

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



**DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE RUGOSIDAD CON EL  
EQUIPO MERLÍN  
MONITOREO DE CONSERVACIÓN CARRETERA CAÑETE –  
HUANCAYO Km. 112+000 AL Km. 114+000**

**INFORME DE SUFICIENCIA**

**Para optar el Título Profesional de:**

**INGENIERO CIVIL**

**ITALO ALEJANDRO HUATAQUISPE VASQUEZ**

**Lima- Perú**

**2010**

## ÍNDICE

<b>RESUMEN</b> .....	4
<b>LISTA DE CUADROS</b> .....	5
<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	6
<b>LISTA DE SÍMBOLOS Y DE SIGLAS</b> .....	7
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	8
<b>CAPITULO I: GENERALIDADES</b>	
ANTECEDENTES.....	10
1.1.1 Aspectos generales.....	10
1.1.2 Identificación.....	11
1.1.3 Formulación y evaluación .....	20
1.2. TRAMO EVALUADO Km. 112+000 - Km. 114+000 .....	28
<b>CAPITULO II: MARCO TEÓRICO</b>	
2.1 COSTO DE OPERACIÓN VEHICULAR.....	29
2.2 INDICE INTERNACIONAL DE RUGOSIDAD (IRI).....	30
2.2.1 Definición.....	30
2.2.2 Antecedentes.....	31
2.2.3 Características del modelo.....	32
2.2.3 Escala y características del IRI.....	33
2.3 NIVELES DE RUGOSIDAD.....	34
2.4 DESCRIPCIÓN GENERAL.....	36
2.4.1 Principio de funcionamiento.....	36
2.4.2 Ejecución de ensayo.....	37
2.4.3 Ecuaciones de rugosidad.....	39
2.5 DESCRIPCIÓN ADICIONAL DE LA MAQUINA.....	41
2.5.1 Alineamiento.....	42
2.5.2 Amplificación del brazo móvil.....	43
2.5.3 Calibración.....	45
2.6 ELECCIÓN DE LA SECCIÓN DE PRUEBA.....	46
2.6.1 Longitud.....	46
2.6.2 Uniformidad y ondulaciones.....	47
2.7 CONSIDERACIONES PRÁCTICAS.....	48

2.7.1	Número de operadores.....	48
2.7.2	Seguridad.....	48
2.7.3	Comprobación cero.....	48

### **CAPITULO III: APLICACIÓN TRAMO KM. 112+000 – KM. 114+000**

3.1	APLICACIÓN DEL MERLÍN.....	50
3.2	PROCESAMIENTO DE DATOS.....	52
3.3	CÁLCULO DEL IRI.....	56

### **CAPITULO IV: ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS**

4.1	TRAMO: KM. 112+000 AL KM. 112+400.....	59
4.2	TRAMO: KM. 113+600 AL KM. 114+000.....	59

<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>61</b>
--------------------------	-----------

<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>63</b>
-----------------------------	-----------

<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>64</b>
--------------------------	-----------

<b>ANEXOS.....</b>	<b>65</b>
--------------------	-----------

## RESUMEN

El presente estudio tiene como finalidad determinar el índice de rugosidad desde el km 112+000 al km 114+000 de la carretera Cañete – Huancayo, habiéndose realizado los ensayos del km 112+000 al km 112+400, y del km 113+600 al km 114+000.

El sector correspondiente al estudio comprende un tratamiento superficial monocapa en condiciones regulares.

Para la medición de la rugosidad existen diversos equipos de diferentes niveles de precisión; para el presente estudio se utilizó el MERLÍN, el cual es un equipo de bajo costo, fácil manejo y mantenimiento.

Para medir la rugosidad se usó el Índice de Rugosidad Internacional (IRI), que es el parámetro más recomendado por el Banco Mundial y el más difundido.

Se visitó a la zona en estudio para poder sectorizar en tramos homogéneos, así como un estudio previo de la metodología.

Finalmente se procesó la información obtenida de campo, y se obtuvo un IRI de 5.14 del 112+000 al km 112+400, y un IRI de 4.73 del km 113+600 al km 114+000, lo cual refleja irregularidades superficiales del pavimento.

## LISTA DE CUADROS

Cuadro 1.01 Estado actual de la carretera.....	13
Cuadro 1.02 Alternativas de solución para los tramos en estudio.....	20
Cuadro 1.03 Demanda de la carretera.....	21
Cuadro 1.04 Estaciones por tramo de análisis.....	21
Cuadro 1.05 Resumen de la oferta.....	23
Cuadro 1.06 Balance oferta –demanda.....	24
Cuadro 1.07 Calculo del VAN y el TIR de la alternativa elegida.....	26
Cuadro 1.08 Elección de alternativa para implementación.....	27
Cuadro 2.01 El IRI en diferentes países.....	35
Cuadro 2.02 El IRI en Uruguay.....	35
Cuadro 3.01 Toma de datos km. 112+000 al km. 112+400 en formato estándar.....	52
Cuadro 3.02 Toma de datos km. 113+600 al km. 114+000 en formato estándar.....	53
Cuadro 3.03 Histograma de distribución de frecuencias Km. 112+000 al km. 112+400.....	48
Cuadro 3.04 Histograma de distribución de frecuencias Km. 113+600 al km. 114+000.....	54
Cuadro 4.01 Datos IRI obtenidos en el tramo de evaluación.....	59
Cuadro 4.02 Datos IRI obtenidos en el tramo de evaluación.....	60

## LISTA DE FIGURAS

Fig. 1.01 Lunahuana-Pacarán con tratamiento superficial bicapa más Slurry Seal.....	14
Fig. 1.02 Zona crítica sin elementos de seguridad.....	16
Fig. 1.03 Tratamiento superficial monocapa, cerca a Tinco Yauricocha.....	17
Fig. 1.04 Tratamiento superficial monocapa deteriorado.....	18
Fig. 1.05 Tratamiento superficial monocapa deteriorado cerca a Chupaca...	19
Fig. 2.01 Influencia del Índice Internacional de Rugosidad en los costos de operación de un vehículo.....	30
Fig. 2.02 Representación grafica del modelo “Cuarto de Carro”.....	33
Fig. 2.03 Escala de valores del IRI y las características de los pavimentos.....	34
Fig. 2.04 Esquema del rugosímetro MERLÍN.....	37
Fig. 2.05 Toma de datos en formato estándar.....	38
Fig. 2.06 Histograma de la distribución de frecuencias de una muestra de 200 desviaciones.....	40
Fig. 2.07 Prueba de alineamiento.....	43
Fig. 2.08 Gráfico que muestra la acumulación de puntos en los límites.....	44
Fig. 2.09 Posición alternativa del patín de prueba.....	45
Fig. 3.01 Tratamiento superficial monocapa.....	50
Fig. 3.02 Tramo representativo de la sección a evaluar.....	51

## LISTA DE SÍMBOLOS Y DE SIGLAS

<b>AASHTO</b>	: American Association of State Highway and Transportation Officials
<b>FHA</b>	: Federal Highway Administration
<b>IMD</b>	: Índice Medio Diario
<b>IRI</b>	: International Roughness Index
<b>MERLÍN</b>	: machine for Evaluation Roughness using Low-cost Instrumentation
<b>MTC</b>	: Ministerio de Transporte y Comunicaciones
<b>NCHRP</b>	: National Cooperative Highway Research Program
<b>PERT</b>	: Proyecto Especial Rehabilitación de Transportes
<b>TRRL</b>	: Transport and Road Research Laboratory

## INTRODUCCIÓN

El grado de irregularidad longitudinal del pavimento influye en el nivel de comodidad y tiempo de transporte de los usuarios que transitan en la vía, así como en los costos de operación vehicular. La rugosidad es el parámetro que “cuantifica” el grado de irregularidad longitudinal de una carretera. Carreteras nuevas, en las cuales se tiene un bajo nivel de rugosidad permiten un ahorro sustancial en costos de operación vehicular y tiempo de transporte de los usuarios. Carreteras deterioradas, con un alto nivel de rugosidad, generan adicionalmente a la incomodidad que sufren los usuarios, mayores costos derivados del mayor desgaste vehicular y un mayor tiempo de transporte.

Para la elaboración de este trabajo se escogió el MERLÍN, el cual es un equipo de bajo costo, fácil manejo y mantenimiento, que brinda resultados seguros y confiables.

La rugosidad es empleada en la fase de diseño para determinar la condición actual del tramo y para plantear alternativas de mantenimiento, rehabilitación y/o reconstrucción dependiendo del nivel de deterioro de la vía. La rugosidad también es empleada como parámetro de control al término de un proyecto de carretera nueva, rehabilitación o mantenimiento de una carretera existente para verificar si se han alcanzado los estándares de calidad establecidos en el expediente técnico.

El objetivo general del presente estudio es determinar la rugosidad de la carretera Cañete – Huancayo, del km. 112+000 al km. 114+000 y así poder comparar valores actuales de rugosidad con anteriores realizados.

Los objetivos específicos para poder alcanzar el objetivo general son:

- Obtener datos de campo con el MERLÍN, el cual debe estar debidamente calibrado para luego procesarlos y obtener el IRI.
- Calcular el índice de serviciabilidad a partir de índice de rugosidad obtenido.



El presente estudio consta de un resumen, una lista de cuadros, figuras, símbolos y siglas, continua con una introducción seguida de cuatro capítulos, para finalizar se presentan las conclusiones, recomendaciones, así como la bibliografía y anexos.

En el Capítulo 1 se describe la carretera en estudio, en base al perfil del proyecto desarrollado en el presente curso.

En el capítulo 2 se describe el método a utilizar en la evaluación mediante una descripción detallada del equipo MERLÍN, sus características, su evolución y su modo de empleo, también se definen los parámetros que servirán para evaluar la superficie como la Rugosidad y el Índice de Rugosidad Internacional.

En el capítulo 3 se realiza el procesamiento de la información obtenida de la carretera en estudio, siguiendo los pasos descritos en el capítulo 2.

En el capítulo 4 se analizan e interpretan los resultados obtenidos en el trabajo de campo.

## **CAPITULO I: GENERALIDADES**

### **1.1 ANTECEDENTES**

#### **1.1.1 Aspectos generales**

A raíz de los acuerdos del convenio de cooperación interinstitucional 018-2008-MTC/20 efectuado entre el proyecto especial de infraestructura de transporte nacional – Provias Nacional y la Universidad Nacional de Ingeniería, se busca implementar un sistema de acompañamiento y monitoreo del contrato de conservación vial por niveles de servicio de la carretera Cañete – Huancayo.

Para ello, la Universidad Nacional de Ingeniería mediante el curso de titulación profesional 2010, modalidad actualización de conocimientos, desarrollará a través de sus alumnos el estudio de pre inversión a nivel de perfil de la carretera Cañete-Huancayo.

Nombre del Proyecto: “Estudio de pre inversión a nivel de perfil para la conservación vial de la carretera Cañete – Yauyos – Huancayo”.

**Ubicación: El tramo en estudio está ubicado en las provincias de Cañete, Yauyos (departamento de Lima) y Chupaca (departamento de Junín).**

#### **Marco de Referencia**

La conservación de la vía por niveles de servicio tiene como origen la necesidad de optar por un desvío alternativo para la carretera central, la cual actualmente no cuenta con un tránsito fluido y rápido debido a características propias de clima y topografía.

Mediante Resolución Directoral N°815-2004-MTC/20 de fecha 22-11-2004 se aprobó administrativamente el estudio de pre inversión a nivel perfil del proyecto “Rehabilitación y mejoramiento de la carretera Ruta 22, tramo Lunahuana - Yauyos – Chupaca”. El estudio a nivel de perfil se encuentra enmarcado por la ley No. 27293 del Sistema Nacional de Inversión Pública, su reglamento el Decreto Supremo No. 157-2002-EF y la directiva aprobada mediante Resolución Directoral No.012-2002-EF/68.01.

Con oficio N°1411-2004-EF/68.01 del 06-10-2004. El Ministerio de Economía y Finanzas autorizó la elaboración del estudio de factibilidad del proyecto “Rehabilitación y mejoramiento de la carretera Ruta 22, tramo Lunahuana-

Yauyos-Chupaca”,

Mediante el informe N° 861-2005-MTC/09.02 de 09-12-2005, se aprueba el estudio de factibilidad del proyecto.

### 1.1.2 Identificación

#### Diagnóstico de la Situación Actual

#### **Antecedentes y motivos que generaron la propuesta del proyecto**

En cuanto a los antecedentes a nivel de intervenciones, se ha podido determinar que la carretera fue construida en el año 1958.

Las poblaciones en el tramo de carretera Cañete - Yauyos se han visto en la necesidad de interconectarse vialmente, debido a ello se han organizado las poblaciones de los distritos de Pacarán, Zúñiga, Yauyos, Alis, Ayauca, Caca, Catahuasi, Huantan, Laraos, San José de Quero entre otros, para plantear las condiciones irregulares de transitabilidad vehicular, por lo que nace la necesidad de mejorar la vía como un medio indispensable para incrementar el flujo de la economía. Ante esta situación han planteado a los entes gubernamentales, solicitar el apoyo para que se atienda y se pueda contar con una vía de infraestructura en óptimas condiciones de transitabilidad.

El 27 de diciembre de 2007, la empresa “Consortio Gestión de Carreteras”, asume las obligaciones de contratista conservador para realizar el servicio de conservación vial por niveles de servicio de la carretera Cañete-Lunahuana-Pacarán-Ronchas-Chupaca y rehabilitación del tramo Zúñiga-Dv. Yauyos-Ronchas.

Actualmente, el consorcio Gestión de Carretera (CGC), viene haciendo trabajos de mantenimiento periódico y rutinario como parte de los compromisos contraídos, según los términos de referencia.

#### **Las características de la situación negativa que se intenta modificar**

En la actualidad la vía es un camino de bajo volumen de tránsito, presentado las siguientes características: tramos angostos, superficie de rodadura con tratamiento superficial, cunetas de tierra, taludes con material suelto y compacto, las cuales debido a un aumento inesperado del flujo vehicular y a las precipitaciones pluviales originarán que la vía sufra un rápido deterioro y quede

obstruida e intransitable.

### **Las razones por la que es de interés para la comunidad resolver dicha situación.**

Las localidades mencionadas utilizarán esta vía como nexo para el intercambio de la producción que se generan en las localidades a beneficiarse, así como una alternativa de ruta a la carretera central en los lugares más distantes.

### **La explicación de porqué es competencia del Estado resolver dicha situación.**

Dentro de las funciones y competencias de los gobiernos locales, regionales y nacionales, está la de fomentar la interconexión entre las localidades locales, sectoriales y aledañas integrándolas a una economía compartida; de esta manera se permitirá el servicio de transporte terrestre eficiente y seguro.

### **Zona y población afectadas**

Población indirectamente beneficiada está comprendida por los departamentos de Lima y Junín, quienes con el mejoramiento de esta vía, tendrán una ruta alterna a la carretera central para realizar las actividades económicas, transporte, turismo, entre otros.

Características de la zona afectada y estimación de la población.

Región	Lima y Junín.
Provincias	Cañete, Yauyos, Chupaca, Concepción, Jauja, Huancayo.

La población directa está determinada por los distritos que se ubican en la provincia de Cañete, Yauyos, Chupaca, Concepción, Jauja, Huancayo, donde su crecimiento poblacional se presenta en la tabla siguiente. Asimismo se observa un crecimiento poblacional en el distrito de Yauyos, mientras que en los distritos de Caca y Catahuasi se observa un decrecimiento poblacional.

### **Características de los grupos sociales afectados**

En la tabla siguiente, se muestra el número de hogares y la PEA, donde la principal actividad económica de subsistencia que se realiza es la agricultura.

### **Descripción por sectores de la situación actual.**

La carretera en estudio tiene una longitud de 271.726 Km. y para un mejor análisis se ha dividido en cinco sectores de acuerdo al tipo de superficie de rodadura existente y a las condiciones geográficas (ver cuadro 1.01).

TRAMO	TIPO DE SUPERFICIE DE RODADURA	LONGITUD (km)
Cañete - Pacarán	Asfaltado -TSB	52+857
Pacarán - Catahuasi	Slurry Seal	24+143
Catahuasi – Tinco Yauricocha	Monocapa (regular estado)	104+680
Tinco Yauricocha – San José de Quero	Monocapa (deteriorado)	47+620
San José de Quero - Chupaca	Monocapa (deteriorado)	42+426

**Cuadro 1.01 Estado actual de la carretera  
 (Fuente: Propia)**

Tramo 1. Cañete – Pacarán (de 11+805km a 54+662km)

Este tramo comprende desde la localidad de Cañete, ubicada en la progresiva 1+805 a 71 m.s.n.m. hasta Pacarán en la progresiva 54+662 a 710 m.s.n.m. Este tramo se ha sectorizado en dos zonas:

**Sector Cañete-Lunahuana**

El tramo se encuentra asfaltado, con una longitud de 40.95 kilómetros, tiene una superficie de rodadura constituida por una carpeta asfáltica, su ancho de sección de plataforma es de 6.60 m. con dos carriles 01 de ida y otra de vuelta, cada uno para diferente sentido. Su orografía es ondulada, presenta un índice medio diario (IMD) de 1,477. El sistema de drenaje del tramo está constituido por alcantarillas, badenes, cunetas, canales y bajadas, en general se encuentra en buen estado.

Respecto a la señalización horizontal en los ejes central y lateral se encuentra en estado regular, los guardavías no presentan problemas y algunos postes delineadores se encuentran dañados o ausentes.

La señalización vertical lo constituyen las señales preventivas, reglamentarias e informativas en su mayoría en buen estado de conservación y los postes kilométricos en buen estado.

Presenta una zona crítica por inestabilidad de talud con una longitud aproximada de 50 metros.

### Sector Lunahuana-Pacarán

El tramo Lunahuana – Pacarán, tiene una longitud de 11.907 Km., tiene como punto de inicio el sector denominado Uchupampa y termina en la localidad de Pacarán . Se pasa localidades como Uchupampa, Condoray, Catapalla, Jacaya, Jacayita, Romani y Pacarán, el tramo se encuentra asfaltado, teniendo una superficie de rodadura constituida por un tratamiento superficial bicapa más slurry, presenta una calzada de un ancho promedio de 3.20 m. por carril. Los tipos de daños que se presentan en su mayoría son fisuras los cuales se presentan en sectores puntuales, este tipo de fallas se está produciendo por sollicitaciones vehiculares. Es necesario que se intervenga en dichos sectores para evitar que los daños se generalicen. El sistema de drenaje del tramo está constituido por alcantarillas, badenes, cunetas, canales y bajadas, las cuales, en su mayoría, se encuentran en buen estado. En cuanto a la señalización se cuenta con elementos de seguridad y señalización horizontal y señalización vertical. Los mismos que presentan diferentes condiciones que van desde buen estado a mal estado, algunas señales necesitan ser reemplazadas. Se tiene la existencia de gibas de concreto.



**Fig. 1.01 Lunahuana-Pacarán con tratamiento superficial bicapa mas slurry seal  
(Fuente: Propia)**

### Tramo 2. Pacarán – Catahuasi

Este tramo tiene una longitud de 3.743 kilómetros, comprende la localidad de Pacarán, ubicada en la progresiva 54+662 a 710 m.s.n.m. hasta Catahuasi que

se encuentra en la progresiva 78+805 a 1,206 m.s.n.m. el punto de inicio es la localidad de Pacarán que es el término del tratamiento superficial bicapa más slurry seal e inicio del tratamiento superficial slurry seal y culmina en la localidad de Catahuasi con tratamiento superficial slurry seal.

La superficie de rodadura se encuentra en condición regular con sectores de base estabilizada con slurry seal ( $e=2\text{cm}$ ) de acuerdo a los trabajos de mantenimiento que se han realizado.

Su orografía es ondulada, su ancho de sección de plataforma varía de 5.00 a 7.50 m.

Se tiene un puente metálico de 40 m de luz "puente Pacarán", que presenta una condición estructural preocupante debido a la corrosión que presentan sus elementos metálicos y cuyo mantenimiento no está comprendido dentro de los Términos de Referencia del presente contrato.

El sistema de drenaje está constituido por alcantarillas, cunetas de tierra y canales. Las alcantarillas se encuentran en funcionamiento, teniendo una condición estructural buena, pero en cuanto a la condición funcional algunos se encuentran parcialmente obstruidos

No presenta señalización horizontal en los ejes central y lateral pero si algunos postes delineadores provisionales.

La señalización vertical lo constituyen las señales preventivas, reglamentarias e informativas en su mayoría en buen estado de conservación y los postes kilométricos en estado regular.

### Tramo 3. Catahuasi – Tinco Yauricocha

Este tramo inicia en la localidad de Catahuasi (Km. 77+000), ubicada a 1,206 m.s.n.m. y finaliza en la localidad de Tinco Yauricocha (Km. 181+680), a 4,040 m.s.n.m., tiene una longitud de 104.68m., el cual presenta una superficie de rodadura con tratamiento superficial monocapa en regular estado, los tipos de daños que se presentan en dicho tramo son deformaciones (hundimientos y ahuellamientos) y baches.

Su orografía es accidentada, presenta al inicio secciones a media ladera que bordean el río y posteriormente secciones de medio túnel.

El ancho de plataforma es muy variable cuyo valor oscila entre 3.0 m y 8.5 m, este valor mínimo es probablemente debido a la acción erosiva del río.

Del análisis del tráfico, le corresponde un índice medio diario (IMD) de 722.

El drenaje transversal está conformado por puentes, pontones, alcantarillas tipo marco de concreto armado y tipo TMC en buenas condiciones estructurales pero que necesitan limpieza, dos badenes en regular estado y muros, mayormente de piedra, cuyo estado no es bueno.

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



**Fig. 1.02 Zona crítica sin elementos de seguridad  
(Fuente: Propia)**

En cuanto a la señalización, se tiene elementos de seguridad y señalización horizontal, existe algunas señales verticales, que son insuficientes, estas señales presentan regulares condiciones. Se ha visualizado la existencia de gibas de concreto en los centros poblados.

Sus diversas zonas críticas entre las predominantes se tienen por vía angosta y por erosión; también por inestabilidad de taludes y huaycos.

En el tramo se tienen puentes y pontones de madera con vigas metálicas y de tabloncillos de madera, los problemas que se han visualizado en los puentes son la pérdida que estos han sufrido en lo que corresponde a las barandas, lo cual constituye un peligro constante para los usuarios de la vía





**Fig. 1.03 Tratamiento superficial monocapa, cerca a Tinco Yauricocha  
(Fuente: Propia)**

#### Tramo 4. Tinco Yauricocha – San José de Quero

El tramo se inicia en la progresiva 183+485 en la localidad de Tinco Yauricocha y finaliza en la localidad de San José de Quero, las cuales se encuentra ubicadas a 4,040 m.s.n.m y 3,908 m.s.n.m. respectivamente, la totalidad de este tramo se desarrolla en la sierra de nuestro país, tiene una longitud total es de 47.620 Km presenta tratamiento superficial con monocapa el cual se encuentra deteriorado, con un ancho de plataforma mínimo de 2.60 m y 8.00 m como máximo. Del análisis de tráfico, el IMD correspondiente a esta zona es de 305.

Los tipos de daños que se presentan en dicho tramo son deformaciones (ahuellamiento) encalaminados, huecos, erosiones, cruce de agua, estos daños se presentan en diferentes niveles de severidad.

Su topografía es accidentada presentándose zonas de cañones como el Cañon de Uchco, que forma parte de la reserva paisajística Nor Yauyos,

El drenaje en esta zona, esta resulta insuficiente y en mal estado para la evacuación del agua de la plataforma.

A lo largo de la vía, el problema principal existente es la erosión de la ribera del río y la peligrosidad de la carretera debido a la existencia de tramos de vía angostos sumados a esto la topografía accidentada.

La señalización vertical es insuficiente y deficiente ya que gran porcentaje de esta se encuentra en regular o mal estado, no presenta señalización horizontal.



**Fig. 1.04 Tratamiento superficial monocapa deteriorado  
(Fuente: Propia)**

#### Tramo 5 San José de Quero - Chupaca

La localidad de San José de Quero se encuentra a 3908 m.s.n.m., el inicio de este tramo se da en la progresiva 231+105 finalizando en 273+531 ubicada en la localidad de Chupaca a 3270 m.s.n.m., la totalidad de este tramo se desarrolla en la sierra de nuestro país. Tiene una longitud total es de 42.426 Km, presenta tratamiento superficial con monocapa el cual esta deteriorado por efecto del clima y tráfico. Del análisis de tráfico el IMD correspondiente a esta zona es de 642. Su topografía es ondulada, en lo referente al drenaje en esta zona, esta resulta insuficiente para la evacuación del agua de la plataforma. En cuanto a la señalización, se notó la ausencia de señalización horizontal y la vertical se encuentra en regular o mal estado.



**Fig. 1.05 Tratamiento superficial monocapa deteriorado cerca a Chupaca  
(Fuente: Propia)**

### Descripción del Problema y sus Causas

El problema central de la vía en estudio es su rápido deterioro el cual hará que no sea transitable al cabo de un tiempo debido al incremento del flujo vehicular por los cambios de estándar realizados y por ser un ruta alterna a la carretera central.

Asimismo podemos considerar como causa del problema las inadecuadas características técnicas de la vía, como son: ancho de calzada insuficiente y variable que afectan en las maniobras de los vehículos realizando esfuerzos en la vía, otra causa considerada son las curvas cerradas, donde el frenado continuo desgasta con mayor rapidez la superficie de rodadura, además de realizar cambio de velocidades.

Estas causas son las que contribuyen al aislamiento de los pueblos ubicados a lo largo de la carretera en estudio que trae como consecuencia el retraso en su desarrollo y en general del país.

### Objetivo del Proyecto

PROBLEMA CENTRAL

“Rápido deterioro de la carretera”

OBJETIVO CENTRAL

“Mantener el óptimo nivel de transitabilidad de la vía Cañete-Huancayo”



## Alternativas de Solución

TRAM.	INICIO	FIN	(Km)	ALTERNATIVAS		
				1	2	3
1	CAÑETE	PACARÁN	52	Mant. Rutinario en C.A.	Mant. Rutinario en C.A.	Mant. Rutinario en C.A.
2	PACARÁN	CATAHUASI	24	Mant. Rutinario en SLURRY SEAL	Mant. Rutinario en SLURRY SEAL	Mant. Rutinario en SLURRY SEAL
3	CATAHUASI	TINCO YAURICOCHA	104	Mant. Rutinario en MONOCAPA	Mant. Periódico MONOCAPA	Mant. Rutinario en MONOCAPA
4	TINCO YAURICOCHA	SAN JOSÉ DE QUERO	48	Mant. Periódico BICAPA	Mant. Periódico SLURRY SEAL	Mant. Periódico SLURRY SEAL+MONOCAPA
5	SAN JOSÉ DE QUERO	CHUPACA	26	Mant. Periódico MONOCAPA	Mant. Periódico BICAPA	Mant. Periódico SLURRY SEAL

**Cuadro 1.02 Alternativas de solución para los tramos en estudio (Fuente: Propia)**

### 1.1.3 Formulación y evaluación

#### Horizonte del Proyecto

De acuerdo a los términos de referencia del curso de titulación, se plantea un horizonte para el proyecto de tres años, los que corresponden a los años que restan del contrato de servicios firmado entre el MTC, a través de PROVIAS, y el Consorcio Gestión de Carreteras (CGC).

Cabe indicar que para el proyecto tenemos la limitación de no considerar la rehabilitación y/o mejoramiento de la vía como alternativas de solución, a pesar de observar una carretera con anchos de calzada reducidos y variables, curvas muy cerradas, visibilidad inadecuada, por lo que nuestras alternativas de solución están limitadas solo al nivel de conservación del cambio de estándar ya realizado.

#### Análisis de la Demanda

En el tramo en estudio, el medio principal de transporte es el terrestre por carretera. No existen aeropuertos ni terminales ferroviarias en el área de influencia del proyecto.

La demanda de viajes en el tramo en cuestión está determinada por el estudio del tráfico que se presenta en el cuadro de demanda de la carretera al año 2009.

TIPO DE VEHÍCULO	IMD								
	E-1	E-2	E-3	E-4	E-5	E-6	E-7	E-8	E-9
AUTO	139	31	13	46	6	2	4	13	26
CAMIONETA	611	242	217	340	355	27	204	296	493
C.R.	406	140	143	306	63	12	22	27	32
MICRO	149	14	27	193	81	3	2	3	4
OMNIBUS 2	32	14	12	31	32	12	4	6	7
OMNIBUS +2	0	0	1	0	0	0	0	0	0
CAMIÓN 2 EJES	86	68	64	58	40	20	36	42	43
CAMIÓN 3 EJES	17	14	18	10	5	14	5	5	5
CAMIÓN 4 EJES	0	2	0	2	0	0	0	0	0
SEMITRAYLERS	37	30	25	49	67	0	28	38	32
TRAYLERS	0	0	0	110	73	0	0	0	0
<b>TOTAL</b>	<b>1477</b>	<b>555</b>	<b>520</b>	<b>1145</b>	<b>722</b>	<b>90</b>	<b>305</b>	<b>430</b>	<b>642</b>

**Cuadro 1.03 Demanda de la carretera  
(Fuente: MTC junio 2009)**

En el cuadro siguiente determinamos las estaciones que se están tomando por cada tramo para el análisis de demanda correspondiente.

TIPO DE VEHÍCULO	IMD				
	TRAMO 1	TRAMO 2	TRAMO 3	TRAMO 4	TRAMO 5
	E-1	E-4	E-5	E-7	E-9
AUTO	139	46	6	4	26
CAMIONETA	611	340	355	204	493
C.R.	406	306	63	22	32
MICRO	149	193	81	2	4
OMNIBUS 2	32	31	32	4	7
OMNIBUS +2	0	0	0	0	0
CAMIÓN 2 EJES	86	58	40	36	43
CAMIÓN 3 EJES	17	10	5	5	5
CAMIÓN 4 EJES	0	2	0	0	0
SEMITRAYLERS	37	49	67	28	32
TRAYLERS	0	110	73	0	0
<b>TOTAL</b>	<b>1477</b>	<b>1145</b>	<b>722</b>	<b>305</b>	<b>642</b>

**Cuadro 1.04 Estaciones por tramo de análisis  
(Fuente: MTC junio 2009)**

Para la proyección del tráfico utilizaremos los indicadores macroeconómicos, expresados en tasas de crecimiento y otros parámetros relacionados, que permitan determinar las tasas de crecimiento del tráfico. Estos parámetros son el PBI, la tasa de crecimiento anual de la población, la tasa de crecimiento del

ingreso per cápita.

### **Proyección del tráfico normal**

Para la proyección del tráfico liviano se utilizará como criterio la tasa de crecimiento anual per cápita (8.3%). Como el proyecto se encuentra ubicado en los departamentos de Lima y Junín las mismas que cuentan con las tasas de crecimiento de 1,7% y 1,1% respectivamente, al promediar se obtiene 1,4%, que servirá para la proyección del tráfico del transporte público. Asimismo para la proyección del tráfico pesado se ha utilizado el promedio del PBI del crecimiento del país en los últimos 10 años (6,28%), considerando que se tendrá un crecimiento similar dado el auge económico en el escenario interno y externo en los próximos tres años.

Nota.- Para el análisis no se ha considerado los años 2001 y 2009, ya que son años extraordinarios donde la tendencia no se presentó y nos generará, error en el cálculo.

### **Demanda proyectada con tráfico normal**

La demanda proyectada es el tráfico existente sin haberse implementado el proyecto, para el periodo de mantenimiento faltante de tres años.

### **Demanda proyectada con tráfico desviado**

Las encuestas origen – destino para el estudio de factibilidad de la carretera Lunahuana – Pacarán – Zúñiga – Dv. Yauyos - Chupaca, tienen como objetivo principal determinar el número y/o porcentaje de los vehículos de carga y vehículos de pasajeros que actualmente utilizan la carretera Huancayo – La Oroya – Lima o viceversa, y que debido al mal estado en que se encuentra la carretera en estudio Lunahuana - Chupaca, optarán por desviarse a esta una vez se produzcan las obras de mejoramiento que se propondrán.

De acuerdo a la encuesta realizada se deduce que el 80 % de los vehículos que se desviarían proceden de la unidad minera de Yauricocha, que extrae material de plomo, zinc, plata, cobre que utilizan como vía de comunicación la ruta Alis - Abra Negro Bueno – Chupaca – Pilcomayo - margen derecha del río Mantaro – Quilla - La Oroya - puente Santa Anita - puerto del Callao. Los camiones de alto tonelaje no pueden pasar por los túneles, ni por el puente Matica.

## Análisis de la Oferta

Para la carretera en análisis se ha sub-dividido en 05 tramos para poder tener sectorizada cada una de las áreas de análisis, y en cada una de ellas determinar las tres alternativas posibles para de esta manera determinar la que se adapte mejor a cada uno de los tramos que vamos a analizar.

A continuación, se detallará la oferta presentada para cada uno de los tramos de análisis ya que las condiciones en cada uno de ellos es diferente y merece un enfoque sectorizado para un mejor análisis.

DESCRIPCIÓN	ESTADO ACTUAL				
	TRAMO 1	TRAMO 2	TRAMO 3	TRAMO 4	TRAMO 5
<b>1. Características de la Vía</b>					
<b>Longitud (Km)</b>	52	24	104	48	26
<b>Tipo de Superficie</b>	CARPETA ASFÁLTICA	SLURRY SEAL	MONOCAPA	MONOCAPA	MONOCAPA
<b>Velocidad de Diseño (Km/h)</b>	60	40	30	30	30
<b>Radio Mínimo (m)</b>	105	45	45	45	45
<b>Ancho de calzada (m)</b>	7.2	6	3.5	3	3.5
<b>Estado de Conservación</b>	Bueno	Bueno	Regular	Malo	Malo
<b>Tipo de daño Promedio</b>	---	---	Fisuras Longitudinales	Piel de Cocodrilo	Piel de Cocodrilo
<b>Muros de Sostenimiento</b>	N.A.	N.A.	NO	NO	NO
<b>2. Drenaje</b>					
<b>Alcantarillas MCA</b>	SI	SI	NO	NO	NO
<b>Alcantarillas TMC</b>	SI	---	---	---	---
<b>Estado de Conservación</b>	BUENO	BUENO	REGULAR	MALO	DEFICIENTE
<b>Cunetas Revestidas</b>	SI	SI	NO	NO	NO
<b>Subdrenaje</b>	SI	SI	NO	NO	NO
<b>Zanjas de Drenaje</b>	SI	SI	SI	SI	NO
<b>Puentes y Pontones</b>	SI	SI	NO	NO	NO
<b>3. Impacto Ambiental</b>					
<b>Zona de Botaderos</b>	---	---	---	SI	---

**Cuadro 1.05 Resumen de la oferta  
(Fuente: Propia)**

## Balance Oferta - Demanda

El balance de oferta-demanda determina la interacción entre el flujo de vehículos que circulan y la capacidad vial que tiene la vía, que se verá reflejada en una

adecuada transitabilidad de los vehículos y en sus costos operativos.

Cabe señalar, que los viajes están representados por el flujo de vehículos que transita por el tramo de la carretera, a efectos de la evaluación de los beneficios solo se tomará en cuenta el ahorro por costos operativos vehicular por tipo de vehículo donde está incluido el ahorro del tiempo de viaje y/o de espera de los usuarios de la vías.

Además, la población beneficiada con el proyecto son todos los habitantes residentes en las vías colindantes y adyacentes del proyecto, que hacen uso de los servicios de transporte para su desplazamiento, como también para el traslado de sus mercancías.

Frente a la demanda descrita y la oferta vial existente, se plantea el cambio de estándar de la carretera en base a las siguientes características principales del proyecto:

DESCRIPCIÓN	BALANCE OFERTA-DEMANDA PROYECTADO DE ACUERDO A LA MEJOR ALTERNATIVA PROPUESTA EN CADA TRAMO DE ANÁLISIS				
	TRAMO 1	TRAMO 2	TRAMO 3	TRAMO 4	TRAMO 5
<b>1. Características de la Vía</b>					
<b>Longitud (Km)</b>	52	24	104	48	26
<b>Alternativa Propuesta</b>	Mant. Rutinario	Mant. Rutinario	Mant. Rutinario.	Mant. Periódico BICAPA	Mant. Periódico MONOCAPA
<b>Velocidad de Diseño (Km/h)</b>	60	40	40	30	40
<b>Pendiente Máxima (%)</b>	5%	5%	7%	10%	6%
<b>Radio Mínimo (m)</b>	105	45	45	45	45
<b>Ancho de calzada (m)</b>	7.2	6	3.5	3.5	3.5
<b>Estado de Conservación</b>	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO
<b>Muros de Sostenimiento</b>	N.A.	N.A.	SI	SI	SI
<b>2.Drenaje</b>					
<b>Alcantarillas</b>	SI	SI	SI	SI	SI
<b>Badenes</b>	CONCRETO	CONCRETO	CONCRETO	CONCRETO	CONCRETO
<b>Estado de Conservación</b>	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO
<b>Cunetas</b>	REVESTIDAS	REVESTIDAS	ENROCADO	ENROCADO	ENROCADO
<b>Puentes y Pontones</b>	CONCRETO	CONCRETO	CONCRETO	CONCRETO	CONCRETO
<b>3. Seguridad</b>					
<b>Señalización Horizontal</b>	SI	SI	SI	SI	SI
<b>Señalización Vertical</b>	SI	SI	SI	SI	SI

**Cuadro 1.06 Balance oferta -demanda  
(Fuente: Propia)**



## **Costos**

Se han determinado los costos de mantenimiento periódico teniendo en cuenta solo dos tramos como representativos de los cinco sectorizados existente en la carretera, hemos asumido estos dos tramos porque son los más críticos y en ellos se va a realizar las actividades de mantenimiento periódico.

Los presupuestos posteriormente mencionados han sido elaborados teniendo como referencia las partidas básicas que constituyen un mantenimiento periódico, los que se encuentran en los términos de referencia de conservación vial.

## **Beneficios**

Cada una de las tres alternativas propuestas del presente proyecto vial genera una serie de beneficios, en este caso se va a determinar los beneficios directos o beneficios cuantificables que son los que de acuerdo a su magnitud equivalente en dinero da la viabilidad a un proyecto.

Los principales beneficios directos que vamos a considerar son los siguientes:

Beneficios por ahorro de Costo de Operación Vehicular (COV).

Beneficios por ahorro de Tiempo de Viaje de los Usuarios.

Beneficios por ahorro de Costo de Mantenimiento

Beneficios por ahorro de Costo de Operación Vehicular (COV)

## **Evaluación Social**

Esta tarea tiene por objetivo calcular los indicadores de rentabilidad social de las alternativas planteadas en el proyecto. Para decidir la conveniencia de realizar un proyecto de inversión se puede adoptar diversos criterios. En general, todos consisten en comparar de alguna forma los flujos de beneficios y costos de la situación con proyecto, con los correspondientes a la situación base (sin proyecto optimizada).

Año	ALTERNATIVA N°1			
	Ahorro por Costos Mant.	Ahorro por reducción COV	Ahorro por reducción de Tiempo de Viaje	Flujo Neto del Proyecto
2010-2011	-2,959,272	0	0	-2,959,272
2011-2012	1,765,126	29,174,014	4,468,431	35,407,572
2012-2013	1,765,126	31,140,564	4,530,989	37,436,679

<b>VAN (S/.)</b>	<b>43,787,558</b>
<b>TIR (%)</b>	<b>11.94%</b>

FUENTE: Elaboración Propia

**Cuadro 1.07 Calculo del VAN y el TIR de la alternativa elegida  
(Fuente: Propia)**

### **Análisis de Sensibilidad**

El análisis de sensibilidad del proyecto implica calcular los indicadores de rentabilidad para los rangos de variación de las variables a sensibilizar, con el fin de medir el comportamiento de la alternativa propuesta.

A continuación se presentan los cuadros de análisis de sensibilidad para las situaciones expuestas de incremento en los costos de inversión y de decremento en los beneficios.

### **Sostenibilidad**

Según los aspectos observados en ítems anteriores, la sostenibilidad de este proyecto está dada principalmente por el adecuado mantenimiento que debe darse a la nueva infraestructura, ya que es común que en obras similares se presenten problemas como reducción de los beneficios esperados del proyecto, así como también la falta o poca capacidad de la institución encargada del proyecto, o quizás un financiamiento adecuado para la culminación del proyecto.

### **Impacto ambiental**

Los estudios de impacto ambiental, son admitidos como instrumento importante para la preservación de los recursos naturales y defensa del medio ambiente; es entendido como un proceso de análisis en el que se confrontan las características del medio ambiente y el proyecto, para estimar los posibles impactos ambientales y buscar el modo mitigación de estos. Por ello ofrece

ventajas tales como: ahorros de las inversiones, ahorro de costos en las obras, mejores diseños y además integrados con el entorno, mayor aceptación social de los proyectos.

### Selección de la Alternativa

Realizado el análisis de costo, beneficio y de evaluación social se determina como la alternativa viable la mostrada en el cuadro 1.08.

TRAMO	INICIO	FIN	(Km)	ALTERNATIVA
1	CAÑETE	PACARÁN	52	Mant. Rutinario en C.A.
2	PACARÁN	CATAHUASI	24	Mant. Rutinario en SLURRY SEAL
3	CATAHUASI	TINCO YAURICOCHA	104	Mant. Rutinario en MONOCAPA
4	TINCO YAURICOCHA	SAN JOSÉ DE QUERO	48	Mant. Periódico BICAPA
5	SAN JOSÉ DE QUERO	CHUPACA	26	Mant. Periódico MONOCAPA

**Cuadro 1.08 Elección de alternativa para implementación  
(Fuente: Propia)**

### CONCLUSIONES

- En base al diagnóstico realizado, se ha identificado que el problema central es el rápido deterioro de la vía, causado principalmente por el aumento de tráfico y las deficientes características geométricas, obras de drenaje, señalización, inestabilidad de taludes y otros, las cuales son necesarias mejorar para una adecuada conservación de la vía.
- La alternativa seleccionada consiste en un mantenimiento rutinario de los tramos 1 al 3; seguido de un mantenimiento periódico a nivel de tratamiento superficial bicapa y mantenimiento rutinario del tramo 4, mantenimiento periódico a nivel de tratamiento superficial monocapa y mantenimiento rutinario para el tramo 5.

## 1.2. TRAMO EVALUADO Km. 112+000 - Km. 114+000

El tramo evaluado corresponde al tramo comprendido entre Catahuasi – Tinco Yauricocha, según sectorización realizada en el estudio de perfil, el cual presenta una superficie de rodadura con tratamiento superficial monocapa en regular estado, los tipos de daños que se presentan en dicho tramo son hundimientos, ahuellamientos y baches.

## CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

### 2.1 COSTO DE OPERACIÓN VEHICULAR

Los costos que cualquier país debe de enfrentar durante toda la vida útil de un camino se dividen en tres clases:

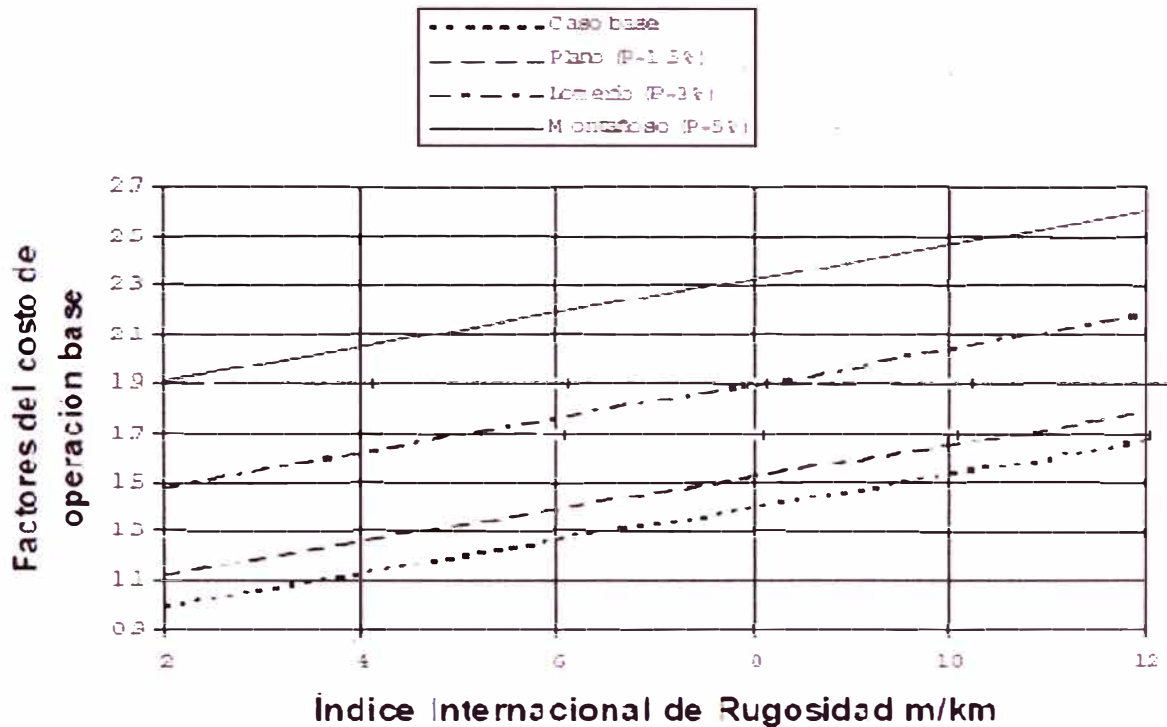
- Costos iniciales de construcción, que implican la realización de un proyecto.
- Costos de conservación, que son aquellos que abarcan las inversiones para mantener el camino en buenas condiciones, así como de conservar la calidad de servicio al usuario, enfrentando el probable crecimiento en la demanda.
- Costos de operación, que se producen cotidianamente por la circulación de los vehículos por dicho camino.

El criterio que debe orientar las decisiones en el área del transporte es minimizar los costos nacionales totales durante la vida útil del camino. Los costos de operación de los vehículos implican una atención especial debido a que estos superan a los otros dos, ocurren rutinariamente por el paso del tráfico de vehículos a lo largo de la carretera y tienen que ser pagados por los usuarios como resultado de la operación de dichos vehículos. Los principales costos de operación son los siguientes:

- a) Combustible.
- b) Lubricantes.
- c) Llantas.
- d) Reparación y refacciones.
- e) Operador.
- f) Depreciación y reposición de vehículos.
- g) Intereses.
- h) Seguros.
- i) Tiempo de traslado de las mercancías.

La influencia de las condiciones del camino en los costos de operación de los vehículos es significativa, como se puede observar en la Figura 2.01. En condiciones óptimas de circulación, que se asocian con una carretera

pavimentada bien conservada, recta, en terreno plano y sin problemas de tránsito, el costo de operación es mínimo. La presencia de baches o deficiencias en la superficie, de pendiente o grados de curvatura, así como la de otros vehículos, afecta las condiciones de operación y por lo tanto, los costos correspondientes.



**Fig. 2.01** Influencia del Índice Internacional de Rugosidad en los costos de operación de un vehículo.

(Fuente: Instituto Mexicano del Transporte – Índice Internacional de Rugosidad)

## 2.2 INDICE INTERNACIONAL DE RUGOSIDAD (IRI)

### 2.2.1 Definición

Para establecer criterios de calidad y comportamiento de los pavimentos que indicaran las condiciones actuales y futuras del estado superficial de un camino, surgió la necesidad de establecer un índice que permitiera evaluar las deformaciones verticales de un camino, que afectan la dinámica de los vehículos que transitan sobre él. Se trató de unificar los criterios de evaluación con los equipos de medición de rugosidad a nivel mundial, tales como los perfilómetros o los equipos de tipo respuesta, y que de alguna manera sustituyera el método de la AASHO, ahora AASHTO, que permite calificar la condición superficial de un camino solo en forma subjetiva.

El Índice Internacional de Rugosidad, mejor conocido como IRI (International Roughness Index), fue propuesto por el Banco Mundial en 1986 como un estándar estadístico de la rugosidad y sirve 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 Research Program (NCHRP) y está basado en un modelo llamado "Golden Car" descrito en el reporte 228 del NCHRP.

El cálculo matemático del Índice Internacional de Rugosidad está basado en la acumulación de desplazamientos en valor absoluto, de la masa superior con respecto a la masa inferior (en milímetros, metros o pulgadas) de un modelo de vehículo (cuarto de carro, Figura 3), dividido entre la distancia recorrida sobre un camino (en m, km. o millas) que se produce por los movimientos al vehículo, cuando éste viaja a una velocidad de 80 km/hr. El IRI se expresa en unidades de mm/m, m/km, in/mi, etc.

Así, el IRI es la medición de la respuesta de un vehículo a las condiciones de un camino. El IRI sirve como estándar para calibrar los equipos de medición de la regularidad superficial de un camino.

### **2.2.2 Antecedentes**

EL Banco Mundial patrocinó varios programas de investigación en los años setentas para conocer los problemas en los países en vías de desarrollo. Algunos de ellos arrojaron que los caminos con poca inversión en infraestructura resultan costosos a estos países, debido a los costos que los usuarios pagan al circular por esos caminos. La rugosidad de las carreteras fue identificada como un factor primario en los análisis que involucran la calidad del camino, en función de los costos de los usuarios. Se vió que los datos de la rugosidad de las diferentes partes del mundo no podían ser comparados, debido a que los datos, aun de un mismo país, eran poco confiables, ya que las mediciones estaban basadas en métodos diferentes.

La gran variedad de equipos utilizados para medir la regularidad superficial y los numerosos índices y escalas existentes para establecer los criterios de aceptación de la funcionalidad de una carretera, llevaron a considerar la conveniencia de adoptar un "índice único". Debido a que cada país contaba con

un equipo propio, no se podía imponer un solo equipo a todos y tampoco se podía coartar las futuras mejoras de los equipos existentes o el desarrollo de nuevos equipos.

En 1982, el Banco Mundial inició un experimento en Brasil para establecer correlaciones y un estándar de calibración para las mediciones de rugosidad. Se observó que los valores de los equipos de medición de la rugosidad superficial existentes se podían correlacionar. Una vez establecido este punto, uno de los objetivos de las investigaciones fue encontrar un índice de referencia al que posteriormente se denominó Índice Internacional de Rugosidad".

EL Índice Internacional de Rugosidad es el primer índice de perfil ampliamente utilizado, donde el método de análisis está adaptado para trabajar con diferentes tipos de equipos de medición de rugosidad y se puede decir que es una propiedad del perfil de un camino. Las ecuaciones de análisis fueron desarrolladas y ensayadas para minimizar los efectos de algunos parámetros de mediciones de perfil, tales como el intervalo de muestreo.

El cálculo del Índice Internacional de Rugosidad se basa en 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, Los desplazamientos de la suspensión del modelo son acumulados y divididos entre la distancia recorrida para dar el Índice Internacional de Rugosidad, en unidades de m/km., mm/m, in/mi, etc.

### **2.2.3 Características del modelo**

El modelo de Cuarto de Carro utilizado en el algoritmo del IRI debe su nombre a que implica la cuarta parte de un vehículo. El modelo se muestra en la Figura 2.02; que incluye una rueda representada por un resorte vertical, la masa del eje soportada por la llanta, un resorte de la suspensión, un amortiguador, y la masa del vehículo soportada por la suspensión de dicha rueda.



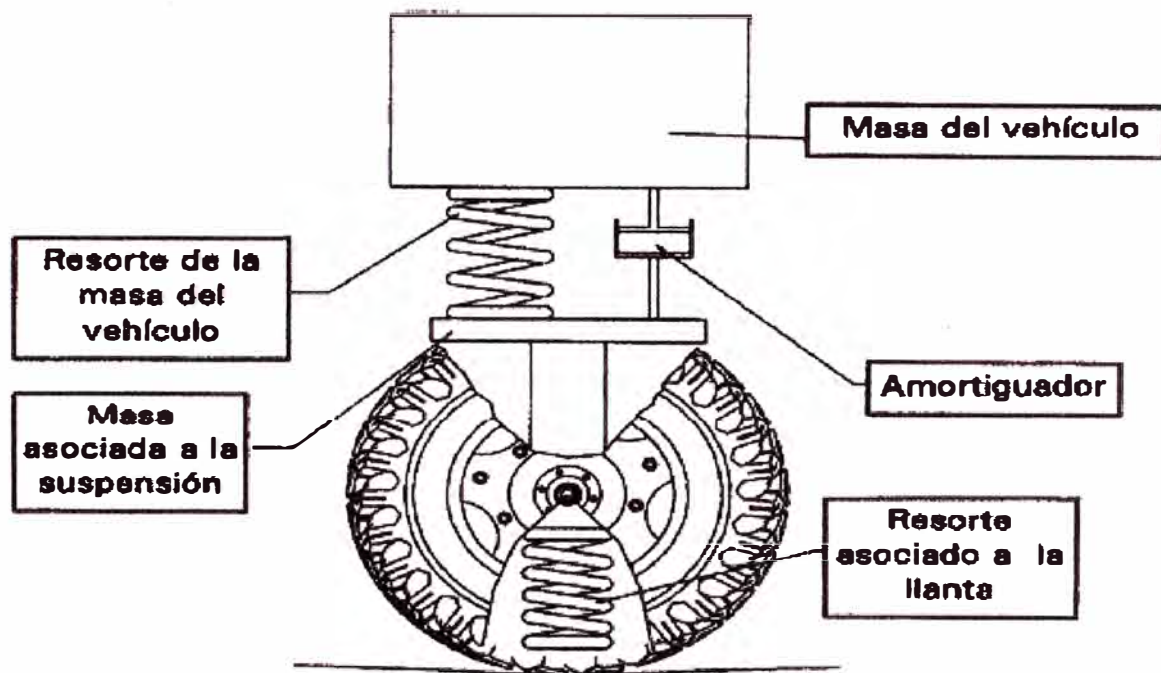


Fig. 2.02 Representación grafica del modelo "Cuarto de Carro".

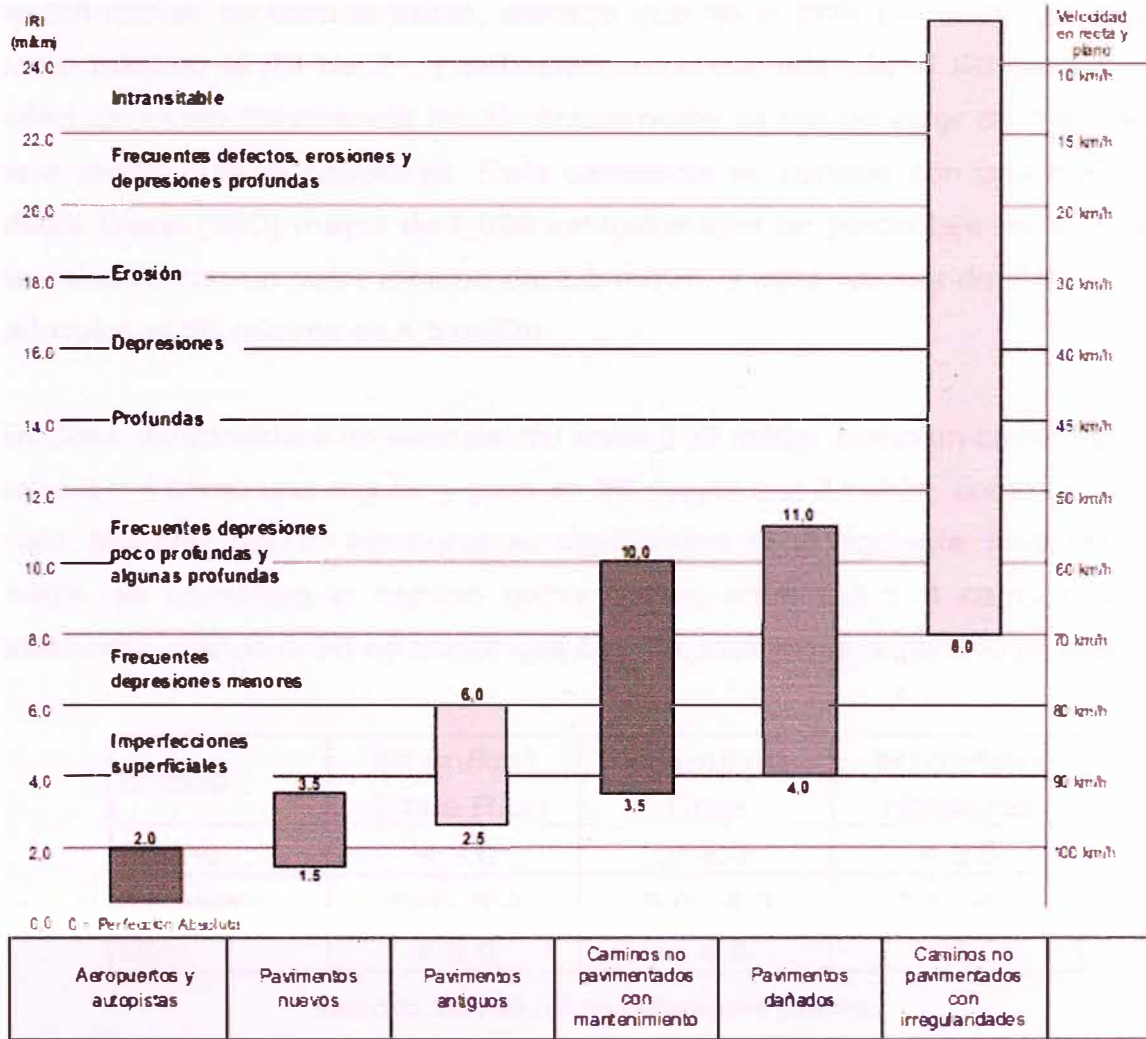
(Fuente: Instituto Mexicano del Transporte – Índice Internacional de Rugosidad)

EL modelo Cuarto de Carro fue ajustado para poder establecer una correlación con los sistemas de medición de rugosidad del tipo respuesta.

### 2.2.3 Escala y característica del IRI

La escala y características involucradas en el IRI son las siguientes:

- Las unidades están en mm/m, m/km o in/mi
- El rango de la escala del IRI para un camino pavimentado es de 0 a 12 m/km. (0 a 760 in/mi), donde 0 es una superficie perfectamente uniforme y 12 un camino intransitable. En la Figura 2.01 se presentan las características de los pavimentos dependiendo del valor del IRI, según las experiencias recogidas por el Banco Mundial en diversos países.
- Para una superficie con pendiente constante sin deformaciones (plano inclinado perfecto), el IRI es igual a cero. Por lo que la pendiente, como tal, no influye en el valor del IRI, no así los cambios de pendiente.



Escala de rugosidad para pavimentos (IRI)

**Fig. 2.03 Escala de valores del IRI y las características de los pavimentos.**  
(Fuente: Instituto Mexicano del Transporte – Índice Internacional de Rugosidad)

### 2.3 NIVELES DE RUGOSIDAD

En los Estados Unidos, la Federal Highway Administración (FHA) ha reportado que los rangos típicos del IRI evaluados en diferentes tramos de carreteras están entre 0.8 a 4.7 m/Km. (50 y 300 in/mi). Los tramos de pavimentos con valores menores de 2.4 m/Km. (150 in/mi) son considerados como superficies en buen estado y confortables, mientras que los valores de 4.7 m/Km. o más, son considerados como rugosos y no confortable.

En España, la Orden Circular 308/89C y E de 1989, fijaba el valor de 2 m/Km. como umbral para recibir una carretera. Más tarde se modificó para admitir el IRI

de 2.5 m/Km. en todo el tramo, siempre que en el 80% del tramo se alcance como máximo el IRI de 2 , y debiendo comenzar además el IRI de 1.5 en la mitad de tramo (Referencia No.3). Actualmente se fija un valor de 1.85 de IRI para recibir nuevas carreteras. Para carreteras en servicio con una Intensidad Media Diaria (IMD) mayor de 2,000 vehículos fijan un porcentaje de la longitud de calzada con un valor mínima de 3.5 m/Km. y para valores de IMD < 2,000 vehículos el IRI mínima de 4.5 m/Km.

En Chile, se considera un valor del IRI entre 0 y3 m/Km. como un camino bueno, entre 3 y 4 como uno regular y para un IRI mayor que 4 m/Km. como un camino malo. Mientras que en Honduras su clasificación es la siguiente: para IRI < 3.5 m/Km. se considera el camino como bueno, entre 3.5 y 6 como regular y finalmente cuando el IRI es mayor que 6m/Km. indica que el camino es malo.

Estado	IRI (m/km) Costa Rica	IRI (m/km) Chile	IRI (m/km) Honduras
Bueno	< 3.0	< 3.0	< 3.5
Regular	3.0 - 5.0	3.0 - 4.0	3.5 - 6.0
Malo	> 5.0	> 4.0	> 6.0

**Cuadro 2.01 El IRI en diferentes países.**

(Fuente: Instituto Mexicano del Transporte – Índice Internacional de Rugosidad)

En Uruguay hacen una diferencia de valores de IRI para pavimentos asfálticos y de concreto hidráulico que se presenta a continuación

Estado	IRI (m/km) Pavimento Asfaltico	IRI (m/km) Pavimento Hidraulico
Muy bueno	< 3.2	< 2.8
Bueno	3.2 - 3.9	2.8 - 3.5
Regular	4.0 - 4.6	3.6 - 4.3
Malo	> 4.6	> 4.3

**Cuadro 2.02 El IRI en Uruguay.**

(Fuente: Instituto Mexicano del Transporte – Índice Internacional de Rugosidad)

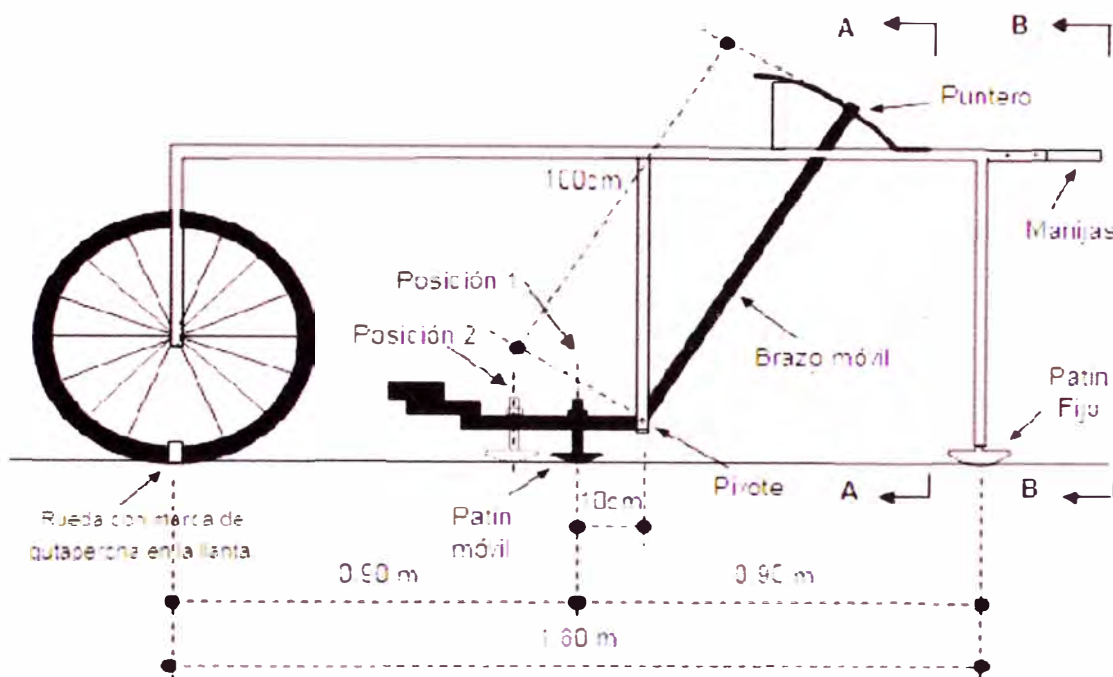
Es conveniente evaluar el Índice Internacional de Rugosidad en ciertos tramos para conocer el estado actual de la red y estimar el rango de valores en que se encuentran las carreteras y proponer una zona o umbral de alerta con respecto a la escala del IRI esto permitirá conocer cuáles son los tramos que en ese momento requieren de un estudio más detallado para conocer las causas de su deterioro para su reparación y cuales tramos por ese año no se les hará nada (tramos que no entran en esa zona).

## **2.4. DESCRIPCIÓN GENERAL**

### **2.4.1 Principio de funcionamiento**

El MERLÍN es un equipo que consta de un marco formado por dos elementos verticales y uno horizontal. Uno de los elementos verticales es una rueda donde una vuelta de la rueda es 2.00 m. En la parte central del elemento horizontal se proyecta una barra vertical cuyo extremo inferior pivotea un brazo móvil en cuyo extremo inferior se ubica un patín empernado ajustable mientras que en el extremo superior se ubica el puntero, siendo la relación de brazo entre los segmentos pivote-extremo es de 1:10, tal como el mostrado en la figura 2.01. En cada vuelta de la rueda se realiza una observación de acuerdo a la posición del puntero hasta completar las 200 observaciones. Las mediciones realizadas se reflejan en un histograma de frecuencias en donde se descarta el 10% de los valores menos representativos obtenidos (10 datos de cada una de las "colas" del histograma). El "ancho" del histograma (D), determinado una vez descartados los valores extremos se expresa en milímetros. El valor D debe ser corregido con el factor de calibración.

Este equipo solamente requiere de un operador, que luego de una calibración previa, recorre a pie el sector en estudio, efectuando 200 mediciones a intervalos regulares, abarcando una distancia de 400 m aproximadamente.



**Fig. 2.04 Esquema del rugosímetro MERLÍN**

(Fuente: Ing. Pablo del Águila - Metodología para la determinación de la rugosidad)

### 2.4.2 Ejecución de ensayo

Para la ejecución de los ensayos se requiere de dos personas que trabajan conjuntamente, un operador que conduce el equipo y realiza las lecturas y un auxiliar que las anota. Asimismo, debe seleccionarse un tramo de aproximadamente 400 m de longitud, sobre un determinado carril de una vía. Las mediciones se efectúan siguiendo la huella exterior del tráfico. Para determinar un valor de rugosidad se deben efectuar 200 observaciones de las “irregularidades que presenta el pavimento” (desviaciones relativas a la cuerda promedio), cada una de las cuáles son detectadas por el patín móvil del MERLÍN, y que a su vez son indicadas por la posición que adopta el puntero sobre la escala graduada del tablero, generándose de esa manera las lecturas. Las observaciones deben realizarse estacionando el equipo a intervalos regulares, generalmente cada 2m de distancia; en la práctica esto se resuelve tomando como referencia la circunferencia de la rueda del MERLÍN, que es aproximadamente esa dimensión, es decir, cada ensayo se realiza al cabo de una vuelta de la rueda.

En cada observación el instrumento debe descansar sobre el camino apoyado en tres puntos fijos e invariables: la rueda, el apoyo fijo trasero y el estabilizador para ensayo. La posición que adopta el puntero corresponderá a una lectura entre 1 y 50, la que se anotará en un formato de campo, tal como el mostrado en la figura 2.02. El formato consta de una cuadrícula compuesta por 20 filas y 10 columnas; empezando por el casillero (1,1), los datos se llenan de arriba hacia abajo y de izquierda a derecha.

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

PROYECTO : \_\_\_\_\_ OPERADOR : \_\_\_\_\_  
 SECTOR : \_\_\_\_\_ SUPERVISOR : \_\_\_\_\_  
 TRAMO : \_\_\_\_\_ FECHA : \_\_\_\_\_  
 CARRIL : \_\_\_\_\_

ENSAYO N°  KM  +  HORA  :

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1											TIPO DE PAVIMENTO :
2											AFIRMADO <input type="checkbox"/>
3											BASE GRANULAR <input type="checkbox"/>
4											BASE IMPRIMADA <input type="checkbox"/>
5											TRAT. BICAPA <input type="checkbox"/>
6											CARPETA EN FRIO <input type="checkbox"/>
7											CARP. EN CALIENTE <input type="checkbox"/>
8											RECAPEO ASFALTICO <input type="checkbox"/>
9											SELLO <input type="checkbox"/>
10											OTROS <input type="checkbox"/>
11											
12											
13											
14											
15											
16											
17											
18											
19											
20											

OBSERVACIONES : \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

**Fig. 2.05 Toma de datos en formato estándar**

(Fuente: Ing. Pablo del Águila - Metodología para la determinación de la rugosidad)

El proceso de medición es continuo y se realiza a una velocidad promedio de 2 km/h. La prueba empieza estacionando el equipo al inicio del tramo de ensayo, el operador espera que el puntero se estabilice y observa la posición que adopta

respecto de la escala colocada sobre el tablero, realizando así la lectura que es anotada por el auxiliar. Paso seguido, el operador toma el instrumento por las manijas, elevándolo y desplazándolo la distancia constante seleccionada para usarse entre un ensayo y otro (una vuelta de la rueda). En la nueva ubicación se repite la operación explicada y así sucesivamente hasta completar las 200 lecturas. El espaciado entre los ensayos no es un factor crítico, pero es recomendable que las lecturas se realicen siempre estacionando la rueda en una misma posición, para lo cual se pone una señal o marca llamativa sobre la llanta (con gutapercha fosforescente, por ejemplo), la que debe quedar siempre en contacto con el piso. Ello facilita la labor del operador quién, una vez hecha la lectura, levanta el equipo y controla que la llanta gire una vuelta haciendo coincidir nuevamente la marca sobre el piso.

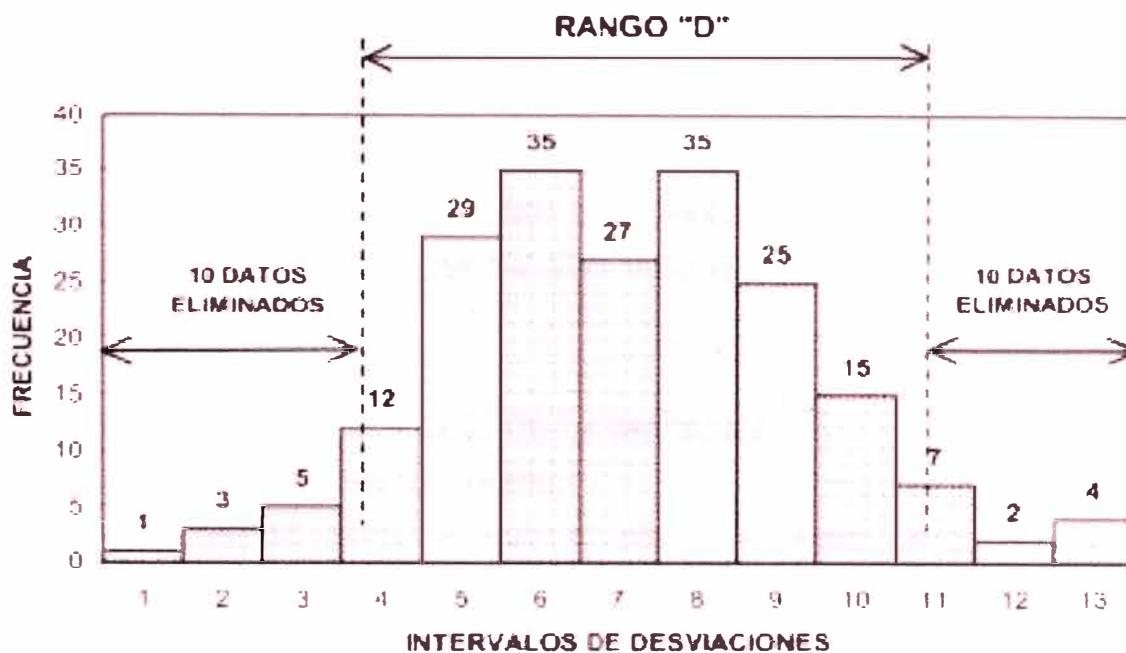
### 2.4.3 Ecuaciones de rugosidad

#### Cálculo del rango D

La dispersión de los datos obtenidos con el MERLÍN se analiza calculando la distribución de frecuencias de las lecturas o posiciones adoptadas por el puntero, la cual puede expresarse, para fines didácticos, en forma de histograma (ver Fig. 2.03). Posteriormente se establece el Rango de los valores agrupados en intervalos de frecuencia (D), luego de descartarse el 10% de datos que correspondan a posiciones del puntero poco representativas o erráticas. En la práctica se elimina 5% (10 datos) del extremo inferior del histograma y 5% (10 datos) del extremo superior.

Efectuado el descarte de datos, se calcula el “ancho del histograma” en unidades de la escala, considerando las fracciones que pudiesen resultar como consecuencia de la eliminación de los datos.

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. El valor D es la rugosidad del pavimento en “unidades MERLÍN”.



**Fig. 2.06 Histograma de la distribución de frecuencias de una muestra de 200 desviaciones**

(Fuente: Ing. Pablo del Águila - Metodología para la determinación de la rugosidad)

El valor de D obtenido del histograma es corregido multiplicándolo por el factor de calibración. Este valor de D es introducido en una fórmula para obtener el valor de IRI. En el Perú se han utilizado dos fórmulas distintas a la fecha:

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

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

La primera fórmula fue desarrollada por el Laboratorio Británico de Transporte, siendo validada en proyectos realizados en diversos países.

La segunda fórmula fue presentada en el II Congreso Nacional del Asfalto en Lima 1998, es una propuesta nacional basada en una simulación teórica bajo ciertas hipótesis:

- El valor de rugosidad puede adoptar un valor de IRI de 0
- Necesariamente la ecuación lineal debe pasar por el origen.
- Es inaplicable la fórmula desarrollada por el Laboratorio Británico de



Transporte para valores de IRI inferiores a 2.5

- La fórmula propuesta es válida solamente para un rango de IRI comprendido entre 0 y 2.5.

Cabe señalar que si bien es cierto la fórmula (2) ha sido empleada en proyectos viales en el Perú no ha sido validada con métodos de clase 1 utilizando data real.

## 2.5 DESCRIPCIÓN ADICIONAL DE LA MAQUINA

Deben notarse otros detalles del diseño:

- Es importante asegurar que el pie y el patín de prueba estén suficientemente bien alineados, de tal manera que sea posible realizar los ajustes laterales. Si existe un problema con el alineamiento, se debe revisar para observar si puede ser necesario doblar o girar la estructura para volverlo a su forma.
- La llanta delantera debe tener un modelo de banda rodante uniforme. Cualquier variación en el radio de la rueda más la llanta podría afectar las medidas y para superar esto todas las mediciones deben ser realizadas con la rueda en la posición normal. Los radios de la rueda más la llanta deben ser revisados girando la rueda y observando cuidadosamente su circunferencia cuando pasa por un punto fijo. El marcador debe ser posicionado de tal manera que se evite cualquier sección donde existan fluctuaciones en los radios (el espesor de la rueda con frecuencia varia cerca de la válvula).
- Para reducir la sensibilidad a una micro-textura de la superficie de la carretera. El patín de prueba y el pie trasero deben ser ambos de 12 mm de ancho y redondeados en el plano de la huella de la rueda con un radio de 100 mm. La redondez también tiende a mantener el punto de contacto del patín de prueba con la carretera en la misma línea vertical. El borde del pie trasero puede ser bastante agudo y para impedir al usuario coger sus espinillas accidentalmente, una pieza protectora se ajusta a la pata trasera para proteger la parte posterior de la pata trasera.
- Una guía de metal se instala cerca del tablero para restringir el brazo de modo que solamente se mueva en un plano vertical sobre la huella de la rueda. Esto protege al pivot impidiendo que el brazo sea accidentalmente

golpeado en las vías laterales. Es importante comprobar que el brazo este libre y no se friccionen con el guía. Un pedazo de goma se ajusta en un extremo de la guía para actuar como la parada del fin para el brazo móvil cuando el MERLÍN es alzado por las manijas.

- Solamente debe utilizarse un estabilizador. Si se instalan estabilizadores en ambos lados del MERLÍN existe un peligro en las superficies rugosas, especialmente con carriles profundos de la rueda. El MERLÍN puede descansar en uno de sus estabilizadores con uno de sus pies claramente conectados al terreno.

### 2.5.1 Alineamiento

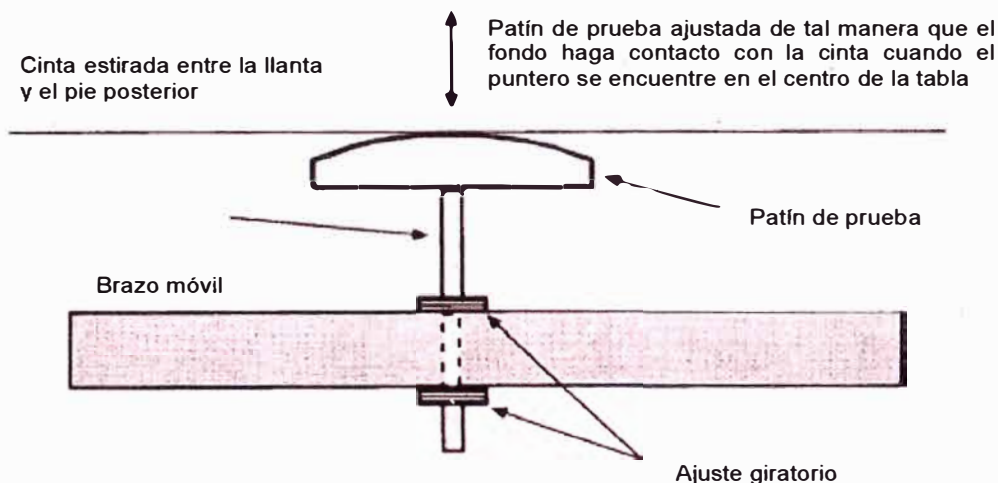
Antes que el MERLÍN pueda ser utilizado, el patín de prueba tiene que ser regulado tanto vertical como lateralmente de modo que este correctamente alineado con los pies delanteros y traseros. El montaje del patín de prueba es diseñado de tal manera que estas regulaciones puedan ser realizadas. El patín de prueba se fija a una varilla roscada el cual pasa a través de un orificio en el brazo móvil y es sostenido en su posición por dos tuercas, uno en cada lado del orificio. La posición vertical del patín de prueba puede ser regulada cambiando la posición de las tuercas. La posición lateral puede ser regulada al mismo tiempo ya que el orificio también se alarga transversalmente.

Para llevar a cabo la alineación:

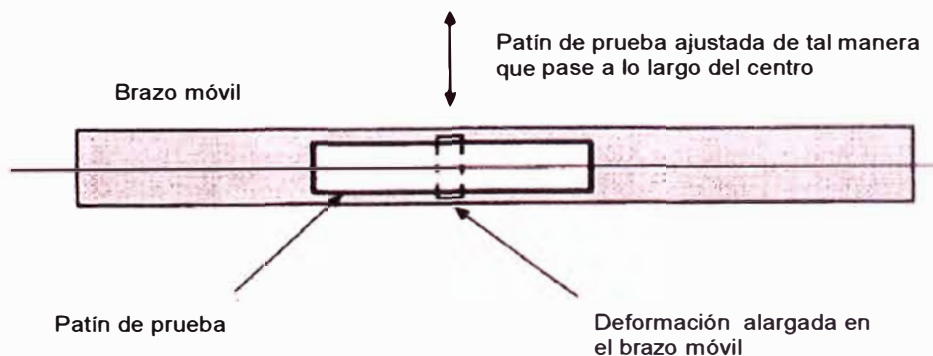
- Voltar el MERLÍN al revés y sostenerlo hacia arriba para que el brazo móvil este libre.
- Estirar un pedazo de cuerda bien tensado entre la base de la llanta y la base del pie trasero.
- Jalar suavemente hacia abajo el extremo del indicador del brazo móvil. Esto hará elevar lentamente el patín de prueba hacia la cuerda. Luego revisa los dos alineamientos (ver Fig. 2.04).
- Alineación vertical. Cuando se regula adecuadamente, la base del patín de prueba tocará exactamente la cuerda cuando el indicador este en el centro del tablero. Si es correcto, los histogramas estarán centrados en el tablero.
- Alineamiento lateral. Cuando la regulación es adecuada, la cuerda correrá a lo largo del centro de la base del patín de prueba. Si es correcto, apoyando el MERLÍN de lado a lado cuando se están realizando

las observaciones por ejemplo al descansar en el estabilizador, tendrá poco efecto en la posición del indicador.

Ajuste vertical – Vista de canto



Ajuste lateral – Vista superior



**Fig. 2.07 Prueba de alineamiento**

(Fuente: The Merlín road roughness machine: User Guide by M A Cundill)

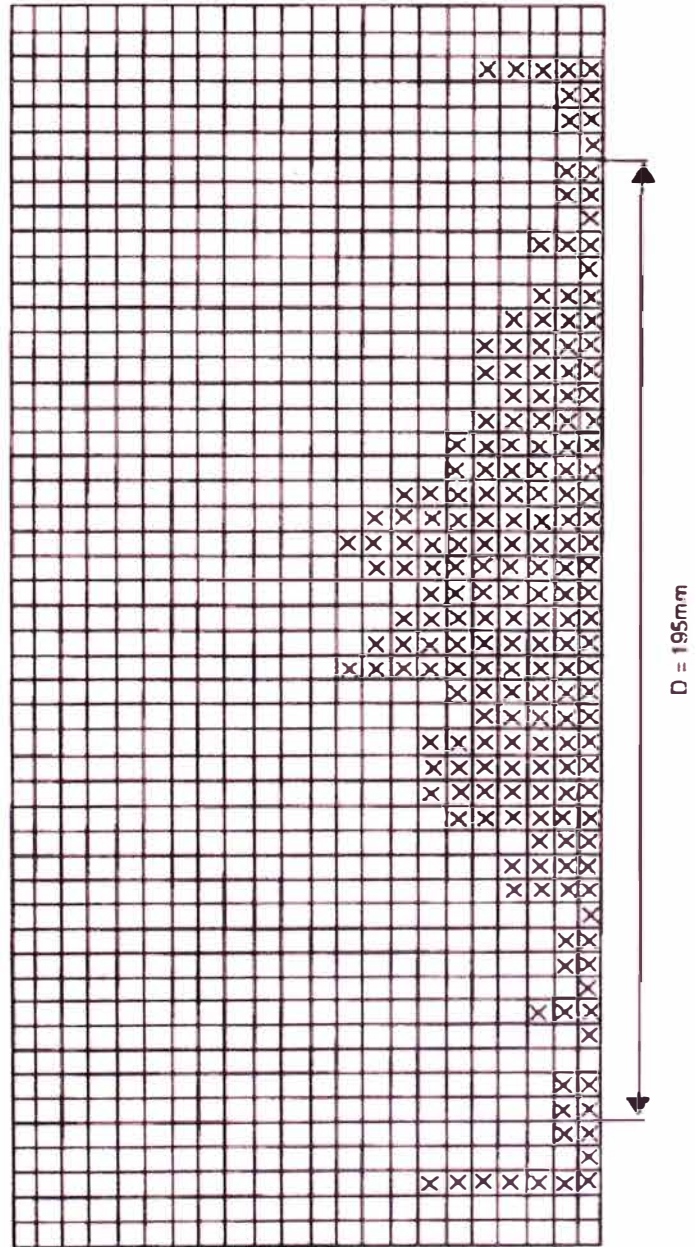
### 2.5.2 Amplificación del brazo móvil

Normalmente, el brazo móvil cuenta con una amplificación mecánica alrededor de 10. A medida que aumenta la rugosidad superficial, la dispersión de los puntos en la tabla irá en aumento. Los puntos se empezarán a recoger en las columnas en cada extremo de la tabla que corresponden a los dos límites del movimiento del brazo. (Ver Fig. 2.07).

SECCION DE PRUEBA \_\_\_\_\_  
 HUELLA DE LA RUEDA \_\_\_\_\_  
 DATO \_\_\_\_\_  
 OPERADOR \_\_\_\_\_

**TALLY BOX**

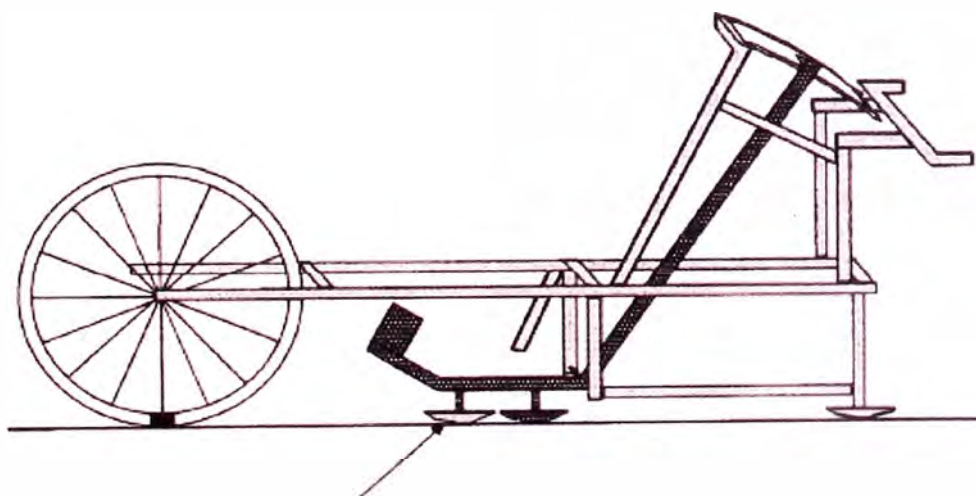
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	1
X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	2
X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	3
X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	4
X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	5
X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	6
X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	7
X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	8
X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	9
X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	10
X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	11
X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	12
X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	13
X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	14
X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	15
X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	16
X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	17
X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	18
X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	19
X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	20



**Fig. 2.08** Gráfico que muestra la acumulación de puntos en los límites  
 (Fuente: The Merlin road roughness machine: User Guide by M A Cundill)

El indicador se puede mover fuera del final de la tabla, entonces cualquier punto que cae en esta zona deberá ser graficado en el extremo de la columna. Si el número de puntos en cada límite es de 10 o menos, D todavía se puede medir de la manera normal, pero si el número ya sea en el límite se excede 10, entonces el tablero no pueda ser utilizado.

Para superar el problema, el patín de prueba puede ser movido a una posición alternativa en el brazo móvil que es el doble de distancia del pivote (ver Fig. 2.09). Esto reduce la amplificación mecánica del brazo a 5 y a la mitad el ancho de la distribución. Con una amplificación mecánica de 10, la rugosidad máxima que se puede medir es de alrededor de 10 en la escala del IRI, con una amplificación mecánica de 5, el MERLÍN debe poder distribuir normalmente el ancho de los valores altos de rugosidad encontrados. Cuando el patín de prueba se encuentra en su posición alternativa, no es precisamente más larga la vía central entre los pies delantero y trasero. Sin embargo, los errores introducidos por la presente son pequeños y pueden ser ignorados.



Posición alternativa del patín de prueba para superficies muy rugosas  
Reduce la amplificación del brazo móvil de 10 a 5

**Fig. 2.09 Posición alternativa del patín de prueba**

**(Fuente: The Merlín road roughness machine: User Guide by M A Cundill)**

### 2.5.3 Calibración

Las ecuaciones 1 y 2 suponen que D se obtuvo mediante una amplificación mecánica de 10. En la práctica esto no será cierto, debido a pequeños errores

en la fabricación y debido a la amplificación del brazo puede estar configurado para 5. Antes de que pueda ser utilizado, por lo tanto, la ampliación tiene que ser revisado y el valor de D ajustado. Para ello, el MERLÍN debe ser estacionado con el patín de prueba en una superficie lisa y la posición del puntero en la tabla debe ser cuidadosamente marcada por una línea. El patín de prueba se eleva y se coloca bajo el un bloque de calibración de espesor conocido, hecho de metal maquinado, y que mide aproximadamente 50 mm de largo, 25 mm de ancho y 6 mm de espesor.

El proceso debe repetirse para verificar que los valores sean consistentes. Si el espacio entre las dos marcas es S y el espesor del bloque es T, entonces la medición efectuada en la tabla debe multiplicarse por el factor de ajuste:

Factor de ajuste =  $10 \cdot T/S$

## 2.6 ELECCIÓN DE LA SECCIÓN DE PRUEBA

### 2.6.1 Longitud

Si se toman 200 mediciones, utilizando una rueda de bicicleta de 26 pulgadas, uno en cada vuelta de rueda, la longitud de la sección evaluada es de 415 metros. Para secciones de prueba más larga o más cortas, un procedimiento de medición diferente será necesario. Los principales consejos son:

- Hacer las secciones de ensayo por lo menos de 200 metros de largo.
- Tener cerca de 200 lecturas por tablero. Con menos lecturas, la exactitud se reducirá, con más lecturas, el tablero se desordenará. Si el número de lecturas difiere de 200, entonces el número de cruces contados desde cada extremo de la distribución tendrá que cambiar en consecuencia; 180 lecturas significará contar 9 cruces, 220 lecturas significará contar 11 cruces, etc.
- Siempre tomar medidas con la rueda en su posición normal. Esto no sólo evita los errores debidos a variaciones en el radio sino que además evita complicaciones al operador cuando se le solicita tomar medidas al azar. Los operadores de MERLÍN a menudo tienden a evitar tomar medidas donde el terreno es desnivelado.
- Tomar las mediciones regularmente espaciadas en toda la longitud de la sección de prueba. Esto permite obtener un resultado más representativo.

- Si se toma mediciones repetidas a lo largo de una sección, se debe tratar de evitar tomar lecturas en los mismos puntos, en los diferentes cruces, iniciar la segunda serie de mediciones a un metro del punto donde comenzó la primera serie.

Tres ejemplos son los siguientes:

- Para una sección de prueba de 210 metros de longitud, tomar mediciones, en dos cruces, tomando una lectura en cada revolución de la rueda.
- Para una sección de prueba de 280 metros de longitud, tomar mediciones, en dos cruces, tomando una lectura en cada vuelta de la rueda en el primer cruce y una lectura cada dos revoluciones en el segundo.
- Para una sección de prueba de 500 metros de longitud, tomar una medida en un cruce, tomando una medición en cada vuelta de rueda y saltar cada quinta medición.
- En lugar de las lecturas de salto, prolongar la caja de conteo y tomar todas las 240 lecturas. Medir los límites en la tabla en 12 en lugar de 10 puntos.

### 2.6.2 Uniformidad y ondulaciones

La sección de ensayo debe tener una rugosidad bastante uniforme. Si existen variaciones muy grandes, el MERLÍN tenderá a sobreestimar cuando es desproporcionadamente afectado por las partes más rugosas. Una forma de comprobar esto es usar letras en el tablero en lugar de cruces, para identificar de donde vienen las mediciones. Por ejemplo, si la sección de prueba está siendo medida utilizando 200 lecturas en una solo paso, entonces marcar los 10 primeros resultados con una "A" sobre la base del histograma y en el cuadro de conteo, los próximos 10 resultados con una "B", etc. Posteriormente se debe verificar que los resultados extremos no estén simplemente viniendo de una parte específica de la sección de prueba.

Las secciones de prueba con ondulaciones grandes pueden también dar lugar a errores y se deben evitar. Hay tres problemas principales con superficies onduladas:

- El Merlín podría dar una mala estimación del IRI.
- El vehicle-mounted bump integrator podría dar una mala estimación del IRI.

- Las estimaciones de los costos de operación de vehículos podrían ser inexactos.

## 2.7 CONSIDERACIONES PRÁCTICAS

### 2.7.1 Número de operadores

La forma más conveniente de utilizar el MERLÍN es compartir el trabajo entre dos operadores, uno trasladando la máquina y el otro tomando las lecturas. El segundo operador, de pie a un lado, está en mejores condiciones para ver si hay algún problema con el patín de prueba o el brazo móvil y puede verificar que la máquina está siguiendo correctamente el recorrido de la rueda. Alternando los trabajos, los dos operadores pueden seguir trabajando durante mucho más tiempo.

### 2.7.2 Seguridad

Para proteger del tráfico a los operadores del MERLÍN, un número de medidas de seguridad deben ser consideradas:

- Colocar las señales de tráfico para advertir la aproximación de tráfico a la sección de prueba.
- Tomar las mediciones con el MERLÍN de cara al tráfico en sentido contrario.
- Asegurarse que los operadores lleven chalecos de seguridad fosforescentes.
- En los sitios ocupados, separar la sección de prueba con conos de tráfico (los conos también son útiles para marcar los extremos de la pista).

### 2.7.3 Comprobación cero

Para asegurarse de que no ha habido movimientos no deseados en el MERLÍN, por ejemplo el patín de prueba o el pivote se afloje durante una sesión de medida, se recomienda si es posible llevar a cabo la "comprobación cero".

Para hacer esto:

- Encintar firmemente con un pedazo de papel el porta formato, permaneciendo bajo el porta formato durante el período de medición.



- Instalar el MERLÍN en un tramo de carretera uniforme con la rueda en la posición normal
- Marcar la posición del indicador en el papel.
- De rato en rato durante la sesión, retornar el MERLÍN a las marcas de tiza y, con la rueda en la posición normal, compruebe que la posición del indicador no ha cambiado.

## CAPITULO III: APLICACIÓN TRAMO KM. 112+000 – KM. 114+000

### 3.1 APLICACIÓN DEL MERLÍN

A continuación se describirá el procedimiento mediante el cual se toman los datos para realizar la evaluación de la rugosidad del tramo elegido.

En el tramo a evaluar Km. 112+000 al Km. 114+000 de la carretera Cañete – Yauyos – Chupaca se encontró un tratamiento superficial Monocapa en toda su extensión.



**Fig. 3.01 Tratamiento superficial monocapa  
(Fuente: Propia)**

Para la toma de datos de campo se siguieron los siguientes pasos:

Se seleccionó un primer tramo representativo de 400 m entre las progresivas Km. 114+000 – Km. 113+600, en sentido descendente por el carril izquierdo.

Se seleccionó el segundo tramo representativo de 400 m entre las progresivas Km. 112+400 – Km. 112+000, en sentido descendente por el carril izquierdo.

- Las medidas fueron tomadas en el carril izquierdo en sentido descendente por el ahuellamiento a una distancia promedio de 1.17 m del borde de la vía.
- Se estableció un equipo de trabajo en el cual una persona manejaría el equipo, otro tomaría los datos y como ayudantes externos dos personas con conos y banderillas de seguridad para cuidar al equipo principal, puesto que la vía era de un solo carril.
- Se verificó la relación de brazos la cual fue de 1 a 10.
- Se colocó el formato de medición en el porta formatos del equipo colocándose en su punto inicial en la posición correspondiente al número 25 (se verifico que cada cuadrícula tuviera un ancho de 5 mm).
- Se procedió a tomar las medidas procurando mantener el equipo en la huella derecha de la vía.
- Se tomaron en total 400 datos sin inconveniente alguno.
- No se pasó sobre gibas ni grietas pronunciadas.



**Fig. 3.02 Tramo representativo de la sección a evaluar**  
(Fuente: Propia)

### 3.2 PROCESAMIENTO DE DATOS

Los siguientes cuadros muestran la totalidad de datos obtenidos en el trabajo de campo los cuales serán luego procesados:

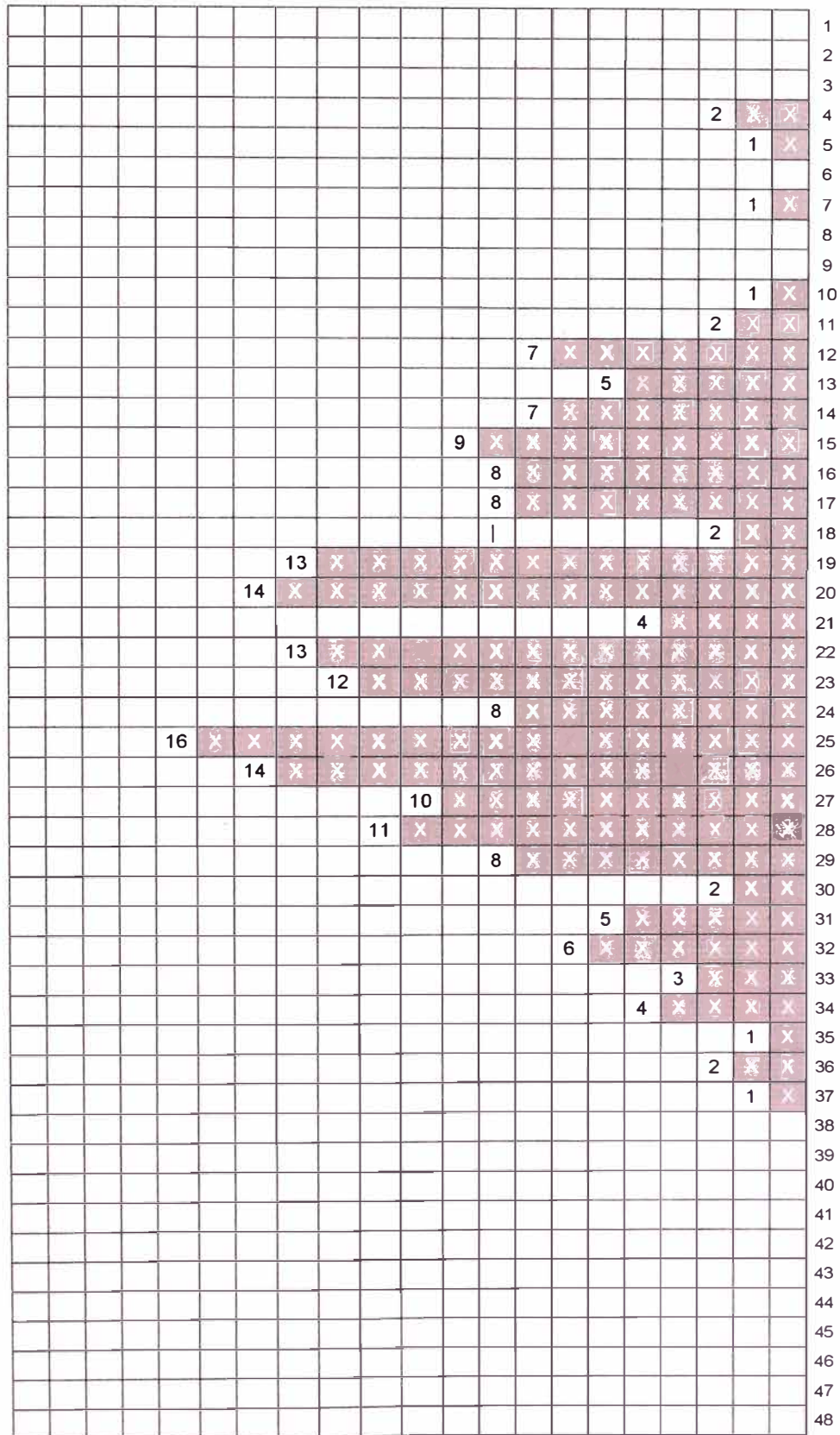
	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10
1	12	21	20	25	12	29	26	20	19	25
2	17	24	19	22	17	20	23	19	15	22
3	22	22	12	20	10	24	26	32	07	13
4	20	26	17	29	33	22	22	24	28	24
5	26	19	22	14	11	28	26	22	23	14
6	26	15	28	28	28	25	29	23	15	19
7	17	20	17	25	22	25	28	19	28	13
8	15	24	25	33	22	26	28	20	13	15
9	31	27	12	31	04	19	26	26	20	34
10	28	32	16	27	14	14	32	28	20	31
11	31	34	11	29	27	18	16	21	30	35
12	17	23	27	25	25	27	24	25	20	14
13	26	20	27	16	25	19	19	23	31	36
14	22	28	33	19	30	19	13	29	25	16
15	23	19	05	16	15	15	17	15	24	16
16	26	25	20	15	17	25	26	26	13	23
17	20	22	14	12	24	29	04	21	20	25
18	23	27	18	32	25	12	12	21	26	16
19	27	37	29	14	32	19	16	32	27	22
20	34	25	23	36	23	27	23	29	23	34

**Cuadro 3.01 Toma de datos km. 112+000 al km. 112+400 en formato estándar  
 (Fuente: Propia)**

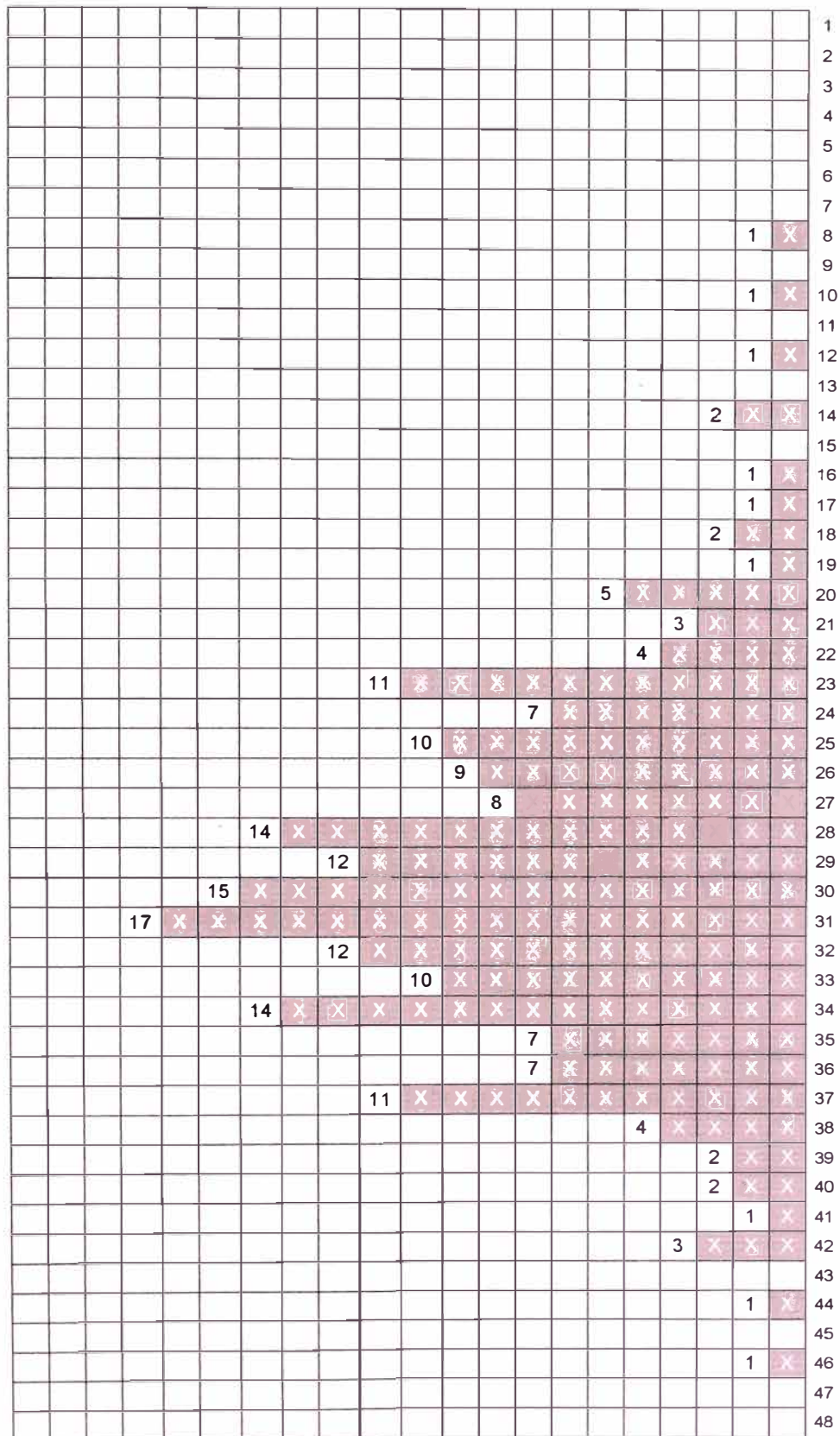
	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10
1	29	23	30	32	28	37	31	26	25	35
2	44	16	23	25	24	36	12	40	24	30
3	29	31	32	28	35	30	20	30	31	37
4	35	37	14	25	37	34	23	29	25	27
5	37	37	27	33	28	22	23	31	28	29
6	32	37	25	23	34	28	24	29	34	26
7	35	42	28	25	30	14	36	32	42	34
8	26	20	10	28	30	38	33	32	27	40
9	31	33	37	32	23	24	28	26	28	27
10	42	20	24	29	25	31	23	35	29	27
11	41	22	31	27	19	29	21	21	31	34
12	26	28	36	35	30	32	28	30	36	31
13	25	08	22	34	30	39	37	33	28	36
14	18	23	29	31	34	25	29	34	24	30
15	31	18	26	32	34	35	36	31	30	34
16	34	22	31	32	46	31	30	31	17	30
17	25	20	33	33	33	29	23	36	37	39
18	38	28	31	28	32	23	20	27	34	32
19	23	33	33	27	26	30	26	30	38	24
20	26	21	29	34	31	34	37	33	32	38

**Cuadro 3.02 Toma de datos km. 113+600 al km. 114+000 en formato estándar  
 (Fuente: Propia)**

Posteriormente se llevaran estos datos a un histograma de frecuencias en donde se podrá calcular el parámetro D:



**Cuadro 3.03 Histograma de distribución de frecuencias con datos de campo del  
 Km. 112+000 al Km. 112+400  
 (Fuente: Propia)**



**Cuadro 3.04 Histograma de distribución de frecuencias con datos de campo del  
 Km. 113+600 al Km. 114+000  
 (Fuente: Propia)**

### 3.3 CÁLCULO DEL IRI

Para calcular el valor IRI de los tramos evaluados primero se debe calcular el parámetro “D” en unidades MERLÍN, para esto se llevara a cabo el procedimiento descrito en el capítulo precedente.

Luego, se eliminará 10 datos del extremo inferior y 10 datos del extremo superior de cada histograma de distribución de frecuencias correspondientes:

#### Tramo: Km. 112+000 al Km. 112+400

Extremo Superior: 4, 4, 5, 7, 10, 11, 11, 12, 12, 12

Extremo Inferior: 37, 36, 36, 35, 34, 34, 34, 34, 33, 33

Efectuado la eliminación de datos, se calcula el “ancho del histograma” en unidades de la escala, considerando las fracciones resultantes como consecuencia del descarte de datos.

Del cuadro 3.03, en el extremo superior se eliminan tres datos de los siete que corresponden al intervalo 12 en consecuencia resulta una unidad fraccionada igual a  $4/7 = 0.57$ , y en el extremo inferior se eliminan dos datos de los tres que corresponden al intervalo 33, en consecuencia resulta una unidad fraccionada igual a  $1/3 = 0.33$ , se tiene en consecuencia un rango igual a  $0.57 + 20 + 0.33 = 20.90$  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 ( $20.90 \times 5\text{mm} = 104.50 \text{ mm}$ ).

#### Factor de corrección del MERLÍN

Serie	Factor de corrección		Lecturas con pastillas de calibración							
	Li	Lf	Li 1	Li 2	Li 3	Li 4	Lf 1	Lf 2	Lf 3	Lf 4
511	25	12,00	25	25	25		12	12	12	
529	25	11,67	25	25	25		12	12	11	
540	25	10,50	25	25	25	25	11	10	10	11
541	25	11,00	25	25	25	25	11	11	12	10

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

Donde:



F.C: Factor de corrección.

EP: Espesor de la pastilla de cobre. (e=6.47mm).

LI: Lectura inicial.

LF: lectura final.

**FC (SERIE 540) = 0.892**

FC (SERIE 541) = 0.924.

Dcorregido =  $104.50 \times 0.892 = 93.21$

Aplicando la fórmula propuesta por el TRRL es posible calcular nuestro valor IRI

Se tiene entonces:

$IRI = 0.593 + 0.0471 \times D$

Reemplazando valores

**IRI = 4.99** (2.4 < IRI < 15.9)

### **Cálculo del PSI**

Usando la expresión aproximada establecida por Sayers

$IRI = 5.5 \ln(5.0/PSI) \pm 25\%$ , para IRI < 12

Reemplazando valores

**PSI = 2.02 ± 0.25**

### **TRAMO: KM. 113+600 AL KM. 114+000**

Extremo Superior: 8, 10, 12, 14, 14, 16, 17, 18, 18, 19

Extremo Inferior: 46, 44, 42, 42, 42, 41, 40, 40, 39, 39

Efectuada la eliminación de datos, se calcula el “ancho del histograma” en unidades de la escala, considerando las fracciones resultantes como consecuencia del descarte de datos.

Del cuadro 3.04, en el extremo superior se eliminan 10 datos y en el extremo inferior se eliminan otros 10 datos, en consecuencia resulta un rango igual a 19 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 ( $19 \times 5\text{mm} = 95.00\text{ mm}$ ).

Factor de corrección del MERLÍN

Serie	Factor de corrección		Lecturas con pastillas de calibración							
	Li	Lf	Li 1	Li 2	Li 3	Li 4	Lf 1	Lf 2	Lf 3	Lf 4
511	25	12,00	25	25	25		12	12	12	
529	25	11,67	25	25	25		12	12	11	
540	25	10,50	25	25	25	25	11	10	10	11
541	25	11,00	25	25	25	25	11	11	12	10

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

Donde:

F.C: Factor de corrección.

EP: Espesor de la pastilla de cobre. (e=6.47mm).

LI: Lectura inicial.

LF: lectura final.

$$FC \text{ (SERIE 540)} = 0.892$$

$$FC \text{ (SERIE 541)} = 0.924.$$

$$D_{\text{corregido}} = 95 \times 0.892 = 84.74$$

Aplicando la fórmula propuesta por el TRRL es posible calcular el valor IRI

Se tiene entonces:

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

Reemplazando valores

$$IRI = 4.59 \quad (2.4 < IRI < 15.9)$$

### Cálculo del PSI

Usando la expresión establecida por Sayers:

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

Reemplazando valores

$$PSI = 2.17 \pm 25\%$$

**CAPITULO IV: ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS****4.1 TRAMO: KM. 112+000 AL KM. 112+400**

Habiéndose obtenido un IRI de 4.99 se podría decir que la carretera está en condiciones regulares, sin embargo hay otros factores que se deben tomar en cuenta, uno de ellos es que la confianza de la prueba es más fuerte cuando se realizan varios ensayos en un mismo carril o por los menos dos de ida y dos de regreso.

CODIGO DEL ARCHIVO	TRAMO		DISTANCIA	IRI	FECHA DE ENSAYO
	PROG. INICIAL	PROG. FINAL			
I - 68	109+600	110+000	A 1.00m del borde	4.37	07/07/2009
I - 69	110+400	110+800	A 1.00m del borde	3.68	07/07/2009
I - 70	111+400	111+800	A 1.00m del borde	3.99	07/07/2009
I - 71	112+100	112+500	A 1.00m del borde	<b>4.71</b>	07/07/2009
I - 72	113+300	113+700	A 1.00m del borde	4.52	07/07/2009
I - 73	114+900	115+300	A 1.00m del borde	4.73	07/07/2009
I - 74	115+300	115+700	A 1.00m del borde	4.86	07/07/2009

**Cuadro 4.01 Datos IRI obtenidos en el tramo de evaluación**

(Fuente: MTC)

$$IRI_{PROM} = 4.41 \text{ m/km}$$

IRI en el tramo en estudio en julio 2009: 4.71 m/km

IRI en el tramo en estudio en mayo 2010: 4.99 m/km

En el cuadro 4.01 se muestran resultados de valores IRI obtenidos por la Universidad Nacional de Ingeniería en el mes de julio del 2009, para aquel estudio en el tramo elegido se obtuvo un IRI de 4.71 es decir 0.28 menos que el obtenido en el presente estudio, lo que demuestra el desgaste producido en la vía en los diez meses que han pasado entre ambos estudios.

**4.2 TRAMO: KM. 113+600 AL KM. 114+000**

Habiéndose obtenido un IRI de 4.59 se podría decir que la carretera se encuentra en condiciones regulares, sin embargo hay otros factores que se deben tomar en cuenta, uno de ellos es que la confianza de la prueba es más fuerte cuando se realizan varios ensayos en un mismo carril o por los menos dos de ida y dos de regreso.

CODIGO DEL ARCHIVO	TRAMO		DISTANCIA	IRI	FECHA DE ENSAYO
	PROG. INICIAL	PROG. FINAL			
I - 71	112+100	- 112+500	A 1.00m del borde	4.71	07/07/2009
I - 72	113+300	- 113+700	A 1.00m del borde	<b>4.52</b>	07/07/2009
I - 73	114+900	- 115+300	A 1.00m del borde	4.73	07/07/2009
I - 74	115+300	- 115+700	A 1.00m del borde	4.86	07/07/2009
I - 75	116+600	- 117+000	A 1.00m del borde	4.30	08/07/2009
I - 76	117+600	- 118+000	A 1.00m del borde	3.82	08/07/2009
I - 77	118+600	- 119+000	A 1.00m del borde	4.71	08/07/2009

**Cuadro 4.02 Datos IRI obtenidos en el tramo de evaluación**

(Fuente: MTC)

$IRI_{PROM}=4.52$  m/km

IRI en el tramo en estudio en julio 2009: 4.52 m/km

IRI en el tramo en estudio en mayo 2010: 4.59 m/km

En el cuadro 4.02 se muestran resultados de valores IRI obtenidos por la Universidad Nacional de Ingeniería en el mes de julio del 2009, para aquel estudio en el tramo elegido se obtuvo un IRI de 4.52 es decir 0.07 menos que el obtenido en el presente estudio, lo que demuestra el desgaste producido en la vía en los diez meses que han pasado entre ambos estudios.

Se debe considerar que el tratamiento superficial monocapa es una técnica nueva para la cual no existen registros amplios referentes al comportamiento de la rugosidad en el tiempo.

En cuanto a la transitabilidad de los sectores en estudio de la vía, se presenta un PSI comprendidos entre 2 y 3, lo que indica un pavimento en condiciones regulares.

## CONCLUSIONES

- La rugosidad de un camino se ha convertido en uno de los factores que influyen de manera directa en los costos de operación de los vehículos, por ello fue necesario contar con una escala que permitiera correlacionar los valores dados por los diversos equipos existentes en el mundo para medición de rugosidad, por lo que se estableció el Índice Internacional de Rugosidad.
- Realizado los ensayos en los tramos representativos se concluye que el equipo MERLÍN es adecuado para la determinación del Índice de Rugosidad para la carretera Cañete – Huancayo, no habiendo encontrado inconveniente alguno en cuanto a su uso.
- El IRI de 4.99 relacionado con un PSI de 2.02, obtenidos del km 112+000 al 112+400, indica un pavimento en condiciones regulares, y el IRI de 4.59 relacionado con un PSI de 2.17, obtenido entre el km 113+600 al 114+000, indica un pavimento en condiciones regulares.
- Puesto que existe una estrecha relación entre los valores de rugosidad, serviciabilidad y el grado de comodidad de los usuarios de la vía, los costos de operación vehicular, tiempo de transporte y mantenimiento de la vía, es sumamente importante que la medición de la rugosidad se realice con equipos debidamente calibrados y con metodologías que permitan obtener valores que se aproximen lo más posible a la realidad.
- La aplicabilidad de rugosímetros tipo MERLÍN requiere de un mayor cuidado en la ecuación de correlación utilizada para convertir los valores de D a IRI. La expresión a utilizarse debe ser concordante con valores reales y no solamente en premisas teóricas discordantes con la realidad. De utilizarse metodologías de clase 3 para medir la rugosidad mediante equipos debidamente calibrados, el uso de rugosímetros tipo MERLÍN no sería imprescindible por ser un método mucho más lento y que difícilmente puede abarcar la totalidad del tramo.

- La conservación de carreteras ocupa un lugar muy importante entre las preocupaciones de los responsables de la infraestructura carretera. Los usuarios ya no se conforman actualmente con disponer de vías de comunicación, sino que demandan que éstas les permitan desplazamientos rápidos, cómodos, económicos y seguros. El buen estado de la infraestructura carretera resulta vital para la eficiencia del transporte, el cual tiene una influencia preponderante en el estado general de la economía del país.

## RECOMENDACIONES

- Se requieren fijar niveles de aceptación en la escala del Índice Internacional de Rugosidad para tramos nuevos, con el objeto de contar con un parámetro para el control de calidad de las obras.
- Se recomienda realizar el ensayo en secciones de rugosidad homogénea para obtener el IRI en forma precisa y confiable.
- Se recomienda utilizar el equipo MERLÍN, en tramos de evaluación no mayores a cinco kilómetros, para longitudes mayores se sugiere utilizar equipos de tipo respuesta como el Bump Integrator.
- Se recomienda automatizar el equipo MERLÍN, para poder cubrir mayores tramos de evaluación.
- Se recomienda contar con una certificación de calibración del equipo, lo cual debe hacerse periódicamente, para obtener resultados confiables.
- Es importante evaluar la condición superficial mediante el monitoreo periódico y permanente de la red nacional de carreteras. Se recomienda que sea de manera anual.

## BIBLIOGRAFÍA

- **CUNDILL, M.A.**; "The MERLÍN Road Roughness Machine User Guide". Transport Research Laboratory TRL Report 229. 1996
- **DEL AGUILA, P.M**; "Estado del Arte sobre la Medición de la Rugosidad de pavimentos en el Perú". Trabajo presentado al II Congreso Nacional del Asfalto. Lima, 1998.
- **DEL AGUILA, P.M**; "Metodología para la Determinación de la Rugosidad de los Pavimentos con Equipos de Bajo Costo y Gran Precisión". Trabajo presentado al III Congreso Nacional del Asfalto. Lima, 1999.
- **DEL AGUILA, P.M**; "Desarrollo de la Ecuación de Correlación para la Determinación de la Rugosidad de Pavimentos Asfálticos Nuevos, Utilizando el Equipo MERLÍN". Trabajo presentado al II Congreso Nacional del Asfalto. Lima, 1998.
- **PROVIAS NACIONAL - MTC**; Rehabilitación y Mejoramiento de la Carretera Lunahuana-Dv. Yauyos-Chupaca, a nivel de Factibilidad 2005.
- **VIVAR, G.R**; "Comentarios Sobre la Medición e Interpretación de la Rugosidad en los Pavimentos del Perú". Trabajo presentado al II Congreso Nacional del Asfalto. Lima, 1998.



## **ANEXOS**

### **ANEXO 01:**

RESUMEN DE LOS VALORES DEL ÍNDICE DE RUGOSIDAD INTERNACIONAL - IRI

### **ANEXO 02:**

FORMATOS TOMADOS EN CAMPO PARA RECOLECCIÓN DE DATOS

### **ANEXO 03:**

RESULTADO DE RUGOSÍMETROS ENCONTRADOS

### **ANEXO 04:**

PANEL FOTOGRÁFICO

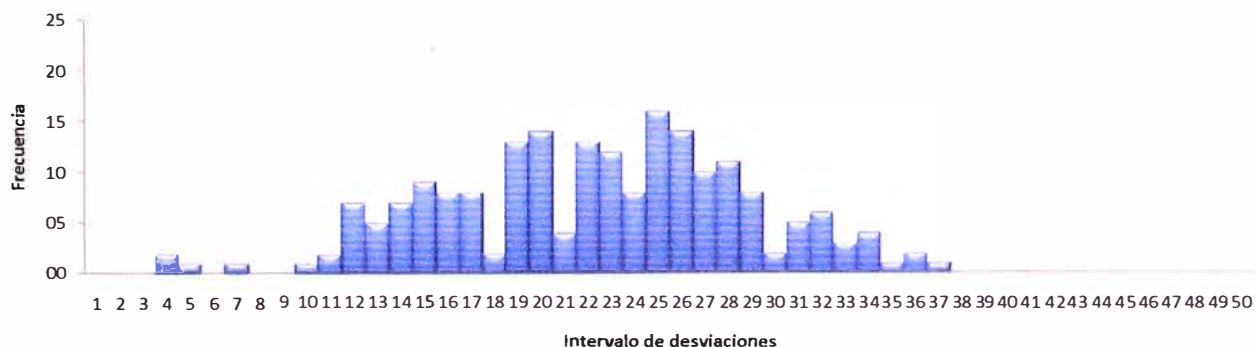
**ANEXO 01:  
RESUMEN DE LOS VALORES DEL ÍNDICE DE RUGOSIDAD  
INTERNACIONAL-IRI**

### INDICE DE RUGOSIDAD INTERNACIONAL

#### ENSAYO CON EQUIPO MERLIN - DATOS DE CAMPO


												desv.	cant.	
DATOS DEL ENLAYO#		01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	01	00	
Proyecto:	Carretera Cañete-Huancayo	1	12	21	20	25	12	29	26	20	19	25	02	00
Sector:	Catahuasi - Tinco Yaunicocha	2	17	24	19	22	17	20	23	19	15	22	03	00
Tramo (km):	112+400 - 112+000	3	22	22	12	20	10	24	26	32	07	13	04	02
Fecha:	22 de Mayo del 2010	4	20	26	17	29	33	22	22	24	28	24	05	01
Sentido:	Descendente	5	26	19	22	14	11	28	26	22	23	14	06	00
Carril:	Izquierdo	6	26	15	28	28	28	25	29	23	15	19	07	01
Tipo de Sup.:	Monocapa	7	17	20	17	25	22	25	28	19	28	13	08	00
<b>DATOS DEL OPERADOR</b>		8	15	24	25	33	22	26	28	20	13	15	09	00
Nombre:	Italo H.V.	9	31	27	12	31	04	19	26	26	20	34	10	01
<b>DATOS DEL EQUIPO:</b>		10	28	32	16	27	14	14	32	28	20	31	11	02
Serie:	540	11	31	34	11	29	27	18	16	21	30	35	12	07
<b>SUPERVISADO POR :</b>		12	17	23	27	25	25	27	24	25	20	14	13	05
Ing. Gonzalo Brazzini Silva		13	26	20	27	16	25	19	19	23	31	36	14	07
<b>OBSERVACIONES :</b>		14	22	28	33	19	30	19	13	29	25	16	15	09
		15	23	19	05	16	15	15	17	15	24	16	16	08
		16	26	25	20	15	17	25	26	26	13	23	17	08
		17	20	22	14	12	24	29	04	21	20	25	18	02
		18	23	27	18	32	25	12	12	21	26	16	19	13
		19	27	37	29	14	32	19	16	32	27	22	20	14
		20	34	25	23	36	23	27	23	29	23	34	21	04

### Frecuencia de desviaciones



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

#### FACTOR DE CORRECCION

Posición Inicial del Puntero:	25,00	Espesor de pastilla	
Posición Final del Puntero:	10,50	e=	6,47 mm
F.C. =	0,892		

#### INDICE DE RUGOSIDAD INTERNACIONAL (I.R.I)

Valor Máximo:	37	D= 104,50	IRI calculado según la ecuación de correlación del TRRL: IRI = 0,593 + 0,0471xD
Valor Mínimo:	04		
<b>IRI=</b>	<b>4,99</b>	<b>m/km</b>	<b>Total</b>

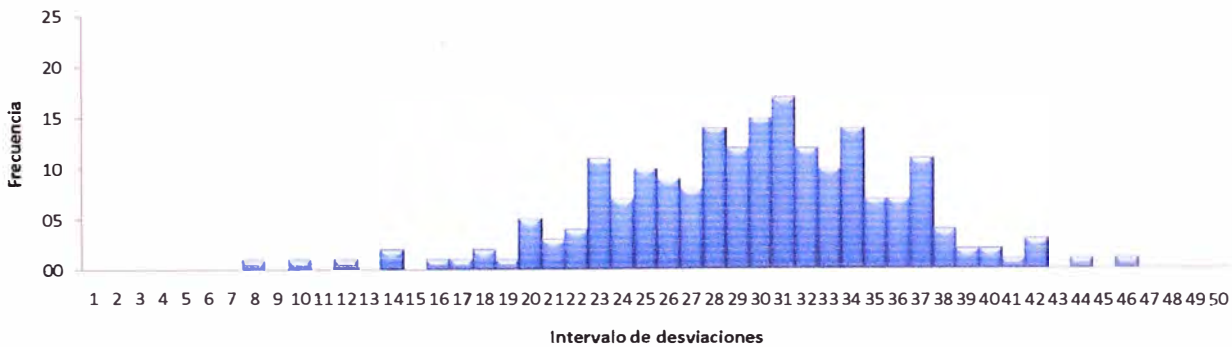
**PSI= 2,02**

### INDICE DE RUGOSIDAD INTERNACIONAL

#### ENSAYO CON EQUIPO MERLIN - DATOS DE CAMPO

DATOS DEL ENSAYO N°		01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	desv.	cant.	
Proyecto:	Carretera Cañete-Huancayo	1	29	23	30	32	28	37	31	26	25	35	01	00
Sector:	Catahuasi - Tinco Yauricocha	2	44	16	23	25	24	36	12	40	24	30	02	00
Tramo (km):	114+000 113+600	3	29	31	32	28	35	30	20	30	31	37	03	00
Fecha:	22 de Mayo del 2010	4	35	37	14	25	37	34	23	29	25	27	04	00
Sentido:	Descendente	5	37	37	27	33	28	22	23	31	28	29	05	00
Carril:	Izquierdo	6	32	37	25	23	34	28	24	29	34	26	06	00
Tipo de Superficie:	Monocapa	7	35	42	28	25	30	14	36	32	42	34	07	00
DATOS DEL OPERADOR		8	26	20	10	28	30	38	33	32	27	40	08	01
Nombre:	Italo H.V.	9	31	33	37	32	23	24	28	26	28	27	09	00
DATOS DEL EQUIPO:		10	42	20	24	29	25	31	23	35	29	27	10	01
Serie:	540	11	41	22	31	27	19	29	21	21	31	34	11	00
SUPERVISADO POR:		12	26	28	36	35	30	32	28	30	36	31	12	01
Ing. Gonzalo Brazzini Silva		13	25	08	22	34	30	39	37	33	28	36	13	00
OBSERVACIONES:		14	18	23	29	31	34	25	29	34	24	30	14	02
El dato sombreado pertenece a una giba		15	31	18	26	32	34	35	36	31	30	34	15	00
A partir del par ordenado (6,10), se empezó a evaluar la Monocapa		16	34	22	31	32	46	31	30	31	17	30	16	01
		17	25	20	33	33	33	29	23	36	37	39	17	01
		18	38	28	31	28	32	23	20	27	34	32	18	02
		19	23	33	33	27	26	30	26	30	38	24	19	01
		20	26	21	29	34	31	34	37	33	32	38	20	05
		21											21	03
		22											22	04
		23											23	11
		24											24	07
		25											25	10
		26											26	09
		27											27	08
		28											28	14
		29											29	12
		30											30	15
		31											31	17
		32											32	12
		33											33	10
		34											34	14
		35											35	07
		36											36	07
		37											37	11
		38											38	04
		39											39	02
		40											40	02
		41											41	01
		42											42	03
		43											43	00
		44											44	01
		45											45	00
		46											46	01
		47											47	00
		48											48	00
		49											49	00
		50											50	00
		Total												200

### Frecuencia de desviaciones



#### FACTOR DE CORRECCION

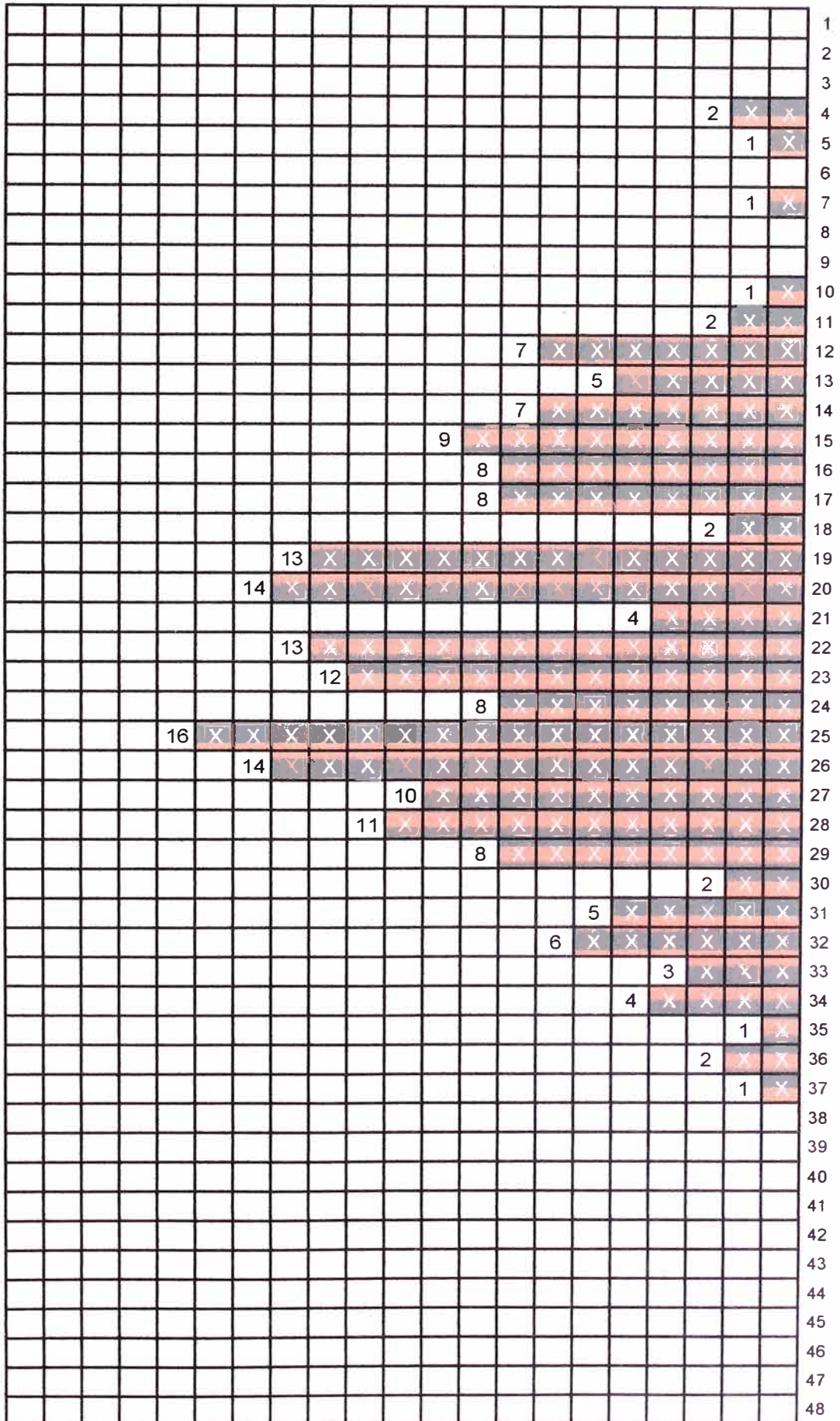
Posición Inicial del Puntero:	25,00	Espesor de pastilla	
Posición Final del Puntero:	10,50	e= 6,47 mm	
F.C. =	0,892		

#### INDICE DE RUGOSIDAD INTERNACIONAL (IRI)

Valor Máximo:	46	D= 95,00	IRI calculado según la ecuación de correlación del TRRL: $IRI = 0,593 + 0,0471 \times D$
Valor Mínimo:	08		
<b>IRI= 4,59</b>		<b>m/km</b>	

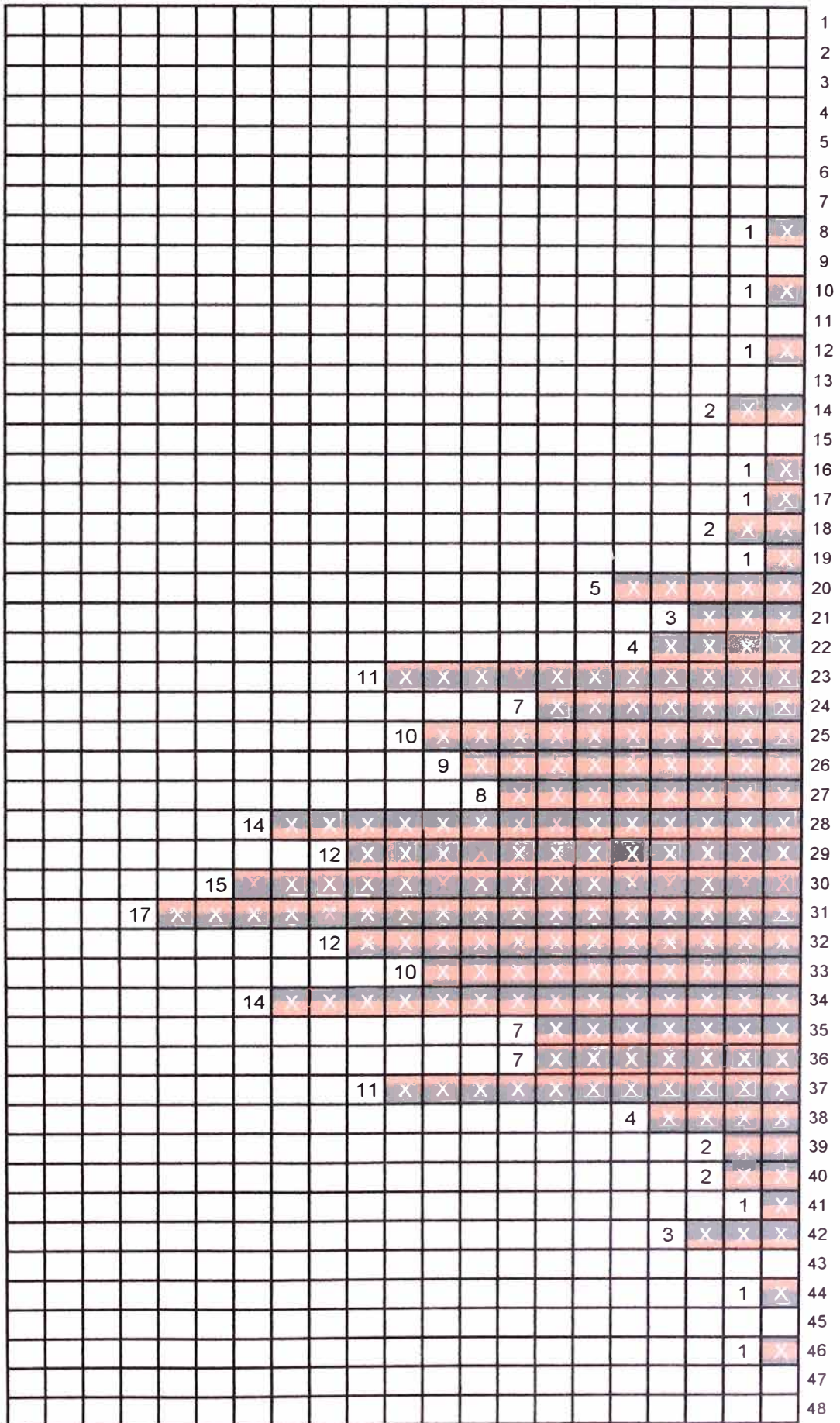
**PSI= 2,17**

# HISTOGRAMA



KM 112+000 AL KM 112+400

# HISTOGRAMA



KM 113+600 AL KM 114+000

**ANEXO 02:  
FORMATOS TOMADOS EN CAMPO PARA  
RECOLECCIÓN DE DATOS**

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

PROYECTO: .....  
 SECTOR : .....  
 TRAMO : .....  
 CARRIL : .....

OPERADOR : .....  
 SUPERVISOR : *Gonzalo Bazzani S.*  
 FECHA : .....

ENSAYO Nº  KM  HORA

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	29	23	30	32	28	37	31	26	25	35
2	44	16	23	25	24	36	12	40	24	30
3	29	31	32	28	35	30	20	30	31	37
4	35	37	14	25	37	34	23	29	25	27
5	37	37	27	33	28	22	23	31	28	29
6	32	37	25	23	34	28	14	29	34	26
7	35	42	28	25	30	14	36	32	42	34
8	26	20	10	28	30	35	33	32	27	40
9	31	33	37	32	23	27	28	26	28	27
10	42	20	24	29	25	31	23	35	27	27
11	41	22	31	27	19	29	21	21	31	34
12	26	28	36	35	30	32	28	30	36	31
13	25	8	22	34	30	39	37	33	28	36
14	18	23	29	31	34	25	29	34	24	30
15	31	18	26	32	34	35	36	31	30	34
16	34	22	31	32	46	31	30	31	17	30
17	25	20	33	33	33	29	23	36	37	39
18	38	28	31	28	32	23	20	27	34	32
19	23	33	33	27	26	30	26	30	38	24
20	26	21	29	34	31	34	37	33	32	38

TIPOS DE PAVIMENTO:

AFIRMADO

BASE GRANULAR

BASE IMPRIMADA

TRATAMIENTO MONOCAPA

TRATAMIENTO SLURRY SEAL

RECAPEO ASFALTICO

SELLO

OBSERVACIONES:

*2.000* Izquierdo en el sentido del trazo. (Km 114+00)  
 (1,10) Parchado  
 (3,8) Parchado  
 (5,10) Inicio curva  
 (6,7) Fin curva  
 (6,12) Inicio curva  
 (6,17) Fin curva  
 (7,6) Inicio curva  
 (8,3) Fin curva  
 (8,10) Inicio curva  
 (9,3) Fin curva  
 (9,7) Inicio curva  
 (9,20) Fin curva  
 (14,3) Inicio curva  
 (10,8) Fin curva

*[Signature]*  
22/05/2010

( Km 113+400)



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

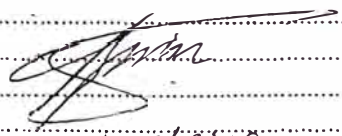
PROYECTO: .....  
 SECTOR: .....  
 TRAMO: .....  
 CARRIL: .....

OPERADOR: .....  
 SUPERVISOR: *Gonzalo Beltrami Sued*  
 FECHA: .....

ENSAYO Nº  KM  HORA

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

- TIPOS DE PAVIMENTO:
- AFIRMADO
  - BASE GRANULAR
  - BASE IMPRIMADA
  - TRATAMIENTO MONOCAPA
  - TRATAMIENTO SLURRY SEAL
  - RECAPEO ASFALTICO
  - SELLO
  - .....

OBSERVACIONES: *Todo Izquierdo sentido trazo*  
 .....  
 .....  
 .....  
  
 .....  
*22/05/2010*  
 .....

**ANEXO 03:**  
**RESULTADO DE RUGOSÍMETROS ENCONTRADOS**

**RESUMEN DE LOS VALORES DEL INDICE DE RUGOSIDAD INTERNACIONAL - IRI**

TRAMO TOTAL : DEL 55+050 AL 78+450  
 CARRIL DE ENSAYO : DERECHO  
 CARPETA DE RODADURA : SLURRY SEAL

CODIGO DEL ARCHIVO	TRAMO		LADO IZQ	LADO DER	IRI (m/km) PROMEDIO	FECHA DE ENSAYO
	PROG. INICIAL	PROG. FINAL	IRI (m/km)	IRI (m/km)		
I - 01	100+000	- 100+400		4,79		01/10/2009
I - 02	100+400	- 100+800		4,70		01/10/2009
I - 03	97+200	- 97+600		4,24		01/10/2009
I - 04	79+500	- 79+900		4,05		02/10/2009
I - 05	79+900	- 80+300		3,74		02/10/2009
I - 06	84+000	- 84+400		4,11		02/10/2009
I - 07	84+400	- 84+800		4,84		02/10/2009
I - 08	90+500	- 90+900		4,64		02/10/2009
I - 09	98+000	- 98+400		5,12		02/10/2009
I - 10	99+800	- 100+200	5,98			
I - 11	97+800	- 98+200	4,71			
I - 12	91+100	- 91+500	4,11			
I - 13	84+600	- 85+000	4,90			
I - 14	80+100	- 80+500	3,81			
I - 15	76+600	- 77+000	4,90			
I - 16	72+000	- 72+400	2,98			
I - 17	66+600	- 67+000	3,68			
I - 18	59+900	- 60+300	3,70			
I - 19	139+300	- 139+700		4,46		
I - 20	140+600	- 141+000	3,72	3,74	3,73	
I - 21	141+600	- 142+000	3,34	3,26	3,30	
I - 22	142+600	- 143+000	3,12	3,16	3,14	
I - 23	143+600	- 144+000	3,44	3,29	3,36	
I - 24	144+000	- 144+400	3,09	3,29	3,19	
I - 25	145+600	- 146+000	3,84	3,34	3,59	
I - 26	146+000	- 146+400	3,60	4,02	3,81	
I - 27	147+000	- 147+400	3,72	3,37	3,54	
I - 28	149+200	- 149+600	4,29	3,89	4,09	
I - 29	149+600	- 150+000	4,41	3,96	4,18	
I - 30	150+000	- 150+400	3,85	4,07	3,96	
	151+550	- 151+950	3,99	3,68	3,83	
	152+000	- 152+400	3,53	3,76	3,64	
	153+600	- 154+000	3,75	4,36	4,05	
	154+000	- 154+400	3,98	3,73	3,86	
	156+600	- 157+000	4,30	4,06	4,18	
	157+000	- 157+400	4,25	5,25	4,75	
	158+000	- 158+400	4,19	4,30	4,24	
	159+600	- 160+000	4,71	4,52	4,62	
	160+000	- 160+400	4,61	3,84	4,23	
	161+000	- 161+400	3,70	4,19	3,94	
	162+000	- 162+400	4,56	4,29	4,43	
	163+000	- 163+400	4,27	4,94	4,60	
	164+000	- 164+400	3,85	3,75	3,80	

**RESUMEN DE LOS VALORES DEL INDICE DE RUGOSIDAD INTERNACIONAL - IRI**

TRAMO TOTAL : DEL 55+050 AL 78+450  
 CARRIL DE ENSAYO : DERECHO  
 CARPETA DE RODADURA : SLURRY SEAL

CODIGO DEL ARCHIVO	TRAMO		LADO IZQ	LADO DER	IRI (m/km) PROMEDIO	FECHA DE ENSAYO
	PROG. INICIAL	- PROG. FINAL	IRI (m/km)	IRI (m/km)		
	165+800	- 166+200	5,73	4,73	5,23	
	166+200	- 166+600	5,57	4,86	5,22	
	167+100	- 167+500	5,40	5,14	5,27	
	168+200	- 168+600	4,86	5,27	5,07	
	169+000	- 169+400	5,31	6,28	5,80	
	170+100	- 170+500	4,04			
	171+600	- 172+000	3,96	4,99		
	172+400	- 172+800		4,79		
	173+500	- 173+900		4,47		
	174+700	- 175+100		3,40		
	175+100	- 175+500		3,80		
	176+000	- 176+400		4,07		
	178+600	- 179+000	3,89			
	179+000	- 179+400		3,87		
	180+000	- 180+400		3,89		
	181+000	- 181+400		4,09		
	182+600	- 183+000	3,96			
	183+600	- 184+000	4,58			
	184+600	- 185+000	5,16			
	185+400	- 185+800	4,70			
	185+800	- 186+200	4,70			

**PROMEDIO ARITMETICO                      3,96**

**RESUMEN DE LOS VALORES DEL INDICE DE RUGOSIDAD INTERNACIONAL - MERLÍN**

TRAMO TOTAL : DEL 55+050 AL 78+450  
 CARRIL DE ENSAYO : DERECHO  
 CARPETA DE RODADURA: SLURRY SEAL

CODIGO DEL ARCHIVO	TRAMO		DISTANCIA	IRI	FECHA DE ENSAYO
	PROG. INICIAL	PROG. FINAL			
I - 01	55+050	55+450	A 1m del borde	3,08	23/06/2009
I - 02	55+450	55+850	A 1m del borde	2,80	23/06/2009
I - 03	55+850	56+250	A 1m del borde	3,23	23/06/2009
I - 04	56+250	56+650	A 1m del borde	2,87	23/06/2009
I - 05	57+000	57+400	A 1m del borde	3,28	24/06/2009
I - 06	57+400	57+800	A 1m del borde	3,74	24/06/2009
I - 07	57+800	58+200	A 1m del borde	3,78	24/06/2009
I - 08	58+200	58+600	A 1m del borde	4,00	24/06/2009
I - 09	58+900	59+300	A 1m del borde	3,21	24/06/2009
I - 10	59+300	59+700	A 1m del borde	3,75	24/06/2009
I - 11	59+700	60+100	A 1m del borde	4,08	25/06/2009
I - 12	60+500	60+900	A 1m del borde	3,19	25/06/2009
I - 13	61+500	61+900	A 0.70m del borde	3,61	25/06/2009
I - 14	62+560	62+960	A 1.00m del borde	2,91	26/06/2009
I - 15	63+000	63+400	A 1.00m del borde	3,48	26/06/2009
I - 16	64+100	64+500	A 1.00m del borde	2,54	26/06/2009
I - 17	65+600	66+000	A 1.00m del borde	3,17	02/07/2009
I - 18	66+000	66+400	A 1.00m del borde	3,22	02/07/2009
I - 19	67+600	68+000	A 1.00m del borde	3,74	02/07/2009
I - 20	68+500	68+900	A 1.00m del borde	2,85	02/07/2009
I - 21	69+045	69+445	A 1.00m del borde	3,86	02/07/2009
I - 22	70+150	70+550	A 1.00m del borde	3,08	02/07/2009
I - 23	71+500	71+900	A 1.00m del borde	3,80	02/07/2009
I - 24	72+000	72+400	A 1.00m del borde	3,55	03/07/2009
I - 25	73+100	73+500	A 1.00m del borde	3,34	03/07/2009
I - 26	74+400	74+800	A 1.00m del borde	3,51	03/07/2009
I - 27	75+000	75+400	A 1.00m del borde	3,57	03/07/2009
I - 28	76+300	76+700	A 1.00m del borde	3,51	03/07/2009
I - 29	77+200	77+600	A 1.00m del borde	3,18	03/07/2009
I - 30	78+050	78+450	A 1.00m del borde	2,84	03/07/2009

**PROMEDIO ARITMETICO**

**3,36**

Rango IRI	Longitud (Km.)	%
0 - 2.800	0,80	0,07
2.801- 4.000	10,80	0,90
4.001- 5.000	0,40	0,03
>= 5.001	0,00	0,00
<b>Total</b>	<b>12,00</b>	<b>1,00</b>

**RESUMEN DE LOS VALORES DEL INDICE DE RUGOSIDAD INTERNACIONAL - IRI**

TRAMO TOTAL : DEL 79+500 AL 138+935  
 CARRIL DE ENSAYO : DERECHO  
 CARPETA DE RODADURA: TRATAMIENTO SUPERFICIAL MONOCAPA

CODIGO DEL ARCHIVO	TRAMO		DISTANCIA	IRI	FECHA DE ENSAYO
	PROG.	PROG. FINAL			
I - 68	109+600	110+000	A 1.00m del borde	4,37	07/07/2009
I - 69	110+400	110+800	A 1.00m del borde	3,68	07/07/2009
I - 70	111+400	111+800	A 1.00m del borde	3,99	07/07/2009
I - 71	112+100	112+500	A 1.00m del borde	4,71	07/07/2009
I - 72	113+300	113+700	A 1.00m del borde	4,52	07/07/2009
I - 73	114+900	115+300	A 1.00m del borde	4,73	07/07/2009
I - 74	115+300	115+700	A 1.00m del borde	4,86	07/07/2009

**PROMEDIO ARITMETICO**

**4,35**

Rango IRI	Longitud (Km.)	%
0 - 2.800	0,00	0,00
2.801- 4.000	7,60	0,29
4.001- 5.000	14,40	0,55
>= 5.001	4,40	0,17
<b>Total</b>	<b>26,40</b>	<b>1,00</b>

**ANEXO 04:**  
**PANEL FOTOGRÁFICO**



Foto N°1: Se aprecia el inicio del ensayo con el equipo MERLÍN, en compañía del Ing. Gonzalo Brazzini Silva.



Foto N°2: Toma de datos sobre el ahuellamiento en el lado derecho de la vía.





Foto N°3: Toma de datos por parte del técnico.



Foto N°4: En la vista se aprecia a los integrantes del grupo.