10	4	8	13
Camión Unitario (2,3,4 Ejes)	121	89	96	61	44	27	46	88	78
Camión Acoplado	41	5	29	5	0	0	32	31	35
<b>IMDa (Veh/día) 2013</b>	<b>1628</b>	<b>497</b>	<b>573</b>	<b>357</b>	<b>197</b>	<b>104</b>	<b>334</b>	<b>681</b>	<b>912</b>
<b>IMDa (Veh/día) 2012</b>	<b>1588</b>	<b>488</b>	<b>559</b>	<b>349</b>	<b>194</b>	<b>102</b>	<b>326</b>	<b>664</b>	<b>889</b>
<b>IMDa (Veh/día) 2011</b>	<b>1549</b>	<b>475</b>	<b>545</b>	<b>341</b>	<b>191</b>	<b>100</b>	<b>319</b>	<b>648</b>	<b>866</b>
<b>IMDa (Veh/día) 2010</b>	<b>1513</b>	<b>464</b>	<b>532</b>	<b>333</b>	<b>188</b>	<b>98</b>	<b>312</b>	<b>632</b>	<b>844</b>
<b>IMDa (Veh/día) 2009</b>	<b>1477</b>	<b>453</b>	<b>520</b>	<b>325</b>	<b>185</b>	<b>96</b>	<b>305</b>	<b>616</b>	<b>823</b>

Fuente: Estudio de tráfico Junio 2008/09 ICCGSA  
Estudio Trafico Diciembre 2009 UNI

En base a la demanda planteada y la oferta vial existente se plantea mejorar la carretera en base a las siguientes características principales:

### Costos

Se tienen los siguientes tipos de costos:

- Costos Inversión (Cambio de Estándar)
- Costos de Mantenimiento Rutinario.
- Costos de Mantenimiento Periódico.

### CUADRO DE BALANCE OFERTA - DEMANDA

SECTOR	TRAMO	LONG.( KM)	IMD (VEH/DIA)	ANCHO DE VIA PROMEDIO	SITUACION ACTUAL	1º ALTERNATIVA	2º ALTERNATIVA	3º ALTERNATIVA
1	CAÑETE - LUNAHUANA	40.95	1477	6.00 m	ASFALTADO	MANTTO. RUTINARIO	MANTTO. RUTINARIO	MANTTO. RUTINARIO
2	LUNAHUANA-PACARAN	11.91	555	6.00 m	MANTENIMIENTO PERIODICO CON SLURRY SEAL	MANTTO. RUTINARIO	MANTTO. RUTINARIO	MANTTO. RUTINARIO
3	PACARAN - ZUÑIGA	3.74	520	6.00 m	CAMBIO DE ESTANDAR CON SLURRY JUNIO 2009	MANTTO. RUTINARIO	MANTTO. RUTINARIO	MANTTO. RUTINARIO
4	ZUÑIGA - CATAHUASI	20.40	722	5.50 m	CAMBIO DE ESTANDAR CON SLURRY MARZO 2009 - JUNIO 2009	MANTTO. RUTINARIO/MANTTO PERIODICO SLURRY	MANTTO. RUTINARIO/MANTTO PERIODICO SLURRY	MANTTO. RUTINARIO/ MANTTO. PERIODICO SLURRY
5	CATAHUASI - CAPILLUCAS	17.64	1145	5.00 m	CAMBIO DE ESTANDAR CON MONOCAPA	MANTTO. RUTINARIO/ MANTTO PERIODICO CON SLURRY	MANTTO. RUTINARIO/ MANTTO PERIODICO CON MONOCAPA	MANTTO. RUTINARIO/ MANTTO PERIODICO CON MONOCAPA
6	CAPILLUCAS -DV. YAUYOS	32.36	90.00	5.00 m	CAMBIO DE ESTANDAR CON MONOCAPA - FEBRERO 2009	MANTTO. RUTINARIO/ MANTTO PERIODICO CON SLURRY	MANTTO. RUTINARIO/ MANTTO PERIODICO CON MONOCAPA	MANTTO. RUTINARIO/ MANTTO PERIODICO CON MONOCAPA
7	DV. YAUYOS - KM 227	98.20	305	5.00 m	CAMBIO DE ESTANDAR CON MONOCAPA	MANTTO. RUTINARIO/ MANTTO PERIODICO CON SLURRY	MANTTO. RUTINARIO/ MANTTO PERIODICO CON MONOCAPA	MANTTO. RUTINARIO/ MANTTO PERIODICO CON MONOCAPA
8	KM 227 - RONCHAS	29.99	430	5.00 - 6.00 m	AFIRMADO	CE CONTSB/ MANTTO. RUTINARIO	CE CON OTTA SEAL/MANTTO. RUTINARIO	CAMBIO DE ESTANDAR CON MONOCAPA + MANTTO. RUTINARIO
9	RONCHAS - CHUPACA	16.54	430	6.00 m	AFIRMADO	MANTTO. RUTINARIO	MANTTO. RUTINARIO	MANTTO. RUTINARIO
<b>LONG. TOTAL</b>		<b>271.72</b>						

### Resumen de Costos Financieros del Proyecto.

Alternativas	Costos Financieros			Costo total
	Costo CE	Mant. Periodico	Mant. Rutinario	
Alternativa 1 (TSB)	4,176,880.85	14,394,129.71	12,822,368.77	31,393,379.34
Alternativa 2 (OTTA SEAL)	4,742,646.23	8,453,468.16	12,822,368.77	26,018,483.16
Alternativa 3 (MONOCAPA)	3,708,153.35	8,453,468.16	12,822,368.77	24,983,990.27

### Resumen de Costos Económicos del Proyecto.

Alternativas	Costos Economicos			Costo total
	Inversion	Mant. Periodico	Mant. Rutinario	
Alternativa 1 (TSB)	3,299,735.87	10,795,597.28	9,616,776.58	23,712,109.74
Alternativa 2 (OTTA SEAL)	3,746,690.52	6,340,101.12	9,616,776.58	19,703,568.22
Alternativa 3 (MONOCAPA)	2,929,441.14	6,340,101.12	9,616,776.58	18,886,318.84

### Evaluación Económica

Los beneficios del proyecto corresponden a los beneficios por ahorro en los costos de operación vehicular incluyendo en el mismo el ahorro por tiempo de viaje.

#### VAN en dólares (para el estado)

ALTERNATIVA 01	SECTOR	DE	A	OPCION	VAN
	S.01	Cañete	Lunahuana	Rutinario	-34,970.62
	S.02	Lunahuana	Pacaran	Rutinario	30,215.86
	S.03	Pacaran	Zuñiga	Rutinario	-4,272.71
	S.04	Zuñiga	Catahuasi	Slurry Seal	365,224.61
	S.05	Catahuasi	Capillucas	Slurry Seal	289,270.18
	S.06	Capillucas	Dv. Yauyos	Slurry Seal	502,252.19
	S.07	Dv. Yauyos	Km 227	Slurry Seal	-402,393.55
	S.08	Km 227	Ronchas	Bicapa	1,287,289.12
	S.09	Ronchas	Chupaca	Rutinario	-24,797.82
<b>Saldo:</b>					<b>2,007,817.26</b>

ALTERNATIVA 02	SECTOR	DE	A	OPCION	VAN
	S.01	Cañete	Lunahuana	Rutinario	-34,970.62
	S.02	Lunahuana	Pacaran	Rutinario	30,215.86
	S.03	Pacaran	Zuñiga	Rutinario	-4,272.71
	S.04	Zuñiga	Catahuasi	Slurry Seal	365,224.61
	S.05	Catahuasi	Capillucas	Monocapa	420,736.94
	S.06	Capillucas	Dv. Yauyos	Monocapa	748,098.55
	S.07	Dv. Yauyos	Km 227	Monocapa	235,066.55
	S.08	Km 227	Ronchas	Otto Seal	1,053,106.13
	S.09	Ronchas	Chupaca	Rutinario	-24,797.82
<b>Saldo:</b>					<b>2,788,407.49</b>

ALTERNATIVA 03	SECTOR	DE	A	OPCION	VAN
	S.01	Cañete	Lunahuana	Rutinario	-34,970.62
	S.02	Lunahuana	Pacaran	Rutinario	30,215.86
	S.03	Pacaran	Zuñiga	Rutinario	-4,272.71
	S.04	Zuñiga	Catahuasi	Slurry Seal	365,224.61
	S.05	Catahuasi	Capillucas	Monocapa	420,736.94
	S.06	Capillucas	Dv. Yauyos	Monocapa	748,098.55
	S.07	Dv. Yauyos	Km 227	Monocapa	235,066.55
	S.08	Km 227	Ronchas	Monocapa	914,010.77
	S.09	Ronchas	Chupaca	Rutinario	-24,797.82
<b>Saldo:</b>					<b>2,649,312.14</b>

### VAN en dólares (para el contratista)

ALTERNATIVA 01	SECTOR	DE	A	OPCION	BALANCE ECONOMICO
	S.01	Cañete	Lunahuana	Rutinario	-45188.83688
	S.02	Lunahuana	Pacaran	Rutinario	39044.76143
	S.03	Pacaran	Zuñiga	Rutinario	-5521.16565
	S.04	Zuñiga	Catahuasi	Slurry Seal	373295.061
	S.05	Catahuasi	Capillucas	Slurry Seal	322401.0659
	S.06	Capillucas	Dv. Yauyos	Slurry Seal	592148.4399
	S.07	Dv. Yauyos	Km 227	Slurry Seal	-1094467.724
	S.08	Km 227	Ronchas	Bicapa	228880.8683
	S.09	Ronchas	Chupaca	Rutinario	-32043.6036

**Saldo: 378,548.87**

ALTERNATIVA 02	SECTOR	DE	A	OPCION	BALANCE ECONOMICO
	S.01	Cañete	Lunahuana	Rutinario	-45,188.84
	S.02	Lunahuana	Pacaran	Rutinario	39,044.76
	S.03	Pacaran	Zuñiga	Rutinario	-5,521.17
	S.04	Zuñiga	Catahuasi	Slurry Seal	373,295.06
	S.05	Catahuasi	Capillucas	Monocapa	322,401.07
	S.06	Capillucas	Dv. Yauyos	Monocapa	934,709.54
	S.07	Dv. Yauyos	Km 227	Monocapa	-54,928.17
	S.08	Km 227	Ronchas	Otto Seal	223,566.74
	S.09	Ronchas	Chupaca	Rutinario	-32,043.60

**Saldo: 1,755,335.39**

ALTERNATIVA 03	SECTOR	DE	A	OPCION	BALANCE ECONOMICO
	S.01	Cañete	Lunahuana	Rutinario	-45,188.84
	S.02	Lunahuana	Pacaran	Rutinario	39,044.76
	S.03	Pacaran	Zuñiga	Rutinario	-5,521.17
	S.04	Zuñiga	Catahuasi	Slurry Seal	373,295.06
	S.05	Catahuasi	Capillucas	Monocapa	509,137.15
	S.06	Capillucas	Dv. Yauyos	Monocapa	934,709.54
	S.07	Dv. Yauyos	Km 227	Monocapa	-54,928.17
	S.08	Km 227	Ronchas	Monocapa	233,283.53
	S.09	Ronchas	Chupaca	Rutinario	-32,043.60

**Saldo: 1,951,788.26**

### Análisis de Sensibilidad

Para el análisis del presente trabajo se realizará un análisis de sensibilidad teniendo en cuenta la variación de los costos de cambio de estándar inicial para la alternativa seleccionada alrededor de 20% en un incremento y una reducción del 10%. Se tomará dos criterios para este tipo de análisis, uno que será enfocado para el beneficio del estado y el segundo para el beneficio del contratista

### VAN Favorable para el Estado.

ALTERNATIVA 02	SECTOR	DE	A	OPCION	VAN
	S.01	Cañete	Lunahuana	Rutinario	-34,970.62
	S.02	Lunahuana	Pacaran	Rutinario	30,215.86
	S.03	Pacaran	Zu	Rutinario	-4,272.71
	S.04	Zu	Catahuasi	Slurry Seal	365,224.61
	S.05	Catahuasi	Capillucas	Monocapa	420,736.94
	S.06	Capillucas	Dv. Yauyos	Monocapa	748,098.55
	S.07	Dv. Yauyos	Km 227	Monocapa	235,066.55
	S.08	Km 227	Ronchas	Otto Seal	1,053,106.13
	S.09	Ronchas	Chupaca	Rutinario	-24,797.82

**Saldo: 2,788,407.49**

### VAN con Incremento de 20% para el Estado.

A L T E R N T . 0 2	SECTOR	DE	A	OPCION	VAN
	S.01	Cañete	Lunahuana	Rutinario	-113,955.80
	S.02	Lunahuana	Pacaran	Rutinario	7,243.61
	S.03	Pacaran	Zu	Rutinario	-11,486.49
	S.04	Zu	Catahuasi	Slurry Seal	268,136.18
	S.05	Catahuasi	Capillucas	Monocapa	365,461.03
	S.06	Capillucas	Dv. Yauyos	Monocapa	646,807.58
	S.07	Dv. Yauyos	Km 227	Monocapa	-72,312.11
	S.08	Km 227	Ronchas	Otto Seal	1,007,577.26
	S.09	Ronchas	Chupaca	Rutinario	-56,700.50

**Saldo: 2,040,770.76**

### VAN con Reducción de 10% para el Estado.

A L T E R N T . 0 2	SECTOR	DE	A	OPCION	VAN
	S.01	Cañete	Lunahuana	Rutinario	4,521.97
	S.02	Lunahuana	Pacaran	Rutinario	41,701.98
	S.03	Pacaran	Zuñiga	Rutinario	-665.81
	S.04	Zuñiga	Catahuasi	Slurry Seal	413,768.82
	S.05	Catahuasi	Capillucas	Monocapa	319,056.28
	S.06	Capillucas	Dv. Yauyos	Monocapa	798,744.03
	S.07	Dv. Yauyos	Km 227	Monocapa	388,755.88
	S.08	Km 227	Ronchas	Otto Seal	1,075,870.56
	S.09	Ronchas	Chupaca	Rutinario	-8,846.48

**Saldo: 3,032,907.24**

### Selección del la Alternativa más Económica

Después del análisis realizado al proyecto se logra obtener un VAN positivo en las tres alternativas. Pero la más favorable y con una rentabilidad elevada tanto para el estado como para el contratista es la alternativa 2 y la alternativa 3 respectivamente. Que incluyen dentro de su propuesta mantenimiento periódico con Slurry Seal y Cambio de Estándar con Otta Seal.

**ANEXO B.1:  
ANEXOS DEL CAPITULO I**



SECTOR	TRAMO	LONG.(KM)	IMD (VEH/DIA)	ANCHO DE VIA PROMEDIO	SITUACION AL 2008	SITUACION ACTUAL
1	CAÑETE - LUNAHUANA	40.95	1477	6.00 m	ASFALTADO	ASFALTADO
2	LUNAHUANA-PACARAN	11.91	555	6.00 m	TSB	MANTENIMIENTO PERIODICO CON SLURRY SEAL
3	PACARAN - ZUÑIGA	3.74	520	6.00 m	AFIRMADO	CAMBIO DE ESTANDAR CON SLURRY JUNIO 2009
4	ZUÑIGA - CATAHUASI	20.40	722	5.50 m	AFIRMADO	CAMBIO DE ESTANDAR CON SLURRY MARZO 2009 - JUNIO 2009
5	CATAHUASI - CAPILLUCAS	17.64	1145	5.00 m	AFIRMADO	CAMBIO DE ESTANDAR CON MONOCAPA
6	CAPILLUCAS -DV. YAUJOS	32.36	90.00	5.00 m	AFIRMADO	CAMBIO DE ESTANDAR CON MONOCAPA - FEBRERO 2009
7	DV.YAUJOS - KM 227	98.20	305	5.00 m	AFIRMADO	CAMBIO DE ESTANDAR CON MONOCAPA
8	KM 227 - RONCHAS	29.99	430	5.00 - 6.00 m	AFIRMADO	AFIRMADO
9	RONCHAS - CHUPACA	16.54	430	6.00 m	AFIRMADO	AFIRMADO
<b>LONG. TOTAL</b>		<b>271.72</b>				

**Cuadro N° 1.04. Situación Actual de la Carretera**

Elaboración propia

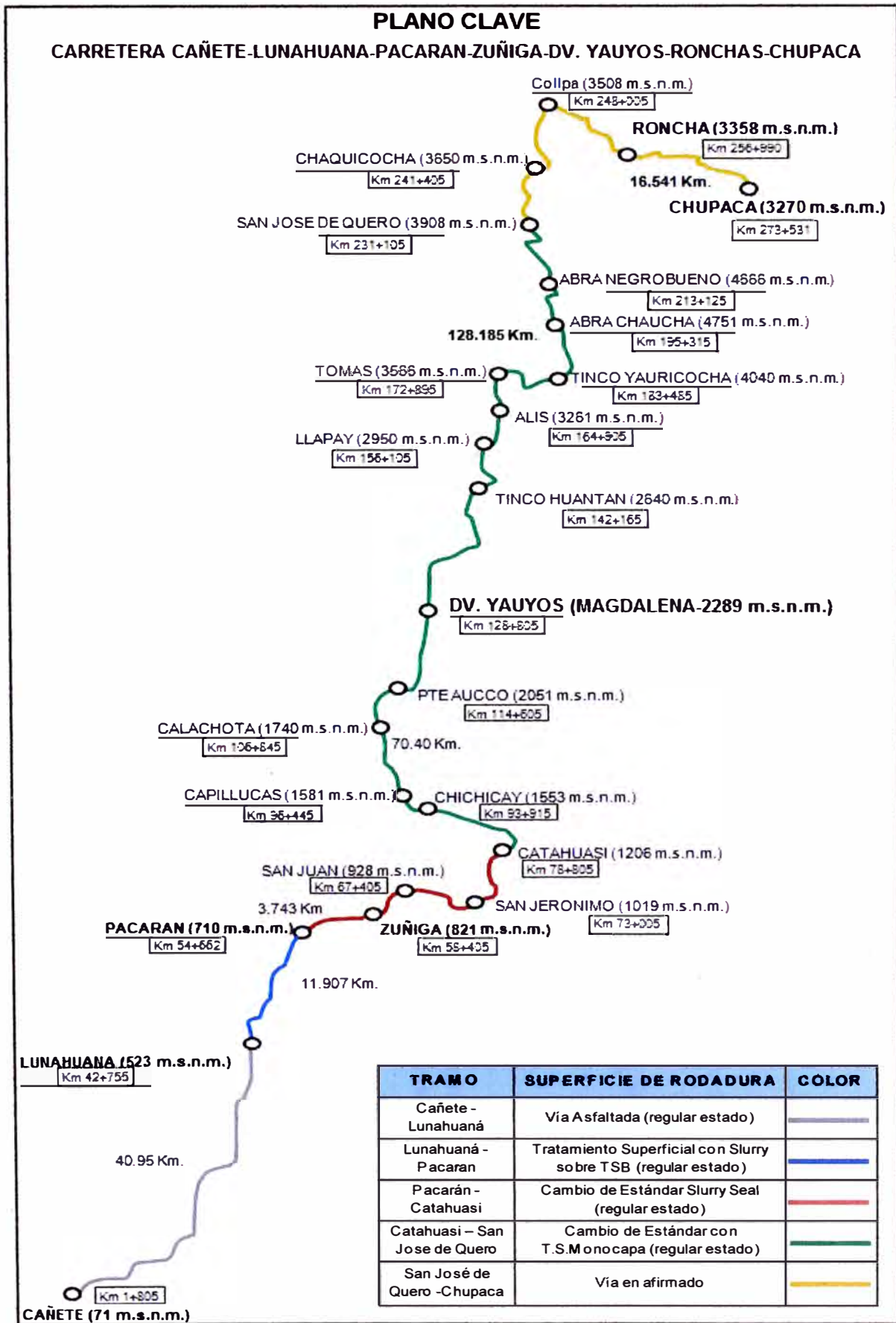


Figura N° 1.02. Plano Clave – Elaboración Propia

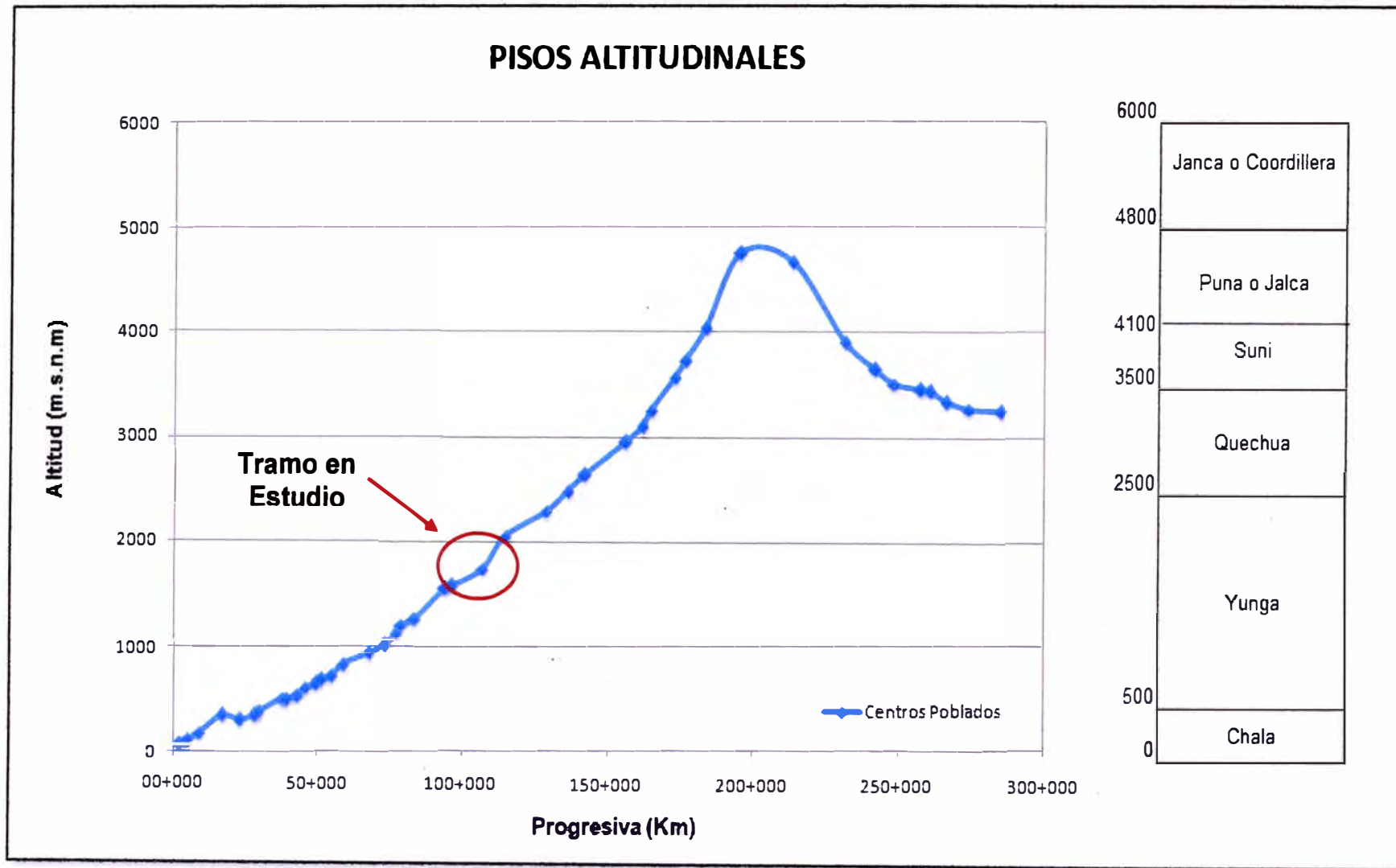


Figura Nº 1.04 Perfil Altitudinal de la Carretera

Elaboración propia

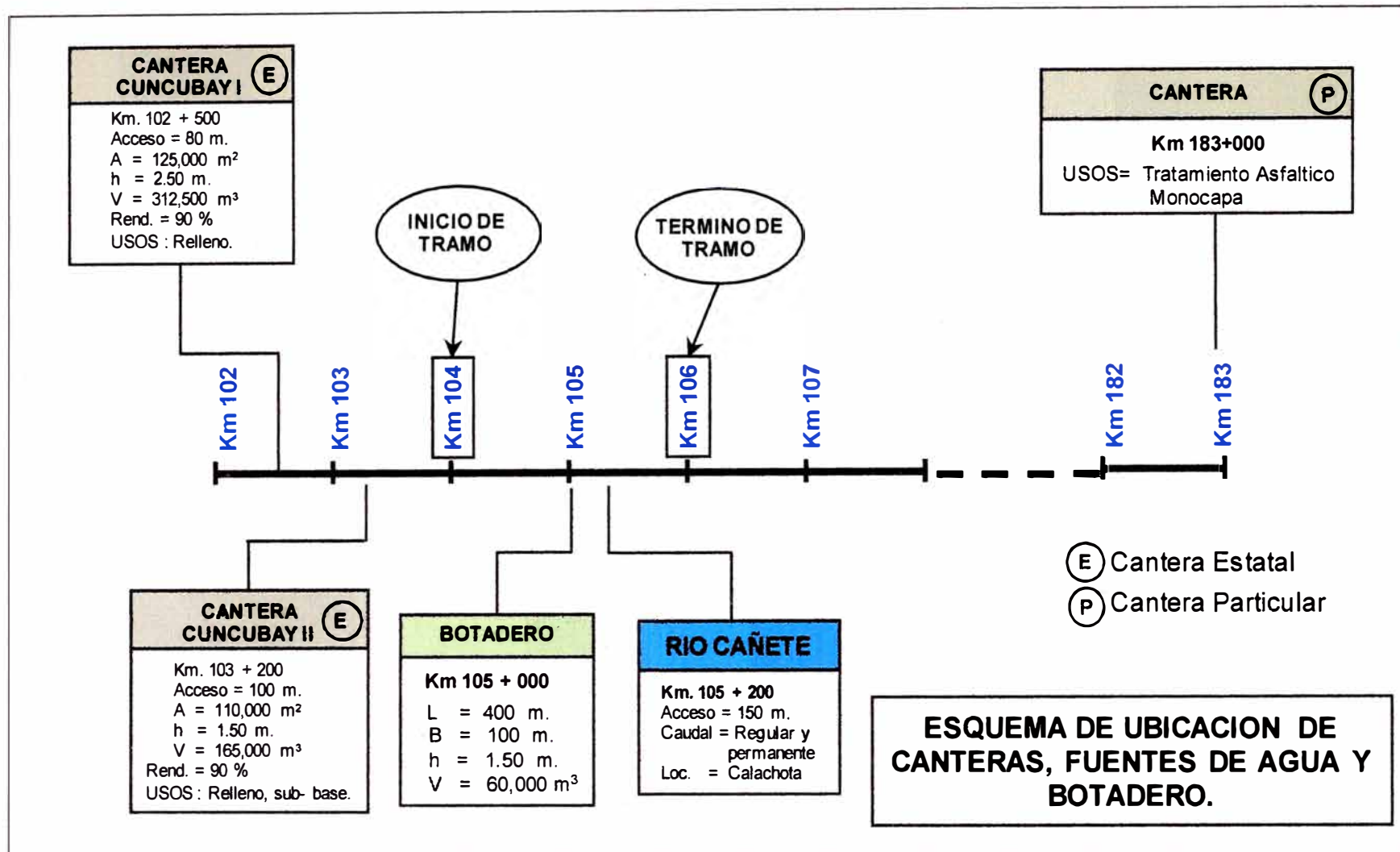


Figura N° 1.06 Ubicación de Canteras, Fuentes de Agua y Botaderos

Elaboración propia



**Fotografía N° 1.01:**  
Topografía de la vía en  
media ladera.

**Fotografía N° 1.02:**  
Pendiente de suave a  
moderada.



**Fotografía N° 1.03:**  
Falta de visibilidad en las  
curvas horizontales.

**Fotografía N° 1.04:**  
Anchos de calzada muy  
angostos para un flujo en doble  
sentido.



### CAMBIO DE ESTANDAR REALIZADO POR EL C.G.C. EN EL TRAMO.



**Fotografía N° 1.05:** Conformación de afirmado estabilizado con riego de emulsión.



**Fotografía N° 1.06:** Superficie de Plataforma luego de ser compactada.



**Fotografía N° 1.07:** Producción de gravilla de 3/8" para monocapa.



**Fotografía N° 1.08:** Aplicación de RC-250 para riego de liga para el monocapa.



**Fotografía N° 1.9:** Colocación del tratamiento superficial monocapa con esparcidora.

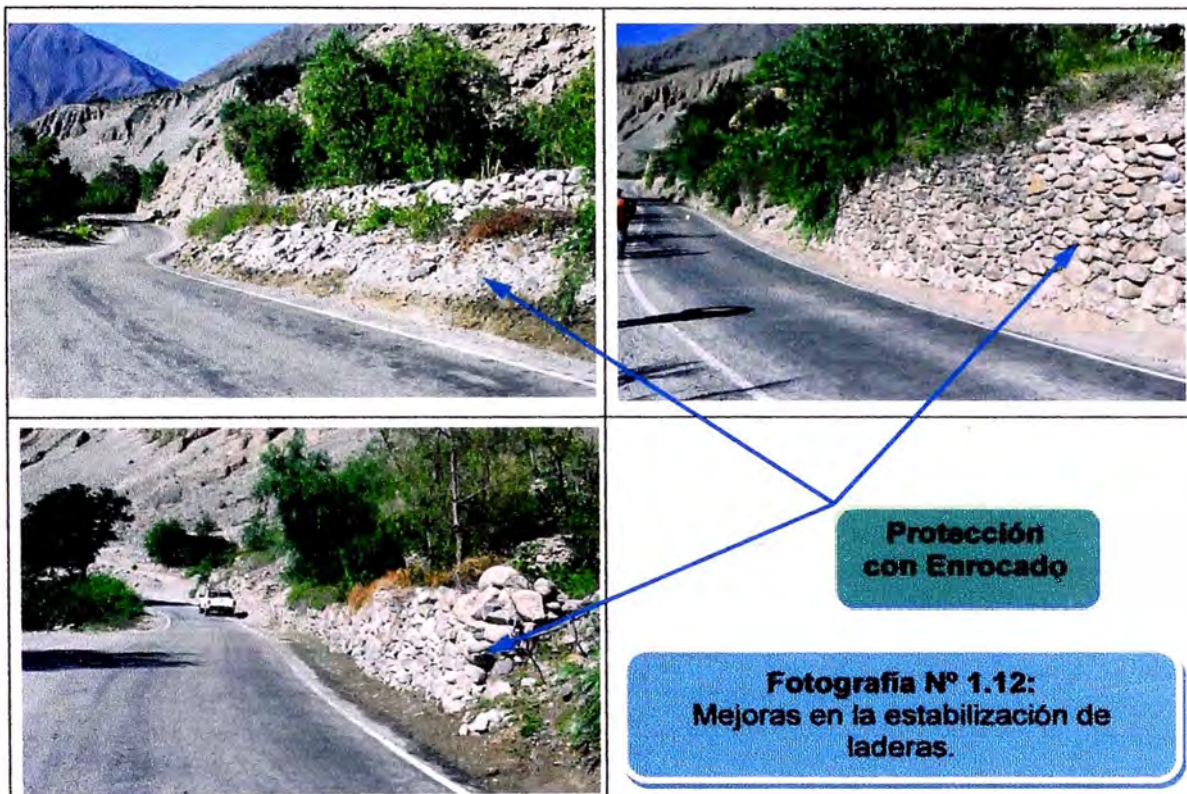


**Fotografía N° 1.10:** Compactado del monocapa con rodillo de neumáticos.



**Fotografía N° 1.11:** Tramo con monocapa terminado.

### TRABAJOS REALIZADOS



## OBRAS DE DRENAJE



**Fotografía N° 1.14:**

1) Alcantarilla TMC  $\varnothing=48''$  con emboquillado al ingreso.

2) Drenaje Transversal con tubería de F<sup>o</sup>G<sup>o</sup> de  $\varnothing=6''$

**Fotografía N° 1.15:**

3) Drenaje Longitudinal con cunetas artesanales mantenidas en buen estado.

4) Salida de la alcantarilla con encauzamiento.







**Fotografía N° 1.16:**  
Alcantarilla con deficiente encauzamiento

**Fotografía N° 1.17:**  
Falta mejorar el drenaje transversal en el cambio de pendiente



**ANEXO B.4:**  
**ANEXOS DEL CAPITULO IV**

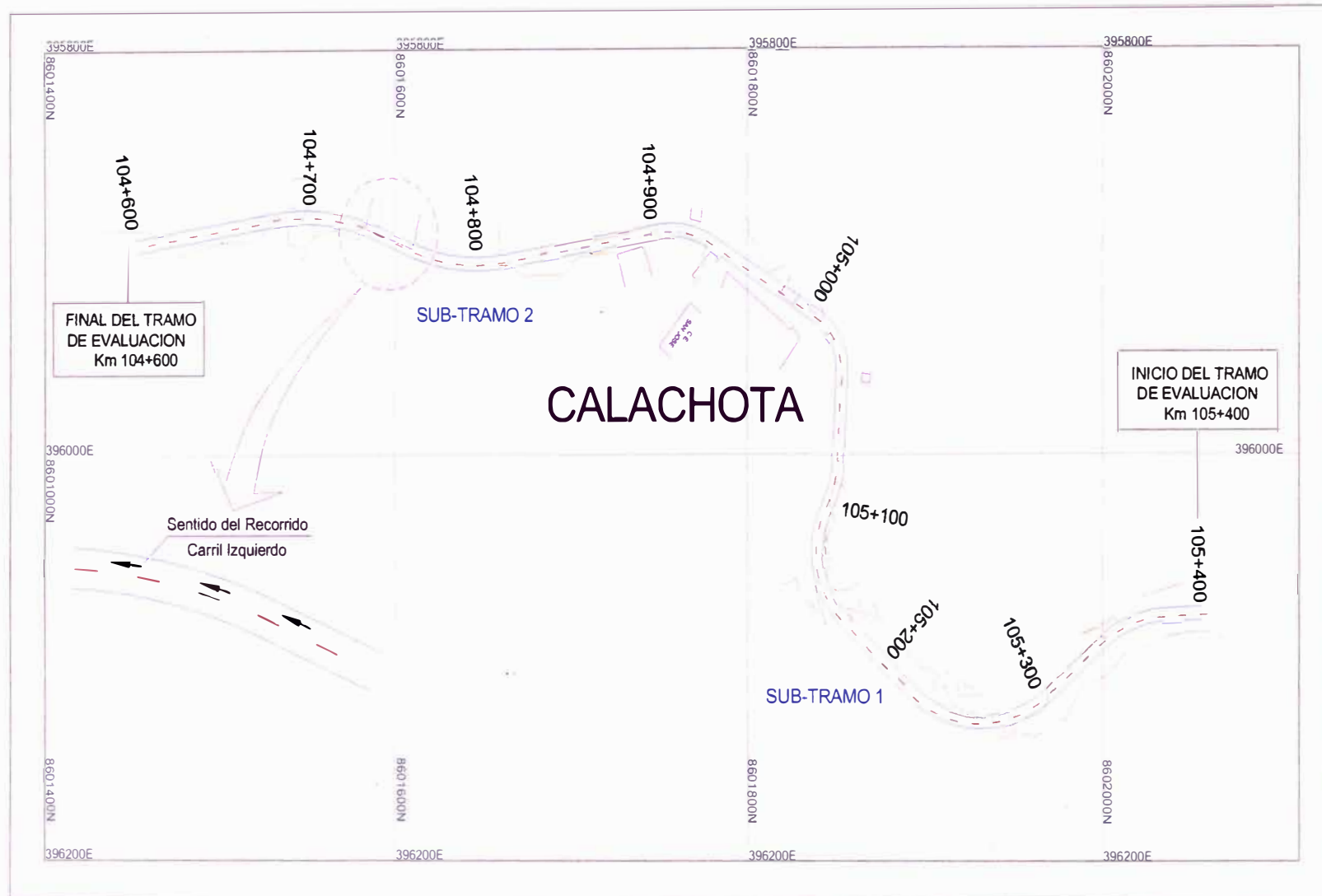


Figura N° 4.01: Sectorización del Tramo

Fuente: Elaboración Propia

**ENSAYOS PARA MEDICIÓN DE LA RUGOSIDAD CON MERLIN  
(HOJA DE CAMPO)**

PROYECTO: *Corredor Vial N° 13*  
SECTOR : *Cañete - Chupaca*  
TRAMO : *Zuñiga - Dv. Yauyos*  
CARRIL : *IZQUIERDO*

OPERADOR :  
SUPERVISOR : *K.V.G.*  
FECHA : *15/05/2010*

ENSAYO N°  KM  HORA

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	29	33	45	25	27	27	24	32	28	27
2	32	32	26	27	28	24	33	31	34	32
3	29	35	32	26	24	30	26	34	33	37
4	27	28	38	29	35	39	26	33	24	33
5	30	22	34	27	28	33	26	35	29	31
6	24	30	33	36	23	33	8	36	23	25
7	21	27	36	31	36	31	15	37	38	28
8	17	21	34	27	30	27	35	36	28	23
9	36	27	39	38	35	34	33	33	33	29
10	31	33	32	32	26	26	16	34	17	33
11	33	29	18	37	29	29	34	25	34	36
12	30	30	37	29	31	28	32	39	28	33
13	32	37	33	32	39	32	41	39	31	32
14	38	32	33	31	23	33	27	25	28	34
15	30	46	23	39	35	27	25	32	30	41
16	20	38	23	39	27	35	31	32	33	30
17	18	35	16	36	32	26	35	26	33	43
18	29	32	24	35	25	28	35	33	30	40
19	28	35	18	36	28	25	33	32	33	29
20	30	23	33	29	23	26	32	37	31	35

TIPOS DE PAVIMENTO:

AFIRMADO

BASE GRANULAR

BASE IMPRIMADA

TRATAMIENTO MONOCAPA

TRATAMIENTO SLURRY SEAL

RECAPEO ASFALTICO

SELLO

.....

OBSERVACIONES: (2,5) Curva, parchado; (2,15) Hundimento.  
(3,1) Parchado; (3,11) Parchado;  
(7,6) Area grande parchada; (10,2) cambio de pendiente.

		Serie 540/Modelo TM 171				
Lectura Mínima	8	Lectura inicial	25	25	25	25
Lectura Máxima	46	Lec. Con pastilla	11	10	10	11

**Figura N° 4.02: Formato de Campo de 200 lecturas – Tramo 1.**

Fuente: Elaboración Propia

**ENSAYOS PARA MEDICIÓN DE LA RUGOSIDAD CON MERLIN  
(HOJA DE CAMPO)**

PROYECTO: *Corredor Vial N° 13*  
SECTOR : *Cañete - Chupaca*  
TRAMO : *Zuñiga - Dv. Yauyas*  
CARRIL : *IZQUIERDO*

OPERADOR : *EJCM*  
SUPERVISOR : *K.V.G.*  
FECHA : *15/05/2010*

ENSAYO N°  KM  HORA

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	31	26	20	13	39	31	17	28	31	15
2	26	26	29	31	37	34	36	29	32	39
3	27	29	37	31	31	33	21	36	37	28
4	26	33	30	28	35	32	27	33	31	28
5	35	27	19	29	30	23	38	21	26	29
6	38	27	40	30	29	23	28	32	22	24
7	41	30	26	35	29	32	26	26	23	32
8	33	26	24	26	29	35	34	46	17	25
9	20	30	28	24	32	38	30	37	25	27
10	37	27	26	18	27	30	28	32	39	33
11	26	29	32	37	28	32	29	28	35	33
12	31	18	31	19	30	33	32	33	27	30
13	35	35	13	26	42	32	32	21	33	25
14	30	46	32	37	28	35	34	33	25	22
15	27	27	30	35	35	27	30	25	35	30
16	33	26	26	33	35	30	36	34	33	32
17	38	29	25	40	29	30	33	35	30	34
18	32	32	25	28	28	33	30	30	36	34
19	29	22	24	27	31	16	22	29	23	33
20	33	18	25	30	28	31	35	30	29	16

TIPOS DE PAVIMENTO:

AFIRMADO

BASE GRANULAR

BASE IMPRIMADA

TRATAMIENTO MONOCAPA

TRATAMIENTO SLURRY SEAL

RECAPEO ASFALTICO

SELLO

.....

OBSERVACIONES: (2,2) Tramo en curva; (3,1) Hueco  
(3,13) Bache; (4,20) Tramo recto  
(5,13) tramo curva; (6,20) termino curva  
(10,2) a (10,20) Parchado

		Serie 540/Modelo TM 171					
Lectura Mínima	13	Lectura inicial	25	25	25	25	25
Lectura Máxima	46	Lec. Con pastilla	11	10	10	11	10.5

**Figura N° 4.03: Formato de Campo de 200 lecturas – Tramo 2.**

Fuente: Elaboración Propia

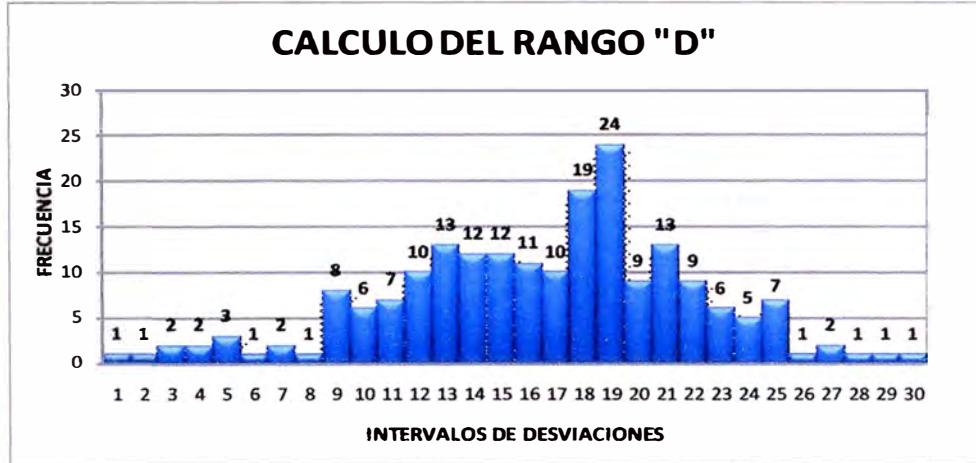
**PROCESAMIENTO DE LOS DATOS DE CAMPO - RUGOSIMETRO MERLIN**

PROGRESIVA : DEL 104+600 AL 105+000  
CARRIL : IZQUIERDO  
DIST. DEL BORDE : A 1m del borde

FECHA : 15/05/2010

**CONTEO DE DESVIACIONES PARA EL CÁLCULO DEL IRI**

DES.	REP.
8	1
15	1
16	2
17	2
18	3
20	1
21	2
22	1
23	8
24	6
25	7
26	10
27	13
28	12
29	12
30	11
31	10
32	19
33	24
34	9
35	13
36	9
37	6
38	5
39	7
40	1
41	2
43	1
45	1
46	1
<b>TOTAL</b>	<b>200</b>



Histograma de la distribución de frecuencias de una muestra de 200 desviaciones medidas en forma consecutiva

D	D(mm)	Fac. Corr	D Corregido	IRI (m/km)
18.43	92.14	0.892	82.19	<b>4.46</b>

**Figura Nº 4.04: Histograma de Frecuencias para el cálculo del rango “D”  
Tramo 1**

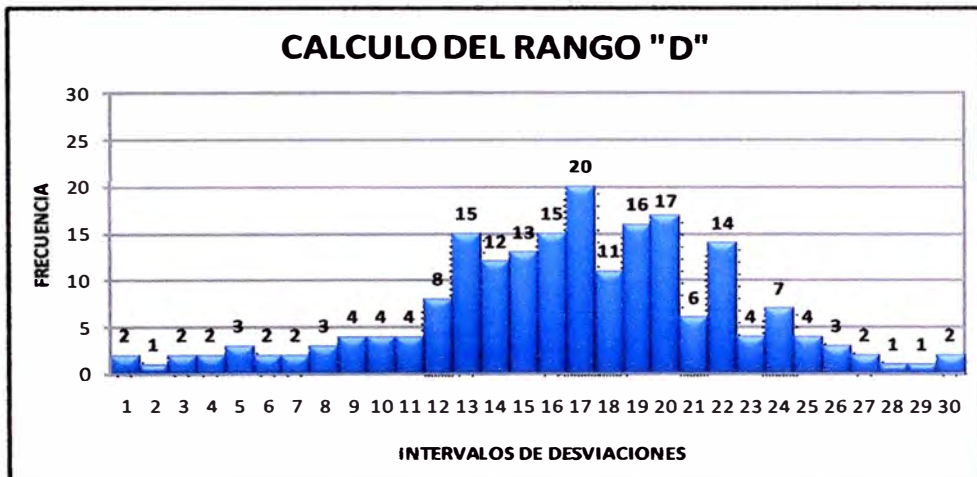
Fuente: Elaboración Propia

**PROCESAMIENTO DE LOS DATOS DE CAMPO - RUGOSIMETRO MERLIN**

**PROGRESIVA** : DEL 105+000 AL 105+400      **FECHA** : 15/05/2010  
**CARRIL** : IZQUIERDO  
**DIST. DEL BORDE** : A 1m del borde

**CONTEO DE DESVIACIONES PARA EL CÁLCULO DEL IRI**

DESV.	REP.
13	2
15	1
16	2
17	2
18	3
19	2
20	2
21	3
22	4
23	4
24	4
25	8
26	15
27	12
28	13
29	15
30	20
31	11
32	16
33	17
34	6
35	14
36	4
37	7
38	4
39	3
40	2
41	1
42	1
46	2
<b>TOTAL</b>	<b>200</b>



Histograma de la distribución de frecuencias de una muestra de 200 desviaciones medidas en forma consecutiva

D	D(mm)	Fac. Corr	D Corregido	IRI (m/km)
19.75	98.75	0.892	88.13	<b>4.74</b>

**Figura N° 4.05: Histograma de Frecuencias para el cálculo del rango "D"**  
**Tramo 2**

Fuente: Elaboración Propia



**Fotografía N° 4.01:**  
**Ubicación de los**  
**Tramos**  
Se ubicaron dos tramos



**Fotografía N° 4.02:**  
El ensayo no destructivo  
con el equipo MERLIN se  
realizó aproximadamente  
a 1 m. del borde de la  
calzada.



**Fotografía N° 4.03:**  
Aquí se observa una  
curva dentro del tramo en  
evaluación, factor que  
afecta la precisión del  
equipo.



**ANEXO B.5:**  
**ANEXOS DEL CAPITULO V**

Long. (m)	Lecturas	Long. (m)	Lecturas	Long. (m)	Lecturas	Long. (m)	Lecturas
2	29	102	18	202	27	302	25
4	32	104	37	204	24	304	39
6	29	106	33	206	30	306	39
8	27	108	33	208	39	308	25
10	30	110	23	210	33	310	32
12	24	112	23	212	33	312	32
14	21	114	16	214	31	314	26
16	17	116	24	216	27	316	33
18	36	118	18	218	34	318	32
20	31	120	33	220	26	320	37
22	33	122	25	222	29	322	28
24	30	124	27	224	28	324	34
26	32	126	26	226	32	326	33
28	38	128	29	228	33	328	24
30	30	130	27	230	27	330	29
32	20	132	36	232	35	332	23
34	18	134	31	234	26	334	38
36	29	136	27	236	28	336	28
38	28	138	38	238	25	338	33
40	30	140	32	240	26	340	17
42	33	142	37	242	24	342	34
44	32	144	29	244	33	344	28
46	35	146	32	246	26	346	31
48	28	148	31	248	26	348	28
50	22	150	39	250	26	350	30
52	30	152	39	252	8	352	33
54	27	154	36	254	15	354	33
56	21	156	35	256	35	356	30
58	27	158	36	258	33	358	33
60	33	160	29	260	16	360	31
62	29	162	27	262	34	362	27
64	30	164	28	264	32	364	32
66	37	166	24	266	41	366	37
68	32	168	35	268	27	368	33
70	46	170	28	270	25	370	31
72	38	172	23	272	31	372	25
74	35	174	36	274	35	374	28
76	32	176	30	276	35	376	23
78	35	178	35	278	33	378	29
80	23	180	26	280	32	380	33
82	45	182	29	282	32	382	36
84	26	184	31	284	31	384	33
86	32	186	39	286	34	386	32
88	38	188	23	288	33	388	34
90	34	190	35	290	35	390	41
92	33	192	27	292	36	392	30
94	36	194	32	294	37	394	43
96	34	196	25	296	36	396	40
98	39	198	28	298	33	398	29
100	32	200	23	300	34	400	35

**Cuadro N° 5.01: Lecturas del Merlin cada 2 m. Tramo 1 Km. 104+600 – Km. 105+000**

Fuente: Elaboración Propia

Long. (m)	Lecturas	Long. (m)	Lecturas	Long. (m)	Lecturas	Long. (m)	Lecturas
2	31	102	32	202	31	302	28
4	26	104	31	204	34	304	33
6	27	106	13	206	33	306	21
8	26	108	32	208	32	308	33
10	35	110	30	210	23	310	25
12	38	112	26	212	23	312	34
14	41	114	25	214	32	314	35
16	33	116	25	216	35	316	30
18	20	118	24	218	38	318	29
20	37	120	25	220	30	320	30
22	26	122	13	222	32	322	31
24	31	124	31	224	33	324	32
26	35	126	31	226	32	326	37
28	30	128	28	228	35	328	31
30	27	130	29	230	27	330	26
32	33	132	30	232	30	332	22
34	38	134	35	234	30	334	23
36	32	136	26	236	33	336	17
38	29	138	24	238	16	338	25
40	33	140	18	240	31	340	39
42	26	142	37	242	17	342	35
44	26	144	19	244	36	344	27
46	29	146	26	246	21	346	33
48	33	148	37	248	27	348	25
50	27	150	35	250	38	350	35
52	27	152	33	252	28	352	33
54	30	154	40	254	26	354	30
56	26	156	28	256	34	356	36
58	30	158	27	258	30	358	23
60	27	160	30	260	28	360	29
62	29	162	39	262	29	362	15
64	18	164	37	264	32	364	39
66	35	166	31	266	32	366	28
68	46	168	35	268	34	368	28
70	27	170	30	270	30	370	29
72	26	172	29	272	36	372	24
74	29	174	29	274	33	374	32
76	32	176	29	276	30	376	25
78	22	178	32	278	22	378	27
80	18	180	27	280	35	380	33
82	20	182	28	282	28	382	33
84	29	184	30	284	29	384	30
86	37	186	42	286	36	386	25
88	30	188	28	288	33	388	22
90	19	190	35	290	21	390	30
92	40	192	35	292	32	392	32
94	26	194	29	294	26	394	34
96	24	196	28	296	46	396	34
98	28	198	31	298	37	398	33
100	26	200	28	300	32	400	16

**Cuadro N° 5.02: Lecturas del Merlin cada 2 m. Tramo 2 Km 105+000-Km 105+400.**

Fuente: Elaboración Propia

Estadon	Long. (Km)	Prog. Inicial	Prog. Final	IRI (m/Km)	IRiprom (m/Km)	IRicar (m/Km)
1	0.400	79+000	79+400	5.36	4.75	5.77
2	0.400	79+300	79+700	5.47	4.75	5.77
3	0.400	79+700	80+100	5.25	4.75	5.77
4	0.400	80+100	80+500	4.34	4.75	5.77
5	0.400	80+500	80+900	4.86	4.75	5.77
6	0.400	80+900	81+300	4.21	4.75	5.77
7	0.400	81+300	81+700	4.88	4.75	5.77
8	0.400	81+700	82+100	4.90	4.75	5.77
9	0.400	82+100	82+500	3.90	4.75	5.77
10	0.400	82+500	82+900	4.02	4.75	5.77
11	0.400	83+000	83+400	4.00	4.75	5.77
12	0.400	83+400	83+800	4.84	4.75	5.77
13	0.400	83+800	84+200	4.09	4.75	5.77
14	0.400	84+200	84+600	4.15	4.75	5.77
15	0.400	84+600	85+000	4.39	4.75	5.77
16	0.400	85+000	85+400	4.35	4.75	5.77
17	0.400	85+400	85+800	4.38	4.75	5.77
18	0.400	85+800	86+200	4.13	4.75	5.77
19	0.400	86+200	86+600	4.03	4.75	5.77
20	0.400	86+600	87+000	4.65	4.75	5.77
21	0.400	87+200	87+600	4.02	4.75	5.77
22	0.400	87+600	88+000	3.47	4.75	5.77
23	0.400	88+000	88+400	3.97	4.75	5.77
24	0.400	88+400	88+800	4.54	4.75	5.77
25	0.400	88+800	89+200	4.97	4.75	5.77
26	0.400	89+200	89+600	6.37	4.75	5.77
27	0.400	89+600	90+000	4.50	4.75	5.77
28	0.400	90+000	90+400	5.41	4.75	5.77
29	0.400	90+400	90+800	6.03	4.75	5.77
30	0.400	90+800	91+200	5.31	4.75	5.77
31	0.400	91+200	91+600	5.49	4.75	5.77
32	0.400	91+000	91+400	4.35	4.75	5.77
33	0.400	91+400	91+800	4.81	4.75	5.77
34	0.400	91+800	92+200	4.32	4.75	5.77
35	0.400	92+200	92+600	3.98	4.75	5.77
36	0.400	92+600	93+000	4.77	4.75	5.77
37	0.400	93+000	93+400	4.38	4.75	5.77
38	0.400	93+400	93+800	3.85	4.75	5.77
39	0.400	95+000	95+400	3.53	4.75	5.77
40	0.400	95+400	95+800	3.80	4.75	5.77
41	0.400	95+800	96+200	5.95	4.75	5.77
42	0.400	96+200	96+600	5.41	4.75	5.77
43	0.400	96+600	97+000	4.83	4.75	5.77
44	0.400	97+100	97+500	4.26	4.75	5.77
45	0.400	97+500	97+900	4.78	4.75	5.77
46	0.400	97+900	98+300	4.29	4.75	5.77
47	0.400	98+300	98+700	4.44	4.75	5.77
48	0.400	98+700	99+100	4.77	4.75	5.77
49	0.400	99+100	99+500	5.08	4.75	5.77
50	0.400	99+500	99+900	5.42	4.75	5.77
51	0.400	99+900	100+300	4.25	4.75	5.77
52	0.400	100+300	100+700	4.24	4.75	5.77
53	0.400	100+700	101+100	5.38	4.75	5.77
54	0.400	101+100	101+500	5.06	4.75	5.77
55	0.400	101+500	101+900	5.15	4.75	5.77
56	0.400	101+900	102+300	4.71	4.75	5.77
57	0.400	102+300	102+700	4.92	4.75	5.77
58	0.400	102+700	103+100	4.32	4.75	5.77
59	0.400	103+100	103+500	4.86	4.75	5.77
60	0.400	103+500	103+900	4.94	4.75	5.77
61	0.400	103+900	104+300	4.86	4.75	5.77

62	0.400	104+300	104+700	5.02	4.75	5.77
63	0.400	104+700	105+100	4.87	4.75	5.77
64	0.400	105+100	105+500	4.37	4.75	5.77
65	0.400	105+500	105+900	4.93	4.75	5.77
66	0.400	105+900	106+300	4.50	4.75	5.77
67	0.400	106+300	106+700	5.17	4.75	5.77
68	0.400	106+700	107+100	5.27	4.75	5.77
69	0.400	107+100	107+500	5.41	4.75	5.77
70	0.400	107+500	107+900	3.99	4.75	5.77
71	0.400	107+900	108+300	4.18	4.75	5.77
72	0.400	108+300	108+700	4.25	4.75	5.77
73	0.400	108+700	109+100	5.17	4.75	5.77
74	0.400	109+100	109+500	4.52	4.75	5.77
75	0.400	109+500	109+900	5.34	4.75	5.77
76	0.400	109+900	110+300	5.89	4.75	5.77
77	0.400	110+300	110+700	7.11	4.75	5.77
78	0.400	110+700	111+100	4.79	4.75	5.77
79	0.400	111+100	111+500	5.13	4.75	5.77
80	0.400	111+500	111+900	5.05	4.75	5.77
81	0.400	111+900	112+300	4.70	4.75	5.77
82	0.400	112+300	112+700	6.59	4.75	5.77
83	0.400	112+700	113+100	5.94	4.75	5.77
84	0.400	112+900	113+300	4.95	4.75	5.77
85	0.400	113+100	113+500	5.13	4.75	5.77
86	0.400	113+300	113+700	4.86	4.75	5.77
87	0.400	113+500	113+900	4.62	4.75	5.77
88	0.400	113+700	114+100	4.09	4.75	5.77
89	0.400	113+900	114+300	4.87	4.75	5.77
90	0.400	114+100	114+500	5.24	4.75	5.77
91	0.400	114+300	114+700	4.61	4.75	5.77
92	0.400	114+500	114+900	3.80	4.75	5.77
93	0.400	114+700	115+100	5.44	4.75	5.77
94	0.400	114+900	115+300	5.68	4.75	5.77
95	0.400	115+100	115+500	5.15	4.75	5.77
96	0.400	115+500	115+900	4.22	4.75	5.77
97	0.400	115+900	116+300	4.29	4.75	5.77
98	0.400	118+900	119+300	4.96	4.75	5.77
99	0.400	119+300	119+700	3.93	4.75	5.77
100	0.400	119+700	120+100	5.07	4.75	5.77
101	0.400	120+100	120+500	4.93	4.75	5.77
102	0.400	120+500	120+900	4.84	4.75	5.77
103	0.400	120+900	121+300	4.26	4.75	5.77
104	0.400	121+300	121+700	4.46	4.75	5.77
105	0.400	121+700	122+100	4.41	4.75	5.77
106	0.400	122+100	122+500	4.39	4.75	5.77
107	0.400	124+900	125+300	4.96	4.75	5.77
108	0.400	125+300	125+700	4.75	4.75	5.77
109	0.400	125+700	126+100	5.05	4.75	5.77
110	0.400	126+100	126+500	4.69	4.75	5.77
111	0.400	126+500	126+900	4.44	4.75	5.77
112	0.400	126+900	127+300	4.57	4.75	5.77
113	0.400	127+300	127+700	4.02	4.75	5.77
114	0.400	127+700	128+100	4.27	4.75	5.77
				<b>Desviación Estándar</b>	<b>0.62</b>	
				<b>Coefficiente de Variación</b>	<b>0.13</b>	

**Cuadro N° 5.06: Valores de IRI Promedio cada 400 m.**

Fuente: DEP – FIC.

Prog. Inicial	Progr. Final	IRI (m/Km)	IRIprom (m/Km)	IRIcar (m/Km)
79+000	80+900	5.05	4.76	5.46
80+900	82+900	4.38	4.76	5.46
83+000	85+000	4.29	4.76	5.46
85+000	87+000	4.31	4.76	5.46
87+200	89+200	4.19	4.76	5.46
89+200	91+200	5.53	4.76	5.46
91+200	92+600	4.59	4.76	5.46
92+600	95+800	4.07	4.76	5.46
95+800	97+900	5.05	4.76	5.46
97+900	99+900	4.80	4.76	5.46
99+900	101+900	4.82	4.76	5.46
101+900	103+900	4.75	4.76	5.46
103+900	105+900	4.81	4.76	5.46
105+900	107+900	4.87	4.76	5.46
107+900	109+900	4.69	4.76	5.46
109+900	111+900	5.59	4.76	5.46
111+900	113+500	5.46	4.76	5.46
113+300	114+500	4.74	4.76	5.46
114+300	115+500	5.35	4.76	5.46
115+500	120+100	4.49	4.76	5.46
120+100	122+100	4.58	4.76	5.46
122+100	126+500	4.77	4.76	5.46
126+500	128+100	4.33	4.76	5.46
<b>Desviación Estandar</b>		<b>0.43</b>		
<b>Coefficiente de Variación</b>		<b>0.09</b>		

**Cuadro N° 5.07: Valores de IRI Promedio cada 2 Km.**

Fuente: DEP – FIC.

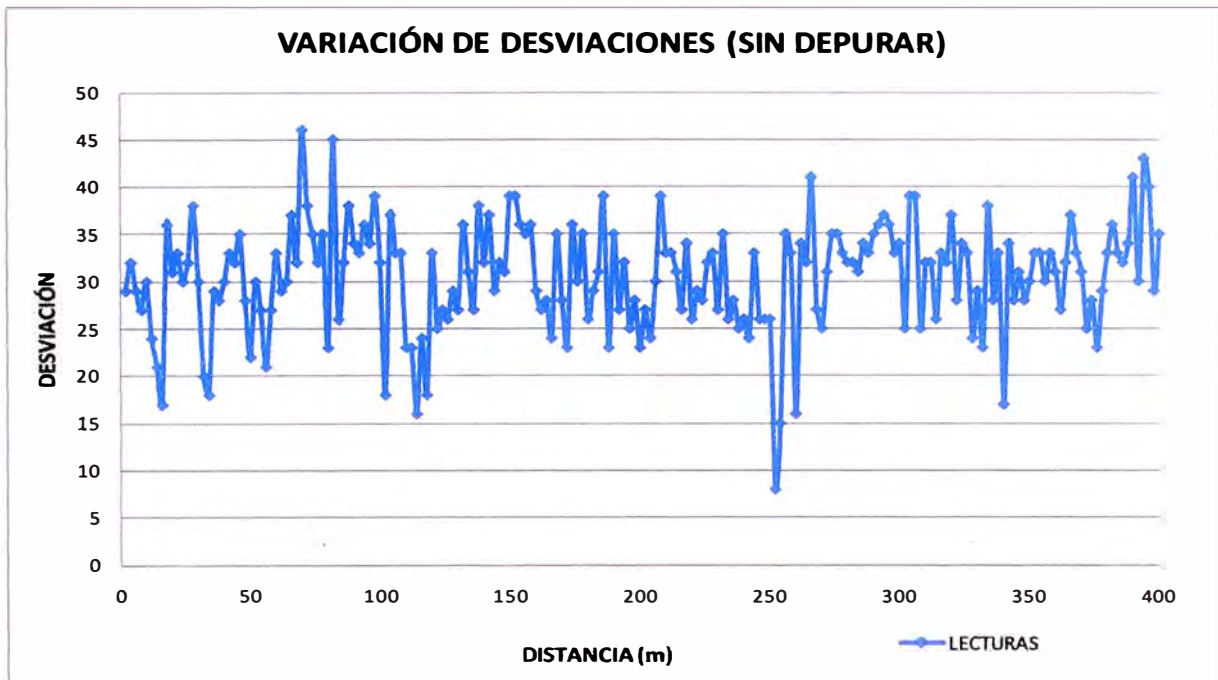
Est.	Longitud Acumulada (Km)	Long. (Km)	Prog. Inicial	Prog. Final	IRI (m/Km)	IRIprom (m/Km)	IRIcar (m/Km)	Intervalo IRIpromedio	Area	Area Acumulada	Diferencias Acumuladas
1	0.400	0.400	79+000	79+400	5.36	5.36	5.54	5.36	2.14	2.14	0.24
2	0.800	0.400	79+300	79+700	5.47	5.36	5.54	5.41	2.17	4.31	0.51
3	1.200	0.400	79+700	80+100	5.25	5.36	5.54	5.36	2.14	6.45	0.75
4	1.600	0.400	80+100	80+500	4.34	4.29	4.91	4.79	1.92	8.37	0.76
5	2.000	0.400	80+500	80+900	4.86	4.29	4.91	4.60	1.84	10.21	0.70
6	2.400	0.400	80+900	81+300	4.21	4.29	4.91	4.53	1.81	12.02	0.62
7	2.800	0.400	81+300	81+700	4.88	4.29	4.91	4.54	1.82	13.84	0.53
8	3.200	0.400	81+700	82+100	4.90	4.29	4.91	4.89	1.95	15.79	0.59
9	3.600	0.400	82+100	82+500	3.90	4.29	4.91	4.40	1.76	17.55	0.44
10	4.000	0.400	82+500	82+900	4.02	4.29	4.91	3.96	1.58	19.13	0.13
11	4.400	0.400	83+000	83+400	4.00	4.29	4.91	4.01	1.60	20.74	-0.17
12	4.800	0.400	83+400	83+800	4.84	4.29	4.91	4.42	1.77	22.51	-0.30
13	5.200	0.400	83+800	84+200	4.09	4.29	4.91	4.46	1.79	24.29	-0.42
14	5.600	0.400	84+200	84+600	4.15	4.29	4.91	4.12	1.65	25.94	-0.67
15	6.000	0.400	84+600	85+000	4.39	4.29	4.91	4.27	1.71	27.65	-0.86
16	6.400	0.400	85+000	85+400	4.35	4.29	4.91	4.37	1.75	29.40	-1.01
17	6.800	0.400	85+400	85+800	4.38	4.29	4.91	4.36	1.75	31.14	-1.17
18	7.200	0.400	85+800	86+200	4.13	4.29	4.91	4.25	1.70	32.84	-1.37
19	7.600	0.400	86+200	86+600	4.03	4.29	4.91	4.08	1.63	34.47	-1.64
20	8.000	0.400	86+600	87+000	4.65	4.29	4.91	4.34	1.74	36.21	-1.80
21	8.400	0.400	87+200	87+600	4.02	4.29	4.91	4.34	1.73	37.94	-1.97
22	8.800	0.400	87+600	88+000	3.47	4.29	4.91	3.75	1.50	39.44	-2.37
23	9.200	0.400	88+000	88+400	3.97	4.29	4.91	3.72	1.49	40.93	-2.78
24	9.600	0.400	88+400	88+800	4.54	4.29	4.91	4.25	1.70	42.63	-2.98
25	10.000	0.400	88+800	89+200	4.97	5.44	6.47	4.76	1.90	44.53	-2.98
26	10.400	0.400	89+200	89+600	6.37	5.44	6.47	5.67	2.27	46.80	-2.61
27	10.800	0.400	89+600	90+000	4.50	5.44	6.47	5.44	2.17	48.97	-2.34
28	11.200	0.400	90+000	90+400	5.41	5.44	6.47	4.96	1.98	50.96	-2.26
29	11.600	0.400	90+400	90+800	6.03	5.44	6.47	5.72	2.29	53.25	-1.87
30	12.000	0.400	90+800	91+200	5.31	5.44	6.47	5.67	2.27	55.51	-1.50
31	12.400	0.400	91+200	91+600	5.49	5.44	6.47	5.40	2.16	57.68	-1.24
32	12.800	0.400	91+000	91+400	4.35	4.20	4.92	4.92	1.97	59.64	-1.17
33	13.200	0.400	91+400	91+800	4.81	4.20	4.92	4.58	1.83	61.48	-1.24
34	13.600	0.400	91+800	92+200	4.32	4.20	4.92	4.57	1.83	63.30	-1.31
35	14.000	0.400	92+200	92+600	3.98	4.20	4.92	4.15	1.66	64.96	-1.55
36	14.400	0.400	92+600	93+000	4.77	4.20	4.92	4.38	1.75	66.71	-1.70
37	14.800	0.400	93+000	93+400	4.38	4.20	4.92	4.58	1.83	68.54	-1.77
38	15.200	0.400	93+400	93+800	3.85	4.20	4.92	4.11	1.65	70.19	-2.03
39	15.600	0.400	95+000	95+400	3.53	4.20	4.92	3.69	1.48	71.67	-2.45
40	16.000	0.400	95+400	95+800	3.80	4.20	4.92	3.67	1.47	73.13	-2.89
41	16.400	0.400	95+800	96+200	5.95	4.81	5.56	4.88	1.95	75.08	-2.84
42	16.800	0.400	96+200	96+600	5.41	4.81	5.56	5.68	2.27	77.35	-2.47
43	17.200	0.400	96+600	97+000	4.83	4.81	5.56	5.12	2.05	79.40	-2.32
44	17.600	0.400	97+100	97+500	4.26	4.81	5.56	4.55	1.82	81.22	-2.40
45	18.000	0.400	97+500	97+900	4.78	4.81	5.56	4.52	1.81	83.03	-2.49
46	18.400	0.400	97+900	98+300	4.29	4.81	5.56	4.53	1.81	84.84	-2.58
47	18.800	0.400	98+300	98+700	4.44	4.81	5.56	4.36	1.75	86.59	-2.74
48	19.200	0.400	98+700	99+100	4.77	4.81	5.56	4.60	1.84	88.43	-2.80
49	19.600	0.400	99+100	99+500	5.08	4.81	5.56	4.92	1.97	90.40	-2.73
50	20.000	0.400	99+500	99+900	5.42	4.81	5.56	5.25	2.10	92.50	-2.53
51	20.400	0.400	99+900	100+300	4.25	4.81	5.56	4.83	1.93	94.43	-2.50
52	20.800	0.400	100+300	100+700	4.24	4.81	5.56	4.24	1.70	96.13	-2.70
53	21.200	0.400	100+700	101+100	5.38	4.81	5.56	4.81	1.92	98.05	-2.68
54	21.600	0.400	101+100	101+500	5.06	4.81	5.56	5.22	2.09	100.14	-2.49
55	22.000	0.400	101+500	101+900	5.15	4.81	5.56	5.11	2.04	102.18	-2.35
56	22.400	0.400	101+900	102+300	4.71	4.81	5.56	4.93	1.97	104.15	-2.27
57	22.800	0.400	102+300	102+700	4.92	4.81	5.56	4.81	1.92	106.08	-2.25
58	23.200	0.400	102+700	103+100	4.32	4.81	5.56	4.62	1.85	107.93	-2.30
59	23.600	0.400	103+100	103+500	4.86	4.81	5.56	4.59	1.84	109.76	-2.37
60	24.000	0.400	103+500	103+900	4.94	4.81	5.56	4.90	1.96	111.72	-2.31
61	24.400	0.400	103+900	104+300	4.86	4.81	5.56	4.90	1.96	113.68	-2.25
62	24.800	0.400	104+300	104+700	5.02	4.81	5.56	4.94	1.98	115.66	-2.17
63	25.200	0.400	104+700	105+100	4.87	4.81	5.56	4.94	1.98	117.64	-2.10
64	25.600	0.400	105+100	105+500	4.37	4.81	5.56	4.62	1.85	119.48	-2.15
65	26.000	0.400	105+500	105+900	4.93	4.81	5.56	4.65	1.86	121.34	-2.19
66	26.400	0.400	105+900	106+300	4.50	4.81	5.56	4.72	1.89	123.23	-2.20
67	26.800	0.400	106+300	106+700	5.17	4.81	5.56	4.84	1.94	125.16	-2.17
68	27.200	0.400	106+700	107+100	5.27	4.81	5.56	5.22	2.09	127.25	-1.98
69	27.600	0.400	107+100	107+500	5.41	4.81	5.56	5.34	2.14	129.39	-1.75
70	28.000	0.400	107+500	107+900	3.99	4.81	5.56	4.70	1.88	131.27	-1.77
71	28.400	0.400	107+900	108+300	4.18	4.81	5.56	4.09	1.63	132.90	-2.03
72	28.800	0.400	108+300	108+700	4.25	4.81	5.56	4.22	1.69	134.59	-2.25
73	29.200	0.400	108+700	109+100	5.17	4.81	5.56	4.71	1.89	136.48	-2.26
74	29.600	0.400	109+100	109+500	4.52	4.81	5.56	4.85	1.94	138.41	-2.22

75	30.000	0.400	109+500	109+900	5.34	5.19	6.44	4.93	1.97	140.39	-2.15
76	30.400	0.400	109+900	110+300	5.89	5.19	6.44	5.61	2.25	142.63	-1.81
77	30.800	0.400	110+300	110+700	7.11	5.19	6.44	6.50	2.60	145.23	-1.11
78	31.200	0.400	110+700	111+100	4.79	5.19	6.44	5.95	2.38	147.61	-0.63
79	31.600	0.400	111+100	111+500	5.13	5.19	6.44	4.96	1.98	149.60	-0.54
80	32.000	0.400	111+500	111+900	5.05	5.19	6.44	5.09	2.04	151.63	-0.41
81	32.400	0.400	111+900	112+300	4.70	5.19	6.44	4.87	1.95	153.58	-0.36
82	32.800	0.400	112+300	112+700	6.59	5.19	6.44	5.64	2.26	155.84	0.00
83	33.200	0.400	112+700	113+100	5.94	5.19	6.44	6.27	2.51	158.35	0.60
84	33.600	0.400	112+900	113+300	4.95	5.19	6.44	5.45	2.18	160.52	0.88
85	34.000	0.400	113+100	113+500	5.13	5.19	6.44	5.04	2.02	162.54	1.00
86	34.400	0.400	113+300	113+700	4.86	5.19	6.44	4.99	2.00	164.54	1.09
87	34.800	0.400	113+500	113+900	4.62	5.19	6.44	4.74	1.90	166.43	1.09
88	35.200	0.400	113+700	114+100	4.09	5.19	6.44	4.36	1.74	168.17	0.93
89	35.600	0.400	113+900	114+300	4.87	5.19	6.44	4.48	1.79	169.97	0.82
90	36.000	0.400	114+100	114+500	5.24	5.19	6.44	5.06	2.02	171.99	0.94
91	36.400	0.400	114+300	114+700	4.61	5.19	6.44	4.93	1.97	173.96	1.01
92	36.800	0.400	114+500	114+900	3.80	5.19	6.44	4.21	1.68	175.64	0.79
93	37.200	0.400	114+700	115+100	5.44	5.19	6.44	4.62	1.85	177.49	0.74
94	37.600	0.400	114+900	115+300	5.68	5.19	6.44	5.56	2.22	179.71	1.06
95	38.000	0.400	115+100	115+500	5.15	5.19	6.44	5.42	2.17	181.88	1.33
96	38.400	0.400	115+500	115+900	4.22	4.55	5.13	4.69	1.87	183.75	1.30
97	38.800	0.400	115+900	116+300	4.29	4.55	5.13	4.26	1.70	185.45	1.10
98	39.200	0.400	118+900	119+300	4.96	4.55	5.13	4.63	1.85	187.30	1.05
99	39.600	0.400	119+300	119+700	3.93	4.55	5.13	4.45	1.78	189.08	0.93
100	40.000	0.400	119+700	120+100	5.07	4.55	5.13	4.50	1.80	190.88	0.83
101	40.400	0.400	120+100	120+500	4.93	4.55	5.13	5.00	2.00	192.88	0.93
102	40.800	0.400	120+500	120+900	4.84	4.55	5.13	4.89	1.95	194.84	0.98
103	41.200	0.400	120+900	121+300	4.26	4.55	5.13	4.55	1.82	196.66	0.90
104	41.600	0.400	121+300	121+700	4.46	4.55	5.13	4.36	1.74	198.40	0.75
105	42.000	0.400	121+700	122+100	4.41	4.55	5.13	4.44	1.77	200.17	0.62
106	42.400	0.400	122+100	122+500	4.39	4.55	5.13	4.40	1.76	201.93	0.48
107	42.800	0.400	124+900	125+300	4.96	4.55	5.13	4.68	1.87	203.80	0.45
108	43.200	0.400	125+300	125+700	4.75	4.55	5.13	4.86	1.94	205.75	0.49
109	43.600	0.400	125+700	126+100	5.05	4.55	5.13	4.90	1.96	207.71	0.55
110	44.000	0.400	126+100	126+500	4.69	4.55	5.13	4.87	1.95	209.65	0.60
111	44.400	0.400	126+500	126+900	4.44	4.55	5.13	4.57	1.83	211.48	0.52
112	44.800	0.400	126+900	127+300	4.57	4.55	5.13	4.51	1.80	213.28	0.43
113	45.200	0.400	127+300	127+700	4.02	4.55	5.13	4.30	1.72	215.00	0.24
114	45.600	0.400	127+700	128+100	4.27	4.55	5.13	4.15	1.66	216.66	0.00
<b>Long. Total</b>		<b>45.600</b>	<b>Desviación Estandar</b>		<b>0.62</b>		<b>Area Total</b>		<b>216.66</b>		

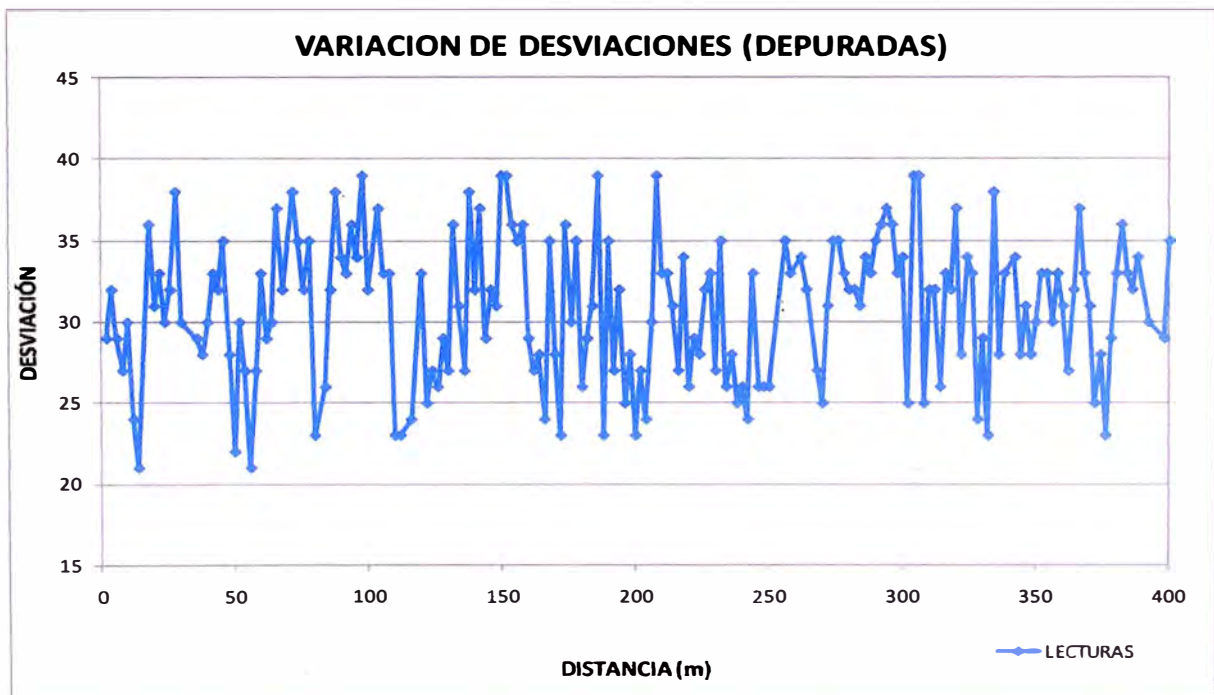
**Cuadro N° 5.08: Método de las diferencias Acumuladas.**

Fuente: Elaboración Propia.





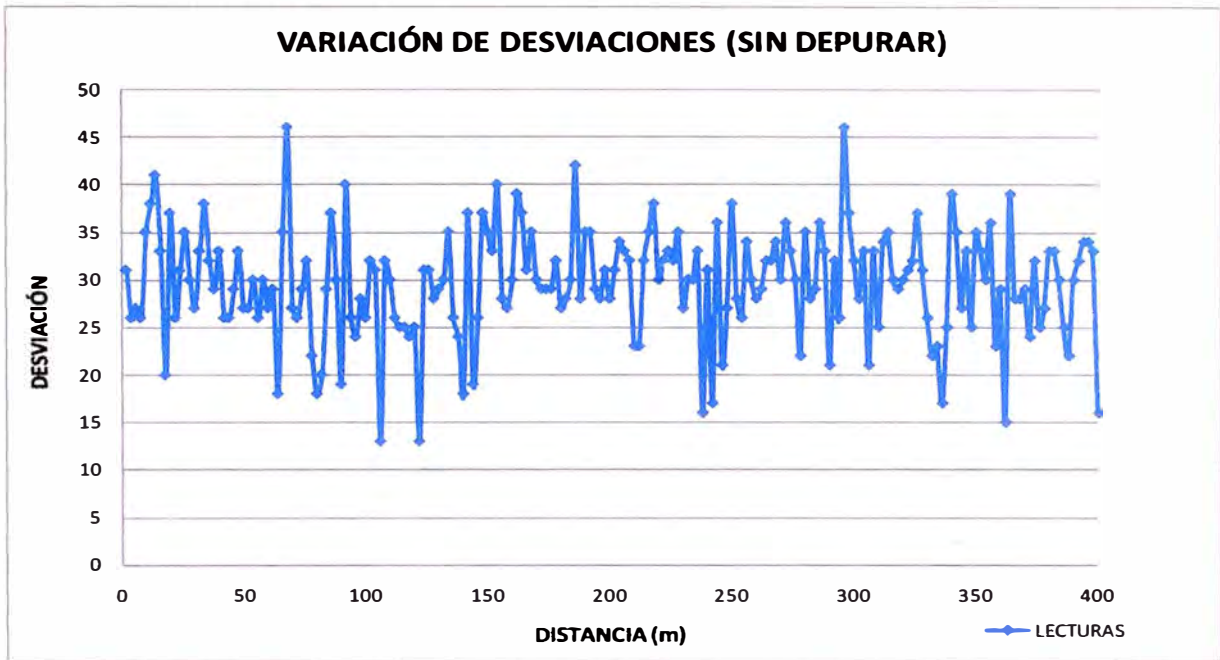
a) Gráfica de las variaciones de las desviaciones del MERLIN sin depurar.



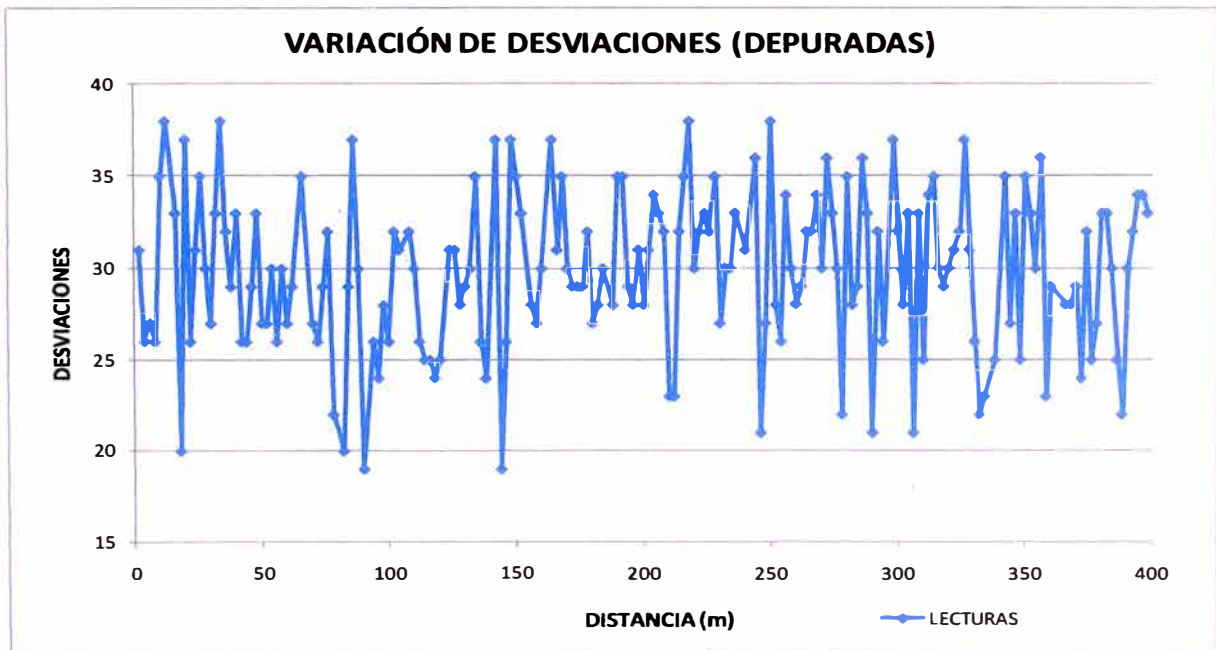
b) Gráfica de las variaciones de las desviaciones del MERLIN depuradas.

**Figura N° 5.01. Grafica de las Variaciones de las desviaciones vs Distancia – Tramo 1( Km 104+600 – Km 105+000).**

Fuente: Elaboración Propia.



a) Variaciones de las desviaciones del MERLIN sin depurar.



b) Variaciones de las desviaciones del MERLIN depuradas

Figura N° 5.02. Grafica de Variaciones de las desviaciones versus Distancia –  
Tramo 2 (Km 105+000 – Km 105+400).

Fuente: Elaboración Propia.

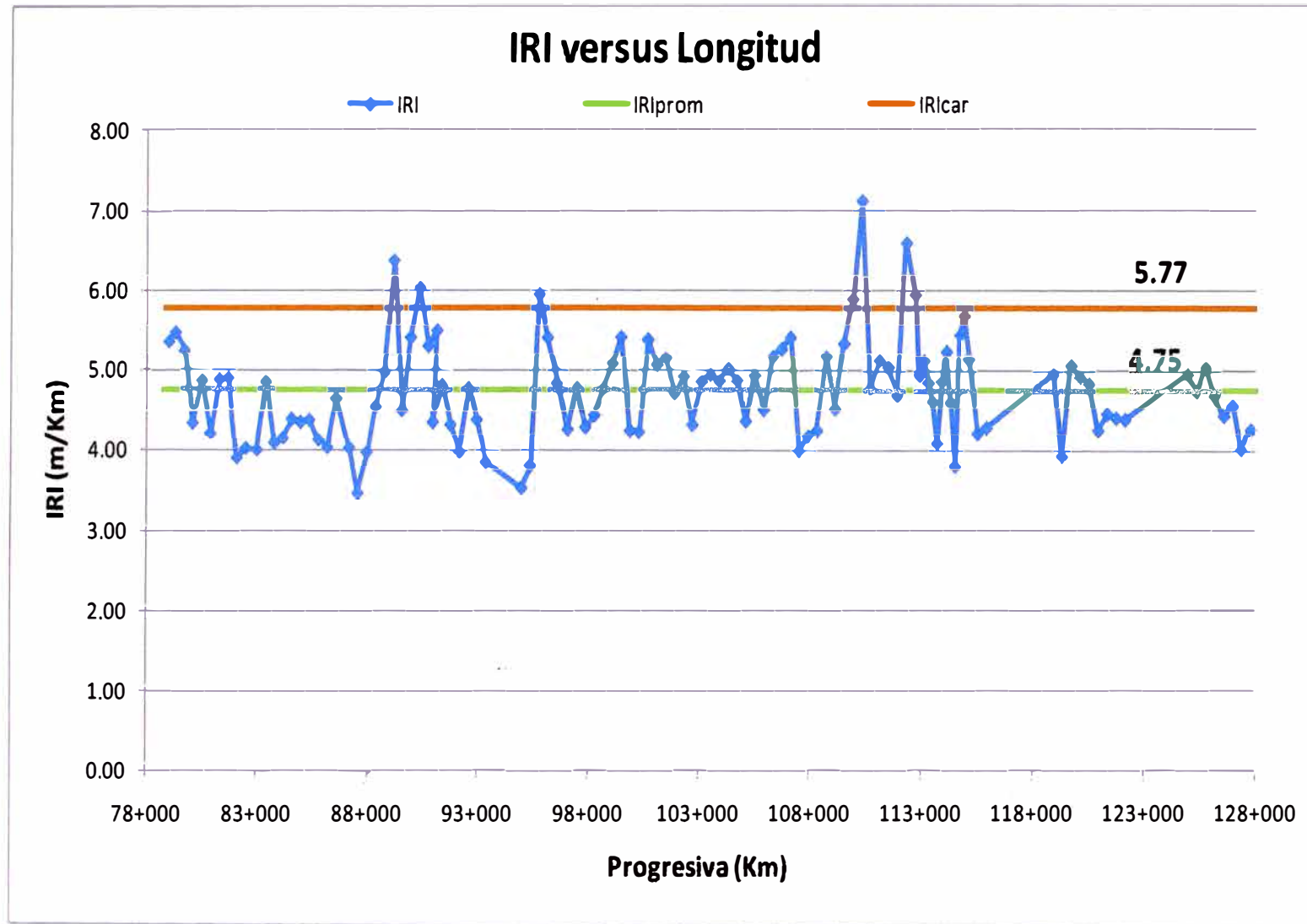


Figura N° 5.06: Ploteo de valores de IRI versus Distancia.

Fuente: Elaboración propia en base al Informe Técnico Anual N°06 - UNI.

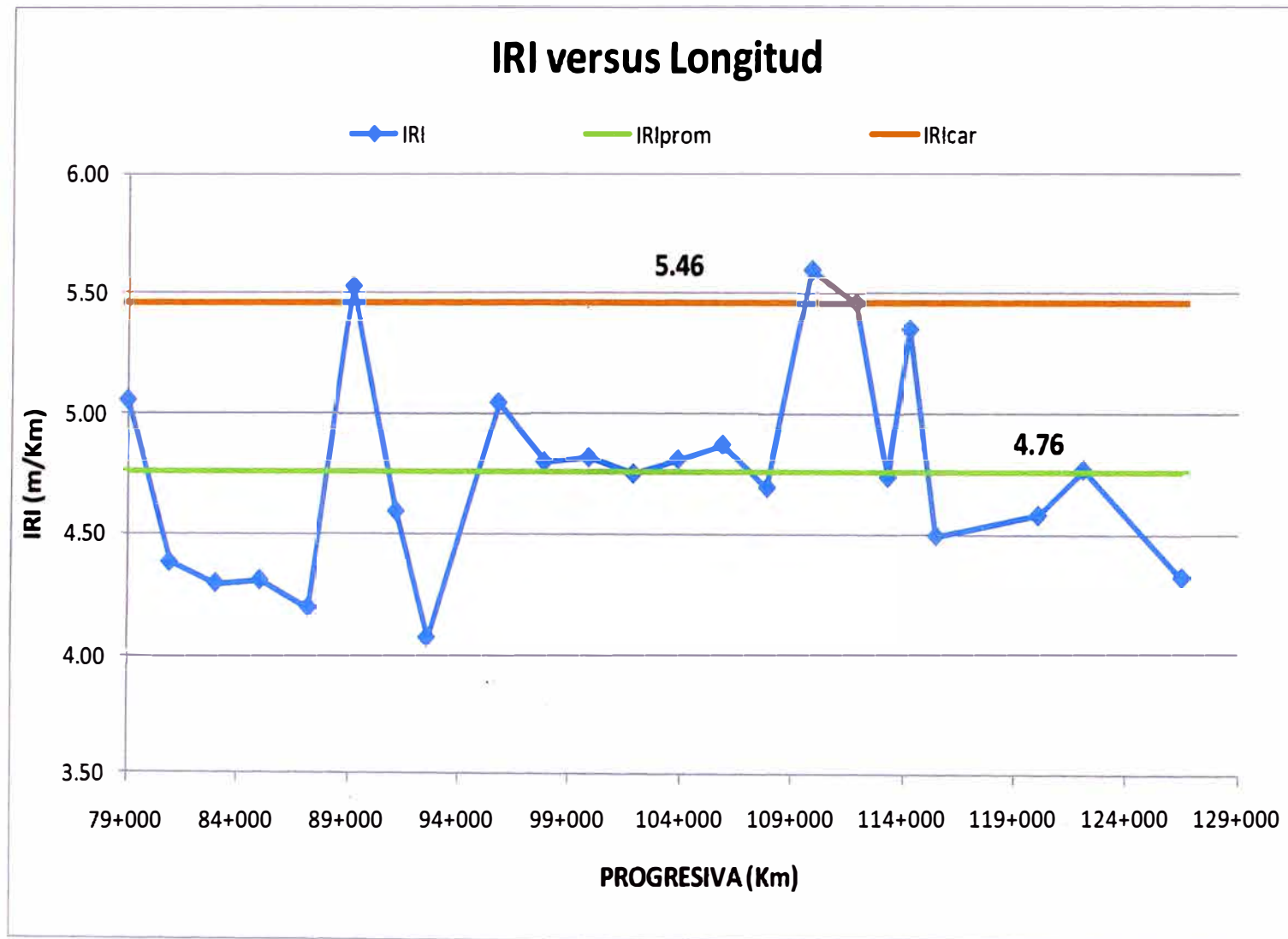
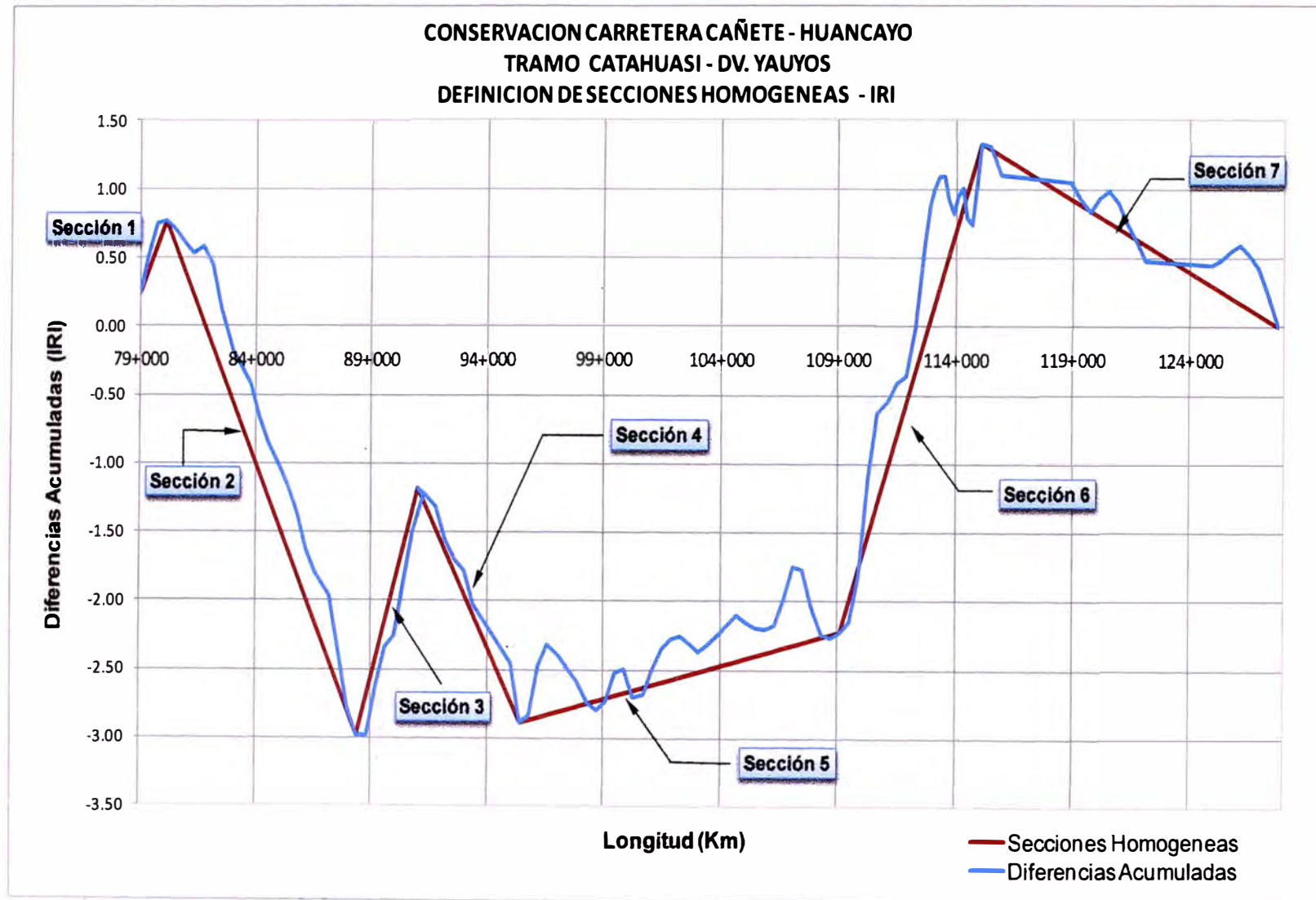


Figura N° 5.07: Valores de IRI Promedio cada 2 Km.

Fuente: Elaboración propia en base al Informe Técnico Anual N°06 – UNI



**Figura N° 5.08: Determinación de las Secciones Homogéneas.**  
Fuente: Elaboración propia en base al Informe Técnico Anual N°06-UNI

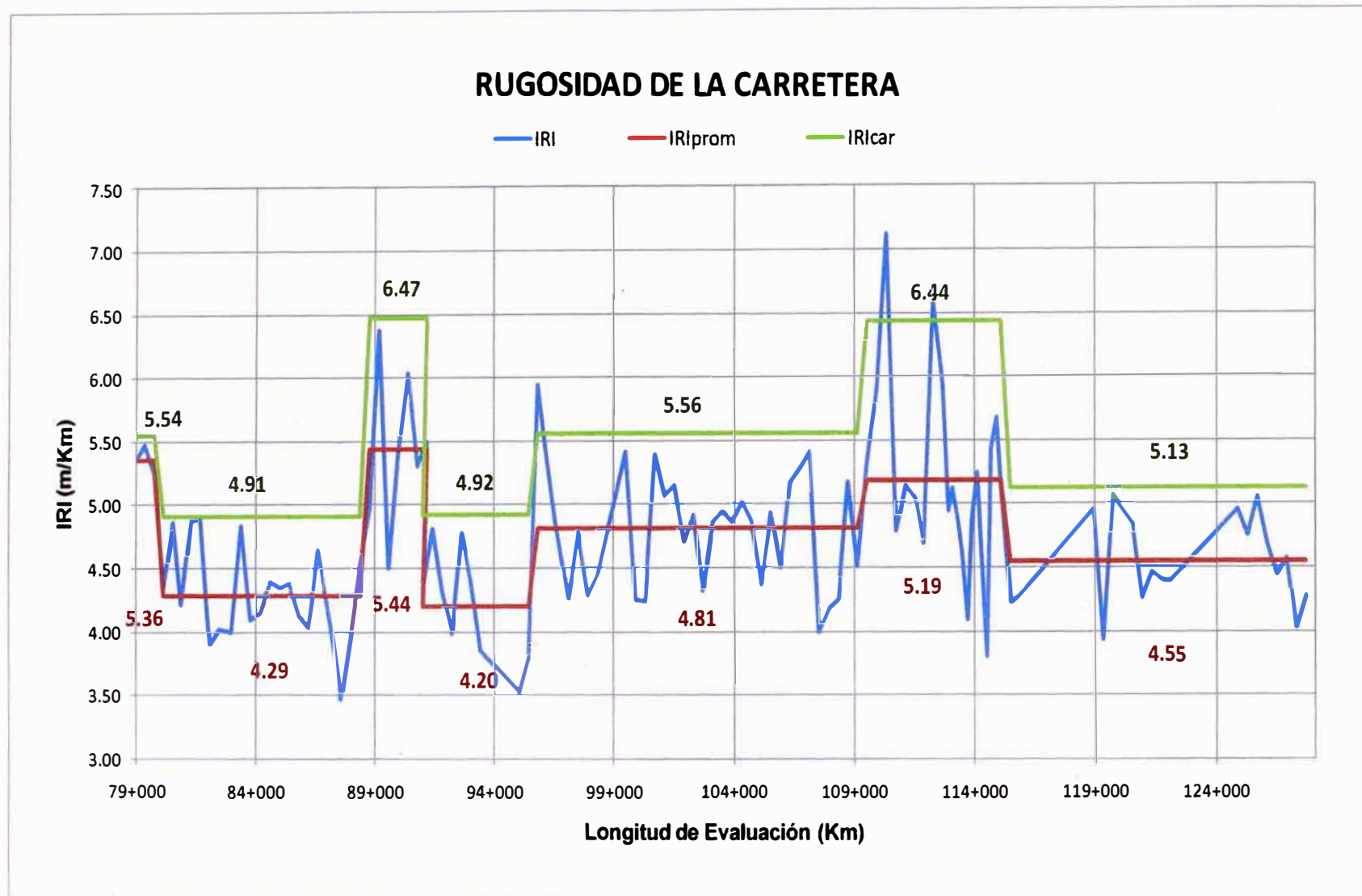


Figura N° 5.09: Valores de IRIprom e IRIcar para las secciones homogéneas.

Fuente: Elaboración propia en base al Informe Técnico Anual N°06-UNI



**Fotografía N° 5.01:**  
Aquí se observa el deterioro de la superficie de rodadura.



**Fotografía N° 5.02:**  
Aquí observamos como el mantenimiento rutinario que se está realizando y consta en parte de parchados con slurry seal, afectan los resultados del ensayo con el Merlin.



**Fotografía N° 5.03:**  
Se observa el desgaste producido en la carpeta de rodadura con tratamiento de monocapa asfáltica



**Fotografía N° 5.04:**  
Mantenimiento Rutinario: parchados con Slurry Seal.



**Fotografía N° 5.05:**  
Desprendimiento de la gravilla de 3/8" en la carpeta de monocapa asfáltica.



## **ANEXO C: ESTUDIO DE SUELOS**

MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES  
 PROYECTO ESPECIAL DE INFRAESTRUCTURA DE TRANSPORTE NACIONAL  
 PROVIAS NACIONAL

CONSORCIO GESTION DE CARRETERAS

M.T.C

REGISTRO DE EXCAVACION

PROYECTO : CONSERVACION VIAL DE LA CARRETERA CANETE - LLICAHUANA - PACARAN - CHUPACA Y  
 REHABILITACION DEL TRAMO ZUÑIGA DV. YAUYO - RONCHAS  
 CALICATA : C-48  
 REALIZADO : G.H.M.  
 REVISADO : E.M.H.  
 FECHA DE EXCAVACION : 23/06/2008  
 PROFUNDIDAD TOTAL (m) : 1.50  
 PROF. NIVEL FREATICO (m) : \*  
 MUESTRA DE TERRENO EXISTENTE CALICATA :  
 LADO : IZQUIERDO  
 ANCHO :

G R A F I C O	DESCRIPCION DEL SUELO Clasificación técnica; forma del material granular; color; contenido de humedad; Índice de plasticidad / compresibilidad; grado de compactación / consistencia; Otros: presencia de oxidaciones y material orgánico, porcentaje estimado de boleos / cantos, etc.	SUCS	GRANULOMETRIA				LL	LP	KH	N° DE MUESTRA
			<	0.075	4.75	>				
			mm	mm	mm	mm				

CONFORMACION A NIVEL DE AFIRMADO		GC-GM								
		A-1-a(0)	13.1	43.3	44.4		13.1	2.1	2.5	
Arena limosa, sub angular, color marron oscuro, humedad baja, plasticidad media, medianamente compresible, medianamente compacto, consistencia dura 4% bolonena, material fino sin materia organica, tamaño maximo 3" material granular grueso		SC - SM A-1-b(0)	17.3	51.7	31.0	4.0	24.0	5.0	3.7	M-01

CONSORCIO GESTION DE CARRETERAS  
 ESPECIALIDAD EN OBRAS VIALES Y DE MANTENIMIENTO DE CARRETERAS  
 ESPECIALIDAD EN OBRAS DE MANTENIMIENTO DE CARRETERAS  
 ING. LUIS HORACIO POZAS OCHOA  
 GERENTE VIAL

OBSERVACIONES:

MATERIAL DEL AFIRMADO PROCEDENTE DE LA CANTERA KM: 113+000 L IZO

MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES  
 PROYECTO ESPECIAL DE INFRAESTRUCTURA DE TRANSPORTE NACIONAL  
 PROVIAS NACIONAL

CONSORCIO GESTION DE CARRETERAS

M.T.C

REGISTRO DE EXCAVACION

OBJETO : CONSERVACION VIAL DE LA CARRETERA CAJETE - LUNAHUANA - PACARAN - ORPACA Y  
 : REHABILITACION DEL TRAMO ZUÑIGA DV. YAUYO - RONCHAS  
 LOCALIZACIÓN : MUESTRA DE TERRENO EXISTENTE CALICATA  
 PUNTO : 105+600  
 DIRECCION : IZQUIERDO  
 ALTURA :  
 CALICATA : C-19  
 REALIZADO : G.H.M  
 REVISADO : E.M.H  
 FECHA DE EXCAVACION : 23/06/2008  
 PROFUNDIDAD TOTAL (m) : 1.50  
 PROF. NIVEL FREATICO (m) :

GRA FI CO	DESCRIPCION DEL SUELO Clasificación técnica; forma del material granular; color; contenido de humedad; índice de plasticidad / compresibilidad; grado de compactación / consistencia; Otros: presencia de oxidaciones y material orgánico, porcentaje estimado de boleos / cantos, etc.	SUCS	GRANULOMETRIA				LL	LP	MX	N° DE MUESTRA
			<	0.075	4.75	>				
			mm	mm	mm	mm				
	CONFORMACION A NIVEL DE AFIRMADO	GC - GM A-1-a(0)	13.1	43.3	44.4	15.2	2.2	2.9		
	Arena limosa, sub angular, color marron oscuro, humedad baja, plasticidad media, medianamente compresible, medianamente compacto, consistencia dura 3% de arena, material fino sin materia organica, tamaño máximo 3" material granular suelto	SC - SM A-1-b(0)	15.6	57.7	25.7	3.0	24.0	5.1	2.1	M-01

CONSORCIO GESTION DE CARRETERAS  
 PROYECTO ESPECIAL DE INFRAESTRUCTURA DE TRANSPORTE NACIONAL  
 PROVIAS NACIONAL  
 INGENIERO EN CIVIL  
 LUIS ROZAS ROZAS  
 DIRECTOR DE OBRAS DE CALICATA

SERVACIONES:

MATERIAL DEL AFIRMADO PROCEDENTE DE LA CANTERA KM: 113+000 L IZO

MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES  
 PROYECTO ESPECIAL DE INFRAESTRUCTURA DE TRANSPORTE NACIONAL  
 PROVIAS NACIONAL

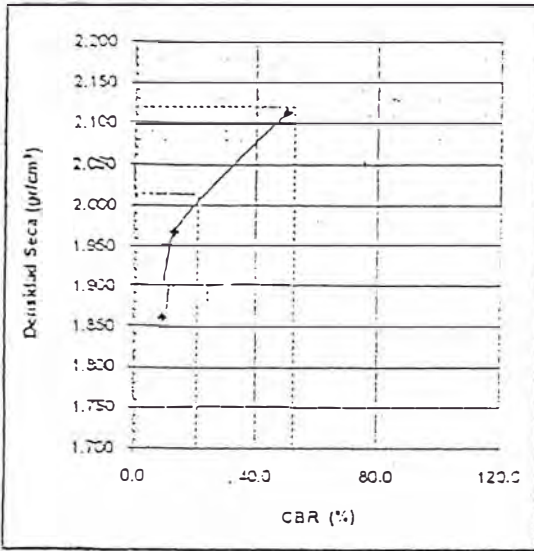
CONSORCIO GESTION DE CARRETERAS

M.T.C

RELACION DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.)  
 (NORMA AASHTO T-193, ASTM D 1983)

LABORATORIO MECANICA DE SUELOS, CONCRETOS Y PAVIMENTOS		
OBRA:	CONSERVACION YAL DE LA CARRETERA CASATE - LAMUNANA - PACARAY - CHUFACAY REHABILITACION DEL TRAMO ZUNIGA DV. YAUYO - RONCHAS	REALIZADO: J.M.M REVISADO: E.M.H
MATERIAL:	MUESTRA DEL TERRENO EXISTENTE	FECHA: 15/06/2008
PROGRESIVA:	104+800.0 CALICATA L.EZQ	N° REGISTRO: G-224

DATOS DE LA MUESTRA		
CALICATA:	C-49	PROGRESIVA : KM 104+800
MUESTRA:	M-01	CLASF. (SUCS) : SC-SM
PRUF. (m):	0.00 - 1.50	CLASF. (AASHTO) : A-1-B(9)

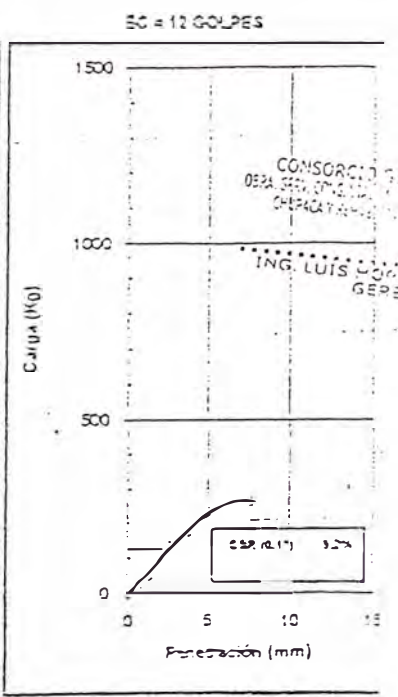
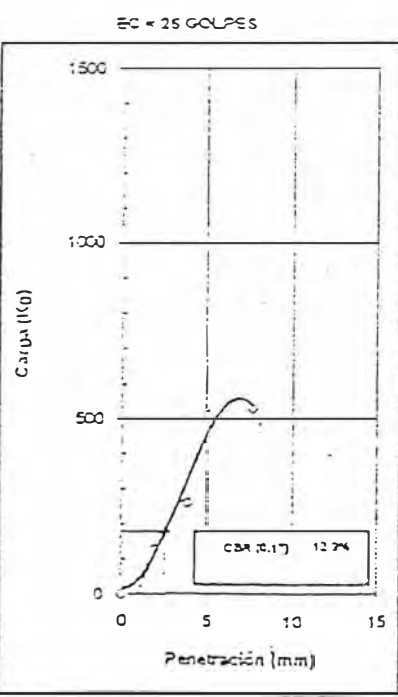
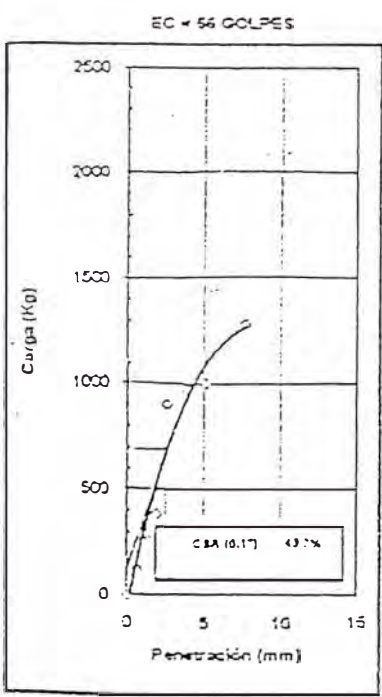


METODO DE COMPACTACION : ASTM D1557  
 MAXIMA DENSIDAD SECA (g/cm³) : 2.121  
 OPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (%) : 7.1  
 95% MAXIMA DENSIDAD SECA (g/cm³) : 2.015

C.B.R. al 100% de M.D.S. (%)	0.17	52.3
C.B.R. al 95% de M.D.S. (%)	0.17	20.7

**RESULTADOS:**  
 Valor de C.B.R. al 100% de la M.D.S. \* 52.3 (%)  
 Valor de C.B.R. al 95% de la M.D.S. \* 20.7 (%)

OBSERVACIONES:



CONSORCIO GESTION DE CARRETERAS  
 OBRA: CONSERVACION YAL DE LA CARRETERA CASATE - LAMUNANA - PACARAY - CHUFACAY  
 ING. LUIS MORALES  
 GERENTE GENERAL