

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



**ÍNDICE DE RUGOSIDAD CON EQUIPO MERLIN**

**MONITOREO DE CONSERVACIÓN CARRETERA  
CAÑETE -HUANCAYO Km 118+000 AL Km 120+000**

**INFORME DE SUFICIENCIA**

**Para optar el Título Profesional de:**

**INGENIERO CIVIL**

**ISMAEL RAYMUNDO CARBAJAL ARANDA**

**Lima- Perú**

**2010**

## ÍNDICE

<b>RESUMEN</b> .....	<b>3</b>
<b>LISTA DE CUADROS</b> .....	<b>4</b>
<b>LISTA DE GRÁFICOS</b> .....	<b>5</b>
<b>LISTA DE SÍMBOLOS Y SIGLAS</b> .....	<b>6</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>7</b>
<b>CAPÍTULO I: PERFIL DEL PROYECTO</b> .....	<b>10</b>
1.1 ASPECTOS GENERALES .....	10
1.1.1 UBICACIÓN .....	11
1.1.2 GEOMORFOLOGÍA .....	13
1.1.3 GEOLOGÍA .....	14
1.1.4 CLIMA .....	14
1.2 IDENTIFICACIÓN .....	15
1.2.1 IDENTIFICACIÓN DE LA SITUACIÓN ACTUAL .....	15
1.2.2 OBJETIVOS DEL PROYECTO .....	15
1.3 FORMULACIÓN DEL PROYECTO .....	16
1.3.1 HORIZONTE DEL PROYECTO .....	16
1.3.2 ESTUDIO DE TRÁFICO .....	16
1.3.3 COSTOS .....	16
1.3.4 EVALUACIÓN ECONÓMICA .....	17
1.3.5 MATRIZ DE MARCO LÓGICA .....	18
<b>CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO</b> .....	<b>19</b>
2.1 EVALUACIÓN FUNCIONAL .....	19
2.1.1 EL EQUIPO MERLIN .....	19
2.1.2 RUGOSIDAD E IRI .....	22
2.1.3 VARIACIÓN DEL IRI SEGÚN LONGITUD DE EVALUACIÓN .....	26
2.1.4 EFECTOS DE SINGULARIDADES EN EL CALCULO DEL IRI .....	27
2.2 EVALUACIÓN DE LA RUGOSIDAD CON EQUIPO MERLIN .....	30
2.2.1 METODO DEL USO DEL EQUIPO MERLIN .....	30
2.2.2 METODOS PARA LA MEDICIÓN DE LA RUGOSIDAD .....	32
2.2.3 SERVICIABILIDAD Y PSI .....	33
2.2.4 INDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO .....	35
2.2.5 RESISTENCIA AL DESLIZAMIENTO .....	39

2.2.6 GESTIÓN DE LA CONDICIÓN FUNCIONAL DEL PAVIMENTO.....	40
2.2.7 INDICADORES DE RENTABILIDAD.....	49
2.2.8 PREPARACIÓN DE PROYECTOS.....	50
2.3 CALCULOS DE LA RUGOSIDAD Y SERVICIABILIDAD.....	51
2.3.1 METODOLOGÍA PARA LA DETERMINACIÓN DE LA RUGOSIDAD .....	51
2.4 ESPECIFICACIONES TECNICAS .....	56
<b>CAPÍTULO III: PROGRAMA DE CAMPO .....</b>	<b>59</b>
3.1 DATOS PRELIMINARES .....	59
3.2 EJECUCIÓN DE ENSAYOS .....	59
3.2.1 DETERMINACIÓN DE LA RUGOSIDAD EN EL TRAMO KM 118+000 AL KM 120+000 CON SUPERFICIE DE MONOCAPA.....	61
3.2.2 DETERMINACIÓN DEL PSI.....	63
<b>CAPÍTULO IV: ANÁLISIS DE RESULTADOS .....</b>	<b>65</b>
4.1 RUGOSIDAD EN EL TRAMO DE ENSAYO.....	65
4.2 SERVICIABILIDAD PRESENTE EN EL TRAMO DE ENSAYO .....	66

**CONCLUSIONES**

**RECOMEDACIONES**

**BIBLIOGRAFÍA**

**ANEXO A**

## RESUMEN

Con el establecimiento del programa “Proyecto Perú” del Ministerio de Transportes y Comunicaciones, se ha dado inicio a los contratos de prestaciones por niveles de servicio con el objetivo de mejorar los niveles de serviciabilidad y transitabilidad en las Carreteras de Bajo Volumen de Tránsito de la Red Vial Nacional. Tal es el caso de la carretera Cañete - Yauyos - Chupaca que posee una longitud de 271.76 km y se encuentra ubicada entre los departamentos de Lima y Junín. Actualmente la vía recibe un tráfico medio ligero y se compone de tramos asfaltados, con Tratamiento Superficial Monocapa, Slurry Seal y afirmados.

En el presente informe desarrollamos la evaluación funcional de la carretera Cañete - Yauyos - Chupaca, mediante el ensayo de rugosidad, para lo cual se tomó como muestra representativa el sub tramo correspondiente a los km 118+000 - km 120+000, que presenta la colocación de un tratamiento superficial tipo monocapa.

Para realizar el ensayo de rugosidad se usó el equipo MERLIN por su fácil manejo y precisión en sus resultados, además de ser un ensayo no destructivo aplicado directamente sobre la superficie de rodadura de la carretera.

Debido a que en el Perú no se cuenta con un parámetro de calidad referente al nivel de rugosidad en carreteras con tratamientos superficiales, se está optando por la normativa chilena, expresada en su Manual de Carreteras, Volumen 5, Sección 5.407, donde se considera utilizar un valor de rugosidad máximo de 4 IRI para tratamientos superficiales.

Para que éste tipo de contratos de prestaciones por niveles de servicio sea rentable, es necesario contar con un eficiente Sistema de Gestión de la Condición Funcional del Pavimento, por lo que se presentan los lineamientos básicos y herramientas de decisión a implementar.

## LISTA DE CUADROS

Ítem	Descripción	Pág.
Cuadro N° 1.1	Localidades ubicadas a lo largo de la carretera	12
Cuadro N° 1.2	Situación actual de la carretera	15
Cuadro N° 1.3	Ubicación de estaciones de conteo	16
Cuadro N° 1.4	Costos financieros de inversión	17
Cuadro N° 1.5	Costos de operación vehicular	17
Cuadro N° 1.6	Costos de inversión y mantenimiento sin proyecto y con Proyecto por alternativas	17
Cuadro N° 1.5	Matriz de Marco Lógico	18
Cuadro N° 2.1	Rugosidad característica medida para diferentes pavimentos	21
Cuadro N° 2.2	Serviciabilidad medida para diferentes tipos de pavimentos	22
Cuadro N° 2.3	Variación de IRI según longitud de evaluación	27
Cuadro N° 2.4	Condición del camino respecto al PSI	34
Cuadro N° 2.5	Tipos de falla	37
Cuadro N° 2.6	Clasificación de deterioro y alcance	42
Cuadro N° 2.7	Tipos de acciones de Conservación y Rehabilitación	46
Cuadro N° 2.8	Operaciones de rutina HDM-III	47
Cuadro N° 2.9	Requerimientos de IRI según el tipo de pavimentos	58
Cuadro N° 3.1	Resumen de Rugosidad y Serviciosibilidad	60
Cuadro N° 4.1	Comparación de Rugosidades	65
Cuadro N° 4.2	Requerimientos de Rugosidad	66

**LISTA DE FIGURAS**

<b>Ítem</b>	<b>Descripción</b>	<b>Pág.</b>
Figura N° 1.1	Ubicación del Proyecto	12
Figura N° 1.2	Perfil longitudinal de la carretera	13
Figura N° 2.1	Esquema de Rugosímetro MERLIN	20
Figura N° 2.2	Equipo MERLIN Mk1	20
Figura N° 2.3	Equipo MERLIN Mk2	21
Figura N° 2.4	Modelo de Cuarto de Carro	23
Figura N° 2.5	Principio de operación del rugosímetro MERLIN	26
Figura N° 2.6	Simulación de un bache con un mal acabado superficial	28
Figura N° 2.7	Escala estándar de IRI	34
Figura N° 2.8	Escala de PCI	36
Figura N° 2.9	Ejemplo de medición de grietas	37
Figura N° 2.10	Ejemplo de determinación de áreas falladas	38
Figura N° 2.11	Micro y macrotextura	39
Figura N° 2.12	Péndulo Británico	40
Figura N° 2.13	Ejemplo de múltiples umbrales	41
Figura N° 2.14	Conservación vs Rehabilitación	44
Figura N° 2.15	Vida remanente de servicio con y sin tratamiento	44
Figura N° 2.16	Gráfica típica del avance de deterioro de un camino respecto al tiempo	49
Figura N° 2.17	Formato de Campo	51
Figura N° 2.18	Histograma y determinación de D, IRI y PSI	53
Figura N° 3.1	Rugosidad y Serviabilidad Tramo Km 118+000 - Km 120+000	60

## LISTA DE SÍMBOLOS Y DE SIGLAS

<b>Símbolo o Sigla</b>	<b>Descripción</b>
IMD	Índice medio diario
MTC	Ministerio de Transportes y Comunicaciones
COV	Costo de Operación Vehicular
VAN	Valor Actual Neto
TIR	Tasa de Interés de retorno
RVN	Red Vial Nacional
PVN	Provias Nacional
L.D	Lado derecho
L.I	Lado izquierdo
CGC	Consortio Gestión de Carreteras
IRI	Índice de Rugosidad Internacional
PSI	Índice de Serviciabilidad Presente
PCI	Índice de Condición del Pavimento
TRRL	Transportation Road Research Laboratory
BID	Banco Interamericano de Desarrollo
PERT	Programa Especial de Rehabilitación de Infraestructura de Transporte
IRRE	International Road Roughness Experiment
NCHRP	National Cooperative Highway Research Program
RTRRMS	Response Type Road Roughness Measuring System
IFI	Índice de Fricción Internacional
AASHTO	American Association of State Highway and Transportation Officials

## INTRODUCCIÓN

Este trabajo describe la utilidad y ventajas de evaluar el estado superficial de una determinada carretera en valores del Índice Internacional de Rugosidad (IRI), siendo la rugosidad el parámetro que "cuantifica" el grado de irregularidad superficial de una carretera.

El transporte por carretera en nuestro país es el de mayor contribución a la actividad nacional en sus aspectos comercial, industrial y de movimiento de pasajeros y de carga, por lo que la red nacional de carreteras se convierte en la columna vertebral en la vida económica, social y política de Perú.

El mantenimiento de esta red es uno de los problemas más relevantes y uno de los más importantes a resolver. En nuestro país, la expansión y mejora de la red de carreteras no se ha visto acompañada por un aumento proporcional de los presupuestos de conservación y mantenimiento. En cambio, el crecimiento del tránsito ha sido en muchos casos mayor que el esperado y las cargas de los vehículos pesados han excedido la capacidad de soporte de muchos de los pavimentos. La combinación de estos factores ha producido un aumento en el deterioro de las carreteras.

Para realizar desde el punto de vista técnico un adecuado programa de conservación y mantenimiento acorde con las necesidades y presupuestos, se requiere disponer de buena información de campo, obtenida mediante un sistema de recolección de datos que debe actualizarse regularmente para permitir la medición de los cambios de la condición de la red y que reflejen las inversiones que se han realizado. Los datos se pueden obtener de tramos representativos de la red para evitar un costo excesivo, pero deben garantizar una representatividad estadística de los elementos del sistema de información elegido; debe también permitir comparar el estado de las carreteras en el tiempo. La información que se requiere, es sólo una parte de toda la información que se puede medir en un camino, por lo que se debe "tamizar" constantemente para obtener sólo aquellos datos que realmente influyan en las decisiones para la conservación y mantenimiento de la red o para la elaboración de un proyecto detallado de rehabilitación de un tramo específico.

Se han realizado estudios para conocer cuáles son los factores de un camino que influyen de manera directa en los costos de operación de los vehículos, principalmente de los de carga, resultando que uno de los principales es el

estado superficial de la capa de rodadura. Siendo los principales costos de operación, los siguientes: Combustibles, lubricantes, llantas, reparación y refacciones, costos del operador, depreciación y reposición de vehículos, intereses, seguros y tiempo de transporte de las mercancías.

La regularidad superficial es la característica más percibida por el usuario, ya que afecta a la comodidad; consumo de energía; probabilidad de dañar a las mercancías transportadas; y finalmente puede propiciar accidentes.

Se definirá el Índice de Serviciabilidad Presente (PSI), el cual consiste en calificar el grado de confort y seguridad que el usuario percibe al transitar por un camino a la velocidad de operación. Se le clasifica en una escala de 0 a 5, correspondiente a una superficie intransitable y a una superficie en excelentes condiciones, respectivamente.

Asimismo, se definirá el concepto de Índice de Condición del Pavimento (PCI), que determina el tipo, severidad y cantidad de daño o deterioro superficial del pavimento.

Se explicará el concepto de Resistencia al Deslizamiento, el cual consiste en la habilidad del pavimento de proveer la fricción suficiente para evitar problemas de seguridad relacionados con el deslizamiento.

En la actualidad el Ministerio de Transportes, Comunicaciones, Vivienda y Construcción del Perú, ya sea a través del Sistema Nacional de Mantenimiento de Carreteras (SINMAC) o del Programa de Rehabilitación de Transportes (PERT), 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.

En el tramo ensayado se usó el rugosímetro MERLIN, por su fácil manejo y aplicación, aunque de poco rendimiento.

Entre los objetivos que se busca con este informe, tenemos:

- Determinar las necesidades actuales y futuras para la conservación y mantenimiento (evitar acelerado deterioro en el futuro).
- Estimar la vida remanente de la capa de rodadura.
- Determinar los índices de rugosidad y serviciabilidad de la vía.
- Identificar el tipo, severidad y extensión de los defectos evidentes.
- Priorización de inversiones en la programación.

En el Capítulo 1, se describe el perfil del proyecto: Carretera Cañete-Yauyos-Chupaca, describiendo los aspectos generales del mismo, se identificarán los problemas actuales y los que se originarán al mejorar la serviciabilidad y transitabilidad de la vía, se formularán y evaluarán soluciones acordes con los problemas que se presentan y presentarán.

En el Capítulo 2, se describe el marco teórico de la evaluación funcional de un pavimento y los indicadores que interviene para la determinación del mismo, entre los que se encuentra el indicador de rugosidad (IRI), para ello se da a conocer la metodología del equipo MERLIN en la determinación de la rugosidad, así como la determinación del parámetro de Serviciabilidad Presente de la carretera (PSI). Se explicará brevemente los lineamientos de un Sistema de Gestión de la Condición Funcional de un Pavimento, así como los indicadores funcionales complementarios para la toma de decisiones, caso del Índice de Condición del Pavimento (PCI) y el Índice de Resistencia al Deslizamiento. Por último se da a conocer una serie de especificaciones técnicas que se aplican en países, donde el Índice de Rugosidad Internacional (IRI) es un indicador decisivo para la aceptación de una vía.

En el Capítulo 3, se aplican los conceptos de la metodología dada en el Capítulo 2 para la determinación de la rugosidad de la Carretera Cañete-Yauyos-Chupaca así como el Índice de Serviciabilidad Presente, para lo cual se tomó como muestra representativa el tramo Km 118+000 al Km 120+000, sobre la huella izquierda.

En el Capítulo 4, se desarrolla el análisis de los resultados obtenidos y se compara con los resultados obtenidos por la Universidad Nacional de Ingeniería en el mes de Julio de 2009.

Finalmente, se dan a conocer las conclusiones y recomendaciones del informe.

## **CAPITULO I: PERFIL DEL PROYECTO.**

### **1.1. ASPECTOS GENERALES.**

La carretera de penetración y enlace Cañete - Yauyos – Chupaca (actualmente hoy corredor vial N° 13) de una longitud de 271.76 Km, fue proyectada y ejecutada por partes durante el segundo gobierno del Sr. Augusto B. Leguía (1919-1930), mediante el D.L. N° 4113 "Ley de Conscripción Vial o del Servicio Obligatorio de Caminos", vigente desde el 10 de Mayo de 1920 hasta el 31 de Agosto de 1930.

Durante los últimos años de ese gobierno, en el avance de los trabajos entre los pueblos de Tomas y Alis, trabajaba una cuadrilla dinamitando por el lado de Tomas, el cañón de Uchco, pero por circunstancias fatales mueren seis obreros por el desprendimiento de rocas y más aun coincidiendo con la caída del gobierno, quedando paralizados todos los trabajos en esta parte de la carretera, llegando solo hasta el pueblo de Tomas.

Por el lado de la Costa durante el gobierno del Dr. Manuel Prado Ugarteche, entre los años 1940 y 1944 se avanza con los trabajos de la carretera desde Cañete, llegando a Yauyos en Abril de 1944, siendo inaugurado por el propio Presidente en Junio del mismo año. En 1954 el Gobierno Central a través del Ministerio de Fomento continuó con los trabajos para culminar con el tramo faltante entre Yauyos y Tomas. Las obras estuvieron a cargo del Ing. Max Atuncar, culminando en 1957. (Fuente: "La historia de un imposible" relatada por don Mauro Lara Melo, presente en los trabajos del último tramo faltante).

En el año 1998 la Comisión de Promoción de Concesiones Privadas (PROMCEPRI) adjudicó la buena Pro al Consorcio "Asociación Aguas y Estructuras (AYESA) - ALPHA CONSULT SA" para realizar el servicio de consultoría a nivel de estudio definitivo para la rehabilitación y mejoramiento de la carretera Lunahuaná - Huancayo. En el año 2003, el Proyecto Especial Rehabilitación de Transportes (PERT) del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC) encargó al consultor Ing. Floriano Palacios León (Contrato de Estudios N° 0412-2003-MTC/20 del 28.11.2003) la formulación del estudio de pre inversión a nivel de perfil para el mejoramiento y rehabilitación del tramo: Lunahuaná - Yauyos - Chupaca.

En el marco del programa "Proyecto Perú" que fue creado por Resolución Ministerial N° 223-2007-MTC-02 y modificado por Resolución Ministerial N°408-

2007-MTC/02 y que es parte del Proyecto Especial de Infraestructura de Transporte Nacional (PROVIAS NACIONAL), se suscribió el **Contrato de Servicios** N° 288-2007 MTC/20 el 27 de Diciembre del 2007, con el Consorcio Gestión de Carreteras por un monto total de S/.131 '589, 139.31 y con un plazo de contrato de cinco años, a fin que éste brinde el servicio de Conservación del Corredor Vial Cañete – Lunahuaná – Pacarán – Dv. Yauyos – Roncha – Chupaca y el Mejoramiento del Tramo Zúñiga – Dv. Yauyos – Roncha a nivel de solución básica.

Con esta solución básica se busca obtener un “Cambio de Estándar” de la vía, desde el punto de vista del mejoramiento de la serviciabilidad, respecto del actualmente brindado, mediante la colocación de un material granular estabilizado y protegido con una capa bituminosa. Los Términos de Referencia señalan que esta Solución Básica se debe aplicar sobre la superficie actual de la vía, previamente reconformada, no se deben realizar cambios en la geometría.

Como parte de los compromisos contraídos por el Consorcio Gestión de Carreteras, dentro de la fase pre-operativa se realizó un Inventario Vial Calificado (obtención de un registro de todas las estructuras y obras que conforman la carretera), el cual se ejecutó durante los meses de Abril, Mayo y Junio del 2008. Asimismo durante el mes de Mayo el Consorcio llevó a cabo un estudio de tráfico de la carretera Cañete - Yauyos - Chupaca.

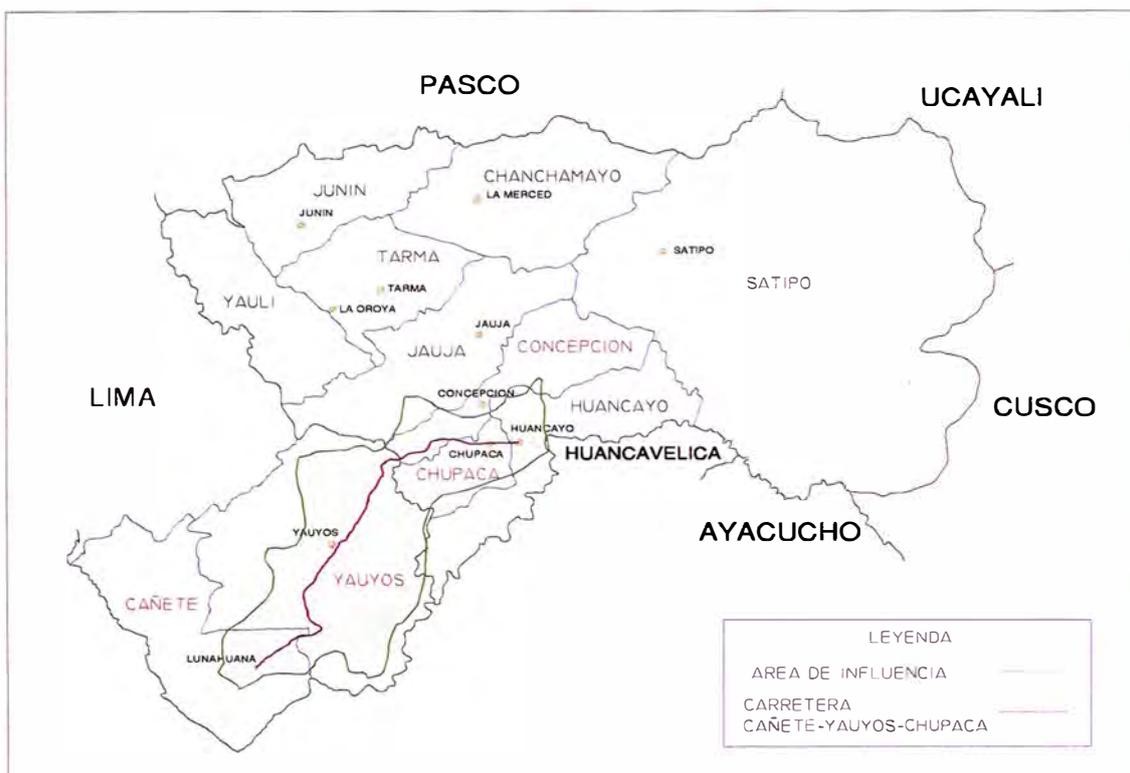
Las actividades de Conservación Vial por Niveles de Servicio de la Carretera comprenden trabajos de conservación rutinaria, periódica y cambio de estándar de afirmado a solución básica a lo largo de la carretera, estos trabajos empezaron los primeros meses del año 2008 y prosiguen hasta la fecha.

Para mencionar que el sub tramo en estudio, Km 118+000 - Km 120+000 actualmente presenta un tratamiento superficial tipo monocapa.

### **1.1.1. UBICACIÓN.**

La carretera Cañete – Lunahuaná – Pacarán – Zúñiga – Dv. Yauyos – Ronchas – Chupaca se encuentra ubicado en la región central del país, abarcando los departamentos de Lima y Junín.

Se encuentra ubicado en la región central del país y su ámbito de desarrollo está "entre las provincias de Cañete y Yauyos en el departamento de Lima y las provincias de Concepción y Chupaca en el departamento de Junín.



**Figura 1.1 Ubicación del Proyecto**

Entre las principales localidades que forman parte de la Carretera Cañete – Yauyos – Chupaca, tenemos:

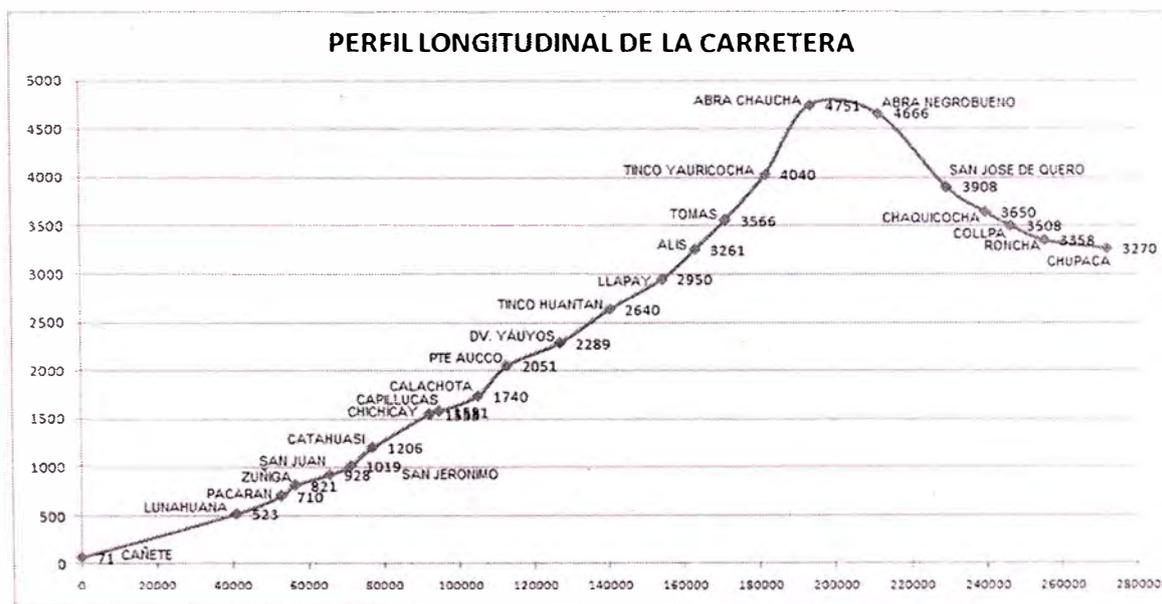
**Cuadro 1.1 Localidades ubicadas a lo largo de la carretera**

LOCALIDAD	PROGRESIVA (km)	ALTITUD (msnm)
Cañete	0+000	71
Lumahuaná	40+950	523
Pacarán	52+857	710
Zuñiga	56+600	821
San Juan	65+600	928
San Jerónimo	71+200	1019
Catahuasi	77+000	1206
Chichicay	92+110	1553
Capillucas	94+640	1851
Calachota	105+040	1740
Puente Aucco	112+800	2051

LOCALIDAD	PROGRESIVA (km)	ALTITUD (msnm)
Desvío Yauyos	127+000	2289
Tinco Huantan	140+360	2640
Llapay	154+300	2950
Alis	163+100	3261
Tomas	171+090	3566
Tinco Yauricocha	181+680	4040
Abra Chaucha	193+510	4751
Abra Negrobueno	211+320	4666
San José de Quero	229+300	3908
Chaquicocha	239+600	3650
Collpa	246+200	3508
Roncha	255+185	3358
Chupaca	271+726	3270

Fuente: Elaboración propia

Figura 1.2 Perfil longitudinal de la carretera



Fuente: Informe Técnico, Convenio UNI-PROVIAS

### 1.1.2. GEOMORFOLOGÍA.

Los rasgos geomorfológicos que presenta el área de estudio, son el resultado de procesos geotectónicos y plutónicos, sobreimpuestos por los procesos de geodinámica que han modelado el rasgo estructural de la región.

La erosión, la incisión por drenaje y la acumulación de arena eólica sobre grandes extensiones de la zona, han dado la configuración del actual relieve; el mismo que va desde el nivel medio del mar en el borde litoral hasta 4750 m. de altura sobre el nivel del mar.

### 1.1.3. GEOLOGIA.

La determinación del recurso geológico de la zona, permite conocer la disponibilidad de materiales aptos para la construcción de la futura carretera, indicando los lugares recomendables a ser utilizados como canteras, así como los sitios que servirán de depósitos de materiales excedentes, sin que esto signifique causar grandes daños al entorno.

### 1.1.4 CLIMA.

El área comprometida en el proyecto se ubica en diferentes regiones. A continuación se señalan las temperaturas típicas que se dan en estas regiones:

**Yunga (500 msnm - 2300 msnm):** 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.

**Quechua (2300 msnm – 3500 msnm):** El clima es templado con notable diferencia entre el día y la noche, el sol y la sombra. La temperatura media anual fluctúa entre 11°C y 16°C; las máximas entre 22°C y 29°C; y las mínimas entre 7°C y -4°C. La humedad atmosférica es poco sensible, aún cuando el suelo es normalmente húmedo, como consecuencia de las lluvias que caen con regularidad en el verano (diciembre a marzo).

**Suni o Jalca (3500 msnm a 4000 msnm):** El clima es frío debido a la elevación y a los vientos locales. La temperatura media anual fluctúa entre 7°C y 10°C, máximas superiores a 20°C y mínimas invernales de -1°C a -16°C. El aire es transparente y las nubes se presentan en grandes cúmulos. La precipitación promedio es de 800 mm por año.

**Puna (4000 msnm y 4800 msnm):** La temperatura media anual es superior a 0°C e inferior a 7°C. La máxima entre setiembre y abril, es superior a 15°C llegando hasta 22°C. Las mínimas absolutas, entre mayo y agosto oscilan entre -9°C y -25°C. La precipitación fluctúa entre 200 mm y 1000 mm al año.

## 1.2. IDENTIFICACIÓN.

### 1.2.1. DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL.

La actual Carretera Central, se encuentra con un elevado volumen de tráfico, debido a que alberga gran parte de la demanda vehicular de la ciudad de Lima.

Es así como el corredor Cañete – Yauyos – Chupaca, sirve para aliviar la pesada carga de la mayor parte de la zona sur de Lima y alrededores, asimismo colaboraría con el Plan Nacional de Inversión Descentralizada, lo cual incrementaría el desarrollo en la zona en mención.

Entre los principales problemas que se encuentran, tenemos: diseño geométrico deficiente, sección inadecuada para el paso de camiones pesados, problemas de erosión y sub-drenaje debido principalmente a su cercanía al río.

**Cuadro 1.2 Situación actual de la carretera**

TRAMO	VÍA	TIPO DE SUPERFICIE DE RODADURA	LONGITUD (km)
Cañete-Lunahuaná	Asfaltada	Carpeta Asfáltica	40,75
Lunahuaná-Pacarán	Asfaltada	Slurry Seal	12,49
Pacarán-Zúñiga	Afirmada	Slurry Seal	4,15
Zúñiga-Dv. Yauyos	Afirmada	Monocapa	72,60
Dv. Yauyos – San José de Quero	Afirmada	Monocapa	109,13
San José de Quero - Roncha	Afirmada	Afirmado	26,00
Roncha - Chupaca	Afirmada	Afirmado	16,61

Fuente: Elaboración propia

### 1.2.2. OBJETIVOS DEL PROYECTO.

- Determinar las necesidades actuales y futuras para la conservación y mantenimiento (evitar acelerado deterioro en el futuro).
- Estimar la vida remanente de la capa de rodadura.
- Determinar los índices de rugosidad y serviciabilidad de la vía.
- Identificar el tipo, severidad y extensión de los defectos evidentes.
- Priorización de inversiones en la programación.

### 1.3. FORMULACIÓN Y EVALUACIÓN.

#### 1.3.1. HORIZONTE DEL PROYECTO.

Consideraremos que la alternativa de solución del proyecto tendrá un horizonte de 3 años.

#### 1.3.2. ESTUDIO DE TRÁFICO.

Los datos del conteo de tráfico fueron extraídos del estudio de tráfico realizado por el “Consortio Gestión de Carreteras”, realizado entre los meses de Abril y Mayo del año 2008. Los conteos fueron realizados por tipo de vehículos, durante 7 días continuos en las estaciones E-1, E-2, E-3, E-4, E-5 y E-6, cuya ubicación se indica en el Cuadro 1.4.

**Cuadro 1.3 Ubicación de estaciones de conteo**

CODIGO	ESTACIÓN	PROGRESIVA	ALTITUD (m.s.n.m)	TRAMO
E-1	Cañete	12+800	30	CAÑETE (IMPERIAL) - LUNAHUANA
E-2	Pacarán	53+000	710	LUNAHUANA - PACARÁN
E-3	Zuñiga	58+000	821	PACARÁN - ZUÑIGA
E-4	Dv. Yauyos	127+400	2289	ZUÑIGA - DV. YAUYOS – SAN JOSE DE QUERO
E-5	Roncha	256+900	3458	SAN JOSE DE QUERO – RONCHAS
E-6	Huarisca	265+000	3200	RONCHAS - CHUPACA

Fuente: Elaboración Propia

#### 1.3.3. COSTOS.

Para el presente perfil los Costos Operativos Vehiculares se han basado en los costos modulares elaborados por la Oficina General de Presupuesto y Planificación del MTC. Los costos de Inversión se han estimado en base a

experiencias anteriores en zonas similares. Para el mantenimiento, los costos se han considerado que no varían con el incremento de tráfico; teniendo en cuenta el nivel de análisis en que se encuentra el estudio y los niveles de tráfico de los tramos de este proyecto.

**Cuadro 1.4 Costos financieros de inversión**

ANÁLISIS DE COSTOS	REGION	US\$ x Km
Slurry Seal (1")	Costa y Sierra	142,584.89
Monocapa – Slurry Seal	Costa y Sierra	126,187.61
Monocapa - Slurry Seal - Mayor señalización	Costa y Sierra	142,520.30

Fuente: Elaboración Propia

En el siguiente cuadro se indica los COV de los usuarios para las alternativas propuestas.

**Cuadro 1.5 Costos de operación vehicular**

Tipo de Vehículo	Costos Operativos Vehiculares (COV)			
	(US\$ Veh/Km)			
	Sin Proyecto Afirmado Malo	Mejoramiento Slurry Seal Alternativa 1	Mejoramiento Monocapa – Slurry Seal Alternativa 2	Mejoramiento Monocapa – Slurry Seal + Señalización Alternativa 3
Auto	0.53	0.24	0.23	0.22
Camioneta	0.7	0.25	0.245	0.24
Camioneta Rural	1.09	0.51	0.49	0.47
Ómnibus	1.48	0.56	0.54	0.53
Camión 2E	2.49	0.72	0.65	0.58
Camión 3E	2.95	0.93	0.86	0.79
Articulados	3.29	1.15	1.07	1.03

Fuente: Elaboración Propia

#### 1.3.4. EVALUACION ECONOMICA.

La evaluación económica para este caso se realizó por el método del VAN (Valor actual neto) y el TIR (Tasa de interés de retorno). Considerando una tasa de descuento de 11%. En los siguientes cuadros se resume la evaluación económica de las alternativas planteadas.

**Cuadro 1.6 Costos de inversión y mantenimiento sin proyecto y con proyecto por alternativas planteadas**

Año	Sin Proyecto Afirmado Malo	Mejoramiento Slurry Seal Alternativa 1	Mejoramiento Monocapa Alternativa 2	Mejoramiento onocapa+Señalización Alternativa 3
2010	200,732.63	31,734,647.68	28,085,160.58	31,720,272.51
2011	200,732.63	634,161.90	507,329.52	704,624.34
2012	1,980,914.06	634,161.90	507,329.52	704,624.34
2013	200,732.63	1,809,588.77	1,447,671.01	2,010,654.19

Fuente: Elaboración Propia

### 1.3.5. MATRIZ DEL MARCO LÓGICO.

**Cuadro 1.7 Matriz de Marco Lógico**

	RESUMEN DE OBJETIVOS	INDICADORES	MEDIOS DE VERIFICACIÓN	SUPUESTOS
<b>FIN</b>	*SEGURIDAD VIAL Y DISMINUCIÓN DE COSTOS DE TRANSPORTE *MEJORA DE TÉRMINOS DE REFERENCIA	*VELOCIDAD PROMEDIO VEHICULAR *COSTO OPERATIVO VEHICULAR *VACIOS EN CONTRATO	*PEI *ESTADO DE VEHÍCULOS APTO *CUMPLIMIENTO DE TÉRMINOS / CONFLICTOS REDUCIDOS	
<b>PROPÓSITO</b>	*INCREMENTO DEL FLUJO VEHICULAR *PROMOCIONAR BONDADES DE VÍA A NUEVOS USUARIOS	*TRANSITO EN LA VÍA *ESPECTATIVAS DE NUEVOS USUARIOS	*IND *ENCUESTAS A TRANSPORTISTAS Y POBLADORES	*ALTO VOLUMEN DE TRANSITO *CONFIANZA EN USO DE LA VÍA
<b>COMPONENTES</b>	*COLOCACION DE GUARDAVIAS *ESTABILIZACION DE TALUDES	*INCIDENTES Y ACCIDENTES REGISTRADOS EN TRAMOS CRITICOS	*FACTORES DE RIESGO REDUCIDOS *VIA LIBRE DE MATERIAL PRODUCTO DE DESLIZAMIENTOS	*NO CRECIMIENTO DE TASA DE ACCIDENTES *VIA TOTALMENTE TRANSITABLE
<b>ACCIONES</b>	*EJECUCION DE MANTENIMIENTOS *MODELAMIENTO DE UN PERFIL	*ESTADO DE LA SUPERFICIE DE LA VÍA *REFERENCIAS PROVAS NACIONAL / MTC	*EVALUACIONES ESTRUCTURALES Y NO ESTRUCTURALES *APROBACION DE SNIP	*CALIDAD DE LOS TRABAJOS DE MANTENIMIENTO

Fuente: Elaboración propia

## **CAPITULO II: MARCO TEÓRICO.**

### **2.1. EVALUACIÓN FUNCIONAL.**

#### **2.1.1. EL EQUIPO MERLIN.**

En la década de los 80, el TRANSPORTATION ROAD RESEARCH LABORATORY (TRRL, Inglaterra) desarrolló un instrumento de medición de rugosidad en pavimentos, al cual lo denominaron equipo MERLIN (Machine for Evaluating roughness using Low-cost Instrumentation), cuyo principio de diseño y calibración fue en base a los datos de rugosidades obtenidos en el International Road Roughness Experiment (IRRE, Brasil 1982). Posteriormente se dio a conocer aún más en la década de los 90, con la finalidad de disponer de un equipo de tecnología intermedia diseñado para ser difundido en los países en vías de desarrollo, por las ventajas de su bajo costo de fabricación y por la gran exactitud de los resultados que proporciona, siendo su única desventaja su bajo rendimiento. El empleo del equipo original MERLIN es el que mayor difusión ha logrado en países de Latinoamérica, en la Figura N° 2.1 se presenta un esquema ilustrativo del instrumento.

El primer diseño del Merlín es la versión Mk1 tal como se aprecia en la Figura N° 2.2, posteriormente el TRRL presentó otro diseño del MERLIN, la versión Mk2 como se muestra en la Figura N° 2.3.

En el Perú, el primer estudio de rugosidad con equipo MERLÍN, se efectuó durante el mes de Septiembre de 1993 (Del Águila P., 1999), 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 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 con tratamiento superficial bicapa.

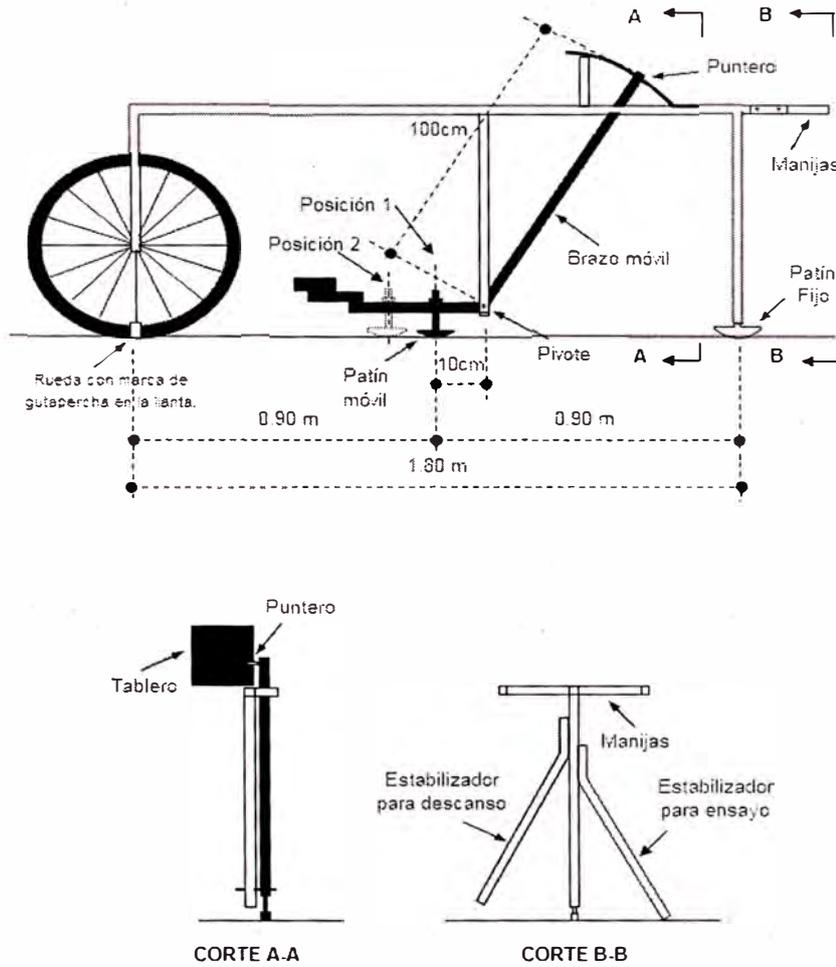


Figura 2.1 Esquema de Rugosímetro MERLIN

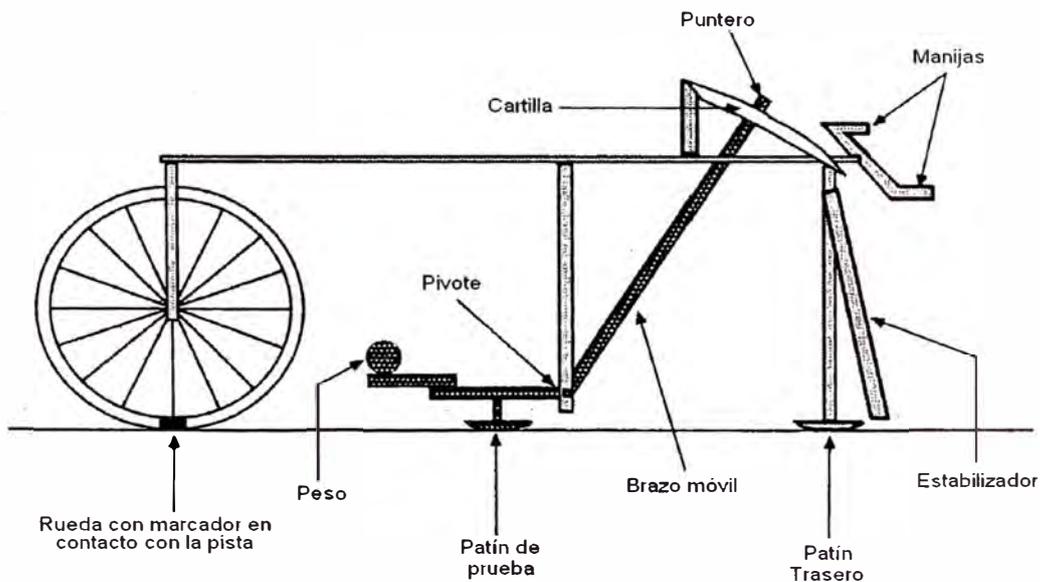


Figura 2.2 Equipo MERLIN Mk1

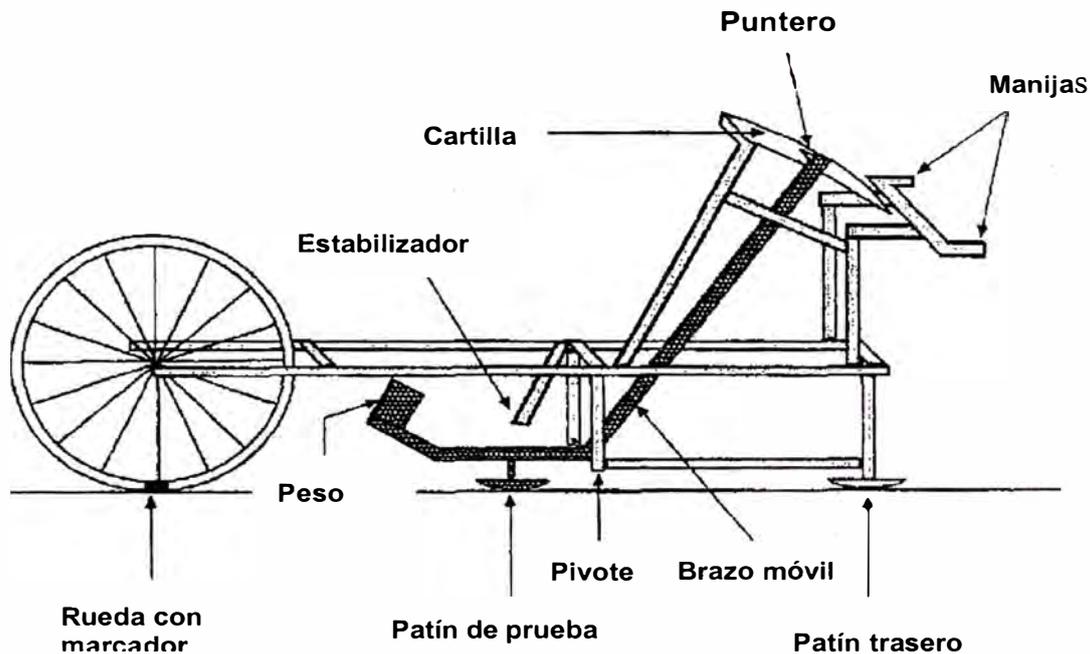


Figura 2.3 Equipo MERLIN Mk2

En este mismo año también se efectuaron otros estudios de rugosidad como es el caso de la carretera Sullana-Aguas Verdes, el cual también se encontraba en avanzado estado de deterioro.

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).

Cuadro 2.1 Rugosidad característica medida para diferentes tipos de pavimento

PARAMETRO	TIPO DE PAVIMENTO					
	ASFALTICO NUEVO (PERU)	ASFALTICO NUEVO (EL SALVADOR Y BOLIVIA)	ASFALTICO ANTIGUO	RECAPADO ASFALTICO	TRATAMIENTO BICAPA O SELLO	BASE GRANULAR O AFIRMADO
No DE DATOS	41	11	25	17	12	7
Rc PROMEDIO (IRI)	2.21	2.34	6.28	2.16	4.90	10.48
DESV.STANDARD	0.60	0.53	2.18	0.56	1.39	3.19
COEF.VARIACION	27.29	22.53	34.70	25.93	28.36	30.41
MAXIMO	3.57	3.32	9.81	3.62	8.11	15.24
MINIMO	1.35	1.80	1.63	1.42	3.10	6.55

Fuente: Adaptación propia a partir de Del Águila P., 1999

**Cuadro 2.2 Serviciabilidad medida para diferentes tipos de pavimento**

PARAMETRO	TIPO DE PAVIMENTO					
	ASFALTICO NUEVO (PERU)	ASFALTICO NUEVO (EL SALVADOR Y BOLIVIA)	ASFALTICO ANTIGUO	RECAPADO ASFALTICO	TRATAMIENTO BICAPA O SELLO	BASE GRANULAR O AFIRMADO
Nº DE DATOS	41	11	25	17	12	7
PSI PROMEDIO	3.37	3.28	1.73	3.39	2.11	0.97
DESV.STANDARD	0.36	0.30	0.74	0.33	0.48	0.47
COEF.VARIACION	10.60	9.28	42.86	9.91	22.69	53.75
MAXIMO	3.91	3.61	3.72	3.86	2.85	1.52
MINIMO	2.61	2.73	0.64	2.59	1.14	0.31

Fuente: Adaptación propia a partir de Del Águila P., 1999

### 2.1.2. RUGOSIDAD E ÍNDICE INTERNACIONAL DE RUGOSIDAD.

La rugosidad se define como las irregularidades en la superficie del pavimento que afectan adversamente la calidad de rodado, seguridad y costos de operación del vehículo.

En la década de los 70's, el Banco Mundial financió diferentes programas de investigación a gran escala, entre los cuales se encontraba un proyecto relacionado con la calidad de las vías y los costos a los usuarios, a través del cual se detectó que los datos de rugosidad superficial de diferentes partes del mundo no podían ser comparados. Aún datos de un mismo país no eran confiables, debido a que las mediciones fueron realizadas con equipos y métodos que no eran estables en el tiempo.

Con el objetivo de unificar los parámetros de medición de rugosidad, se planteó a nivel internacional el interés de desarrollar un índice único y común al cual referirse, que fuera independiente del equipo o técnica de obtención de la geometría del perfil y que además represente significativamente el conjunto de las percepciones de los usuarios circulando en un vehículo medio a una velocidad media.

Estas necesidades dieron lugar a la realización del experimento internacional llamado IRRE (Internacional Road Roughness Experiment), dicho evento se realizó en Brasilia (Brasil) entre Mayo y Junio de 1982 y fue conducido por Equipos de Investigación de Brasil, Inglaterra, Francia, Estados Unidos y Bélgica.

Como resultado de dicho evento fue desarrollado el concepto y método de cálculo del *Índice Internacional de Rugosidad*, mejor conocido como IRI

(International Roughness Index) el mismo que fue desarrollado por el Laboratorio Británico de Investigación de Transporte y Caminos (TRRL).

Después de cuatro años de realizado el experimento, el Banco Mundial (1986) propuso al Índice de Rugosidad Internacional como un estándar estadístico de la rugosidad utilizado como parámetro de referencia en la medición de la calidad de rodadura de un camino.

El Índice Internacional de Rugosidad tiene sus orígenes en un programa Norteamericano llamado Nacional Cooperative Highway Reseach Program (NCHRP) y está basado en un modelo llamado "Golden Car" descrito en el reporte 228 del NCHRP.

Para definir el IRI se emplea un modelo matemático llamado Cuarto de Carro (Quarter-Car). El sistema del Cuarto de Carro calcula la deflexión de la suspensión de un sistema mecánico simulado como una respuesta similar a la que tuviera el pasajero que circula a 80 km/h por el tramo de carretera que se pretende evaluar. Los parámetros que definen las masas, rigideces y amortiguaciones de este vehículo se definen en la Figura N° 2.4.

Para calcular el IRI es necesario conocer el perfil longitudinal de la carretera definido por sus cotas, en intervalos,  $\Delta x$ , de longitud constante.

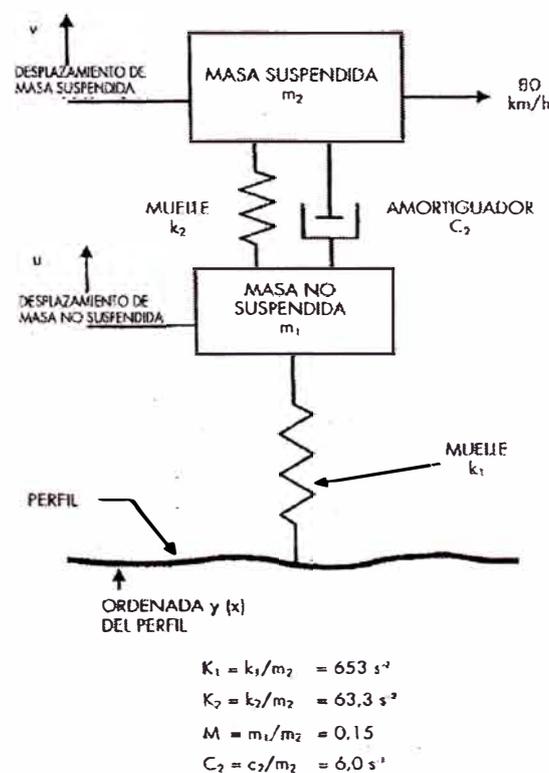


Figura 2.4 Modelo de Cuarto de Carro

Siendo “u” y “v” los desplazamientos verticales de las masas no suspendida y no suspendida respectivamente, con relación a su posición inicial, se define el IRI como sigue:

$$IRI = \frac{1}{L} \sum |\Delta u - \Delta v|$$

Donde L es la longitud de valoración del IRI. Se puede, por tanto, definir el IRI como el desplazamiento acumulado en valor absoluto de la masa superior respecto a la inferior, dividido por la distancia recorrida.

Siendo  $\Delta x$  el intervalo fijado y “n” el número de intervalos recorridos, se tiene:

$$L = n \Delta x$$

Si se define:

$$RS = \left| \frac{\Delta u}{\Delta x} - \frac{\Delta v}{\Delta x} \right|$$

Se obtiene sustituyendo:

$$IRI = \frac{1}{n} \sum RS$$

Las ecuaciones diferenciales que expresan el movimiento de las masas suspendida y no suspendida son las siguientes:

$$m_2 \ddot{v} + c_2 (\dot{v} - \dot{u}) + k_2 (v - u) = 0$$

$$m_1 \ddot{u} + m_1 \ddot{y} + k_1 (u - y) = 0$$

Siendo  $m_1$ ,  $m_2$ ,  $k_1$ ,  $k_2$  y  $c_2$  las constantes del cuarto de carro e “y” es la cota del perfil recorrido, según la experimenta la rueda del vehículo.

Si el perfil se define por una serie de cotas a intervalos de longitud constante, una vez resuelto el sistema de ecuaciones diferenciales anterior, los movimientos de las masas del cuarto de coche quedan definidos mediante el siguiente sistema de ecuaciones recurrentes:

$$\begin{aligned} Z_{1,j} &= S_{11} Z_{1,j-1} + S_{12} Z_{2,j-1} + S_{13} Z_{3,j-1} + S_{14} Z_{4,j-1} + P_1 \cdot y' \\ Z_{2,j} &= S_{21} Z_{1,j-1} + S_{22} Z_{2,j-1} + S_{23} Z_{3,j-1} + S_{24} Z_{4,j-1} + P_2 \cdot y' \\ Z_{3,j} &= S_{31} Z_{1,j-1} + S_{32} Z_{2,j-1} + S_{33} Z_{3,j-1} + S_{34} Z_{4,j-1} + P_3 \cdot y' \\ Z_{4,j} &= S_{41} Z_{1,j-1} + S_{42} Z_{2,j-1} + S_{43} Z_{3,j-1} + S_{44} Z_{4,j-1} + P_4 \cdot y' \end{aligned}$$

Donde :

$$Z_{1,i} = \Delta v / \Delta x \text{ para una posición } i,$$

$$Z_{3,i} = \Delta u / \Delta x \text{ para una posición } i,$$

$$y' = (y_i - y_{i-1}) / \Delta x$$

$S_{ij}$  y  $P_i$  son constantes que vienen fijadas por el tiempo necesario para que el cuarto de coche recorra el intervalo  $\Delta x$  a la velocidad de 80 km/h.

Mediante este sistema de ecuaciones recurrentes, se conoce en cualquier punto las posiciones "u" y "v" de las masas del cuarto de coche, si se conoce la posición de las masas en el punto anterior.

Si no se conocen las condiciones iniciales del sistema, se tomarán las siguientes:

$$Z_{1,0} = Z_{3,0} = (y^* - y_0) / 11$$

$$Z_{2,0} = Z_{4,0} = 0$$

Siendo  $y^*$  la cota del punto de perfil situado a 11m del inicio e  $y_0$  la cota inicial (punto  $i=0$ )

Conocidas las condiciones iniciales, se puede calcular para cada punto, "i", del perfil, su correspondiente valor  $RS_i$ .

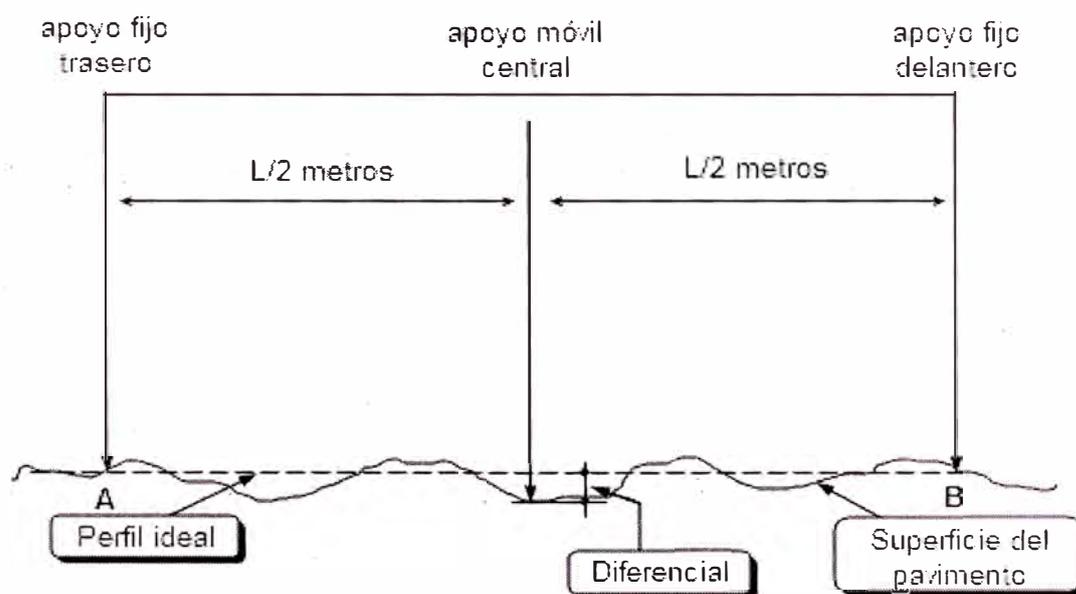
$$RS_i = |Z_{3,i} - Z_{1,i}|$$

La Figura N° 2.5 ilustra el principio básico para la operación del MERLIN, el cual consiste en asumir que existe un perfil relativo de pavimento ideal, para el cual la rugosidad es cero, el que para efectos prácticos se adopta igual a una línea recta que pasa por dos puntos ubicados a una distancia constante (recta AB en Figura N°2.5).

La superficie de los pavimentos reales, como consecuencia de las cargas y del efecto abrasivo del tráfico, así como por limitaciones constructivas, presentan diferencias con respecto a dicha "línea de perfil ideal". En la medida que las diferencias sean menores, más se acercará el pavimento a la condición ideal, y, en consecuencia, su rugosidad tenderá a cero. Caso contrario si las diferencias son apreciables.

El MERLIN permite establecer las diferencias entre los perfiles del pavimento real e ideal, para lo cual se efectúa un número fijo de mediciones sucesivas, a lo largo de un tramo de longitud conocida, con las cuales se determina una distribución de frecuencias cuyo ancho "D", calculado luego de efectuar la

depuración de un 10% de datos, es el indicador de la rugosidad del tramo evaluado. Para transformar la rugosidad de “unidades MERLIN” (D) a unidades internacionales de rugosidad (IRI), se hace uso de una ecuación de correlación. 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.



**Figura 2.5 Principio de operación del Rugosímetro MERLIN**

### 2.1.3. VARIACIÓN DEL IRI SEGÚN LA LONGITUD DE EVALUACIÓN.

El IRI puede ser calculado sobre cualquier longitud de camino; sin embargo, los usuarios deben entender que el cálculo del IRI depende altamente sobre qué longitud es acumulado. Es fundamental entender la relación que existe entre la variación de regularidad a lo largo del camino y el tramo del camino sobre el cual la regularidad es promediada, ya que el IRI es el valor medio de los IRI unitarios o puntuales que se obtienen.

En vista de la importancia que reviste la longitud para la determinación del IRI, es necesario establecer un intervalo de longitud, ya que intervalos de longitud mayores ocultan niveles altos de regularidad superficial en los pavimentos, obteniendo de una manera inadecuada valores de IRI satisfactorios. Por otra

parte, 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.

Como se puede observar del Cuadro N°2.3, las variaciones en la longitud del intervalo de medición del IRI, tienen incidencia directa en los resultados, de forma tal que los valores se suavizan como consecuencia del efecto de promediar. Lo cual es bastante evidente, al observar los primeros 100 m del tramo, en el cual se dan valores de IRI mayores a 10 y valores de IRI inferiores a 2, cuando el intervalo de evolución es igual a 5 m. Por su parte, al calcular el valor del IRI en una longitud de evaluación de 100 m, el efecto de promediar los valores dentro de este tramo muestra un valor de IRI igual a 4.5.

**Cuadro N° 2.3 Variación del IRI según la longitud de evaluación**

Estación inicial (m)	Estación final (m)	Valores de IRI promediando resultados del RSP a diferentes intervalos			
		Cada 5 m	Cada 20 m	Cada 50 m	Cada 100 m
0	5	11.4	9.7	8.1	4.5
5	10	10.5			
10	15	13.0			
15	20	4.0	3.3		
20	25	3.8			
25	30	3.7			
30	35	3.5	4.5		
35	40	2.2			
40	45	4.6			
45	50	4.9			
50	55	3.8	2.5		
55	60	4.8			
60	65	2.8			
65	70	1.7			
70	75	2.3			
75	80	3.1	2.7		
80	85	3.0			
85	90	3.8			
90	95	1.8			
95	100	2.8			

Fuente: Variación del IRI según la longitud de evaluación, Ramón Crespo del Río

#### 2.1.4. EFECTO DE SINGULARIDADES EN EL CÁLCULO DEL IRI.

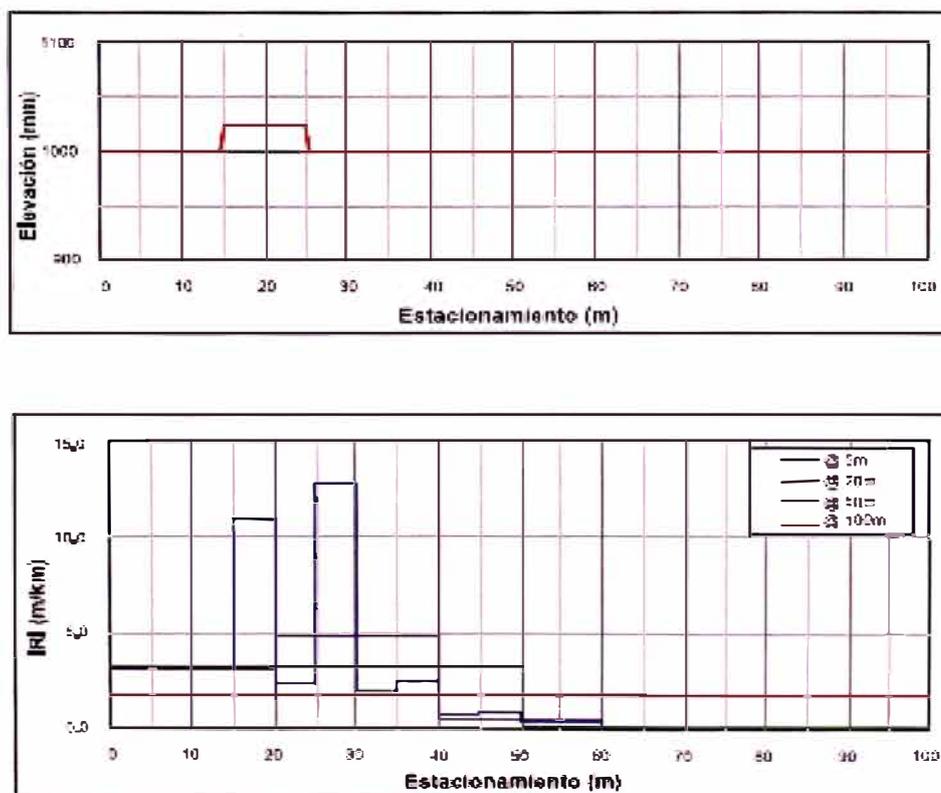
El correcto acabado de los pavimentos es de gran importancia para la comodidad, seguridad y costos de operación de los usuarios de los caminos,

factor que, además de tener una gran influencia en la duración de éstos, repercute en los costos del mantenimiento vial.

Debido a que, el IRI involucra la diferencia entre el perfil longitudinal teórico y el perfil longitudinal existente, es un hecho que se pueden presentar ciertas singularidades que podrían afectar la medición del IRI. Se entiende como singularidad: “Cualquier alteración del perfil longitudinal del camino que no provenga de fallas constructivas y que incremente el valor del IRI en el tramo en que se encuentra. Entre ellas se pueden citar puentes, badenes, tapas de alcantarillas, cuñas, cruces de calles y otras, que por diseño geométrico alteren el perfil del camino” (LNV 107-2000).

En la Figura N° 2.6 se muestra un ejemplo particular de lo que ocurre cuando se calcula el IRI para un bache con un mal acabado superficial debido a fallas constructivas. Se puede notar que esta falla constructiva genera un incremento en el valor del IRI, especialmente si se utilizan intervalos o longitudes de evaluación más cortos. En el caso de que aumente la longitud de evaluación, los resultados de los valores de IRI se reducen, e imposibilitan determinar el sitio donde se presentan las particularidades.

**Figura N° 2.6 Simulación de un bache con un mal acabado superficial**



Fuente: Variación del IRI según la longitud de evaluación, Ramón Crespo del Río

Un estudio realizado por Townsend, denominado “Determinación de umbrales de rugosidad (IRI) obtenido de base de datos de caminos con controles receptivos”, presenta algunas consideraciones, en términos cualitativos, que deben tenerse para el control receptivo de proyectos:

- La presencia de desvíos durante la construcción de las obras, aseguran valores de regularidad bajos, respecto aquellas obras ejecutadas sin la presencia de éstos.
- La geometría del camino asociada a curvas verticales y horizontales, pendientes, gradientes, peraltes y otras, durante la etapa constructiva de las obras pueden afectar la adecuada terminación de los caminos en términos de obtener valores de IRI aceptables.
- La calidad y tecnología de las maquinarias, los equipos topográficos, las buenas prácticas constructivas, el adiestramiento y la capacitación de operadores, aseguran una baja regularidad.
- Según la experiencia internacional, es conveniente anticipar controles de regularidad en las capas estructurales inferiores a la superficie de rodado. La evaluación de la capacidad funcional en cada etapa de la construcción, se presenta como una alternativa complementaria a las tradicionales. La evaluación por capas puede permitir corregir eventualmente diferencias en la construcción de una capa y mejorar la regularidad superficial del pavimento.

Por su parte Zaghloul, estableció que, valores iniciales elevados de IRI ocasionan mayores deterioros en el tiempo, mayor costo de mantenimiento, una vida útil de servicio inadecuada y rehabilitaciones o reconstrucciones a temprana edad del pavimento. Aún solucionándose los deterioros iniciales, el pavimento siempre presentará fallas funcionales en el tiempo más graves que aquel pavimento que inició su vida útil con un valor de IRI menor.

Michael S. Janoff del JMJ Research, al estudiar en 1988 el efecto de la regularidad inicial sobre el desempeño del pavimento a largo plazo, presenta los siguientes resultados:

- Los pavimentos con una menor regularidad inicial, tienen niveles más bajos de regularidad para los siguientes 10 años a la construcción.
- Los pavimentos con una menor regularidad inicial, tienen niveles más bajos de agrietamiento para los siguientes 10 años a la construcción.

- Los pavimentos con una menor regularidad inicial, tienen costos anuales medios de mantenimiento más bajos para los siguientes 10 años a la construcción.

En el estudio de la NCHRP 1-31 se estimó que: una mejoría del 50% en la regularidad del pavimento, implica un incremento del 15% en la vida útil del pavimento.

En la pista de ensayo de la WestTrack se determinó que, una reducción del 10% en el valor del IRI, resulta en un incremento en el rendimiento del combustible de 1.91 Kilómetro/litro, aproximadamente. Además, se determinó que mayores irregularidades implican un aumento de la frecuencia de falla en componentes de los camiones y remolques.

## **2.2. EVALUACIÓN DE LA RUGOSIDAD CON EQUIPO MERLIN.**

### **2.2.1. MÉTODO DE USO DEL EQUIPO MERLÍN.**

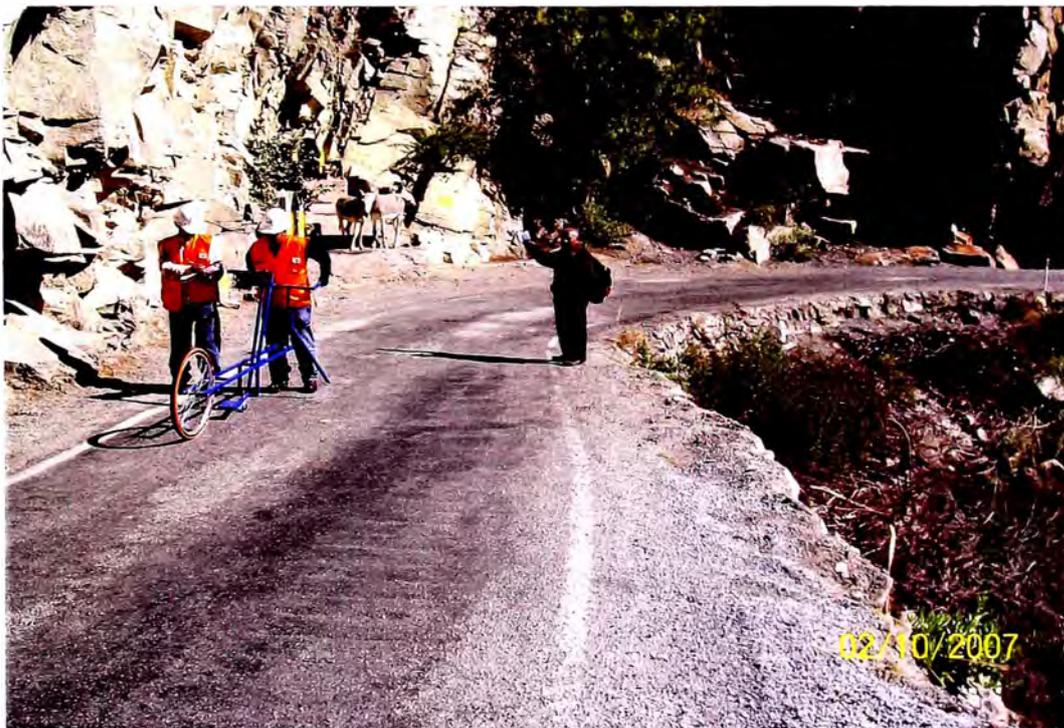
Para la ejecución del ensayo se requiere del siguiente personal y equipo mínimo:

- Personal: 01 operador, 03 ayudantes (01 anotador de lecturas y 02 para seguridad).
- Equipos: 01 Equipo Merlín, 01 camioneta doble cabina 4x4 (Incluido Chofer), 01 Vernier, 01 wincha, cámara fotográfica, tablero de apuntes.
- Materiales: formato de campo, pintura

A continuación se describe el procedimiento de uso del Equipo MERLIN para la evaluación de rugosidad:

- Se distribuye el personal asignado a cada tarea programada.
- Seleccionar y marcar tramos de prueba de 400m de longitud. Las marcas se realizarán en un carril de la vía, sobre la huella externa del tráfico vehicular.
- Se anota las progresivas de inicio y fin del tramo de evaluación, así como la fecha de evaluación, ubicación, tipo de superficie de rodadura, etc.
- Si se debe armar el equipo, realizarlo con cuidado, empezando por la parte delantera para poder acomodar la llanta.
- Una vez armado, se procede a ajustar los pernos que se encuentran en la parte inferior del equipo.

- Se estaciona el equipo de tal forma que la rueda descansa sobre la huella externa del tráfico vehicular.
- Se procede a colocar el formato de lecturas (Figura N° 2.9) sobre el tablero del equipo, teniendo en cuenta que debe estar centrada y sujeta con cinta adhesiva, y en casos extremos protegida con una mica para la lluvia.
- Se coloca una marca de referencia sobre la llanta, para que facilite la labor de parada del equipo y toma de lecturas por parte del operador.
- El operador toma el instrumento por las manijas, elevándolo y desplazándolo una vuelta completa (1.8 o 2 m), luego toma lectura de lo que indica el puntero y es anotado por el ayudante anotador de lecturas (Ver Fotografía N° 2.1). El formato debe llenarse empezando por el casillero (1,1) y de arriba hacia abajo y de izquierda a derecha.
- Repetir sucesivamente el paso anterior hasta completar 200 lecturas.



**Fotografía 2.1**

Para obtener un valor de rugosidad que represente el estado actual de la superficie de rodadura, económicamente como mínimo se debe de realizar dos (02) pasadas por carril (ida y retorno) y para obtener resultados más óptimos se debe realizar cuatro (04) pasadas por carril, es decir dos veces ida y retorno.

### **2.2.2. MÉTODOS PARA LA MEDICIÓN DE LA RUGOSIDAD.**

De acuerdo con la clasificación establecida por el Banco Mundial los métodos para la medición de la rugosidad se agrupan en 4 clases:

#### **a) MÉTODO CLASE 1.**

Basados en la medición de perfiles topográficos de gran precisión, estos métodos se constituyen como los más exactos que existen para la determinación del IRI. Los métodos de la clase 1 establecen la rugosidad a través de la determinación muy exacta del perfil longitudinal de un pavimento, con medidas espaciadas cada 0.25 m y cotas con una precisión de 0.5 mm. A esta clase pertenecen los métodos basados en la medición del perfil del pavimento con el perfilómetro TRRL Beam, y, con mira y nivel de precisión (Rod and Level).

#### **b) MÉTODO CLASE 2.**

Esta clase incluye todos los otros métodos en los cuales la rugosidad se determina sobre la base de la medición del perfil longitudinal, pero con una exactitud menor que los de la Clase 1. Estos métodos recurren al uso de perfilómetros de alta velocidad o mediciones estáticas con equipos similares a los de Clase 1, pero con niveles inferiores de exactitud. Entre los Perfilómetros de alta velocidad se tienen, el APL Trailer y GMR Type Inertial Profilometer.

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 Perú el Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones (MTC) considera al equipo Merlin dentro de la Clase 2.

#### **c) MÉTODO CLASE 3.**

En estos métodos se utilizan ecuaciones de correlación para convertir data de campo a las unidades internacionales de medición de rugosidad. Usualmente se emplean rugosímetros dinámicos: recolectan los datos instalados en un vehículo que recorre la vía a una velocidad uniforme. La precisión de los resultados

obtenidos depende de la calibración dinámica del vehículo para proporcionar los valores de rugosidad, empleando ecuaciones de correlación para convertir las lecturas a la escala IRI. Estos métodos, también denominados "tipo respuesta" (Response-Type Road Roughness Measuring System, o simplemente, RTRRMS).

En este grupo se encuentran el Mays Meter, Bump Integrator, NAASRA Meter, entre otros. El equipo Merlin por ser de gran precisión, es usado para la calibración del equipo Bump Integrator.

#### **d) MÉTODO CLASE 4.**

Se basan en una evaluación subjetiva en la cual el IRI se estima con una inspección visual. Las observaciones se limitan a un equivalente aproximado a la escala del IRI, se usa cuando se desea conocer aproximadamente el estado de la uniformidad superficial.

Otra posibilidad es utilizar las medidas obtenidas con un equipo sin calibrar, tal como un RTRRMS. De hecho un equipo tipo respuesta que no está calibrado cae dentro la categoría de Clase 4.

#### **2.2.3. SERVICIABILIDAD E ÍNDICE DE SERVICIABILIDAD PRESENTE.**

La definición de serviciabilidad fue desarrollada por la AASHTO Road Test, y está orientada a evaluar la capacidad para proporcionar una transitabilidad suave y confortable. Por lo tanto el concepto de serviciabilidad está relacionado con el concepto de rugosidad.

Para evaluar la serviciabilidad de un pavimento, se emplea el parámetro denominado índice de Serviciabilidad Presente (PSI), el cual establece la condición funcional o capacidad de servicio actual del pavimento. Dichos conceptos fueron desarrollados por el cuerpo técnico del Ensayo Vial AASHO, en 1957 (Ver Figura N° 2.7 y Cuadro N° 2.4), hoy ASSHTO. Los valores del PSI se evalúan mediante una escala que va de 0 a 5, en donde la condición óptima corresponde al máximo valor.

En el Perú, la determinación analítica del PSI se efectúa utilizando la expresión establecida por SAYERS M.W., 1986, que relaciona la Rugosidad con el Índice de Serviciabilidad.

Dicha expresión es una correlación desarrollada con la base de datos establecida en el Ensayo Internacional sobre Rugosidad de Caminos, realizado en Brasil en 1982 y tiene la siguiente forma:

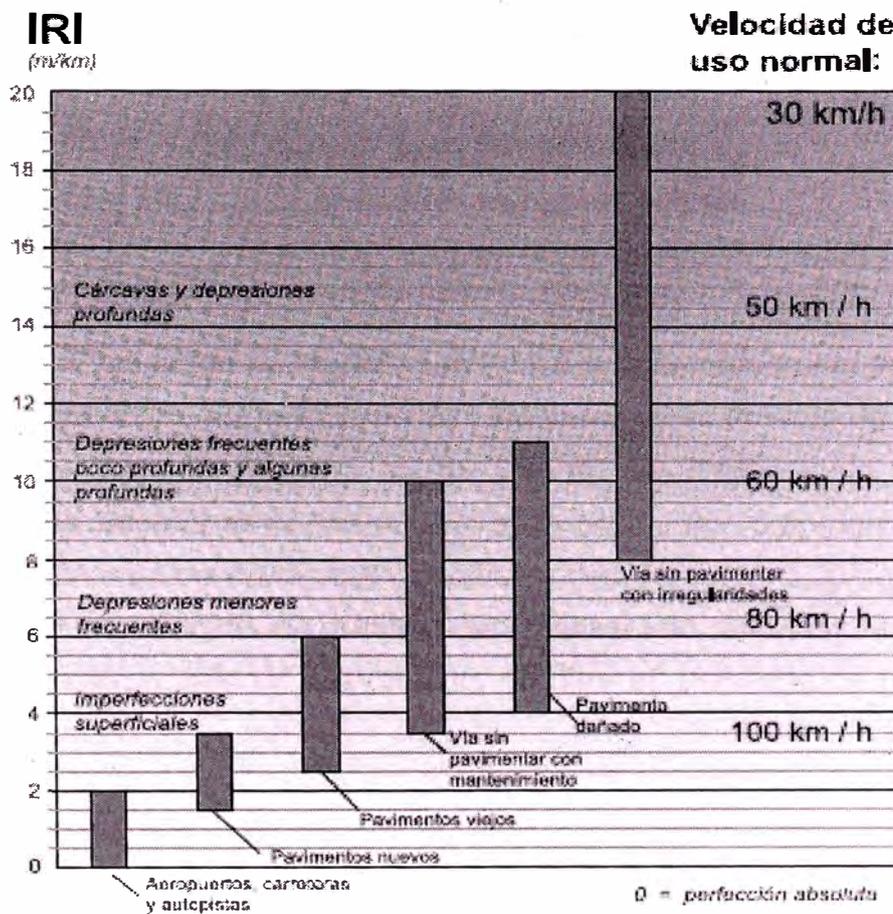
$$R = 5.5 \text{ LN} (5.0/\text{PSI}) \pm 25\% , \text{ para } R < 12$$

Donde:

R= Rugosidad en IRI

PSI= índice de Serviciabilidad Presente

Figura 2.7 Escala para la cuantificación del IRI para diferentes vías



Fuente: Adaptado de UMTRI Research Review, Número 1, Enero-Febrero 2002

PSI	TRANSITABILIDAD
0 – 1	MUY MALA
1 – 2	MALA
2 – 3	REGULAR
3 – 4	BUENA
4 – 5	MUY BUENA

**Cuadro 2.4 Condición del camino respecto al PSI**

Fuente: Informe Técnico, Convenio UNI-PROVIAS

#### 2.2.4. ÍNDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO (PCI).

El diagnóstico de las vías está asociado al estado de condición de cada una, medido con el Índice de Condición de Pavimento así:

- $PCI \leq 30$  Vías en mal estado
- $31 \leq PCI \leq 70$  Vías en regular estado
- $PCI \geq 71$  Vías en buen estado

El Método de Evaluación de Pavimentos PCI, fue desarrollado por M.Y Shahin y S.D. Khon y publicado por el Cuerpo de Ingenieros de la Armada de los Estados Unidos en el Reporte Técnico M-268 (1978). La metodología que se ha empleado está basada en la Norma ASTM D 6433 - 03 "Standard Practice for Roads and Parking Lots Pavement Condition Index Surveys".

El pavimento es dividido en tramos, las cuales son divididas a su vez en secciones. Cada sección es nuevamente dividida en unidades de muestreo. El tipo y la severidad de la condición del pavimento es calculada por la inspección visual de las unidades de muestreo del pavimento. El índice de cada sección es determinado en base a los índices de cada unidad de muestreo dentro de la sección.

El PCI es un indicador numérico que indica la condición superficial del pavimento, además provee una medida de la condición presente del pavimento basado en las fallas observadas en la superficie del pavimento las cuales también indican la integridad estructural y la condición operacional de la superficie. El PCI no puede medir la capacidad estructural ni proporciona una medida directa de resistencia a deslizamiento o rugosidad. Este índice proporciona una base objetiva y racional, para determinar necesidades de

conservación, mantenimiento y reparación, en función de la condición del pavimento.

El monitoreo continuo del PCI se utiliza para establecer el índice de deterioro del pavimento, el cual permite la identificación con anticipación de las necesidades importantes de conservación, mantenimiento y rehabilitación.

El valor del PCI constituye dato de referencia sobre la performance del pavimento para la validación o mejora de los procedimientos de diseño y conservación.

El PCI es un índice numérico que varía desde cero (0), para un pavimento fallado o en mal estado, hasta cien (100) para un pavimento en perfecto estado.

En la Figura 2.8, se presenta los rangos de PCI con la correspondiente descripción cualitativa de la condición del pavimento.



La auscultación visual se efectuará a partir de un muestreo estadístico sistemático, mediante una franja de 6 m. de largo por el ancho de la calzada centrado en una baliza cada 25 m.

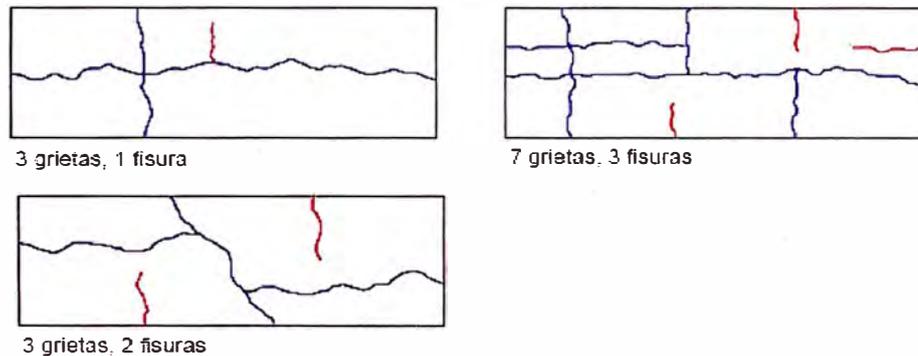
A continuación se indica la forma de obtener la información de terreno.

Para efectos de la presente metodología se adoptará la siguiente definición de grietas y fisuras: "Se considerará como grieta aquella que une dos bordes de la

losa o aquella que une un borde y una grieta o dos grietas en forma continua formando un trozo, y como fisuras todas las restantes”.

En otras palabras, el número de grietas es igual al número de trozos o bloques en que se subdivide una losa menos uno (1). En la figura N° 2.9 se indica algunos ejemplos que explican gráficamente lo anterior.

**Figura N° 2.9 Ejemplo de Medición de Grietas**



Para estos efectos será necesario hacer una descripción de las fallas típicas que se presentan en el pavimento, de acuerdo a la siguiente clasificación:

CÓDIGO	FALLA
1	Grietas y fisuras longitudinales
2	Grietas y fisuras transversales
3	Piel de cocodrilo
4	Hoyos y parches
5	Hundimientos
6	Desgastes
7	Desprendimiento de carpeta
8	Deformaciones
9	Ahuellamiento
10	Exudación

**Cuadro 2.5 Tipos de Falla**

De esta manera, los defectos detectados serán una cuantificación porcentual del área de pavimento agrietado, parchado, con desprendimiento superficial de

carpeta y con exudación además de una medición de la profundidad del ahuellamiento en los carriles de circulación de la calzada.

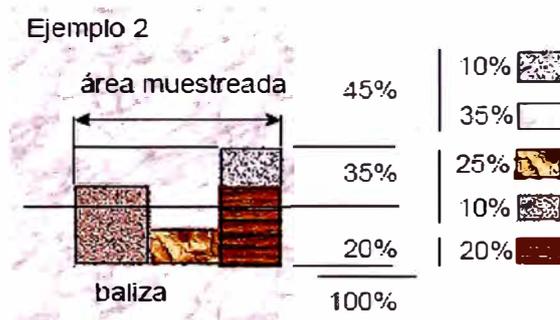
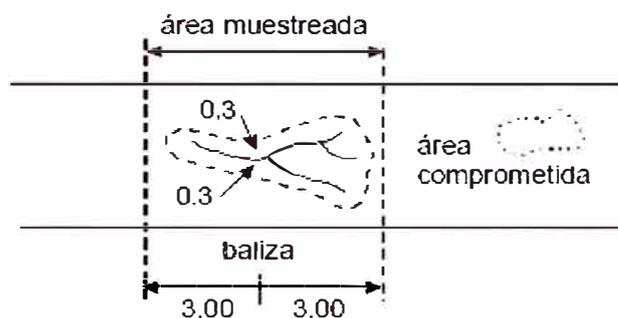
El porcentaje de agrietamiento, parches, desprendimiento superficial y exudación se determina a partir del total del área de muestreo considerando que la suma de estas fallas siempre sea menor o igual a 100%.

El orden de prioridad en la identificación de la falla será el siguiente: parches y baches (hoyos y hundimientos), agrietamiento, desprendimiento superficial y exudación. Esto quiere decir que si se encuentra un parche agrietado, la superficie comprometida se asigna a la columna “% de parches y baches”, asimismo si se encuentra un área en que coexista agrietamiento y desprendimiento superficial, la superficie comprometida se asigna a la columna “% de agrietamiento”.

Se considera que el área afectada por una grieta aislada, tiene un ancho de 0.30 m. a cada lado, por la longitud de la grieta. En el caso de agrietamiento múltiple estas superficies agrietadas se traslapan, formando un paño cuyas dimensiones se apreciarán directamente relacionándolo con el tamaño de la muestra completa.

Las áreas afectadas por otros tipos de fallas se estiman por observación directa. En la figura N° 2.10 se grafican dos ejemplos de determinación de áreas falladas:

**Figura N° 2.10 Ejemplos de determinación de áreas falladas**



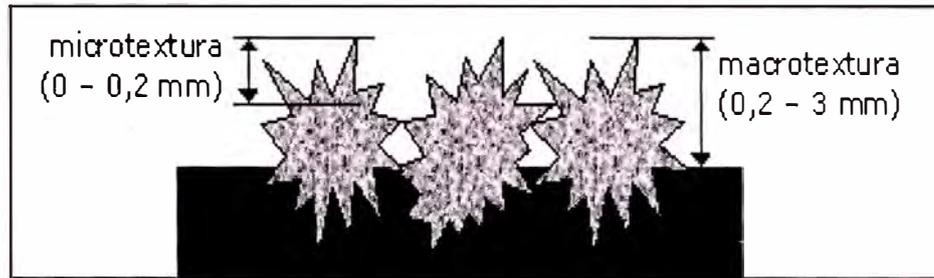
El ahuellamiento se medirá con una regla de 3.00 m. de longitud y utilizando una cuña graduada al milímetro. Se miden todas las huellas de la calzada consignando el mayor valor.

Luego de efectuada la evaluación superficial del pavimento mediante el análisis de su condición (PCI), la evaluación funcional mediante el análisis de su IRI, y si finalmente realizamos la evaluación estructural mediante el análisis de las deflexiones, se puede formular una sectorización que consiste en la división del tramo carretero en sectores de condiciones homogéneas en los cuales se pueda plantear soluciones que cubran sus requerimientos de serviciabilidad y transitabilidad para el nuevo periodo de diseño previsto.

### 2.2.5. RESISTENCIA AL DESLIZAMIENTO.

Esta propiedad, que afecta directamente la seguridad del usuario, depende de muchos factores, entre ellos: textura del pavimento, presencia de agua, características del neumático y otros. La resistencia al deslizamiento depende de la microtextura o macrotextura de la superficie del pavimento (Figura N° 2.11).

**Figura N° 2.11 Micro y macrotextura**



Dentro de la textura se suele distinguir entre la microtextura, irregularidades superficiales del pavimento menores de 0.5 mm, la macrotextura, irregularidades de 0.5 a 50 mm, y la megatextura, irregularidades de 50 a 500 mm. La primera sirve para definir la aspereza del pavimento, la segunda su rugosidad y la tercera está más asociada con los baches o peladuras que puede haber en el pavimento. Por otra parte, la irregularidad superficial está asociada con ondulaciones de longitudes de onda mayores de 0.5 m.

La microtextura, es necesaria para conseguir una buena adherencia. La macrotextura es necesaria para mantener esa adherencia a altas velocidades o con el pavimento mojado. La macrotextura mejora también la visibilidad con pavimento mojado, elimina o reduce los fenómenos de reflexión de la luz, que tienen lugar en los pavimentos lisos mojados, y mejora la percepción de las marcas viales. Por contra, los pavimentos rugosos, con fuerte macrotextura, producen un mayor desgaste de los neumáticos y suelen resultar ruidosos.

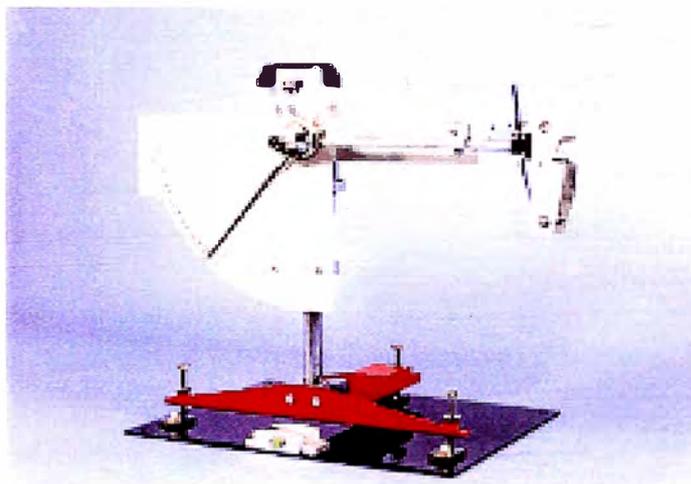
La megatextura y la irregularidad superficial resultan indeseables desde cualquier punto de vista. Inciden negativamente sobre la comodidad y aumentan el ruido de rodadura, los gastos de mantenimiento de los vehículos y los gastos de conservación de la vía.

La resistencia al deslizamiento no evoluciona como otros factores de deterioro, es más, experimenta importantes variaciones estacionales, además de ser afectado por la presencia de agua. A pesar del largo tiempo que la problemática de la fricción ha sido una preocupación principal de los ingenieros viales, aún no existen procedimientos de mediciones absolutos y que se correlacionen de forma efectiva con los parámetros de diseño geométrico.

En la actualidad, los conceptos de fricción y textura se han combinado para formar un indicador denominado IFI (International Friction Index), el cual permitiría determinar en forma relativa la resistencia al deslizamiento para

cualquier velocidad de circulación. Dado que la microtextura del pavimento tiene una mayor incidencia en la fricción neumático– pavimento, se utiliza el Péndulo Británico (Figura N° 2.12) para la evaluación de este factor funcional.

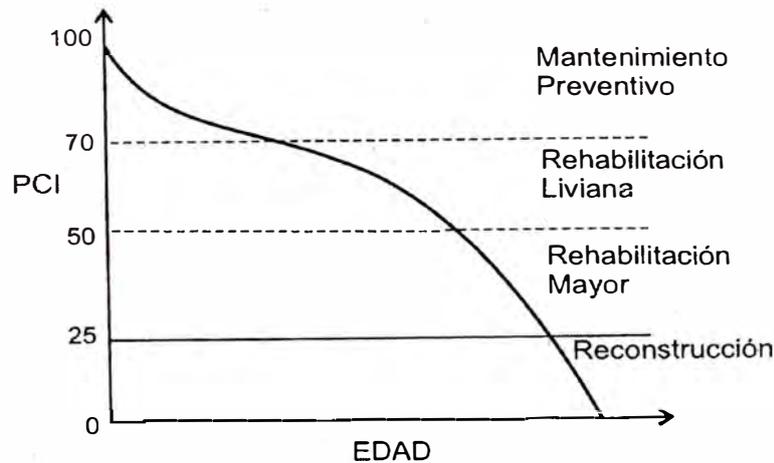
**Figura N° 2.12 Péndulo Británico**



#### **2.2.6. GESTIÓN DE LA CONDICIÓN FUNCIONAL DE LOS PAVIMENTOS.**

Se entiende por condición funcional, los aspectos relacionados con la calidad de servicio y operacional que ofrece un pavimento. Esta condición se asocia con la calidad de rodado y seguridad de los vehículos y se relaciona únicamente con las características superficiales del pavimento, aunque una estructura de pavimento colapsada producirá también problemas funcionales y por lo general de mayor severidad. La gestión de calidad de la condición funcional de un pavimento tiene como objetivo monitorear la evolución de los parámetros funcionales en forma permanente, de modo de poder prevenir que se superen los umbrales especificados y se pueda asignar acciones de conservación que permita restaurar o corregir a las condiciones iniciales de diseño (Figura N° 2.13).

**Figura N° 2.13 Ejemplo de múltiples umbrales**



### a) SINTOMATOLOGÍA DEL DETERIORO.

Junto con diagnosticar y cuantificar el tipo de deterioro es importante poder determinar la sintomatología con que se presentan los diversos tipos de falla.

#### **Deterioro localizado.**

Este tipo de deterioro se presenta de forma puntual o tipo localizado, de forma aleatoria y no responde a ninguna sintomatología en especial. Por lo general su causa es producto de situaciones singulares, relacionadas a fallas locales de calidad, a la variabilidad natural de materiales utilizados, a la variabilidad esperada de los procesos constructivos (espesores, densidades, etc) o a la variabilidad del suelo de fundación. Por lo general este tipo de deterioro es difícil de predecir pero, por lo general relativamente fácil de diagnosticar. Para este tipo de deterioro se debe contar con un plan de contingencia para reparar oportunamente cualquiera sea el tipo de falla que se presente, la cual debe ser correctamente diagnosticada para adoptar una solución de reparación adecuada.

**Cuadro N° 2.6 Clasificación de deterioro y alcance**

Tipo de Defecto	Defecto	Alcance
Agrietamiento	Por fatiga	Capa asfáltica
	En bloque	Capa asfáltica y/o bases cementadas
	De juntas y bordes	Capas asfálticas
	Por deslizamiento	Interfase capa asfáltica con capa inferior
	Por deslizamiento	Terraplén
	De Reflexión	Capa asfáltica
	Transversales	Capa asfáltica y/o bases cementadas
Deformaciones	Deformación mezcla asfáltica	Capa asfáltica
	Deformación de base o subbase por compactación	Capa asfáltica y base
	Deformación subrasante por fatiga	Capa asfáltica, base y subrasante
	Deformación subrasante tensión admisible	Capa asfáltica, base y subrasante
Pérdida de material	Baches	Capa asfáltica y/o base y/o subrasante
	Pérdida de agregado	Capa asfáltica
	Pérdida asfalto	Capa asfáltica
Defecto Superficial	Agregado pulido	Capa asfáltica
	Exudación	Capa asfáltica

Fuente: Boletín Técnico N°6, Filosofía y Conceptos para la Gestión de Mantenimiento de Pavimentos Asfálticos, Instituto Chileno del Asfalto

### **Deterioro generalizado.**

El pavimento presenta una sintomatología muy repetida, la cual, dependiendo del tipo de falla, se puede manifestar en forma continua o discreta, pero siempre en forma repetitiva y con un patrón similar a lo largo del proyecto. Este tipo de deterioro por lo general es más fácil de diagnosticar y cuantificar, pero según la intensidad que éste presente al momento de la evaluación, puede resultar más difícil poder aislar la causa principal que dio origen al deterioro.

### **b) MANTENIMIENTO: ACCIONES DE REPARACIÓN, CONSERVACIÓN Y REHABILITACIÓN.**

El mantenimiento de cualquier tipo de obra en servicio en general, se realiza a través de cuatro niveles de acción: (a) reparaciones oportunas por sucesos imprevistos no esperados, (b) conservación programada para mantener la calidad de la obra y reducir su tasa de deterioro por su uso normal, (c)

rehabilitación para restaurar la obra a través del reemplazos, recambios o refuerzos de una proporción importante de esta y, (d) reemplazo o reconstrucción.

El Ministerio de Transporte y Comunicaciones define tres tipos de acciones de conservación (Conservación Rutinaria, Periódica y Diferida), las cuales no sólo se refieren a las acciones de conservación de pavimentos, sino que además incluye la conservación relacionada a todos los elementos anexos de la infraestructura vial (saneamiento, señalización, defensas, etc.).

Desde la perspectiva del mantenimiento de pavimento, básicamente, se consideran dos tipos acciones: Conservación y Rehabilitación. La diferencia entre una acción de Conservación y una de Rehabilitación radica en que ésta última necesariamente recupera o aporta capacidad estructural al pavimento.

Las Figuras N° 2.14 y 2.15, muestran la curva de deterioro del pavimento (línea llena) y la diferencia entre una acción de Conservación y Rehabilitación, así como la curva de vida remanente de un pavimento cuando se efectúa un tratamiento de conservación o mantenimiento. Las técnicas de Conservación actúan principalmente a nivel superficial y en algunos casos disminuyendo significativamente la tasa de deterioro del pavimento, prolongando su vida útil. La Conservación del pavimento debe realizarse en una etapa temprana de deterioro, mientras la Rehabilitación se aplica una vez que la condición estructural es media, regular o mala. Esta última decisión dependerá del tipo de técnica de rehabilitación que se desea o pueda utilizarse.

**Figura N° 2.14 Conservación vs Rehabilitación**

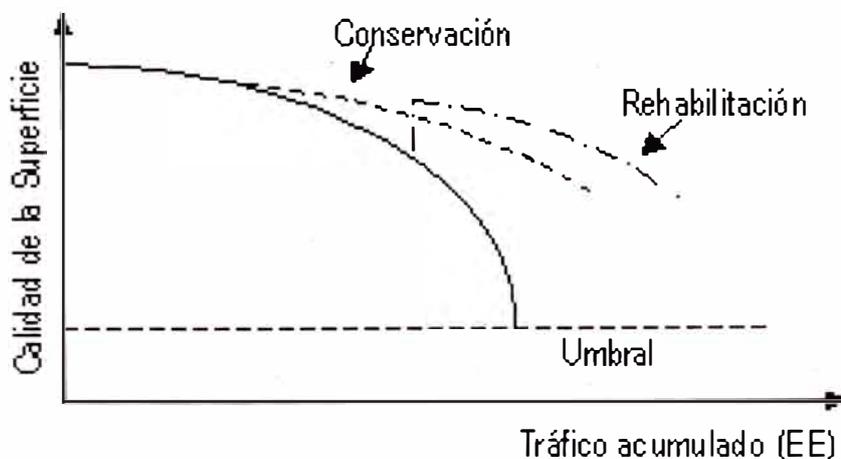
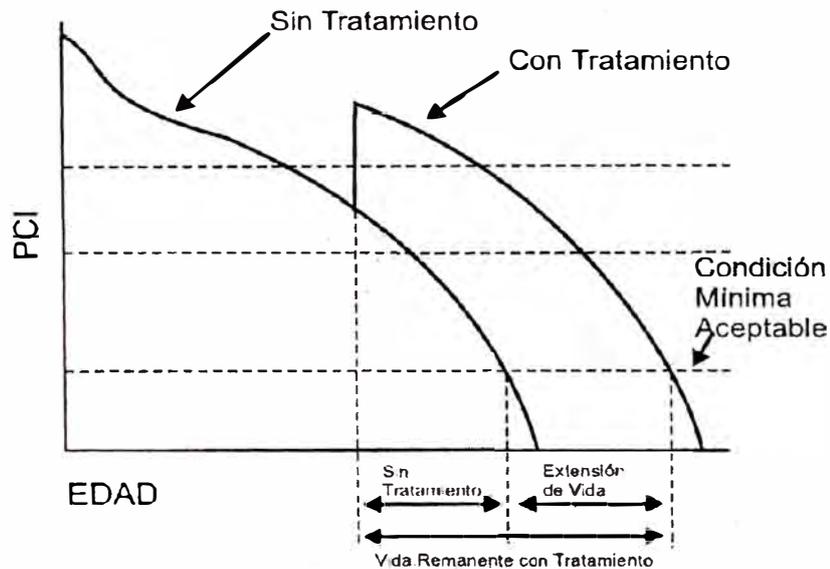


Figura N° 2.15 Vida remanente de servicio con y sin tratamiento



Eventualmente, un programa de gestión para la Conservación y Rehabilitación de pavimentos debe considerar planes de contingencia para la reparación de fallas localizadas producto de la variabilidad natural de los procesos de construcción o producto de errores constructivos no detectados en la etapa de construcción o producto de eventualidades asociadas al clima o la mala utilización de infraestructura. Este tipo de acciones se denomina simplemente Reparaciones.

El Cuadro N° 2.7, presenta una clasificación general de las distintas técnicas utilizadas en el mantenimiento de pavimentos asfálticos, clasificadas en tres tipos: Reparaciones, Conservación y Rehabilitación.

Los tipos de Reparaciones más recurrentes suelen ser localizadas o puntuales y en general se resuelve con la correcta aplicación de técnicas de bacheo, la cual varía según sea el tipo de estructura que se está reparando y el origen que dio causa al deterioro. Si el modo de falla que se está reparando se presenta de forma sintomática, entonces se puede estar frente a un deterioro prematuro por causas más bien generales que puntuales tales como: errores constructivos, problemas de materiales, problemas de diseño, etc.

Las técnicas de Conservación que se presentan en el Cuadro N° 2.7, por lo general se aplican de forma programada en el tiempo cuando éstas tienen como objetivo restaurar algunas de las condiciones funcionales del pavimento. Esto

requiere, por lo tanto, conocer el modelo de deterioro de las condiciones funcionales especificadas. En general es posible modelar la evolución del IRI y de la grietas, pero otras condiciones funcionales son más difícil predecir, tales como la resistencia al patinaje, ahuellamiento, ruido, llovizna, y otros. Las técnicas de Conservación presentadas en el Cuadro N° 2.7, pueden ser opciones para algunos casos de deterioro funcional pero, en general, cada una encuentra su aplicación óptima según las condiciones específicas de deterioro y del proyecto.

Las técnicas de Rehabilitación se pueden programar en el tiempo, sin embargo, el rango de aplicación óptima de cada una de ellas se traslapan según sea el grado de deterioro estructural y las condiciones estructurales futuras requeridas por el proyecto.

Dado que la aplicación de cualquier técnica de Rehabilitación influye en mayor o menor medida sobre todos los aspectos funcionales del pavimento, es importante planificar la aplicación de éstas haciéndolas coincidir, por ejemplo, con la evolución del IRI o algún otro problema funcional que se esté comenzando a presentar.

Se resumen las recomendaciones del modelo HDM-III (Cuadro N° 2.8). Las operaciones de rutina se realizan periódicamente en forma independiente a las otras operaciones. En general sólo una de las operaciones 1 a 5 se realizan junto con las de rutina (excepto aquellas de parchado).

El deterioro de un pavimento es un proceso que comienza inmediatamente después de su construcción. Las causas del deterioro son las sollicitaciones externas producidas por el tráfico y los agentes climáticos. Sin embargo, la tasa y tipo de deterioro que experimente un pavimento dependen de la intensidad en que se manifiestan las sollicitaciones (tránsito y clima) y de una serie de otros factores del proyecto que actúan en muy diversas combinaciones, entre las cuales las más importantes son: calidad del diseño original, calidad de los materiales y especificaciones técnicas, calidad del proceso constructivo, calidad del control del proceso y políticas de mantenimiento.

La evaluación de pavimentos proporciona información que puede ser utilizada tanto en el diseño como en la gestión de la infraestructura, permitiendo priorizar las actividades de mantenimiento, rehabilitaciones y reconstrucciones. Permite también realizar inventarios del estado y la condición de la red vial, así como

evaluar los costos adicionales en los cuales pueden incurrir los usuarios por el uso de la carretera, lo cual es parte de la evaluación social de todo proyecto.

**Cuadro N° 2.7 Tipos de Acciones de Conservación y Rehabilitación**

Tipo de Técnica	Técnica	Observaciones
<b>Reparación</b> (Conservación Periódica)	Bacheo	
	Parche de Arena	Para corregir sectores exudados
	Sellado de Grietas Localizadas	No aplicable en caso de sintomatología generalizada
	Reemplazos Puntuales	
<b>Conservación</b>	Sellado de Grietas	
	Sello Neblina	
	Sello de Agregados	
	Lechada Asfáltica	
	Micropavimento	
<b>Rehabilitación</b>	<b>Rehabilitación Funcional</b>	
	Cepillado	
	Fresado Superficial + Tratamiento de Protección	
	Recapado Funcional	Recapado de bajo espesor (< 5 cm) para corregir serviciabilidad
	<b>Rehabilitación Estructural</b>	
	Recapado directo	Recapado directo sobre pavimento existente
	Recapado con tratamiento complementario	Ejemplo: Empleo de grillas poliméricas de refuerzo
	Fresado y Recapado	Fresado y reemplazo solo de capa asfáltica
	Reciclado Superficial	Reciclado solo carpeta asfáltica (*)
	Reciclado Profundo	Reciclado carpeta asfáltica y una proporción de la base (*)

(\*) Todas las técnicas de reciclado conllevan la construcción de una nueva superficie de rodado del tipo superficial (sello) o estructural (carpeta asfáltica)

Fuente: Boletín Técnico N°6, Filosofía y Conceptos para la Gestión de Mantenimiento de Pavimentos Asfálticos, Instituto Chileno del Asfalto

Por estas razones, conocer la regularidad superficial del pavimento en cualquier momento desde el inicio de su periodo de servicio o de vida útil, permitirá definir las acciones de conservación o rehabilitación necesarias en el momento pertinente.

Un aspecto a tomarse en cuenta a la hora de realizar la gestión de una carretera es el de las políticas de conservación, mantenimiento, rehabilitación y reconstrucción. La selección de una adecuada política va de la mano con el adecuado análisis económico, el cual por lo general sólo considera el costo de los materiales y deja por fuera el costo o los gastos en que incurre el usuario por

la mala condición de tránsito, lo cual es parte de la evaluación social de todo proyecto.

**Cuadro N° 2.8 Operaciones de Rutina HDM-III**

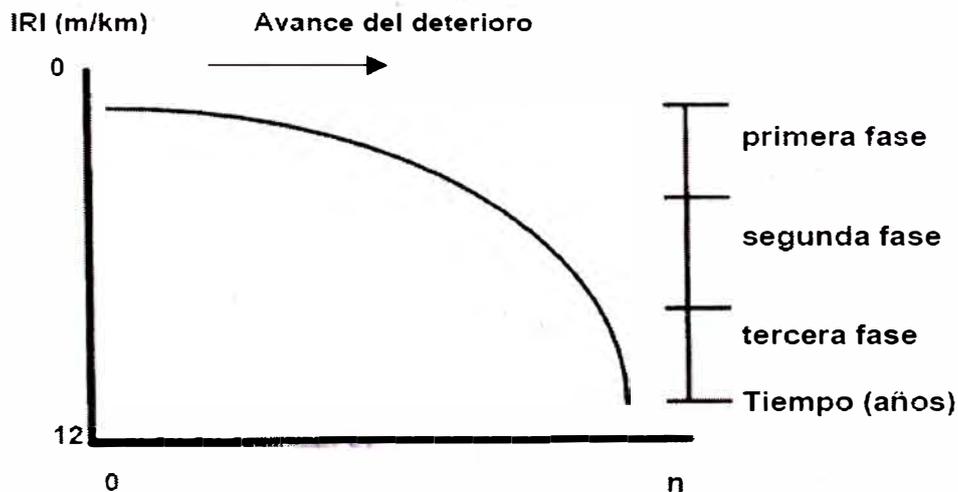
Jerarquía y Clase	Frecuencia	Criterio de intervención	Tipo de opciones	Efectos (cobertura)
6. Rutina (varios)	Anual	Ninguno	Ninguno	Ninguno
5. Parchado	Periódico según Criterio (% fijo, límite de área)	1. Programado (límite de área dañada). 2. Condición. a. Toda la superficie. b. Agujeros.	a. Parchado de superficie.	Daños y rugosidad.
4. Tratamiento preventivo	Periódico, según Criterio.	1. Programado (intervalo fijo). 2. Condición (bajo agrietamiento, pérdida de material)	a. Sellado por rociado. b. Rejuvenecimiento. c. Sellado de capa delgada con mezcla semilíquida (mortero asfáltico)	Vida. Daños bajos y medios. Resellado.
3. Resellado	Periódico, según Criterio (tipo, espesor)	1. Programado (intervalo fijo) 2. Condición (daños) 3. Condición (rugosidad)	a. Tratamiento de superficie (reposición de sellado) b. Sellado de capa delgada c. Sellado de reposición.	Tipo de superficie, todos los daños, rugosidad menor.
2. Cobertura delgada	Periódico, según Criterio (tipo, espesor).	1. Programado (intervalo fijo). 2. Condición (rugosidad).	a. Concreto asfáltico. b. Asfalto mezclado en frío. c. Concreto asfáltico de auto nivel.	Tipo de superficie, daños profundos, marcas, rugosidad, resistencia.
1. Reconstrucción	Periódico, según Criterio (nuevo pavimento).	1. Programado (edad fija). 2. Condición (rugosidad).	Cualquier superficie y base, resistencia.	Todas las características del pavimento.

Fuente: The Highway Design and Maintenance Standards Model. Volume 1. Description of the HDM-III Model.

El comportamiento típico de la condición superficial respecto al tiempo se puede representar en la Figura 2.16, en la que se observa que a partir de un cierto nivel de rugosidad del camino, los factores que afectan al mismo son el tránsito, el medio ambiente, etc., que ocasionan la disminución de la calidad superficial. Esta disminución no es lineal sino que se puede dividir en tres etapas, donde la primera tiene un deterioro poco significativo en los primeros años; la segunda

presenta un deterioro más acusado que en la primera, y requiere comenzar a programar un mantenimiento para no dejar avanzar el deterioro, la tercera significa una etapa de deterioro acelerado, ya que en pocos años el nivel de servicio cae de forma importante, con lo que va a llegar a un costo significativa de mantenimiento del camino y, como límite, puede ser necesaria una reconstrucción total del mismo.

Figura 2.16 Gráfica típica del avance del deterioro de un camino respecto al tiempo



### 2.2.7. INDICADORES DE RENTABILIDAD.

Para decidir la conveniencia de realizar un proyecto de inversión se puede utilizar diversos indicadores de rentabilidad:

#### a) VALOR ACTUALIZADO NETO (VAN).

Es igual a la diferencia entre los flujos de beneficios y costos del proyecto, actualizados a la tasa de descuento pertinente.

#### b) RAZÓN BENEFICIO - COSTO (B/C).

Es igual a la razón entre los flujos de beneficios y costos del proyecto, actualizados a la tasa de descuento pertinente.

### c) TASA INTERNA DE RETORNO (TIR).

Es aquella tasa de descuento que iguala los flujos actualizados de beneficios y costos del proyecto, lo que es lo mismo, aquella tasa con la cual se hace nulo el valor actual neto.

Para que un proyecto sea rentable, los valores de los indicadores deben satisfacer las siguientes condiciones:

$$\boxed{VAN = 0} \quad \boxed{B / C = 1} \quad \boxed{TIR = r}$$

Donde  $r$  es la tasa de descuento pertinente.

## 2.2.8. PREPARACIÓN DE PROYECTOS.

### a) RECOPIACIÓN DE ANTECEDENTES.

Esta tarea se refiere a la recopilación de antecedentes relacionados con el estado y características de los pavimentos, así como también lo relativo a información de flujos. Dichos antecedentes son básicamente históricos. La información permitirá tener antecedentes para hacer un diagnóstico preliminar, cuya precisión dependerá de la calidad de la información disponible.

### b) SELECCIÓN PRELIMINAR DE TRAMOS.

Se deben preseleccionar los tramos que requieren de conservación en forma prioritaria y que parecen ser atractivos para el proceso presupuestario del año siguiente. En los casos que existan abundante información relacionada con la materia, dicha preselección será bastante precisa. Por el contrario, si la información es insuficiente, la preselección será más bien intuitiva.

### c) RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN EN TRAMOS PRESELECCIONADOS.

Esta labor está orientada a determinar ciertos parámetros (niveles de tránsito y estado del pavimento), con una metodología común de tal modo que posteriormente se pueda analizar distintas opciones de conservación, en base a la situación existente.

### d) EVALUACIÓN DE TRAMOS PRESELECCIONADOS.

Evaluación de varias opciones de conservación y mantenimiento para los tramos preseleccionados, con el objeto de encontrar la más adecuada para cada uno de ellos. Es importante destacar que los resultados deben ser comparables, lo cual

obliga a utilizar una metodología precisa y común. En base a lo anterior, es posible priorizarlos en función de sus indicadores de rentabilidad.

#### **e) FORMULACIÓN DEL PROGRAMA DE CONSERVACIÓN.**

Esta tarea se hace en función de los resultados obtenidos al evaluar cada proyecto de acuerdo a lo indicado. Es relevante además hacer un análisis de dichos resultados para compatibilizar las políticas entre tramos consecutivos y definir claramente las especificaciones técnicas del programa definitivo.

### **2.3. CÁLCULOS DE LA RUGOSIDAD Y SERVICIABILIDAD.**

#### **2.3.1. METODOLOGÍA PARA LA DETERMINACIÓN DE LA RUGOSIDAD.**

##### **a) CÁLCULO DEL RANGO "D".**

Para la generación de los 200 datos que se requieren para determinar un valor de rugosidad, se emplea el formato indicado en la Figura N° 2.17, el cual presenta una escala arbitraria de 50 unidades, el mismo que es colocada sobre el tablero del equipo MERLIN, 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), se demostrará que el pavimento tiene un perfil con múltiples inflexiones (rugosidad elevada).

RUGOSIMETRO MERLIN	
1 DIVISION = 5 mm	<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;"> <div style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">DEPRESIONES</div> <div style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">ELEVACIONES</div> </div>
	60
	49
	48
	47
	46
	45
	44
	43
	42
	41
	40
	39
	38
	37
	36
	35
	34
	33
	32
	31
	30
	29
	28
	27
	26
	25
	24
	23
	22
	21
	20
	19
	18
	17
	16
	15
	14
	13
	12
	11
	10
	9
	8
	7
	6
	5
	4
	3
	2
	1

**Figura 2.17 Formato de Campo**

La dispersión de los datos obtenidos con el equipo MERLIN se analiza calculando la distribución de frecuencias de las lecturas o posiciones adoptadas por el puntero, la cuál puede expresarse, para fines didácticos, en forma de histograma como se aprecia en la Figura N° 2.18.

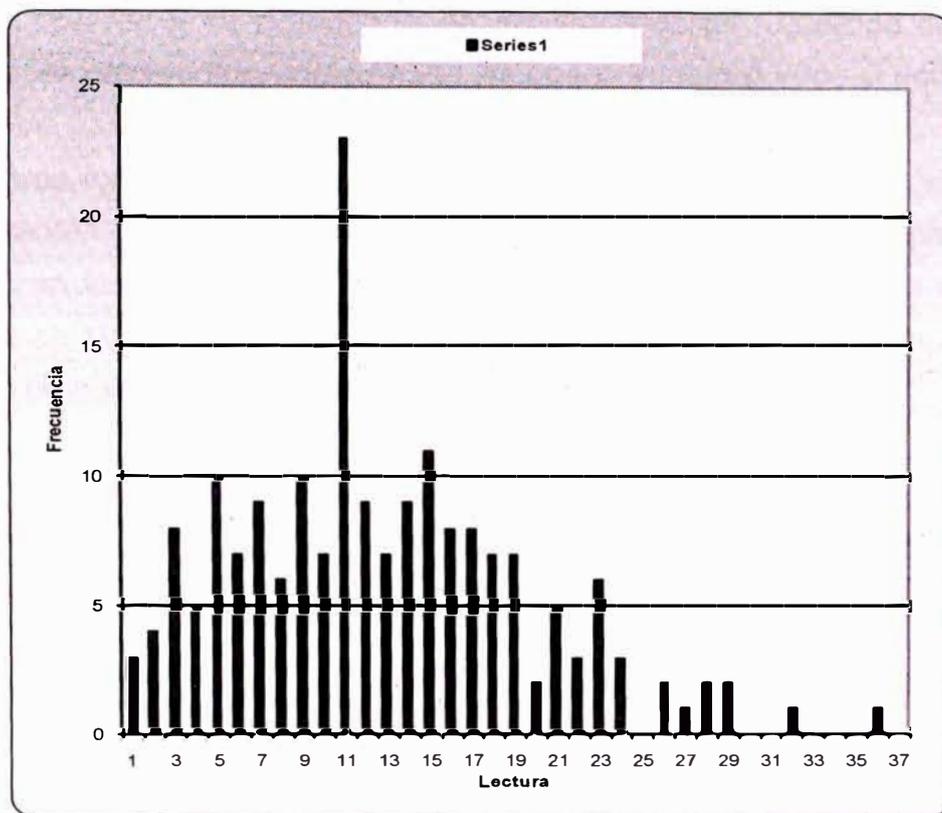
Posteriormente se establece el rango (D) de los valores agrupados en intervalos de frecuencia, luego de descartarse el 10% de datos que correspondan a posiciones del puntero poco representativas o erráticas. En la práctica se elimina 5% del extremo inferior del histograma y 5% del extremo superior.

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° 2.18 por ejemplo, en el extremo superior del histograma, se tiene que por efecto del descarte de los 9.3 datos se eliminan los intervalos 1 y, 2, y 2.3 datos de los ocho que pertenecen al intervalo 3, en consecuencia resulta una unidad fraccionada igual a  $5.7/8=0.71$ .

Caso similar sucede en el extremo inferior del histograma, en donde resulta una unidad fraccionada igual a  $2.7/3=0.90$ . Se tiene en consecuencia un rango igual a  $0.71+20+0.90=21.61$  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 ( $21.61 \times 5 \text{ mm} = 108.05 \text{ mm}$ ). El valor D es la rugosidad del pavimento en “unidades MERLIN”.

Figura 2.18 Histograma y determinación de “D”, IRI y PSI



Fuente: Elaboración propia

### b) CORRELACIONES D VERSUS IRI.

Para relacionar la rugosidad determinada con el MERLIN y 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:

- Cuando  $2.4 < \text{IRI} < 15.9$ , entonces  $\text{IRI} = 0.593 + 0.0471 D$  (1)

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

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 por el Ing. Pablo del Águila de acuerdo a su experiencia en evaluaciones de rugosidad en más de 3,000 Km. de pavimentos, comprobándose que la ecuación original del TRRL no era aplicable para el caso de pavimentos asfálticos nuevos o poco deformados.

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 el MERLIN. M.A. Cundill del TRRL estableció en 1996, para el caso de superficies con macadam de penetración de extendido manual, la siguiente expresión:

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

**c) 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, es decir se procede a calibrar el equipo, en donde 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 (Ver Fotografía N° 2.2), utilizando un calibrador que permita una aproximación al décimo de mm. Para tener una buena medida del espesor se considerara el valor promedio

de 4 medidas diametralmente opuestas. Por ejemplo: el espesor medido es 6.47 mm.

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.



**Fotografía 2.2**

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:  $6.47 \times 10 = 64.7$  mm), lo que significa, considerando que cada casillero mide 5 mm, que el puntero se ubicará aproximadamente en el casillero 13, 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:

$$\text{Factor de corrección} = 10 T / S \quad (4)$$

Donde,

T : Espesor de la pastilla (mm).

S : Variación de lectura

Se procede de la siguiente manera:

$$\text{F.C.} = (10 \times T) / [(S) \times 5] \quad (5)$$

Por ejemplo:

Si la posición inicial del puntero fue 25 y la final fue 10. Entonces el Factor de corrección será:

$$F.C.= (6.47 \times 10) / [(25-10) \times 5] = 0.862$$

#### **d) VARIACIÓN DE RELACIÓN DE BRAZOS.**

Para facilidad del trabajo, el equipo MERLIN admite dos posiciones para el patín del brazo pivotante.

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

Para este caso el factor de relación de brazos es R.B.=1.

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 este caso el factor de relación de brazos será R.B.=2.

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.

#### **e) CÁLCULO DEL RANGO "D" CORREGIDO.**

El valor D calculado en la sección II.3.1.2 deberá modificarse considerando el Factor de corrección (F.C.=0.862) y la Relación de Brazos (RB=1). El valor D corregido será  $108.05\text{mm} \times 0.862 \times 1 = 93.1391 \text{ mm}$ . Este valor llevado a condiciones estándar es la rugosidad en "unidades MERLIN".

#### **f) DETERMINACIÓN DE LA RUGOSIDAD EN LA ESCALA DEL IRI.**

Para transformar la rugosidad de unidades MERLIN a la escala del IRI, se usa las expresiones (1) y (2). Aplicando la expresión para el caso de  $IRI > 2.5$ , se obtiene finalmente, para el ejemplo seguido, una rugosidad igual a 4.97 m/Km.

### **2.4. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS.**

Para el caso de pavimentos asfálticos nuevos, se consideró que el acabado debería ser tal que la Serviciabilidad de la vía estuviese comprendida en el rango superior de la escala del PSI, es decir, correspondiente a una Transitabilidad Muy Buena (PSI entre 4 y 5). Tomando como base un PSI igual a 4, que es un valor que se supuso podía ser alcanzado fácilmente mediante procesos

constructivos convencionales, se estableció utilizando la expresión de Sayers, que relaciona el IRI con el PSI, que la rugosidad que debería solicitar la especificación era de 1.23 m/km.

Fue opinión del Ministerio que tal valor era demasiado exigente y que, por tener la especificación un carácter experimental, debería establecerse un límite algo mayor, pero siempre correspondiente a una Transitabilidad en el rango de Buena (PSI entre 3 y 4). Así se estableció como un límite adecuado, para pavimentos totalmente nuevos, una rugosidad media máxima de 1.5 m/km.

Para el caso de pavimentos recapados, se consideró que la rugosidad de la nueva carpeta asfáltica dependería del grado de deformación de la carpeta antigua existente.

Tomando en consideración que ya existía el criterio de proyectar recapados sólo para estructuras existentes con rugosidad no mayor de 3 m/km, se estableció como límite de rugosidad, para el caso de recapados, un valor de 2m/km, el cual equivale a un PSI de 3.5, es decir, el valor medio en el rango de Transitabilidad Buena.

Después de transcurridos más de 2 años de elaboradas las primeras especificaciones técnicas, período durante el cual se había estudiado, controlado y supervisado la rugosidad de más de 2,000 km de carreteras, el Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú, a través del Proyecto Especial de Rehabilitación de la Infraestructura de Transportes (PERT), dio a conocer las nuevas especificaciones técnicas para rugosidad (Octubre 1995), las cuales se incluyeron en las Normas Generales EG-2000 como parte del control para la recepción de las obras.

De acuerdo al documento publicado, la rugosidad de los pavimentos se deberá controlar calculando un parámetro denominado IRI característico (IRI<sub>c</sub>).

$$IRI_{car} = IRI_{prom} + 1.645 \times S \quad (7)$$

Donde,

IRI<sub>car</sub> = IRI característico

IRI<sub>prom</sub> : IRI promedio

S : Desviación estándar

De acuerdo al factor de correlación empleado (K=1.645), 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:

- Para pavimentos asfálticos nuevos, el  $IRI_{car}$  deberá ser menor o igual a 2.0 m/Km.
- Para pavimentos con recado asfáltico, el  $IRI_{car}$  deberá ser menor o igual a 2.5 m/Km.
- Para pavimentos con sellado asfáltico, el  $IRI_{car}$  deberá ser menor o igual a 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.

A continuación presentamos un cuadro resumen con especificaciones técnicas de otros países referidas al recibimiento de una vía de acuerdo al nivel de rugosidad que presenta.

**Cuadro 2.9 Requerimientos de IRI según el tipo de pavimentos**

INSTITUCIÓN PÚBLICA	REQUERIMIENTOS DE IRI SEGÚN TIPO DE PAVIMENTO O SUPERFICIE																	
	Procedimiento General	Asfáltico	Hidráulico	Tratamientos Superficiales														
Ministerio de Obras Públicas de Chile <sup>1</sup>	IRI obtenido en 5 tramos consecutivos de 200 m de secciones homogéneas	Promedio de 5 tramos $\leq 2.0$ m/km Promedio Individual $\leq 2.8$ m/km		Promedio de 5 tramos $\leq 3.0$ m/km Promedio Individual $\leq 4.0$ m/km														
Ministerio de Fomento de España <sup>2</sup>	IRI obtenido en tramos de 100 m	IRI $\leq 1.5$ m/km, en el 50% de los tramos del proyecto IRI $\leq 2$ m/km, en el 80% de los tramos del proyecto IRI $\leq 2.5$ m/km, en el 100 % de los tramos del proyecto																
Estados Unidos (Wisconsin Department of Transportation, WisDOT) <sup>2</sup>	IRI obtenido en tramos de 1.609 km (1 milla).	<table border="1"> <thead> <tr> <th>IRI m/km</th> <th>Tiempo</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>&lt;1.1</td> <td>Pav. Nuevo</td> </tr> <tr> <td>&lt;1.17</td> <td>1 Año</td> </tr> <tr> <td>&lt;1.29</td> <td>2 Años</td> </tr> <tr> <td>&lt;1.33</td> <td>3 Años</td> </tr> <tr> <td>&lt;1.37</td> <td>4 Años</td> </tr> <tr> <td>&lt;1.45</td> <td>5 Años</td> </tr> </tbody> </table>	IRI m/km	Tiempo	<1.1	Pav. Nuevo	<1.17	1 Año	<1.29	2 Años	<1.33	3 Años	<1.37	4 Años	<1.45	5 Años	-----	-----
IRI m/km	Tiempo																	
<1.1	Pav. Nuevo																	
<1.17	1 Año																	
<1.29	2 Años																	
<1.33	3 Años																	
<1.37	4 Años																	
<1.45	5 Años																	
Canada (Québec) <sup>2</sup>	IRI obtenido en tramos de 100 m	- IRI $\leq 1.2$ m/km en 70% de datos - IRI $\leq 1.4$ m/km en 100 % de datos	-----	-----														
Suecia <sup>2</sup>	IRI en tramos de 20 m	IRI $\leq 1.4$ m/km		-----														
	IRI en tramos de 200 m	IRI $\leq 2.4$ m/km		-----														

Fuente: Informe Técnico, Convenio UNI-PROVIAS

## CAPITULO III: PROGRAMA DE CAMPO.

### 3.1. DATOS PRELIMINARES DE CAMPO.

La evaluación de la rugosidad del tramo Km. 118+000 - Km. 120+000 con equipo MERLIN, se efectuó en su totalidad (2 Km.), esto por disposición de la Dirección de Escuela Profesional (DEP-FIC), en una superficie con tratamiento superficial monocapa. El ensayo con el equipo MERLIN se realizó en una sola pasada, sobre la huella externa del tráfico existente en sentido regresivo.

Antes y después de la ejecución del ensayo con el equipo MERLIN se anotaron los siguientes datos:

- Nombre de la zona o lugar : Distrito de Yauyos
- Fecha : 15 de Mayo 2010
- Tipo de superficie : Monocapa
- Punto de partida : 120+000
- Punto de término : 118+000
- Distancia de huella al borde de calzada : 1.00 m
- Ancho de Calzada : 3.50 m - 5.50 m
- Altitud : 2150 msnm (del perfil)
- Temperatura : 25°C (temperatura ambiente)
- Hora de Inicio del ensayo : 8:30 am
- Hora de término del ensayo : 10:30 am
- Rendimiento (1 pasada) : 1 km/hora
- Personal : Un (01) operador de MERLIN  
Un (01) anotador  
Dos (02) vigías de seguridad
- Equipos : Un (01) equipo MERLIN  
Dos (02) camionetas
- Formatos : MERLIN de Campo

### 3.2. EJECUCIÓN DE ENSAYOS.

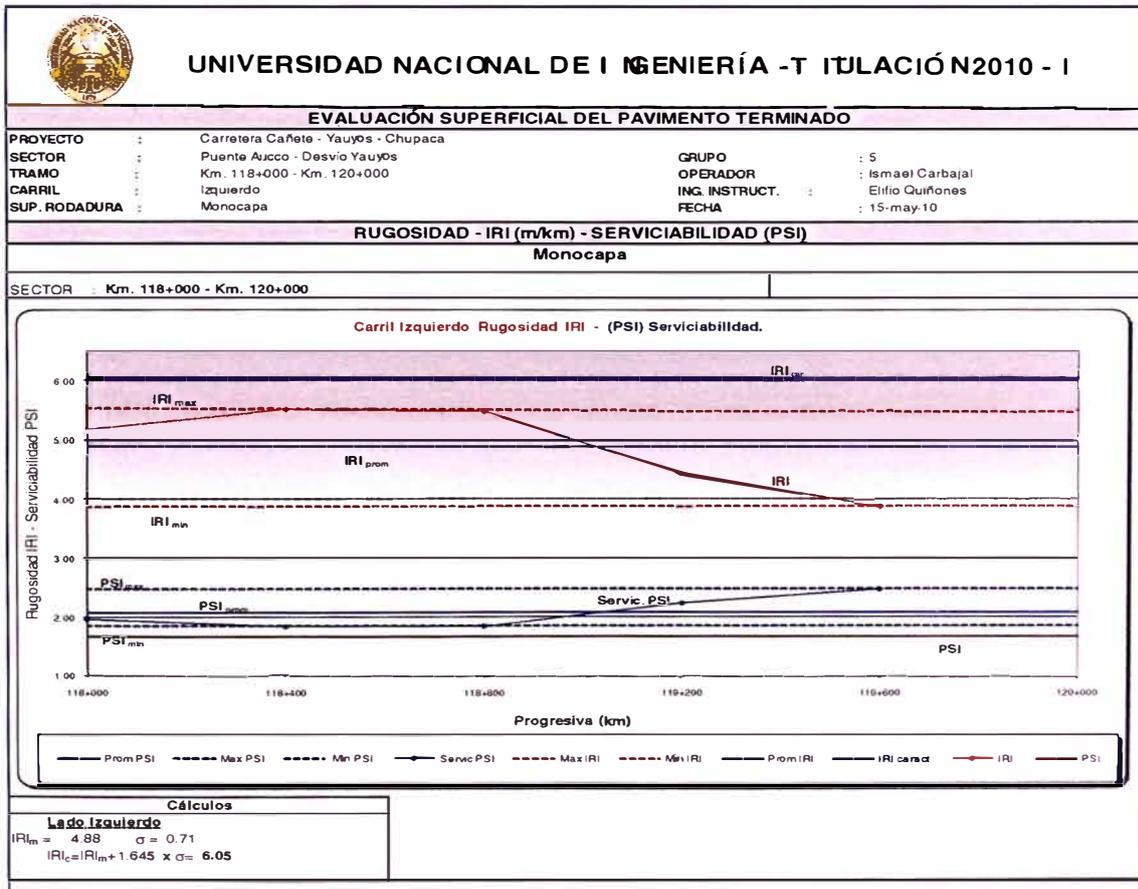
A continuación se presentan el cuadro resumen y gráficos de los valores obtenidos de IRI y PSI en el tramo comprendido entre las progresivas 118+000 al Km 120+000. Los registros de los ensayos se encuentran en el Anexo A.

Cuadro 3.1 Resumen de Rugosidad y Serviabilidad Tramo Km 118+000 – Km 120+000

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA - TITULACIÓN 2010 - I																																																																																																	
EVALUACIÓN SUPERFICIAL DEL PAVIMENTO TERMINADO																																																																																																	
PROYECTO : Carretera Cañete - Yauyos - Chupaca																																																																																																	
SECTOR : Puente Aucco - Desvío Yauyos				GRUPO : 5																																																																																													
TRAMO : Km. 118+000 - Km. 120+000				OPERA : Ismael Carbajal																																																																																													
CARRIL : Izquierdo				ING. INSTRUCTOCTOR : Elifio Quiñones																																																																																													
SUP. RODADURA: Monocapa				FECHA : 15-may-10																																																																																													
MEDICIÓN DE LA RUGOSIDAD																																																																																																	
N°	FECHA DE ENSAYO	PROGRESIVA		LONGITUD m.	SUPERFICIE DE RODADURA	Lado Derecho			Lado Izquierdo																																																																																								
		INICIO	FINAL			Serviciabilidad		Serviciabilidad																																																																																									
						Rango "D"	IRI	PSI	Rango "D"	IRI	PSI																																																																																						
1	15-may-10	118+000	118+400	400	Monocapa				96 436	5 14	2 0																																																																																						
2	15-may-10	118+400	118+800	400	Monocapa				104 030	5 49	1 8																																																																																						
3	15-may-10	118+800	119+200	400	Monocapa				103 698	5 48	1 8																																																																																						
4	15-may-10	119+200	119+600	400	Monocapa				81 409	4 43	2 2																																																																																						
5	15-may-10	119+600	120+000	400	Monocapa				69 545	3 87	2 5																																																																																						
<table border="1"> <tr> <td>Numero de Ensayo</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>5</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td>Media</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>4.88</td> <td>2.073</td> </tr> <tr> <td>Desviación Estandar</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>0.712</td> <td>0.276</td> </tr> <tr> <td>Coefficiente de Variación</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>14.6</td> <td>13.3</td> </tr> <tr> <td>IRI<sub>m</sub></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>6.05</td> <td></td> </tr> <tr> <td>PSI</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>1.7</td> </tr> <tr> <td>Máximo</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>5.49</td> <td>2.5</td> </tr> <tr> <td>Mínimo</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>3.87</td> <td>1.8</td> </tr> </table>										Numero de Ensayo									5	5	Media									4.88	2.073	Desviación Estandar									0.712	0.276	Coefficiente de Variación									14.6	13.3	IRI <sub>m</sub>									6.05		PSI										1.7	Máximo									5.49	2.5	Mínimo									3.87	1.8
Numero de Ensayo									5	5																																																																																							
Media									4.88	2.073																																																																																							
Desviación Estandar									0.712	0.276																																																																																							
Coefficiente de Variación									14.6	13.3																																																																																							
IRI <sub>m</sub>									6.05																																																																																								
PSI										1.7																																																																																							
Máximo									5.49	2.5																																																																																							
Mínimo									3.87	1.8																																																																																							

Fuente: Elaboración propia

Figura 3.1 Rugosidad y Serviabilidad Tramo Km 118+000 – Km 120+000



Fuente: Elaboración propia

### 3.2.1. DETERMINACIÓN DE LA RUGOSIDAD EN EL TRAMO KM. 118+000 – KM. 120+000 CON SUPERFICIE DE MONOCAPA.

#### a) CORRELACIONES D VERSUS IRI.

La ecuación de correlación a usar para el cálculo del IRI será la siguiente:

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

Donde:

IRI: Índice de Rugosidad Internacional

D : Rugosidad en mm, obtenida con el MERLIN.

#### b) CÁLCULO DEL RANGO "D".

De la evaluación de campo sobre una superficie de rodadura de monocapa, usando el equipo MERLIN se tuvieron las lecturas indicadas en los Cuadros N° 33.2, 3.3, 3.4 y 3.5. En los Cuadros N° 3.6, 3.7, 3.8, 3.9 y 3.10, se tiene el descarte del 5% de los datos del extremo inferior del histograma. Caso similar sucede en el extremo superior del histograma, en donde se elimina el 5% de los datos.

$$D = R \times 5\text{mm} \quad (2)$$

Donde:

R : Rango en unidades de escala

Valores:

R<sub>1</sub>: 21.61

R<sub>2</sub>: 23.31

R<sub>3</sub>: 23.24

R<sub>4</sub>: 18.23

R<sub>5</sub>: 15.58

Por lo tanto:  $D = 21.61 \times 5\text{mm} = 108.05\text{mm} \quad (3)$

$$D = 23.31 \times 5\text{mm} = 116.55\text{mm} \quad (4)$$

$$D = 23.24 \times 5\text{mm} = 116.20\text{mm} \quad (5)$$

$$D = 18.23 \times 5\text{mm} = 91.15\text{mm} \quad (6)$$

$$D = 15.58 \times 5\text{mm} = 77.90 \text{ mm} \quad (7)$$

**c) FACTOR DE CORRECCIÓN PARA EL AJUSTE DE "D".**

$$F.C. = (Tx10)/[(Li-Lf)x5] \quad (8)$$

Donde:

T : Espesor de la pastilla

LI : Posición inicial del puntero

LF : Posición final del puntero

Valores:

T : 6.47 mm

LI :25

LF :10.5

Entonces el Factor de Corrección (F.E.) será:

$$F.C. = (6.47 \times 10) / [(25-10.5) \times 5] = 0.893 \quad (9)$$

Datos adicionales anotados:

Lugar de Calibración : km. 120+000

Fecha de Calibración : 15 de Mayo 2010

Altura : 2150 msnm

Hora de calibración : 8:25 am

**d) VARIACIÓN DE RELACIÓN DE BRAZOS.**

El equipo MERLIN utilizado para la toma de datos tiene una relación de brazos de 1 a 10. Por lo tanto:

$$R.B. = 1 \quad (10)$$

**e) CÁLCULO DEL RANGO "D" CORREGIDO.**

$$D_{\text{Corregido}} = D \times FC \times RB \quad (11)$$

Donde:

D : Rango D en mm

FC : Factor de Corrección.

RB : Variación de relación de brazos

Reemplazando (3), (4), (5), (6), (7), (9) y (10) en (11), el rango "D" corregido será:

$$D_{1\text{corregido}} = 108.05\text{mm} \times 0.892 \times 1.0 = 96.436\text{mm} \quad (12)$$

$$D_{2\text{corregido}} = 116.55\text{mm} \times 0.892 \times 1.0 = 104.030\text{mm} \quad (13)$$

$$D_{3\text{corregido}} = 116.20\text{mm} \times 0.892 \times 1.0 = 103.698\text{mm} \quad (14)$$

$$D_{4\text{corregido}} = 91.15\text{mm} \times 0.892 \times 1.0 = 81.409\text{mm} \quad (15)$$

$$D_{5\text{corregido}} = 77.90\text{mm} \times 0.892 \times 1.0 = 69.545\text{mm} \quad (16)$$

#### f) RUGOSIDAD EN LA ESCALA IRI.

Finalmente reemplazando (12), (13), (14), (15) y (16) en (1) se tiene:

$$IRI_1 = 5.14 \text{ m/Km.} \quad (17)$$

$$IRI_2 = 5.49 \text{ m/Km.} \quad (18)$$

$$IRI_3 = 5.48 \text{ m/Km.} \quad (19)$$

$$IRI_4 = 4.43 \text{ m/Km.} \quad (20)$$

$$IRI_5 = 3.87 \text{ m/Km.} \quad (21)$$

Por lo tanto en el tramo designado (Km. 118+000 - Km. 120+000) en sentido regresivo, la rugosidad resultó tener un valor  $IRI_{\text{car}}=6.05 \text{ m/km}$ .

#### 3.2.2. DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE SERVICIABILIDAD PRESENTE.

Para calcular el valor del PSI se aplica la ecuación de la sección II.3.3:

$$R = 5.5 \text{ LN } (5.0/\text{PSI}) \pm 25\% , \text{ para } R < 12 \quad (22)$$

Donde:

R= Rugosidad en IRI

PSI= índice de Serviabilidad Presente

Reemplazando (17), (18), (19), (20) y (21) en (22), se tiene lo siguiente:

$$PSI_1 = 2.00 \quad (23)$$

$$PSI_2 = 1.80 \quad (24)$$

$$PSI_3 = 1.80 \quad (25)$$

$$PSI_4 = 2.20 \quad (26)$$

$$PSI_5 = 2.50 \quad (27)$$

Como se puede observar de los datos de Rugosidad y Serviciabilidad y de acuerdo al Cuadro N° 2.4, nos indica que el pavimento se encuentra en condición mala a regular, esto debido a la presencia de huellas hechas por un tractor de oruga desde el Km. 118+300 al Km. 119+200, así como por peladuras en el tratamiento superficial monocapa y corrimientos del recubrimiento bituminoso del monocapa.

## CAPITULO IV: ANÁLISIS DE RESULTADOS.

### 4.1 RUGOSIDAD EN EL TRAMO DE ENSAYO.

Cuadro 4.1 Comparación de Rugosidad

MEDICIÓN DE LA RUGOSIDAD		
EJECUTOR	UNI	GRUPO 5 – CURSO DE TITULACIÓN
FECHA DE ENSAYO	08/07/2009	15/05/2010
TRAMO	Km 118+600 - Km119+000 Km 119+500 - Km119+900	118+000-120+000
IRI <sub>prom</sub> (m/km)	4.91	4.88
IRI <sub>car</sub> (m/km)		6.05

Fuente: Elaboración propia

Se observa que la rugosidad evaluada por la UNI son de dos tramos diferentes arrojando un IRI=4.91 m/km de promedio, lo cual no es representativo de los dos (02) kilómetros del tramo en evaluación, Km.118+000 al Km. 120+000, el cual al ser ensayado nos arroja un IRI<sub>prom</sub>=4.88 m/km y un IRI<sub>car</sub>=6.05 m/km. Se puede apreciar la diferencia de haber evaluado dos tramos aleatorios de 400m como representativos de dos (02) kilómetros, que haber evaluado los dos (02) kilómetros en su totalidad, el cual nos arroja un IRI<sub>prom</sub> menor.

La Norma EG-2000 en la sección 405.15: Aceptación de los trabajos en Tratamientos Superficiales, en cuanto a la calidad del producto terminado indica en el ítem tres (03) lo siguiente:

#### “(3) Rugosidad

Medida en unidades IRI, la rugosidad no podrá ser superior a dos metros cincuenta centímetros por kilómetro (2.5 m/km), salvo que la especificación particular establezca un límite diferente.

Esta exigencia no se aplicará cuando el tratamiento se construya sobre un pavimento existente. En este caso la rugosidad del tratamiento terminado será indicada en los planos y documentos del proyecto.

Todas las áreas donde los defectos de calidad y las irregularidades excedan las tolerancias indicadas en el presente numeral, deberán ser corregidas por el Contratista, a su costo, de acuerdo con las instrucciones del Supervisor y a satisfacción de éste.

Para la medición de la rugosidad se seguirá lo especificado en la Subsección 410.18(f)(5)".

Sin embargo, este valor de rugosidad es muy exigente para el tipo de pavimento presente en el tramo de estudio (tratamiento superficial simple conformado sobre un material granular estabilizado), por lo tanto se sugiere trabajar con el requerimiento de IRI especificado en el Manual de Carreteras de Chile.

**Cuadro 4.2 Requerimientos de Rugosidad – Chile**

INSTITUCION PÚBLICA	REQUERIMIENTOS DE IRI SEGÚN TIPO DE PAVIMENTO O SUPERFICIE			
	Procedimiento General	Asfáltico	Hidráulico	Tratamientos Superficiales
Ministerio de Obras Públicas de Chile <sup>1</sup>	IRI obtenido en 5 tramos consecutivos de 200 m de secciones homogéneas	Promedio de 5 tramos $\leq 2.0$ m/km Promedio Individual $\leq 2.8$ m/km		Promedio de 5 tramos $\leq 3.0$ m/km Promedio Individual $\leq 4.0$ m/km

Fuente: Informe Técnico, Convenio UNI-PROVIAS

#### 4.2 SERVICIABILIDAD PRESENTE EN EL TRAMO DE ENSAYO.

El valor de Índice de Serviciabilidad Presente del tramo estudiado (Km 118+000 al Km 120+000), PSI = 1.70 obtenido de los cálculos, sugiere que la condición del camino es mala (Cuadro N° 2.4), característica que se percibe al recorrer el tramo.

## CONCLUSIONES

1. El equipo utilizado para la evaluación de la rugosidad resultó práctico y sencillo en su aplicación, pero su bajo rendimiento no constituye una alternativa viable para realizar ensayos continuos en longitudes de carretera mayores.
2. Tomando como referencia el Manual de Carreteras de Chile, Volumen 5, Sección 5.407 donde indica un valor de rugosidad máximo de 4 IRI para tratamientos superficiales, podemos indicar de los resultados del ensayo de rugosidad efectuados con el equipo MERLIN en el tramo Km 118+000 al Km 120+000, el cual nos dio un  $IRI_{car} = 6.05$  que debemos efectuar una mejora y mantenimiento en el tratamiento superficial monocapa del tramo en mención.
3. De acuerdo a la rugosidad de 6.05 IRI obtenida, se obtiene un Índice de Serviciabilidad Presente (PSI) de 1.70, lo cual sugiere una transitabilidad de condición mala para el tramo de la carretera.
4. La determinación de la rugosidad para la evaluación superficial de pavimentos, nos proporciona una herramienta de trabajo sumamente valiosa y confiable, que permite optimizar la toma de decisiones en los proyectos de conservación y mantenimiento, lo que incide en la disminución de los costos de operación vehicular, una mayor seguridad en las carreteras y en la prolongación de la vida útil de la red vial.
5. El PCI nos permite estimar la vida remanente de la capa de rodadura, mediante el diagnóstico y seguimiento de las fallas presentes en las vías.

## RECOMENDACIONES

1. Se recomienda buscar la automatización del equipo MERLIN para poder cubrir longitudes de ensayos mayores. Se puede reemplazar por equipos tipo respuesta.
2. Se presenta la necesidad de desarrollar normas técnicas nacionales acordes con nuestra realidad para los trabajos de conservación y mantenimiento rutinario y periódico, donde se especifique la Rugosidad y Serviciabilidad como parámetros de calidad para la aceptación de cualquier capa de rodadura.
3. A la pregunta ¿qué condiciones contractuales deben mejorarse, modificarse o implementarse, para lograr mejor serviciabilidad para el usuario? Una de las mejoras del contrato es el aumento de señales de seguridad en curvas verticales, curvas horizontales cerradas, tramos a media ladera, para evitar esfuerzos originados por los vehículos que deterioren la capa de rodadura.
4. Es importante evaluar la rugosidad de toda la carretera mediante un monitoreo periódico y permanente para generar una data histórica del comportamiento de este tipo de superficie de rodadura. Se recomienda que sea anual.
5. Sectorizar el tramo de la carretera a intervenir de acuerdo a la zona, altitud, tipos de suelo, etc., para tener en claro las acciones y los costos que corresponde a cada sectorización.
6. Puesto que existe una estrecha relación entre valores de rugosidad, serviciabilidad y el grado de comodidad de los usuarios de la vía, es sumamente importante que la medición de la rugosidad se realice con equipos debidamente calibrados.

## BIBLIOGRAFIA

1. Consorcio Gestión de Carreteras, "Estudios técnicos para el cambio de estándar de afirmado a solución básica Carretera: Cañete – Lunahuaná – Pacarán- Desvío Yauyos – Ronchas – Chupaca; Tramo: Zuñiga – Desvío Yauyos – Ronchas". Lima, Perú, 2008.
2. CRESPO DEL RÍO, RAMÓN "Calidad ante la Rodadura" Jornadas sobre la Calidad en el Proyecto y la Construcción de Carreteras, Barcelona, España, (9 de Mayo de 1999), 30 p.
3. CRESPO DEL RÍO, RAMÓN "Introducción a la pavimentación de firmes", Cuaderno AEPO N° 4, Madrid, España, (1997) 40 p.
4. CUNDILL, M.A. "The MERLIN Low-cost Road Roughness Measuring Machine". Transport and Road Research Laboratory, Department of Transport. TRRL Research Report 301. Crowthorne, 1991.
5. CUNDILL, M.A. "The MERLIN Road Roughness Machine: User Guide". Transport Research Laboratory, Overseas Development Administration. TRL Report 229, Crowthorne, 1996.
6. Del Águila, P. M. "Desarrollo de la Ecuación de Correlación para la determinación del IRI en pavimentos asfálticos nuevos, utilizando el rugosímetro MERLIN". Trabajo presentado en el X Congreso Ibero – Latinoamericano, Sevilla, 1999.
7. Del Águila, P. M. "Estado del Arte sobre la Medición de la Rugosidad de Pavimentos en el Perú". Trabajo presentado en el II Congreso Nacional de Asfalto, Lima, 1998.
8. Del Águila, P. M. "Metodología para la medición de la rugosidad de los pavimentos con equipo de bajo costo y gran precisión". Trabajo presentado en el X Congreso Ibero – Latinoamericano del Asfalto. Sevilla, 1999.

9. MELIS, M.J.; CRESPO, R. "Cálculo del IRI de una Carretera a partir de su Perfil Longitudinal". Cuadernos AEPO N° 1. AEPO S.A. Ingenieros Consultores. Madrid 1992.
10. SAYERS, M. W.; GUILLESPIE, T.D. y PATERSON, W.D.O. "Guideline for Conducting and Calibrating Road Roughness Measurements" World Bank Technical Paper Number 46, World Bank, Washington, (1986) 87 p.
11. SAYERS, M. et al "The International Road Roughness Experiment: establishing correkations and a calibration standar for measurements" Bank Technical Paper N° 45. Washington D.C., 1986.
12. SOLMINIHIAC, HERNAN "Infraestructura Vial", Universidad Católica de Chile, (1999), Chile, 150 p.
13. "Regularidad Superficial en Carreteras de Reciente Construcción" Jornadas sobre Auscultación y Toma de Datos para Planificación y Gestión de Carreteras. Cáceres, (14 al 16 de Diciembre de 1999) 5 p.
14. WATANATADA, T. et al. "The Highway Design and Maintenance Standards Model". Volume I. Published for the World Bank. Washington D.C., 1987.

**ANEXO A**

**Datos de Campo Rugosidad Tramo Km 118+000 – Km 118+400**

	<b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA - TITULACIÓN 2010 - I</b>																																																																																																																																																																																																																																							
<b>MEDICION DE LA RUGOSIDAD - MERLIN REGISTRO GRAFICADO</b>																																																																																																																																																																																																																																								
<b>CARTILLA DE CONTROL DEL MERLIN - TRRL (HOJA DE CAMPO)</b>																																																																																																																																																																																																																																								
<b>PROYECTO</b> : Carretera Cañete - Yauyos - Chupaca <b>SECTOR</b> : Puente Aucco - Desvío Yauyos <b>TRAMO</b> : Km. 118+000 - Km. 118+400 <b>CARRIL</b> : Izquierdo <b>FECHA</b> : 15-may-10	<b>GRUPO</b> : 5 <b>OPERADOR</b> : Ismael Carbajal <b>ING. INSTRUCT.</b> : Elifio Quiñones <b>HORA DE INICIO</b> : 10:06 <b>HORA DE TÉRMINO</b> : 10:30																																																																																																																																																																																																																																							
<b>DATOS DE LA MUESTRA</b>																																																																																																																																																																																																																																								
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th></th> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> <th>4</th> <th>5</th> <th>6</th> <th>7</th> <th>8</th> <th>9</th> <th>10</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>5</td><td>9</td><td>24</td><td>7</td><td>4</td><td>14</td><td>12</td><td>12</td><td>18</td><td>11</td></tr> <tr><td>2</td><td>12</td><td>29</td><td>3</td><td>0.1</td><td>13</td><td>10</td><td>9</td><td>11</td><td>21</td><td>4</td></tr> <tr><td>3</td><td>2</td><td>14</td><td>8</td><td>23</td><td>6</td><td>13</td><td>19</td><td>12</td><td>14</td><td>11</td></tr> <tr><td>4</td><td>3</td><td>14</td><td>20</td><td>28</td><td>21</td><td>11</td><td>5</td><td>18</td><td>7</td><td>0.1</td></tr> <tr><td>5</td><td>4</td><td>32</td><td>6</td><td>17</td><td>11</td><td>9</td><td>21</td><td>19</td><td>11</td><td>9</td></tr> <tr><td>6</td><td>18</td><td>19</td><td>5</td><td>7</td><td>16</td><td>15</td><td>15</td><td>11</td><td>13</td><td>11</td></tr> <tr><td>7</td><td>0.1</td><td>23</td><td>11</td><td>8</td><td>11</td><td>8</td><td>13</td><td>12</td><td>5</td><td>16</td></tr> <tr><td>8</td><td>13</td><td>17</td><td>36</td><td>9</td><td>0.1</td><td>15</td><td>17</td><td>6</td><td>15</td><td>3</td></tr> <tr><td>9</td><td>12</td><td>0.1</td><td>23</td><td>14</td><td>6</td><td>16</td><td>12</td><td>5</td><td>11</td><td>10</td></tr> <tr><td>10</td><td>9</td><td>18</td><td>0.1</td><td>2</td><td>14</td><td>22</td><td>12</td><td>19</td><td>19</td><td>8</td></tr> <tr><td>11</td><td>2</td><td>8</td><td>11</td><td>11</td><td>7</td><td>11</td><td>11</td><td>5</td><td>16</td><td>17</td></tr> <tr><td>12</td><td>9</td><td>26</td><td>23</td><td>2</td><td>9</td><td>15</td><td>3</td><td>18</td><td>17</td><td>15</td></tr> <tr><td>13</td><td>7</td><td>5</td><td>5</td><td>3</td><td>7</td><td>15</td><td>0.1</td><td>16</td><td>17</td><td>10</td></tr> <tr><td>14</td><td>1</td><td>12</td><td>29</td><td>17</td><td>11</td><td>1</td><td>10</td><td>16</td><td>14</td><td>13</td></tr> <tr><td>15</td><td>21</td><td>11</td><td>24</td><td>23</td><td>4</td><td>15</td><td>7</td><td>14</td><td>7</td><td>8</td></tr> <tr><td>16</td><td>13</td><td>3</td><td>3</td><td>28</td><td>10</td><td>24</td><td>11</td><td>21</td><td>15</td><td>11</td></tr> <tr><td>17</td><td>20</td><td>9</td><td>18</td><td>19</td><td>3</td><td>10</td><td>9</td><td>11</td><td>11</td><td></td></tr> <tr><td>18</td><td>5</td><td>16</td><td>0.1</td><td>0.1</td><td>7</td><td>27</td><td>10</td><td>22</td><td>5</td><td></td></tr> <tr><td>19</td><td>22</td><td>19</td><td>16</td><td>23</td><td>6</td><td>17</td><td>11</td><td>26</td><td>14</td><td></td></tr> <tr><td>20</td><td>18</td><td>0.1</td><td>1</td><td>6</td><td>6</td><td>15</td><td>11</td><td>15</td><td>4</td><td></td></tr> </tbody> </table>		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	1	5	9	24	7	4	14	12	12	18	11	2	12	29	3	0.1	13	10	9	11	21	4	3	2	14	8	23	6	13	19	12	14	11	4	3	14	20	28	21	11	5	18	7	0.1	5	4	32	6	17	11	9	21	19	11	9	6	18	19	5	7	16	15	15	11	13	11	7	0.1	23	11	8	11	8	13	12	5	16	8	13	17	36	9	0.1	15	17	6	15	3	9	12	0.1	23	14	6	16	12	5	11	10	10	9	18	0.1	2	14	22	12	19	19	8	11	2	8	11	11	7	11	11	5	16	17	12	9	26	23	2	9	15	3	18	17	15	13	7	5	5	3	7	15	0.1	16	17	10	14	1	12	29	17	11	1	10	16	14	13	15	21	11	24	23	4	15	7	14	7	8	16	13	3	3	28	10	24	11	21	15	11	17	20	9	18	19	3	10	9	11	11		18	5	16	0.1	0.1	7	27	10	22	5		19	22	19	16	23	6	17	11	26	14		20	18	0.1	1	6	6	15	11	15	4		<b>TIPOS DE PAVIMENTO :</b>  <b>AFIRMADO</b> <input type="checkbox"/> <b>BASE GRANULAR</b> <input type="checkbox"/> <b>BASE IMPRIMADA</b> <input type="checkbox"/> <b>TRATAMIENTO MONOCAPA</b> <input checked="" type="checkbox"/> <b>TRATAMIENTO SLURRY SEAL</b> <input type="checkbox"/> <b>RECAPEO ASFÁLTICO</b> <input type="checkbox"/> <b>SELLO</b> <input type="checkbox"/> <b>OTRO:</b> <input type="checkbox"/>
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10																																																																																																																																																																																																																														
1	5	9	24	7	4	14	12	12	18	11																																																																																																																																																																																																																														
2	12	29	3	0.1	13	10	9	11	21	4																																																																																																																																																																																																																														
3	2	14	8	23	6	13	19	12	14	11																																																																																																																																																																																																																														
4	3	14	20	28	21	11	5	18	7	0.1																																																																																																																																																																																																																														
5	4	32	6	17	11	9	21	19	11	9																																																																																																																																																																																																																														
6	18	19	5	7	16	15	15	11	13	11																																																																																																																																																																																																																														
7	0.1	23	11	8	11	8	13	12	5	16																																																																																																																																																																																																																														
8	13	17	36	9	0.1	15	17	6	15	3																																																																																																																																																																																																																														
9	12	0.1	23	14	6	16	12	5	11	10																																																																																																																																																																																																																														
10	9	18	0.1	2	14	22	12	19	19	8																																																																																																																																																																																																																														
11	2	8	11	11	7	11	11	5	16	17																																																																																																																																																																																																																														
12	9	26	23	2	9	15	3	18	17	15																																																																																																																																																																																																																														
13	7	5	5	3	7	15	0.1	16	17	10																																																																																																																																																																																																																														
14	1	12	29	17	11	1	10	16	14	13																																																																																																																																																																																																																														
15	21	11	24	23	4	15	7	14	7	8																																																																																																																																																																																																																														
16	13	3	3	28	10	24	11	21	15	11																																																																																																																																																																																																																														
17	20	9	18	19	3	10	9	11	11																																																																																																																																																																																																																															
18	5	16	0.1	0.1	7	27	10	22	5																																																																																																																																																																																																																															
19	22	19	16	23	6	17	11	26	14																																																																																																																																																																																																																															
20	18	0.1	1	6	6	15	11	15	4																																																																																																																																																																																																																															
<b>OBSERVACIONES</b> _____ _____ _____ _____ _____																																																																																																																																																																																																																																								

Fuente: Elaboración propia

Datos de Campo Rugosidad Tramo Km 118+400 – Km 118+800

	<b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA - TITULACIÓN 2010 - I</b>																																																																																																																																																																																																																																							
<b>MEDICION DE LA RUGOSIDAD - MERLIN REGISTRO GRAFICADO</b>																																																																																																																																																																																																																																								
<b>CARTILLA DE CONTROL DEL MERLIN - TRRL (HOJA DE CAMPO)</b>																																																																																																																																																																																																																																								
<b>PROYECTO</b> : Carretera Cañete - Yauyos - Chupaca <b>SECTOR</b> : Puente Aucco - Desvío Yauyos <b>TRAMO</b> : Km. 118+400 - Km. 118+800 <b>CARRIL</b> : Izquierdo <b>FECHA</b> : 15-may-10	<b>GRUPO</b> : 5 <b>OPERADOR</b> : Ismael Carbajal <b>ING. INSTRUCT.</b> : Elifo Quiñones <b>HORA DE INICIO</b> : 09.44 <b>HORA DE TÉRMINO</b> : 10.06																																																																																																																																																																																																																																							
<b>DATOS DE LA MUESTRA</b>																																																																																																																																																																																																																																								
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th></th> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> <th>4</th> <th>5</th> <th>6</th> <th>7</th> <th>8</th> <th>9</th> <th>10</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>15</td><td>5</td><td>6</td><td>6</td><td>10</td><td>19</td><td>15</td><td>1</td><td>12</td><td>23</td></tr> <tr><td>2</td><td>9</td><td>16</td><td>17</td><td>17</td><td>22</td><td>20</td><td>11</td><td>0.1</td><td>29</td><td>16</td></tr> <tr><td>3</td><td>14</td><td>10</td><td>9</td><td>9</td><td>19</td><td>16</td><td>22</td><td>14</td><td>0.1</td><td>16</td></tr> <tr><td>4</td><td>9</td><td>0.1</td><td>18</td><td>18</td><td>2</td><td>23</td><td>7</td><td>20</td><td>18</td><td>24</td></tr> <tr><td>5</td><td>9</td><td>15</td><td>14</td><td>14</td><td>0.1</td><td>0.1</td><td>0.1</td><td>0.1</td><td>4</td><td>0.1</td></tr> <tr><td>6</td><td>3</td><td>12</td><td>12</td><td>12</td><td>22</td><td>21</td><td>5</td><td>25</td><td>13</td><td>0.1</td></tr> <tr><td>7</td><td>6</td><td>11</td><td>5</td><td>5</td><td>12</td><td>16</td><td>12</td><td>31</td><td>19</td><td>7</td></tr> <tr><td>8</td><td>24</td><td>2</td><td>14</td><td>14</td><td>6</td><td>5</td><td>11</td><td>0.1</td><td>7</td><td>4</td></tr> <tr><td>9</td><td>0.1</td><td>9</td><td>19</td><td>19</td><td>21</td><td>17</td><td>15</td><td>0.1</td><td>26</td><td>7</td></tr> <tr><td>10</td><td>13</td><td>11</td><td>11</td><td>11</td><td>9</td><td>10</td><td>18</td><td>35</td><td>15</td><td>14</td></tr> <tr><td>11</td><td>4</td><td>15</td><td>8</td><td>8</td><td>9</td><td>16</td><td>24</td><td>5</td><td>0.1</td><td>9</td></tr> <tr><td>12</td><td>10</td><td>0.1</td><td>14</td><td>14</td><td>13</td><td>18</td><td>15</td><td>25</td><td>7</td><td>5</td></tr> <tr><td>13</td><td>10</td><td>15</td><td>4</td><td>4</td><td>0.1</td><td>16</td><td>28</td><td>3</td><td>3</td><td>6</td></tr> <tr><td>14</td><td>10</td><td>3</td><td>10</td><td>16</td><td>1</td><td>22</td><td>2</td><td>18</td><td>3</td><td>23</td></tr> <tr><td>15</td><td>19</td><td>9</td><td>23</td><td>23</td><td>11</td><td>19</td><td>16</td><td>24</td><td>5</td><td>4</td></tr> <tr><td>16</td><td>30</td><td>9</td><td>13</td><td>13</td><td>8</td><td>14</td><td>5</td><td>22</td><td>8</td><td>10</td></tr> <tr><td>17</td><td>9</td><td>9</td><td>3</td><td>3</td><td>8</td><td>10</td><td>0.1</td><td>21</td><td>14</td><td>11</td></tr> <tr><td>18</td><td>14</td><td>16</td><td>13</td><td>13</td><td>12</td><td>23</td><td>20</td><td>17</td><td>20</td><td>28</td></tr> <tr><td>19</td><td>7</td><td>10</td><td>22</td><td>22</td><td>10</td><td>0.1</td><td>14</td><td>22</td><td>15</td><td>0.1</td></tr> <tr><td>20</td><td>6</td><td>16</td><td>37</td><td>37</td><td>14</td><td>12</td><td>20</td><td>24</td><td>38</td><td>13</td></tr> </tbody> </table>		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	1	15	5	6	6	10	19	15	1	12	23	2	9	16	17	17	22	20	11	0.1	29	16	3	14	10	9	9	19	16	22	14	0.1	16	4	9	0.1	18	18	2	23	7	20	18	24	5	9	15	14	14	0.1	0.1	0.1	0.1	4	0.1	6	3	12	12	12	22	21	5	25	13	0.1	7	6	11	5	5	12	16	12	31	19	7	8	24	2	14	14	6	5	11	0.1	7	4	9	0.1	9	19	19	21	17	15	0.1	26	7	10	13	11	11	11	9	10	18	35	15	14	11	4	15	8	8	9	16	24	5	0.1	9	12	10	0.1	14	14	13	18	15	25	7	5	13	10	15	4	4	0.1	16	28	3	3	6	14	10	3	10	16	1	22	2	18	3	23	15	19	9	23	23	11	19	16	24	5	4	16	30	9	13	13	8	14	5	22	8	10	17	9	9	3	3	8	10	0.1	21	14	11	18	14	16	13	13	12	23	20	17	20	28	19	7	10	22	22	10	0.1	14	22	15	0.1	20	6	16	37	37	14	12	20	24	38	13	<p><b>TIPOS DE PAVIMENTO :</b></p> <p>AFIRMADO <input type="checkbox"/></p> <p>BASE GRANULAR <input type="checkbox"/></p> <p>BASE IMPRIMADA <input type="checkbox"/></p> <p>TRATAMIENTO MONOCAPA <input checked="" type="checkbox"/></p> <p>TRATAMIENTO SLURRY SEAL <input type="checkbox"/></p> <p>RECAPEO ASFÁLTICO <input type="checkbox"/></p> <p>SELLO <input type="checkbox"/></p> <p>OTRO: <input type="checkbox"/></p>
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10																																																																																																																																																																																																																														
1	15	5	6	6	10	19	15	1	12	23																																																																																																																																																																																																																														
2	9	16	17	17	22	20	11	0.1	29	16																																																																																																																																																																																																																														
3	14	10	9	9	19	16	22	14	0.1	16																																																																																																																																																																																																																														
4	9	0.1	18	18	2	23	7	20	18	24																																																																																																																																																																																																																														
5	9	15	14	14	0.1	0.1	0.1	0.1	4	0.1																																																																																																																																																																																																																														
6	3	12	12	12	22	21	5	25	13	0.1																																																																																																																																																																																																																														
7	6	11	5	5	12	16	12	31	19	7																																																																																																																																																																																																																														
8	24	2	14	14	6	5	11	0.1	7	4																																																																																																																																																																																																																														
9	0.1	9	19	19	21	17	15	0.1	26	7																																																																																																																																																																																																																														
10	13	11	11	11	9	10	18	35	15	14																																																																																																																																																																																																																														
11	4	15	8	8	9	16	24	5	0.1	9																																																																																																																																																																																																																														
12	10	0.1	14	14	13	18	15	25	7	5																																																																																																																																																																																																																														
13	10	15	4	4	0.1	16	28	3	3	6																																																																																																																																																																																																																														
14	10	3	10	16	1	22	2	18	3	23																																																																																																																																																																																																																														
15	19	9	23	23	11	19	16	24	5	4																																																																																																																																																																																																																														
16	30	9	13	13	8	14	5	22	8	10																																																																																																																																																																																																																														
17	9	9	3	3	8	10	0.1	21	14	11																																																																																																																																																																																																																														
18	14	16	13	13	12	23	20	17	20	28																																																																																																																																																																																																																														
19	7	10	22	22	10	0.1	14	22	15	0.1																																																																																																																																																																																																																														
20	6	16	37	37	14	12	20	24	38	13																																																																																																																																																																																																																														
<p><b>OBSERVACIONES</b></p> <hr/>																																																																																																																																																																																																																																								

Fuente: Elaboración propia

Datos de Campo Rugosidad Tramo Km 118+800 – Km 119+200



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA - TITULACIÓN 2010 - I

MEDICION DE LA RUGOSIDAD - MERLIN REGISTRO GRAFICADO

CARTILLA DE CONTROL DEL MERLÍN - TRRL (HOJA DE CAMPO)

PROYECTO : Carretera Cañete - Yauyos - Chupaca  
SECTOR : Puente Aucco - Desvío Yauyos  
TRAMO : Km. 118+800 - Km. 119+200  
CARRIL : Izquierdo  
FECHA : 15-may-10

GRUPO : 5  
OPERADOR : Ismael Carbajal  
ING. INSTRUCT. : Eliffo Quiñones

HORA DE INICIO : 09:20  
HORA DE TÉRMINO : 09:44

DATOS DE LA MUESTRA

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	17	6	13	0.1	23	15	15	9	30	19
2	0.1	0.1	22	13	12	9	7	19	16	13
3	0.1	0.1	15	27	26	10	8	15	3	4
4	27	7	16	21	20	18	12	7	16	6
5	14	20	4	14	22	27	20	11	18	18
6	31	0.1	15	6	12	6	14	9	19	12
7	8	0.1	12	0.1	8	18	13	8	10	23
8	7	10	19	3	0.1	12	18	23	17	18
9	2	12	9	2	0.1	4	31	12	11	11
10	14	28	12	10	12	8	35	8	13	9
11	15	28	10	15	0.1	5	12	0.1	12	21
12	15	11	17	9	4	8	14	17	24	12
13	9	0.1	10	16	13	7	14	19	8	16
14	17	3	20	17	6	8	15	21	20	16
15	24	1	13	31	8	2	5	3	20	20
16	12	20	10	9	20	15	17	13	8	4
17	5	7	19	2	7	17	6	16	19	22
18	8	29	19	7	11	3	15	14	10	28
19	20	2	5	12	0.1	4	21	17	6	11
20	11	19	10	13	7	11	8	16	24	18

TIPOS DE PAVIMENTO :

AFIRMADO

BASE GRANULAR

BASE IMPRIMADA

TRATAMIENTO MONOCAPA

TRATAMIENTO SLURRY SEAL

RECAPEO ASFÁLTICO

SELLO

OTRO:

OBSERVACIONES

Fuente: Elaboración propia

Datos de Campo Rugosidad Tramo Km 119+200 – Km 119+600

	<b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA - TITULACIÓN 2010 - I</b>																																																																																																																																																																																																																																							
<b>MEDICION DE LA RUGOSIDAD - MERLIN REGISTRO GRAFICADO</b>																																																																																																																																																																																																																																								
<b>CARTILLA DE CONTROL DEL MERLÍN - TRRL (HOJA DE CAMPO)</b>																																																																																																																																																																																																																																								
<b>PROYECTO</b> : Carretera Cañete - Yauyos - Chupaca <b>SECTOR</b> : Puente Aucco - Desvío Yauyos <b>TRAMO</b> : Km. 119+200 - Km. 119+600 <b>CARRIL</b> : Izquierdo <b>FECHA</b> : 15-may-10	<b>GRUPO</b> : 5 <b>OPERADOR</b> : Ismael Carbajal <b>ING. INSTRUCT.</b> : Elifio Quiñones <b>HORA DE INICIO</b> : 08:55 <b>HORA DE TÉRMINO</b> : 09:20																																																																																																																																																																																																																																							
<b>DATOS DE LA MUESTRA</b>																																																																																																																																																																																																																																								
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th></th> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> <th>4</th> <th>5</th> <th>6</th> <th>7</th> <th>8</th> <th>9</th> <th>10</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>23</td><td>0.1</td><td>20</td><td>8</td><td>16</td><td>14</td><td>6</td><td>24</td><td>17</td><td>20</td></tr> <tr><td>2</td><td>11</td><td>18</td><td>15</td><td>8</td><td>8</td><td>2</td><td>16</td><td>15</td><td>14</td><td>12</td></tr> <tr><td>3</td><td>12</td><td>15</td><td>11</td><td>9</td><td>2</td><td>2</td><td>16</td><td>0.1</td><td>13</td><td>7</td></tr> <tr><td>4</td><td>13</td><td>14</td><td>17</td><td>12</td><td>20</td><td>14</td><td>5</td><td>18</td><td>20</td><td>3</td></tr> <tr><td>5</td><td>24</td><td>9</td><td>10</td><td>9</td><td>13</td><td>19</td><td>18</td><td>18</td><td>12</td><td>3</td></tr> <tr><td>6</td><td>25</td><td>27</td><td>9</td><td>18</td><td>9</td><td>13</td><td>8</td><td>14</td><td>15</td><td>17</td></tr> <tr><td>7</td><td>19</td><td>18</td><td>10</td><td>15</td><td>7</td><td>12</td><td>12</td><td>14</td><td>1</td><td>4</td></tr> <tr><td>8</td><td>18</td><td>24</td><td>12</td><td>8</td><td>15</td><td>2</td><td>21</td><td>13</td><td>9</td><td>16</td></tr> <tr><td>9</td><td>15</td><td>13</td><td>21</td><td>19</td><td>11</td><td>18</td><td>6</td><td>23</td><td>0.1</td><td>12</td></tr> <tr><td>10</td><td>12</td><td>11</td><td>8</td><td>10</td><td>8</td><td>16</td><td>1</td><td>16</td><td>12</td><td>21</td></tr> <tr><td>11</td><td>14</td><td>8</td><td>13</td><td>13</td><td>10</td><td>15</td><td>8</td><td>11</td><td>17</td><td>4</td></tr> <tr><td>12</td><td>15</td><td>15</td><td>4</td><td>6</td><td>12</td><td>10</td><td>5</td><td>11</td><td>12</td><td>12</td></tr> <tr><td>13</td><td>21</td><td>14</td><td>15</td><td>10</td><td>12</td><td>16</td><td>14</td><td>11</td><td>18</td><td>22</td></tr> <tr><td>14</td><td>12</td><td>19</td><td>14</td><td>12</td><td>8</td><td>7</td><td>19</td><td>6</td><td>14</td><td>21</td></tr> <tr><td>15</td><td>20</td><td>18</td><td>6</td><td>8</td><td>14</td><td>19</td><td>10</td><td>12</td><td>0.1</td><td>8</td></tr> <tr><td>16</td><td>12</td><td>20</td><td>7</td><td>4</td><td>18</td><td>15</td><td>11</td><td>13</td><td>0.1</td><td>10</td></tr> <tr><td>17</td><td>11</td><td>12</td><td>18</td><td>18</td><td>15</td><td>4</td><td>2</td><td>6</td><td>16</td><td>13</td></tr> <tr><td>18</td><td>16</td><td>16</td><td>17</td><td>22</td><td>11</td><td>0.1</td><td>4</td><td>4</td><td>10</td><td>18</td></tr> <tr><td>19</td><td>19</td><td>14</td><td>9</td><td>16</td><td>15</td><td>15</td><td>16</td><td>20</td><td>14</td><td>19</td></tr> <tr><td>20</td><td>22</td><td>18</td><td>15</td><td>7</td><td>22</td><td>20</td><td>10</td><td>21</td><td>0.1</td><td>6</td></tr> </tbody> </table>		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	1	23	0.1	20	8	16	14	6	24	17	20	2	11	18	15	8	8	2	16	15	14	12	3	12	15	11	9	2	2	16	0.1	13	7	4	13	14	17	12	20	14	5	18	20	3	5	24	9	10	9	13	19	18	18	12	3	6	25	27	9	18	9	13	8	14	15	17	7	19	18	10	15	7	12	12	14	1	4	8	18	24	12	8	15	2	21	13	9	16	9	15	13	21	19	11	18	6	23	0.1	12	10	12	11	8	10	8	16	1	16	12	21	11	14	8	13	13	10	15	8	11	17	4	12	15	15	4	6	12	10	5	11	12	12	13	21	14	15	10	12	16	14	11	18	22	14	12	19	14	12	8	7	19	6	14	21	15	20	18	6	8	14	19	10	12	0.1	8	16	12	20	7	4	18	15	11	13	0.1	10	17	11	12	18	18	15	4	2	6	16	13	18	16	16	17	22	11	0.1	4	4	10	18	19	19	14	9	16	15	15	16	20	14	19	20	22	18	15	7	22	20	10	21	0.1	6	<p><b>TIPOS DE PAVIMENTO :</b></p> <p>AFIRMADO <input type="checkbox"/></p> <p>BASE GRANULAR <input type="checkbox"/></p> <p>BASE IMPRIMADA <input type="checkbox"/></p> <p>TRATAMIENTO MONOCAPA <input checked="" type="checkbox"/></p> <p>TRATAMIENTO SLURRY SEAL <input type="checkbox"/></p> <p>RECAPEO ASFÁLTICO <input type="checkbox"/></p> <p>SELLO <input type="checkbox"/></p> <p>OTRO: <input type="checkbox"/></p>
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10																																																																																																																																																																																																																														
1	23	0.1	20	8	16	14	6	24	17	20																																																																																																																																																																																																																														
2	11	18	15	8	8	2	16	15	14	12																																																																																																																																																																																																																														
3	12	15	11	9	2	2	16	0.1	13	7																																																																																																																																																																																																																														
4	13	14	17	12	20	14	5	18	20	3																																																																																																																																																																																																																														
5	24	9	10	9	13	19	18	18	12	3																																																																																																																																																																																																																														
6	25	27	9	18	9	13	8	14	15	17																																																																																																																																																																																																																														
7	19	18	10	15	7	12	12	14	1	4																																																																																																																																																																																																																														
8	18	24	12	8	15	2	21	13	9	16																																																																																																																																																																																																																														
9	15	13	21	19	11	18	6	23	0.1	12																																																																																																																																																																																																																														
10	12	11	8	10	8	16	1	16	12	21																																																																																																																																																																																																																														
11	14	8	13	13	10	15	8	11	17	4																																																																																																																																																																																																																														
12	15	15	4	6	12	10	5	11	12	12																																																																																																																																																																																																																														
13	21	14	15	10	12	16	14	11	18	22																																																																																																																																																																																																																														
14	12	19	14	12	8	7	19	6	14	21																																																																																																																																																																																																																														
15	20	18	6	8	14	19	10	12	0.1	8																																																																																																																																																																																																																														
16	12	20	7	4	18	15	11	13	0.1	10																																																																																																																																																																																																																														
17	11	12	18	18	15	4	2	6	16	13																																																																																																																																																																																																																														
18	16	16	17	22	11	0.1	4	4	10	18																																																																																																																																																																																																																														
19	19	14	9	16	15	15	16	20	14	19																																																																																																																																																																																																																														
20	22	18	15	7	22	20	10	21	0.1	6																																																																																																																																																																																																																														
<p><b>OBSERVACIONES</b></p> <hr/>																																																																																																																																																																																																																																								

Fuente: Elaboración propia

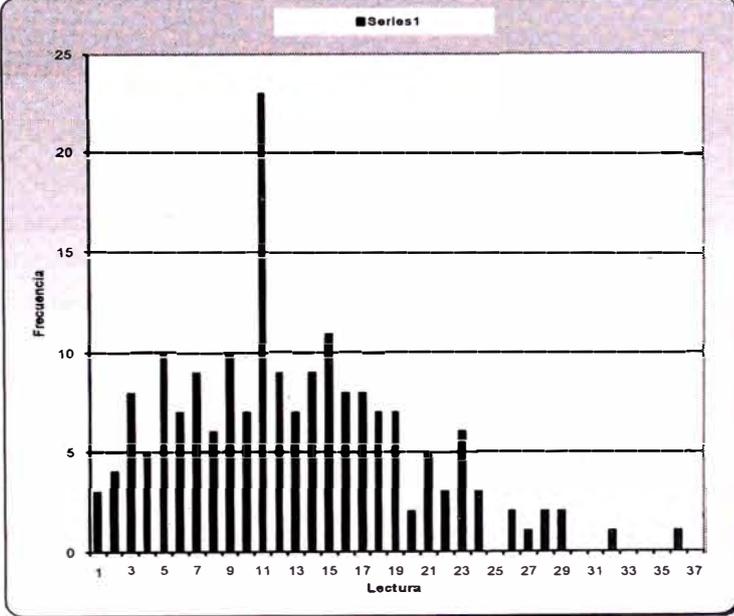
Datos de Campo Rugosidad Tramo Km 119+600 – Km 120+000

	<b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA - TITULACIÓN 2010 - I</b>																																																																																																																																																																																																																																							
<b>MEDICION DE LA RUGOSIDAD - MERLIN REGISTRO GRAFICADO</b>																																																																																																																																																																																																																																								
<b>CARTILLA DE CONTROL DEL MERLIN - TRRL (HOJA DE CAMPO)</b>																																																																																																																																																																																																																																								
<b>PROYECTO</b> : Carretera Cañete - Yauyos - Chupaca <b>SECTOR</b> : Puente Aucco - Desvío Yauyos <b>TRAMO</b> : Km. 119+600 - Km. 120+000 <b>CARRIL</b> : Izquierdo <b>FECHA</b> : 15-may-10	<b>GRUPO</b> : 5 <b>OPERADOR</b> : Ismael Carbajal <b>ING. INSTRUCT.</b> : Eliño Quiñones <b>HORA DE INICIO</b> : 08:30 <b>HORA DE TÉRMINO</b> : 09:55																																																																																																																																																																																																																																							
<b>DATOS DE LA MUESTRA</b>																																																																																																																																																																																																																																								
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th></th> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> <th>4</th> <th>5</th> <th>6</th> <th>7</th> <th>8</th> <th>9</th> <th>10</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>14</td><td>15</td><td>10</td><td>11</td><td>15</td><td>16</td><td>17</td><td>17</td><td>8</td><td>12</td></tr> <tr><td>2</td><td>19</td><td>12</td><td>19</td><td>14</td><td>18</td><td>7</td><td>18</td><td>11</td><td>16</td><td>14</td></tr> <tr><td>3</td><td>27</td><td>13</td><td>11</td><td>16</td><td>10</td><td>10</td><td>19</td><td>17</td><td>10</td><td>14</td></tr> <tr><td>4</td><td>20</td><td>11</td><td>18</td><td>12</td><td>15</td><td>18</td><td>1</td><td>8</td><td>11</td><td>15</td></tr> <tr><td>5</td><td>18</td><td>17</td><td>16</td><td>16</td><td>17</td><td>11</td><td>8</td><td>15</td><td>21</td><td>17</td></tr> <tr><td>6</td><td>11</td><td>14</td><td>11</td><td>15</td><td>15</td><td>13</td><td>23</td><td>9</td><td>14</td><td>16</td></tr> <tr><td>7</td><td>2</td><td>6</td><td>14</td><td>18</td><td>12</td><td>12</td><td>20</td><td>7</td><td>5</td><td>17</td></tr> <tr><td>8</td><td>9</td><td>8</td><td>11</td><td>21</td><td>9</td><td>15</td><td>13</td><td>21</td><td>8</td><td>18</td></tr> <tr><td>9</td><td>14</td><td>4</td><td>10</td><td>15</td><td>8</td><td>11</td><td>0.1</td><td>6</td><td>11</td><td>12</td></tr> <tr><td>10</td><td>14</td><td>11</td><td>11</td><td>13</td><td>17</td><td>20</td><td>14</td><td>14</td><td>15</td><td>14</td></tr> <tr><td>11</td><td>22</td><td>12</td><td>16</td><td>16</td><td>11</td><td>24</td><td>5</td><td>1</td><td>9</td><td>11</td></tr> <tr><td>12</td><td>18</td><td>7</td><td>14</td><td>9</td><td>15</td><td>9</td><td>19</td><td>18</td><td>8</td><td>25</td></tr> <tr><td>13</td><td>4</td><td>12</td><td>22</td><td>19</td><td>12</td><td>21</td><td>20</td><td>12</td><td>7</td><td>17</td></tr> <tr><td>14</td><td>10</td><td>14</td><td>13</td><td>11</td><td>8</td><td>28</td><td>21</td><td>7</td><td>15</td><td>20</td></tr> <tr><td>15</td><td>17</td><td>7</td><td>20</td><td>16</td><td>8</td><td>21</td><td>11</td><td>14</td><td>10</td><td>13</td></tr> <tr><td>16</td><td>19</td><td>11</td><td>10</td><td>11</td><td>18</td><td>14</td><td>7</td><td>13</td><td>25</td><td>17</td></tr> <tr><td>17</td><td>6</td><td>11</td><td>18</td><td>14</td><td>16</td><td>14</td><td>21</td><td>19</td><td>13</td><td>12</td></tr> <tr><td>18</td><td>12</td><td>14</td><td>7</td><td>6</td><td>11</td><td>6</td><td>11</td><td>15</td><td>7</td><td>6</td></tr> <tr><td>19</td><td>20</td><td>11</td><td>15</td><td>18</td><td>17</td><td>17</td><td>15</td><td>17</td><td>5</td><td>14</td></tr> <tr><td>20</td><td>18</td><td>16</td><td>11</td><td>15</td><td>20</td><td>6</td><td>22</td><td>15</td><td>13</td><td>17</td></tr> </tbody> </table>		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	1	14	15	10	11	15	16	17	17	8	12	2	19	12	19	14	18	7	18	11	16	14	3	27	13	11	16	10	10	19	17	10	14	4	20	11	18	12	15	18	1	8	11	15	5	18	17	16	16	17	11	8	15	21	17	6	11	14	11	15	15	13	23	9	14	16	7	2	6	14	18	12	12	20	7	5	17	8	9	8	11	21	9	15	13	21	8	18	9	14	4	10	15	8	11	0.1	6	11	12	10	14	11	11	13	17	20	14	14	15	14	11	22	12	16	16	11	24	5	1	9	11	12	18	7	14	9	15	9	19	18	8	25	13	4	12	22	19	12	21	20	12	7	17	14	10	14	13	11	8	28	21	7	15	20	15	17	7	20	16	8	21	11	14	10	13	16	19	11	10	11	18	14	7	13	25	17	17	6	11	18	14	16	14	21	19	13	12	18	12	14	7	6	11	6	11	15	7	6	19	20	11	15	18	17	17	15	17	5	14	20	18	16	11	15	20	6	22	15	13	17	<p><b>TIPOS DE PAVIMENTO :</b></p> <p>AFIRMADO <input type="checkbox"/></p> <p>BASE GRANULAR <input type="checkbox"/></p> <p>BASE IMPRIMADA <input type="checkbox"/></p> <p>TRATAMIENTO MONOCAPA <input checked="" type="checkbox"/></p> <p>TRATAMIENTO SLURRY SEAL <input type="checkbox"/></p> <p>RECAPEO ASFÁLTICO <input type="checkbox"/></p> <p>SELLO <input type="checkbox"/></p> <p>OTRO: <input type="checkbox"/></p>
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10																																																																																																																																																																																																																														
1	14	15	10	11	15	16	17	17	8	12																																																																																																																																																																																																																														
2	19	12	19	14	18	7	18	11	16	14																																																																																																																																																																																																																														
3	27	13	11	16	10	10	19	17	10	14																																																																																																																																																																																																																														
4	20	11	18	12	15	18	1	8	11	15																																																																																																																																																																																																																														
5	18	17	16	16	17	11	8	15	21	17																																																																																																																																																																																																																														
6	11	14	11	15	15	13	23	9	14	16																																																																																																																																																																																																																														
7	2	6	14	18	12	12	20	7	5	17																																																																																																																																																																																																																														
8	9	8	11	21	9	15	13	21	8	18																																																																																																																																																																																																																														
9	14	4	10	15	8	11	0.1	6	11	12																																																																																																																																																																																																																														
10	14	11	11	13	17	20	14	14	15	14																																																																																																																																																																																																																														
11	22	12	16	16	11	24	5	1	9	11																																																																																																																																																																																																																														
12	18	7	14	9	15	9	19	18	8	25																																																																																																																																																																																																																														
13	4	12	22	19	12	21	20	12	7	17																																																																																																																																																																																																																														
14	10	14	13	11	8	28	21	7	15	20																																																																																																																																																																																																																														
15	17	7	20	16	8	21	11	14	10	13																																																																																																																																																																																																																														
16	19	11	10	11	18	14	7	13	25	17																																																																																																																																																																																																																														
17	6	11	18	14	16	14	21	19	13	12																																																																																																																																																																																																																														
18	12	14	7	6	11	6	11	15	7	6																																																																																																																																																																																																																														
19	20	11	15	18	17	17	15	17	5	14																																																																																																																																																																																																																														
20	18	16	11	15	20	6	22	15	13	17																																																																																																																																																																																																																														
<p><b>OBSERVACIONES</b></p> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/>																																																																																																																																																																																																																																								

Fuente: Elaboración propia

## Rugosidad y Serviabilidad Tramo Km 118+000 – Km 118+400

	<b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA - TITULACIÓN 2010 - I</b>
<b>MEDICION DE LA RUGOSIDAD</b>	
PROYECTO : Carretera Cañete - Yauyos - Chupaca	GRUPO : 5
SECTOR : Puente Aucco - Desvío Yauyos	OPERADOR : Ismael Carbajal
TRAMO : Km. 118+000 - Km. 118+400	ING. INSTRUCT.: Elifio Quiñones
CARRIL : Izquierdo	FECHA : 15-may-10
SUP. RODADURA : Monocapa	
<b>CÁLCULO DE LA RUGOSIDAD</b>	
<b>1. Distribución de Frecuencias</b>	
1	3.0
2	4.0
3	8.0
4	5.0
5	10.0
6	7.0
7	9.0
8	6.0
9	10.0
10	7.0
11	23.0
12	9.0
13	7.0
14	9.0
15	11.0
16	8.0
17	8.0
18	7.0
19	7.0
20	2.0
21	5.0
22	3.0
23	6.0
24	3.0
25	0.0
26	2.0
27	1.0
28	2.0
29	2.0
30	0.0
31	0.0
32	1.0
33	0.0
34	0.0
35	0.0
36	1.0
37	0.0
38	0.0
39	0.0
40	0.0
41	0.0
42	0.0
43	0.0
44	0.0
45	0.0
46	0.0
47	0.0
48	0.0
49	0.0
50	0.0



TOTAL 186 datos

**2. Ancho del histograma**  
Número de datos descartados: 10 % (5 % en cada extremo)

Rango D 96.4365 mm  
Factor de Corrección 0.892

**3. Cálculo de la Rugosidad** R=0.593 + 0.0471 D

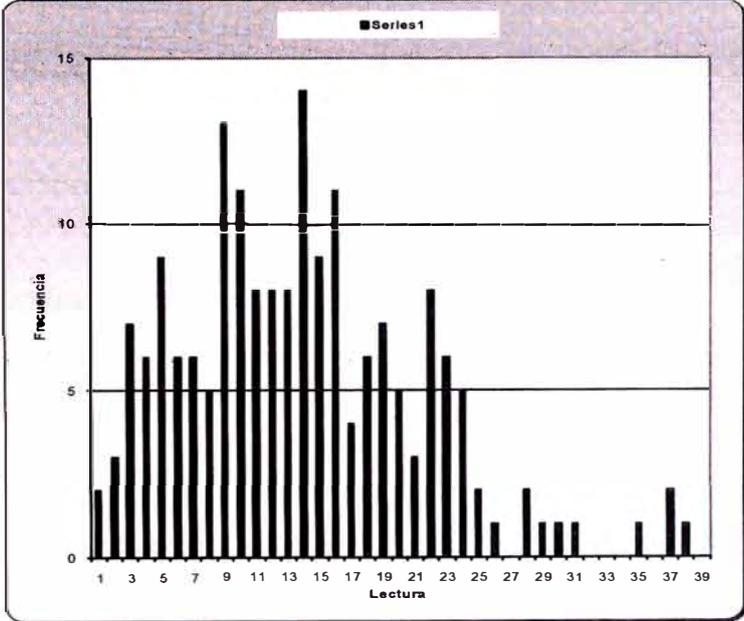
R = 5.14 IRI

PSI = 2.0

Fuente: Elaboración propia

## Rugosidad y Serviabilidad Tramo Km 118+400 – Km 118+800

	<b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA - TITULACIÓN 2010 - I</b>
<b>MEDICIÓN DE LA RUGOSIDAD</b>	
<b>PROYECTO</b> : Carretera Cañete - Yauyos - Chupaca	<b>GRUPO</b> : 5
<b>SECTOR</b> : Puente Aucoco - Desvío Yauyos	<b>OPERADOR</b> : Ismael Carbajal
<b>TRAMO</b> : Km. 118+400 - Km. 118+800	<b>ING. INSTRUCT.:</b> Elifio Quiñones
<b>CARRIL</b> : Izquierdo	<b>FECHA</b> : 15-may-10
<b>SUP. RODADURA</b> : Monocapa	
<b>CÁLCULO DE LA RUGOSIDAD</b>	
<b>1. Distribución de Frecuencias</b>	
1	2.0
2	3.0
3	7.0
4	6.0
5	9.0
6	6.0
7	8.0
8	5.0
9	13.0
10	11.0
11	8.0
12	8.0
13	8.0
14	14.0
15	9.0
16	11.0
17	4.0
18	6.0
19	7.0
20	5.0
21	3.0
22	8.0
23	6.0
24	5.0
25	2.0
26	1.0
27	0.0
28	2.0
29	1.0
30	1.0
31	1.0
32	0.0
33	0.0
34	0.0
35	1.0
36	0.0
37	2.0
38	1.0
39	0.0
40	0.0
41	0.0
42	0.0
43	0.0
44	0.0
45	0.0
46	0.0
47	0.0
48	0.0
49	0.0
50	0.0



TOTAL                    182 datos

**2. Ancho del histograma**

Número de datos descartados: 10 % (5 % en cada extremo)

Rango D                    104.0300 mm  
Factor de Corrección      0.892

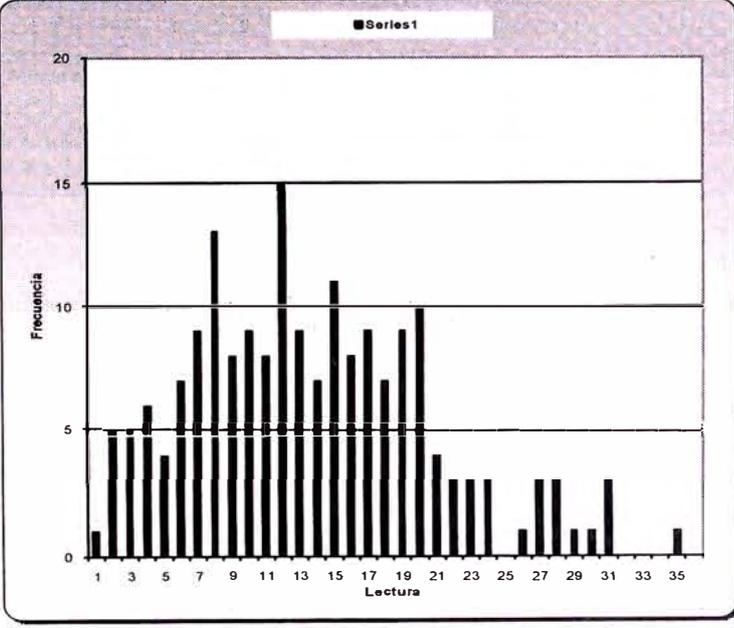
**3. Cálculo de la Rugosidad**                     $R=0.593 + 0.0471 D$

R =                    5.49 IRI

PSI =                    1.8

Fuente: Elaboración propia

## Rugosidad y Serviabilidad Tramo Km 118+800 – Km 119+200

	<b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA - TITULACIÓN 2010 - I</b>																																																																																																				
<b>MEDICION DE LA RUGOSIDAD</b>																																																																																																					
<b>PROYECTO</b> : Carretera Cañete - Yauyos - Chupaca <b>SECTOR</b> : Puente Aucco - Desvío Yauyos <b>TRAMO</b> : Km. 118+800 - Km. 119+200 <b>CARRIL</b> : Izquierdo <b>SUP. RODADURA</b> : Monocapa	<b>GRUPO</b> : 5 <b>OPERADOR</b> : Ismael Carbajal <b>ING. INSTRUCT.</b> : Elifo Quiñones <b>FECHA</b> : 15-may-10																																																																																																				
<b>CÁLCULO DE LA RUGOSIDAD</b>																																																																																																					
<b>1. Distribución de Frecuencias</b>																																																																																																					
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>1</td><td>1.0</td></tr> <tr><td>2</td><td>5.0</td></tr> <tr><td>3</td><td>5.0</td></tr> <tr><td>4</td><td>6.0</td></tr> <tr><td>5</td><td>4.0</td></tr> <tr><td>6</td><td>7.0</td></tr> <tr><td>7</td><td>9.0</td></tr> <tr><td>8</td><td>13.0</td></tr> <tr><td>9</td><td>8.0</td></tr> <tr><td>10</td><td>9.0</td></tr> <tr><td>11</td><td>8.0</td></tr> <tr><td>12</td><td>15.0</td></tr> <tr><td>13</td><td>9.0</td></tr> <tr><td>14</td><td>7.0</td></tr> <tr><td>15</td><td>11.0</td></tr> <tr><td>16</td><td>8.0</td></tr> <tr><td>17</td><td>9.0</td></tr> <tr><td>18</td><td>7.0</td></tr> <tr><td>19</td><td>9.0</td></tr> <tr><td>20</td><td>10.0</td></tr> <tr><td>21</td><td>4.0</td></tr> <tr><td>22</td><td>3.0</td></tr> <tr><td>23</td><td>3.0</td></tr> <tr><td>24</td><td>3.0</td></tr> <tr><td>25</td><td>0.0</td></tr> <tr><td>26</td><td>1.0</td></tr> <tr><td>27</td><td>3.0</td></tr> <tr><td>28</td><td>3.0</td></tr> <tr><td>29</td><td>1.0</td></tr> <tr><td>30</td><td>1.0</td></tr> <tr><td>31</td><td>3.0</td></tr> <tr><td>32</td><td>0.0</td></tr> <tr><td>33</td><td>0.0</td></tr> <tr><td>34</td><td>0.0</td></tr> <tr><td>35</td><td>1.0</td></tr> <tr><td>36</td><td>0.0</td></tr> <tr><td>37</td><td>0.0</td></tr> <tr><td>38</td><td>0.0</td></tr> <tr><td>39</td><td>0.0</td></tr> <tr><td>40</td><td>0.0</td></tr> <tr><td>41</td><td>0.0</td></tr> <tr><td>42</td><td>0.0</td></tr> <tr><td>43</td><td>0.0</td></tr> <tr><td>44</td><td>0.0</td></tr> <tr><td>45</td><td>0.0</td></tr> <tr><td>46</td><td>0.0</td></tr> <tr><td>47</td><td>0.0</td></tr> <tr><td>48</td><td>0.0</td></tr> <tr><td>49</td><td>0.0</td></tr> <tr><td>50</td><td>0.0</td></tr> </table>	1	1.0	2	5.0	3	5.0	4	6.0	5	4.0	6	7.0	7	9.0	8	13.0	9	8.0	10	9.0	11	8.0	12	15.0	13	9.0	14	7.0	15	11.0	16	8.0	17	9.0	18	7.0	19	9.0	20	10.0	21	4.0	22	3.0	23	3.0	24	3.0	25	0.0	26	1.0	27	3.0	28	3.0	29	1.0	30	1.0	31	3.0	32	0.0	33	0.0	34	0.0	35	1.0	36	0.0	37	0.0	38	0.0	39	0.0	40	0.0	41	0.0	42	0.0	43	0.0	44	0.0	45	0.0	46	0.0	47	0.0	48	0.0	49	0.0	50	0.0	
1	1.0																																																																																																				
2	5.0																																																																																																				
3	5.0																																																																																																				
4	6.0																																																																																																				
5	4.0																																																																																																				
6	7.0																																																																																																				
7	9.0																																																																																																				
8	13.0																																																																																																				
9	8.0																																																																																																				
10	9.0																																																																																																				
11	8.0																																																																																																				
12	15.0																																																																																																				
13	9.0																																																																																																				
14	7.0																																																																																																				
15	11.0																																																																																																				
16	8.0																																																																																																				
17	9.0																																																																																																				
18	7.0																																																																																																				
19	9.0																																																																																																				
20	10.0																																																																																																				
21	4.0																																																																																																				
22	3.0																																																																																																				
23	3.0																																																																																																				
24	3.0																																																																																																				
25	0.0																																																																																																				
26	1.0																																																																																																				
27	3.0																																																																																																				
28	3.0																																																																																																				
29	1.0																																																																																																				
30	1.0																																																																																																				
31	3.0																																																																																																				
32	0.0																																																																																																				
33	0.0																																																																																																				
34	0.0																																																																																																				
35	1.0																																																																																																				
36	0.0																																																																																																				
37	0.0																																																																																																				
38	0.0																																																																																																				
39	0.0																																																																																																				
40	0.0																																																																																																				
41	0.0																																																																																																				
42	0.0																																																																																																				
43	0.0																																																																																																				
44	0.0																																																																																																				
45	0.0																																																																																																				
46	0.0																																																																																																				
47	0.0																																																																																																				
48	0.0																																																																																																				
49	0.0																																																																																																				
50	0.0																																																																																																				
TOTAL 186 datos																																																																																																					
<b>2. Ancho del histograma</b>																																																																																																					
Número de datos descartados: 10 % (5 % en cada extremo)																																																																																																					
Rango D	103.6985 mm																																																																																																				
Factor de Corrección	0.892																																																																																																				
<b>3. Cálculo de la Rugosidad</b> $R=0.593 + 0.0471 D$																																																																																																					
<b>R =</b> 5.48 IRI	<b>PSI =</b> 1.8																																																																																																				

Fuente: Elaboración propia

### Rugosidad y Serviciabilidad Tramo Km 119+200 – Km 119+600

	<b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA - TITULACIÓN 2010 - I</b>
<b>MEDICIÓN DE LA RUGOSIDAD</b>	
PROYECTO : Carretera Cañete - Yauyos - Chupaca SECTOR : Puente Aucco - Desvío Yauyos TRAMO : Km. 119+200 - Km. 119+600 CARRIL : Izquierdo SUP. RODADURA : Monocapa	GRUPO : 5 OPERADOR : Ismael Carbajal ING. INSTRUCT.: Elifio Quiñones FECHA : 15-may-10
<b>CÁLCULO DE LA RUGOSIDAD</b>	
<b>1. Distribución de Frecuencias</b>	
1	2.0
2	5.0
3	2.0
4	7.0
5	2.0
6	7.0
7	5.0
8	12.0
9	7.0
10	10.0
11	10.0
12	19.0
13	10.0
14	14.0
15	16.0
16	12.0
17	5.0
18	15.0
19	8.0
20	8.0
21	6.0
22	4.0
23	2.0
24	3.0
25	1.0
26	0.0
27	1.0
28	0.0
29	0.0
30	0.0
31	0.0
32	0.0
33	0.0
34	0.0
35	0.0
36	0.0
37	0.0
38	0.0
39	0.0
40	0.0
41	0.0
42	0.0
43	0.0
44	0.0
45	0.0
46	0.0
47	0.0
48	0.0
49	0.0
50	0.0

TOTAL 193 datos

**2. Ancho del histograma**

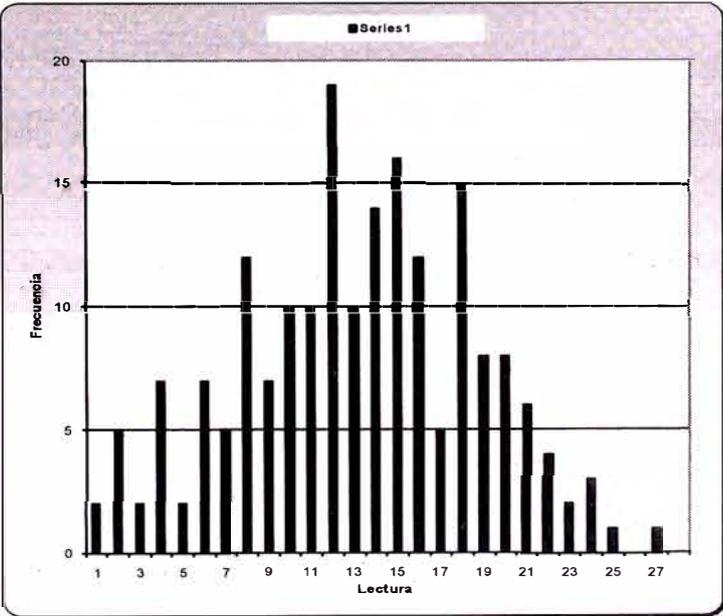
Número de datos descartados: 10 % (5 % en cada extremo)

Rango D 81.4089 mm  
Factor de Corrección 0.892

**3. Cálculo de la Rugosidad**  $R=0.593 + 0.0471 D$

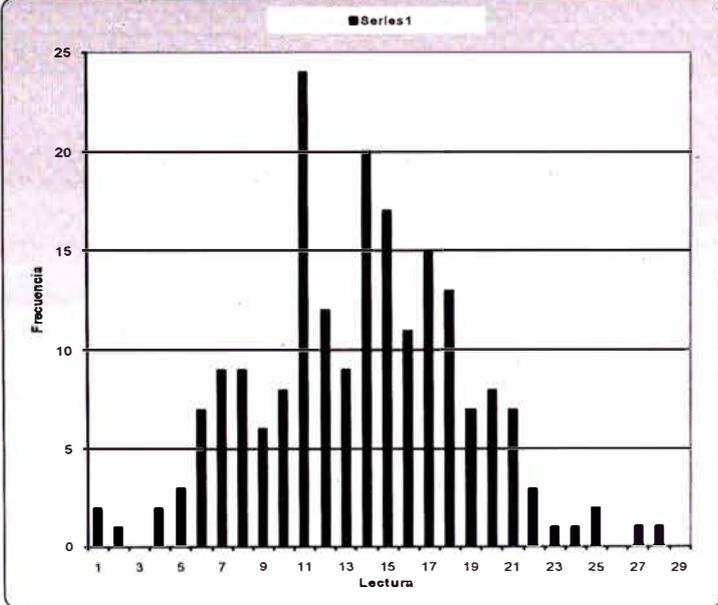
R = 4.43 IRI

PSI = 2.2



Fuente: Elaboración propia

## Rugosidad y Serviabilidad Tramo Km 119+600 – Km 120+000

	<b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA - TITULACIÓN 2010 - I</b>																																																																																																				
<b>MEDICION DE LA RUGOSIDAD</b>																																																																																																					
<b>PROYECTO</b> : Carretera Cañete - Yauyos - Chupaca <b>SECTOR</b> : Puente Aucco - Desvío Yauyos <b>TRAMO</b> : Km. 119+600 - Km. 120+000 <b>CARRIL</b> : Izquierdo <b>SUP. RODADURA</b> : Monocapa	<b>GRUPO</b> : 5 <b>OPERADOR</b> : Ismael Carbajal <b>ING. INSTRUCT.</b> : Elifio Quiñones <b>FECHA</b> : 15-may-10																																																																																																				
<b>CÁLCULO DE LA RUGOSIDAD</b>																																																																																																					
<b>1. Distribución de Frecuencias</b>																																																																																																					
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>1</td><td>2.0</td></tr> <tr><td>2</td><td>1.0</td></tr> <tr><td>3</td><td>0.0</td></tr> <tr><td>4</td><td>2.0</td></tr> <tr><td>5</td><td>3.0</td></tr> <tr><td>6</td><td>7.0</td></tr> <tr><td>7</td><td>9.0</td></tr> <tr><td>8</td><td>9.0</td></tr> <tr><td>9</td><td>6.0</td></tr> <tr><td>10</td><td>8.0</td></tr> <tr><td>11</td><td>24.0</td></tr> <tr><td>12</td><td>12.0</td></tr> <tr><td>13</td><td>9.0</td></tr> <tr><td>14</td><td>20.0</td></tr> <tr><td>15</td><td>17.0</td></tr> <tr><td>16</td><td>11.0</td></tr> <tr><td>17</td><td>16.0</td></tr> <tr><td>18</td><td>13.0</td></tr> <tr><td>19</td><td>7.0</td></tr> <tr><td>20</td><td>6.0</td></tr> <tr><td>21</td><td>7.0</td></tr> <tr><td>22</td><td>3.0</td></tr> <tr><td>23</td><td>1.0</td></tr> <tr><td>24</td><td>1.0</td></tr> <tr><td>25</td><td>2.0</td></tr> <tr><td>26</td><td>0.0</td></tr> <tr><td>27</td><td>1.0</td></tr> <tr><td>28</td><td>1.0</td></tr> <tr><td>29</td><td>0.0</td></tr> <tr><td>30</td><td>0.0</td></tr> <tr><td>31</td><td>0.0</td></tr> <tr><td>32</td><td>0.0</td></tr> <tr><td>33</td><td>0.0</td></tr> <tr><td>34</td><td>0.0</td></tr> <tr><td>35</td><td>0.0</td></tr> <tr><td>36</td><td>0.0</td></tr> <tr><td>37</td><td>0.0</td></tr> <tr><td>38</td><td>0.0</td></tr> <tr><td>39</td><td>0.0</td></tr> <tr><td>40</td><td>0.0</td></tr> <tr><td>41</td><td>0.0</td></tr> <tr><td>42</td><td>0.0</td></tr> <tr><td>43</td><td>0.0</td></tr> <tr><td>44</td><td>0.0</td></tr> <tr><td>45</td><td>0.0</td></tr> <tr><td>46</td><td>0.0</td></tr> <tr><td>47</td><td>0.0</td></tr> <tr><td>48</td><td>0.0</td></tr> <tr><td>49</td><td>0.0</td></tr> <tr><td>50</td><td>0.0</td></tr> </table>	1	2.0	2	1.0	3	0.0	4	2.0	5	3.0	6	7.0	7	9.0	8	9.0	9	6.0	10	8.0	11	24.0	12	12.0	13	9.0	14	20.0	15	17.0	16	11.0	17	16.0	18	13.0	19	7.0	20	6.0	21	7.0	22	3.0	23	1.0	24	1.0	25	2.0	26	0.0	27	1.0	28	1.0	29	0.0	30	0.0	31	0.0	32	0.0	33	0.0	34	0.0	35	0.0	36	0.0	37	0.0	38	0.0	39	0.0	40	0.0	41	0.0	42	0.0	43	0.0	44	0.0	45	0.0	46	0.0	47	0.0	48	0.0	49	0.0	50	0.0	
1	2.0																																																																																																				
2	1.0																																																																																																				
3	0.0																																																																																																				
4	2.0																																																																																																				
5	3.0																																																																																																				
6	7.0																																																																																																				
7	9.0																																																																																																				
8	9.0																																																																																																				
9	6.0																																																																																																				
10	8.0																																																																																																				
11	24.0																																																																																																				
12	12.0																																																																																																				
13	9.0																																																																																																				
14	20.0																																																																																																				
15	17.0																																																																																																				
16	11.0																																																																																																				
17	16.0																																																																																																				
18	13.0																																																																																																				
19	7.0																																																																																																				
20	6.0																																																																																																				
21	7.0																																																																																																				
22	3.0																																																																																																				
23	1.0																																																																																																				
24	1.0																																																																																																				
25	2.0																																																																																																				
26	0.0																																																																																																				
27	1.0																																																																																																				
28	1.0																																																																																																				
29	0.0																																																																																																				
30	0.0																																																																																																				
31	0.0																																																																																																				
32	0.0																																																																																																				
33	0.0																																																																																																				
34	0.0																																																																																																				
35	0.0																																																																																																				
36	0.0																																																																																																				
37	0.0																																																																																																				
38	0.0																																																																																																				
39	0.0																																																																																																				
40	0.0																																																																																																				
41	0.0																																																																																																				
42	0.0																																																																																																				
43	0.0																																																																																																				
44	0.0																																																																																																				
45	0.0																																																																																																				
46	0.0																																																																																																				
47	0.0																																																																																																				
48	0.0																																																																																																				
49	0.0																																																																																																				
50	0.0																																																																																																				
TOTAL 199 datos																																																																																																					
<b>2. Ancho del histograma</b>																																																																																																					
Número de datos descartados: 10 % (5 % en cada extremo)																																																																																																					
Rango D 69.5445 mm Factor de Corrección 0.892																																																																																																					
<b>3. Cálculo de la Rugosidad</b> $R=0.593 + 0.0471 D$																																																																																																					
<b>R = 3.87 IRI</b>	<b>PSI = 2.5</b>																																																																																																				

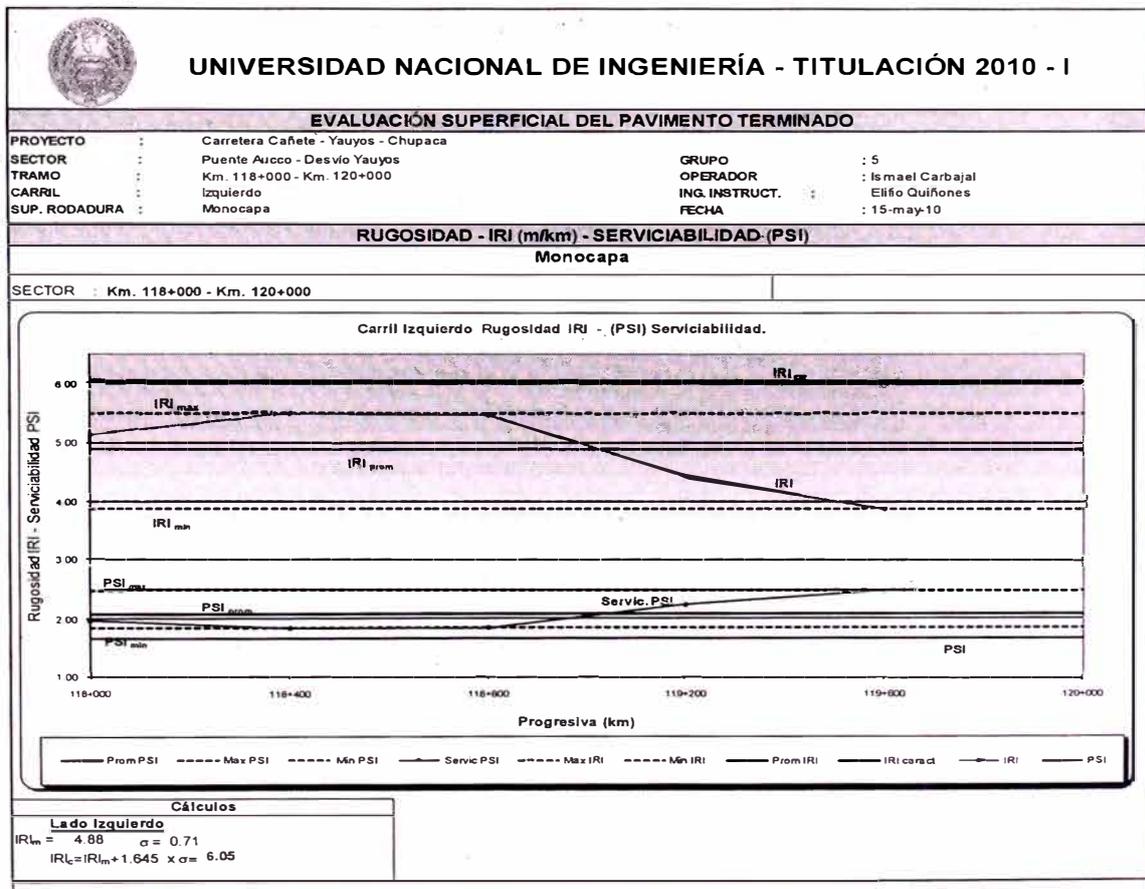
Fuente: Elaboración propia

Resumen de Rugosidad y Serviabilidad Tramo Km 118+000 – Km 120+000

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA - TITULACIÓN 2010 - I											
EVALUACIÓN SUPERFICIAL DEL PAVIMENTO TERMINADO											
PROYECTO : Carretera Cañete - Yauyos - Chupaca											
SECTOR : Puente Aucco - Desvío Yauyos					GRUPO : 5						
TRAMO : Km. 118+000 - Km. 120+000					OPERA : Ismael Carbajal						
CARRIL : Izquierdo					ING. INSTRUCTOCTOR : Eliffo Quiñones						
SUP. RODADURA : Monocapa					FECHA : 15-may-10						
MEDICIÓN DE LA RUGOSIDAD											
N°	FECHA DE ENSAYO	PROGRESIVA		LONGITUD m.	SUPERFICIE DE RODADURA	Lado Derecho			Lado Izquierdo		
		INICIO	FINAL			Rango "D"	IRI	Serviabilidad PSI	Rango "D"	IRI	Serviabilidad PSI
1	15-may-10	118+000	118+400	400	Monocapa				96.436	5.14	2.0
2	15-may-10	118+400	118+800	400	Monocapa				104.030	5.49	1.8
3	15-may-10	118+800	119+200	400	Monocapa				103.698	5.48	1.8
4	15-may-10	119+200	119+600	400	Monocapa				81.409	4.43	2.2
5	15-may-10	119+600	120+000	400	Monocapa				69.545	3.87	2.5
Numero de Ensayo									5	5	
Media									4.88	2.073	
Desviación Estandar									0.712	0.276	
Coeficiente de Variación									14.6	13.3	
IRI <sub>c</sub>									6.05		
PSI									1.7		
Máximo									5.49		
Mínimo									3.87		

Fuente: Elaboración propia

Rugosidad y Serviabilidad Tramo Km 118+000 – Km 120+000



Fuente: Elaboración propia