

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



**DETERMINACION DEL INDICE DE RUGOSIDAD  
INTERNACIONAL CON RUGOSIMETRO MERLIN  
MONITOREO DE CONSERVACIÓN CARRETERA  
CAÑETE – HUANCAYO Km. 108+000 AL Km. 110+000**

**INFORME DE SUFICIENCIA**

**Para optar el Título Profesional de:**

**INGENIERO CIVIL**

**SINDY LESLY HERNÁNDEZ GARCÍA**

**Lima- Perú**

**2010**

## INDICE

<b>RESUMEN</b>	<b>3</b>
<b>LISTA DE CUADROS</b>	<b>5</b>
<b>LISTA DE FIGURAS</b>	<b>6</b>
<b>LISTA DE SIMBOLOS</b>	<b>8</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>9</b>
<b>CAPÍTULO I: ANTECEDENTES</b>	<b>11</b>
1.1 MARCO DE REFERENCIA	11
1.2 RESUMEN DEL PERFIL	12
<b>CAPITULO II: CONCEPTOS TEÓRICOS</b>	<b>18</b>
2.1 RUGOSIDAD	18
2.2 INDICE INTERNACIONAL DE RUGOSIDAD (IRI)	18
2.3 MÉTODOS PARA LA MEDICION DE LA RUGOSIDAD	20
2.4 SERVICIABILIDAD	24
<b>CAPITULO III: METODOLOGÍA PARA MEDIR EL IRI CON EL RUGOSIMETRO MERLIN</b>	<b>26</b>
3.1 FUNDAMENTO TEÓRICO	26
3.2 DESCRIPCION DEL EQUIPO MERLIN	29
3.3 RECOLECCION Y TOMA DE DATOS EN CAMPO	30
3.4 DETERMINACION DEL IRI	33
<b>CAPITULO IV: VENTAJAS DEL EQUIPO MERLIN</b>	<b>39</b>
4.1 ANALISIS COMPARATIVO DE COSTOS DEL EQUIPO MERLIN VS. OTROS EQUIPOS	39
4.2 VENTAJAS DEL EQUIPO MERLIN	41
<b>CONCLUSIONES</b>	<b>44</b>
<b>RECOMENDACIONES</b>	<b>45</b>
<b>BIBLIOGRAFIA</b>	<b>46</b>
<b>ANEXOS</b>	<b>47</b>

## RESUMEN

Es importante evaluar la rugosidad de un camino o pavimento, ya que determina su condición actual, lo que permite tomar medidas preventivas para que mantenga su servicialidad. Esta rugosidad puede ser medida con el equipo MERLIN con mejor precisión que otros equipos, de una manera práctica y económica.

El presente informe pretende dar a conocer las ventajas del rugosímetro MERLIN, como son su fácil manejo, alta precisión que sólo es superada por la mira y nivel y su bajo costo. Donde el objetivo principal es resaltar el uso del rugosímetro MERLIN como una alternativa de bajo costo para determinar el Índice de Rugosidad Internacional (IRI), con una alta precisión, con la finalidad de que sea más usado para medir la rugosidad en caminos de bajo tránsito no pavimentados y tener un mejor control del nivel de servicio de la vía.

Para este fin se evaluó el costo de realizar el ensayo con el equipo MERLIN en comparación con otros equipos, como el Bump Integrator, se analizó 02 situaciones, la primera es realizar el ensayo alquilando el equipo y la segunda fue comparar el costo de cada equipo nuevo.

Los criterios para el análisis fueron en base a la experiencia de la visita de campo que se realizó a la Carretera Cañete – Huancayo del km. 108 al km. 110, donde se tomo datos para determinar el IRI de dicho tramo.

Del análisis de costo se determinó que sería conveniente comprar un equipo MERLÍN, ya que si se midiera el uso de este equipo en kilómetros, se alcanzaría su costo rápidamente, por ser este muy bajo en comparación con el Bump Integrator.

De la evaluación del Contrato de conservación de la Carretera Cañete – Huancayo, sobre los métodos indicados para medir la rugosidad de la vía, se indica que se debe realizar una vez al año y sólo con fines estadísticos del comportamiento del pavimento, no con fines de control. Para lo cual se indica

que el IRI debería calcularse 2 veces al año, para tener un control de la vía y tomar medidas para mejorar su serviciabilidad de ser necesario.

De aumentar la periodicidad de la evaluación de la rugosidad y extender el tiempo del contrato de conservación, haría que la compra de un rugosímetro MERLIN sea lo más conveniente a fin de controlar la rugosidad y medir la serviciabilidad.

## LISTA DE CUADROS

1. Cuadro N° 1.1	Tramos de la Carretera Cañete - Huancayo (Fuente: Perfil Carretera Cañete- Huancayo – Grupo 5 Sec. A)	13
2. Cuadro N° 1.2	Matriz de Marco Lógico (Fuente: Carretera Cañete- Huancayo – Grupo 5 Sec. A)	17
3. Cuadro N° 2.1	Índice de Serviciabilidad Presente (Fuente: Elaboración propia)	25
4. Cuadro N° 3.1	Lecturas con la pastilla de calibración	38
5. Cuadro N° 4.1	Análisis de costo para medición de rugosidad con equipo MERLIN alquilado	39
6. Cuadro N° 4.2	Análisis de costo para medición de rugosidad con equipo Bump Integrator alquilado	40
7. Cuadro N° 4.3	Costo promedio del equipo MERLIN sin I.G.V.	41
8. Cuadro N° 4.4	Costo promedio del equipo Bump Integrator Mark III sin I.G.V.	41

## LISTA DE FIGURAS

1.	Figura N° 1.1	Desarrollo de la carretera Cañete - Huancayo (Fuente: Perfil Carretera Cañete- Huancayo – Grupo 5 Sec. A)	12
2.	Figura N° 1.2	Árbol de Causas y Efectos (Fuente: Perfil Carretera Cañete- Huancayo – Grupo 5 Sec. A)	14
3.	Figura N° 1.3	Árbol de Medios y Fines (Fuente: Perfil Carretera Cañete- Huancayo – Grupo 5 Sec. A)	15
4.	Figura N° 1.4	Piscigranja de la localidad de Alis	16
5.	Figura N° 2.1	Representación de la rugosidad de un pavimento (Fuente: Elaboración propia)	18
6.	Figura N° 2.2	Modelo Quarter Car para el cálculo del IRI (Fuente: Elaboración propia)	19
7.	Figura N° 2.3	Escala de Rugosidad IRI (m/km) (Fuente: Elaboración propia)	20
8.	Figura N° 2.4	Nivel Topográfico	21
9.	Figura N° 2.5	Bump Integrator	22
10.	Figura N° 2.6	Equipo MERLIN	24
11.	Figura N° 3.1	Medición de las desviaciones del pavimento respecto a la cuerda promedio. (Fuente: Elaboración propia)	26
12.	Figura N° 3.2	Histograma de desviación de frecuencias (Fuente: Elaboración propia)	27
13.	Figura N° 3.3	Esquema del rugosímetro MERLIN (Fuente: Manual del usuario MERLINER)	29
14.	Figura N° 3.4	Km.110 Carretera Cañete -Huancayo	31
15.	Figura N° 3.5	Tramo en curva Km.109	31
16.	Figura N° 3.6	Formato para toma de datos en campo	32
17.	Figura N° 3.7	Giba en el tramo Km.108 – Km 109	33
18.	Figura N° 3.8a	Hoja de campo – Ensayo 01 (110+000 – 109+600)	35
19.	Figura N° 3.8b	Hoja de campo – Ensayo 02 (109+000 – 108+600)	36
20.	Figura N° 3.9a	Histograma de distribución de frecuencias - Ensayo 01 (110+000 - 109+600)	37

---

21. Figura N° 3.9b	Histograma de distribución de frecuencias - Ensayo 02 (109+000 - 108+600)	37
22. Figura N° 4.1	Automatización del Rugosímetro MERLIN (Fuente: IIFIC)	42
23. Figura N° 4.2	Ecuación de correlación para evaluación de rugosidad con MERLIN (Fuente: Desarrollo de la ecuación de correlación. P. del Águila)	43

## LISTA DE SIMBOLOS Y SIGLAS

AASHTO	:	American Association of State Highway and Transportation Officials
IIFIC	:	Instituto de Investigación de la Facultad de Ingeniería Civil
IMD	:	Índice Medio Diario
IRI	:	International Roughness Index
IRRE	:	International Road Roughness Experiment
MERLIN	:	Machine for Evaluating Roughness using Low-cost Instrumentation
MTC	:	Ministerio de Transportes y Comunicaciones
PSI	:	Present Serviceability Index
TRRL	:	Transport and Road Research Laboratory
$\sigma$	:	Desviación Estándar



## INTRODUCCION

En la actualidad recién se ha empezado a implementar políticas de conservación vial que tienen por finalidad evitar el deterioro prematuro de las vías mediante intervenciones rutinarias y periódicas de manera oportuna.

El desarrollo de esta política de prevención significa un cambio del concepto tradicional de trabajo, de actuar para reparar lo dañado por el concepto de actuar para evitar que se dañe, haciendo prevalecer de esta manera en las instituciones las acciones preventivas frente a las acciones correctivas. Lo que significa en la práctica, actuar permanentemente para mantener la carretera en óptimas condiciones de transitabilidad. Para esto es importante realizar una evaluación constante de la vía, donde la medición de la rugosidad es un parámetro importante que permite establecer su capacidad de servicio.

El problema radica en que se requiere un monitoreo permanente de la vía, como también de una evaluación constante, que eleva los costos debido a los fletes que implica el traslado de equipos y personal de trabajo. Para ello se plantea el uso del rugosímetro MERLIN como una alternativa de bajo costo para determinar la rugosidad y así poder realizar una evaluación constante.

El presente informe tiene como objetivo principal resaltar el uso del rugosímetro MERLIN como alternativa de bajo costo y se han desarrollado cuatro capítulos para satisfacer este objetivo.

El primer capítulo describe el marco de referencia dentro del que se encuentra el informe, resaltando como principales antecedentes el surgimiento del programa piloto "Proyecto Perú" y el nuevo sistema de contratos de conservación de carreteras. En este capítulo también se realiza un resumen del perfil desarrollado para la carretera Cañete – Huancayo.

El segundo capítulo trata sobre los aspectos conceptuales que se necesitarán para el desarrollo del informe, en especial para el siguiente capítulo en donde se desarrolla la metodología del ensayo para medir la rugosidad con el equipo

MERLIN, además del procedimiento de cálculo del IRI (Índice de Rugosidad Internacional) para el tramo de la carretera que comprende el km. 108 al km. 110.

En el último capítulo se resalta las ventajas del rugosímetro MERLIN, las cuales son su bajo costo, fácil manejo y un método de análisis simple con resultados confiables. En este mismo capítulo también se realiza el análisis de costos del desarrollo del ensayo para determinar la rugosidad con el equipo MERLIN y con el Bump Integrator.

## CAPÍTULO I

### ANTECEDENTES

#### 1.1. MARCO DE REFERENCIA

En el año de 1958 fue construida la carretera Cañete – Huancayo. Esta recorre la provincia de Cañete, Yauyos, Chupaca hasta llegar a Huancayo, conectando así los departamentos de Lima y Junín.

En busca de establecer un sistema de contratación para las actividades de conservación de la infraestructura vial, se lanza un Programa Piloto denominado “Proyecto Perú”.

Dentro del marco de este nuevo proyecto, Provías Nacional firma un contrato en diciembre del 2007 con el “Consortio Gestión de Carreteras” compuesto por las empresas ICCGSA, Corporación Mayo y la Empresa de Mantenimiento Vial la Marginal; donde el consorcio asume las obligaciones de contratista encargado de realizar el Servicio de Conservación Vial por Niveles de Servicio de la Carretera Cañete - Lunahuaná - Pacarán - Ronchas - Chupaca así como la Rehabilitación del Tramo Zúñiga - Dv. Yauyos - Ronchas. En la actualidad el contratista viene haciendo trabajos de mantenimiento periódico, según los términos de referencia.

La vía que conecta la ciudad de Cañete – Lunahuaná Chupaca de aproximadamente 284.531 km. Esta vía, denominada por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones como la Ruta Transversal N° 22, es una alternativa para evitar la congestión y los impases de la naturaleza que se presentan en la Carretera Central para las personas que se movilizan a las provincias de Jauja, Concepción, Chupaca y Huancayo del departamento de Junín y a su vez, es un medio de desarrollo de las actividades económicas de la zona.

Dentro del curso de titulación del ciclo académico 2010 – I, para formular y evaluar la carretera Cañete - Huancayo en su situación actual y buscar alternativas de mejora se desarrollo un proyecto a nivel perfil.

Para efectos de este informe y complementar el perfil, se realizó una visita a la zona del proyecto el 15 de mayo del 2010, donde se efectuaron ensayos no destructivos en el pavimento con la Viga Benkelman, Bump Integrator y el MERLIN en el tramo comprendido entre las progresivas 108+000 y 110+00.



Figura 1.1: Desarrollo de la Carretera Cañete – Huancayo (Fuente: Perfil Carretera Cañete- Huancayo – Grupo 5 Sec. A)

## 1.2. RESUMEN DEL PERFIL

El perfil desarrollado lleva por nombre: “Estudio a nivel de Perfil para el Servicio de Conservación Vial de la Carretera Cañete – Lunahuaná – Pacarán – Chupaca del Km 00+000 al Km 284+531”.

Este proyecto se enmarca en el Programa Piloto de Provias Nacional denominado “Proyecto Perú”, el cual aspira a establecer un sistema de contratación de las actividades de conservación y desarrollo de la infraestructura vial en carreteras de IMD bajo, mediante contratos en los que las prestaciones se controlen por niveles de servicio y por plazos iguales o superiores a cinco años, que implican el concepto de “transferencia de riesgo” al Contratista.

A fines del año 2007, la empresa “Consortio Gestión de Carreteras”, asumió las obligaciones de contratista conservador para realizar el Servicio de Conservación Vial por Niveles de Servicio de la Carretera Cañete -Lunahuaná –

Pacarán - Ronchas - Chupaca y Rehabilitación del Tramo Zúñiga - Dv. Yauyos - Ronchas. Actualmente el consorcio realiza las labores de conservación en base a los términos de referencia del contrato y de acuerdo a los trabajos realizados hasta ahora es que se tomó como línea base para el desarrollo del perfil del proyecto.

Las condiciones actuales de la carretera se limitan a caminos de tramos angostos y de regulares condiciones, en los cuales, al haberse mejorado la transitabilidad en base a un cambio estándar mediante la colocación de monocapa o slurry seal, los vehículos recorren la vía a mayor velocidad, pero por las deficientes condiciones geométricas la vía es propensa a accidentes.

La transitabilidad es difícil para camiones ligeros y casi imposible para vehículos mayores, por lo que no es capaz de atender la demanda actual ni la proyección de la demanda. Para efectos del estudio, la carretera se ha dividido en los siguientes tramos:

N °	TRAMOS	LONGITUD (KM)
01	Cañete - Lunahuaná	40.75
02	Lunahuaná – Pacarán	12.49
03	Pacarán – Zúñiga	4.15
04	Zúñiga – Dv. Yauyos	72.6
05	Dv. Yauyos – Ronchas	135.13
06	Ronchas – Chupaca	16.61

Cuadro 1.1: Tramos de la Carretera Cañete – Huancayo  
(Fuente: Perfil Carretera Cañete- Huancayo – Grupo 5

En base al diagnóstico de la situación actual, se identificó el problema central a resolver y el objetivo central del proyecto, construyendo un árbol de causas y efectos y un árbol de medios y fines.

El árbol de causas y efectos resume tanto las causas directas como indirectas que llevan al problema central y a su vez los efectos indirectos y directos que éste provoca. El árbol medios y fines resume lo medios para alcanzar el objetivo central, de donde se desprenden fine directo e indirectos.

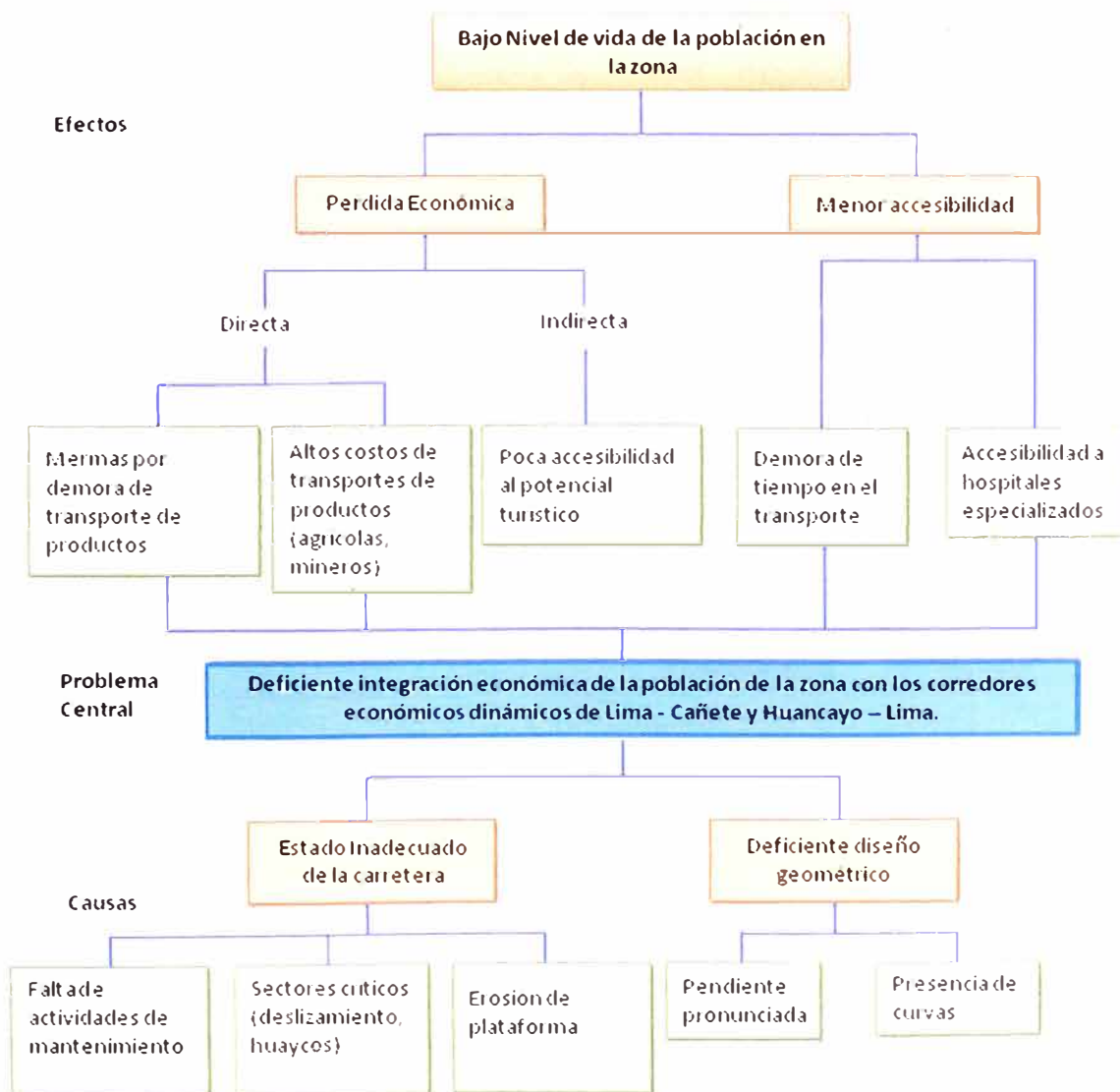


Figura 1.2: Árbol de Causas y Efectos (Fuente: Perfil Carretera Cañete-Huancayo – Grupo 5 Sec. A)

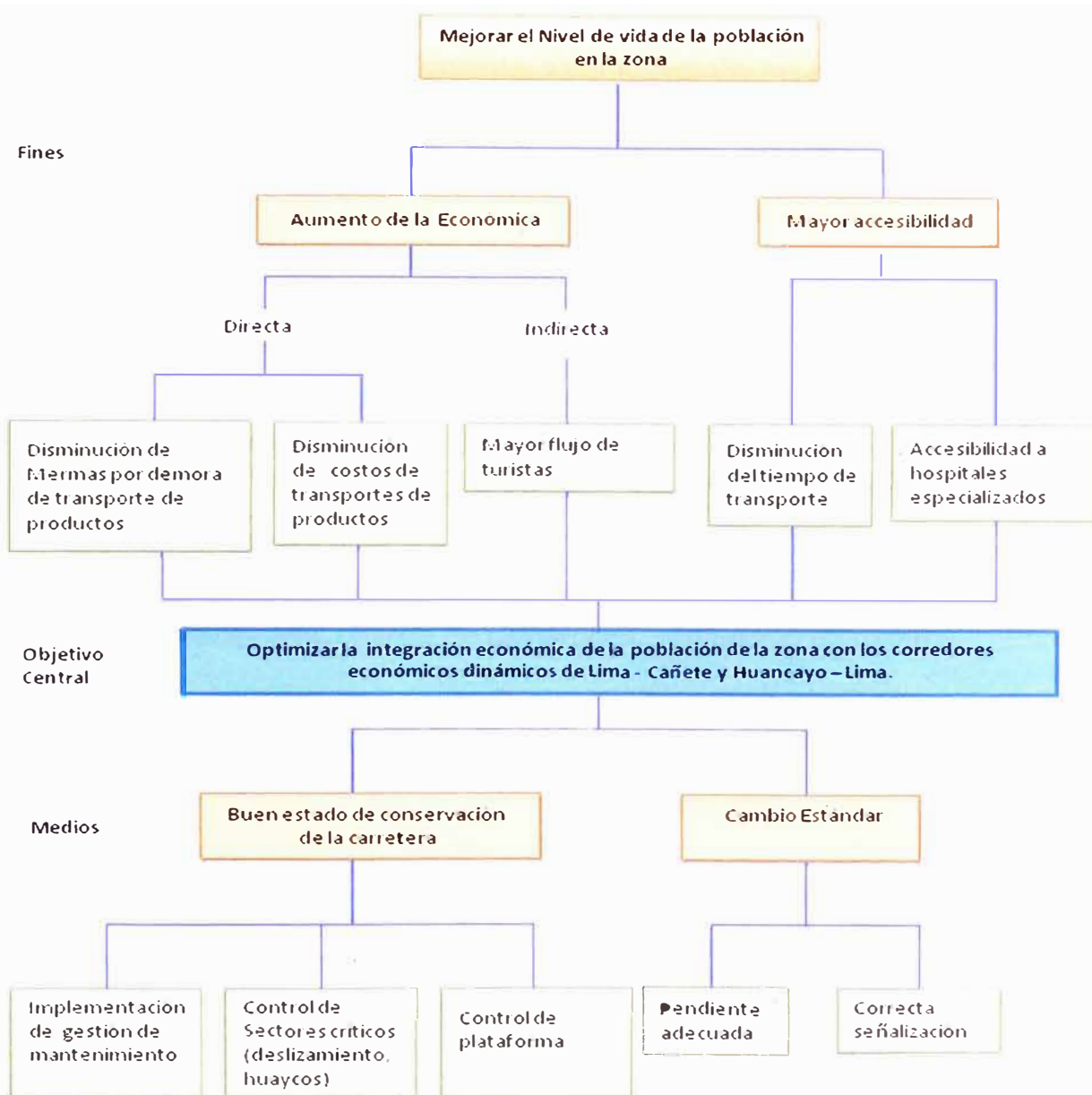


Figura 1.3: Árbol de Medios y Fines (Fuente: Perfil Carretera Cañete-Huancayo – Grupo 5 Sec. A)

Para analizar la oferta y demanda de los usuarios de la vía, se proyectó un horizonte de 3 años, donde la demanda del proyecto está dada por el flujo vehicular existente en la actualidad. La oferta se presenta mediante la carretera a nivel de tratamiento superficial en mal estado desde Lunahuaná a Pacarán y trocha de regular a mal estado en el resto de la carretera hasta Chupaca, anchos de la calzada existente varían entre 2.6 m y 8.5 m., inadecuado drenaje longitudinal y transversal en algunos sectores, presencia de filtraciones proveniente de los terrenos de cultivo a falta de un sistema de subdrenaje,

sectores críticos debido a la presencia de taludes inestables (desmoronamiento de taludes), riberas de río erosionada, y por topografía accidentada.

Las alternativas propuestas son básicamente la utilización de capas granulares de espesor de 10 cm para una mejora estructural combinadas con alternativas de mejoras superficiales (colocación de monocapa, slurry seal), de acuerdo a la condición de cada tramo.

Dentro de los beneficios directos que se considerados son la reducción de costo de operación vehicular, el ahorro por costos de mantenimiento de la vía, el ahorro de tiempo de viaje de los usuarios de la vía, pero también existen algunos beneficios indirectos como mejoras en el medio ambiente e impactos en las actividades, por otra parte se fomenta el desarrollo de negocios ambientales, tales como piscigranja, crianza de camarones, ecoturismo entre otros.



Figura 1.4: Piscigranja de la localidad de Alis

Del análisis económico de las alternativas planteadas se observa que se llegaría a una mayor rentabilidad, si el horizonte del proyecto fuera mayor y si el número de vehículos que transita por la vía aumentará. Una forma de que la tasa vehicular aumente es que se incremente el número de vehículos que emplea la carretera Cañete – Huancayo como ruta alterna a la carretera central, convirtiéndose en un corredor económico de gran importancia. Los beneficios económicos que se desarrollen con la mejora de esta vía repercutirán en los pobladores de las zonas dentro del área de influencia elevando su nivel de vida y



como consecuencia disminuyendo el nivel de pobreza, así como también al resto del país.

Del análisis realizado tanto del problema como de las soluciones alternativas, es posible determinar el marco lógico del proyecto, el cual se indica en el cuadro 1.2

	Resumen de Objetivos	Indicadores	Medios de Verificación	Supuestos
<b>Fin</b>	Mayor generación de actividades económicas, mayor acceso de servicios públicos.	Ingreso Per-cápita, Reducción de costos de tarifas/fletes, Disminución de las necesidades básicas insatisfechas	Censos nacionales, Encuestas a hogares, PBI,PEA Estudio de velocidades, Reportes de emergencias	
<b>Propósito</b>	Adecuadas condiciones de transitabilidad de la carretera	Empresa de transportes de carga y pasajeros, Ahorro COV, Verificación IRI	Conteo de tráfico, Estudio de tiempos de viajes, Encuesta de pasajeros y usuarios	Se continua con las actividades de mejoramiento de la carretera: Cañete - Lunahuaná - Pacarán - Zúñiga - Yauyos -Chupaca
<b>Componentes</b>	Mantenimiento rutinario y periódico	230.78 Km. de vía mejorada, 230.78 Km. De vía mantenida por año	Inventario vial, Informes de Mantenimiento, Costo de mantenimiento por kilometro	Mantenimiento adecuado
<b>Acciones</b>	Ejecución de un programa de mantenimiento.	01 Perfil, 01 Expediente técnico, Horizonte de proyecto.	Informe de supervisión, Monitoreo de la unidad ejecutora, Liquidación de obra	Desempeño apropiado de los contratistas privados.

Cuadro 1.2: Matriz de Marco Lógico (Fuente: Perfil Carretera Cañete- Huancayo – Grupo 5 Sec. A)

## CAPITULO II

### CONCEPTOS TEÓRICOS

#### 2.1. RUGOSIDAD

Es un parámetro que permite evaluar el estado de la superficie de rodadura del pavimento desde el punto de vista de irregularidades, deformaciones y ondulaciones. La medida de la rugosidad cuantifica las variaciones del perfil longitudinal de dicha superficie, es decir, relaciona la magnitud y la frecuencia de las irregularidades superficiales o altimétricas, con la comodidad o confort de transitar sobre este.

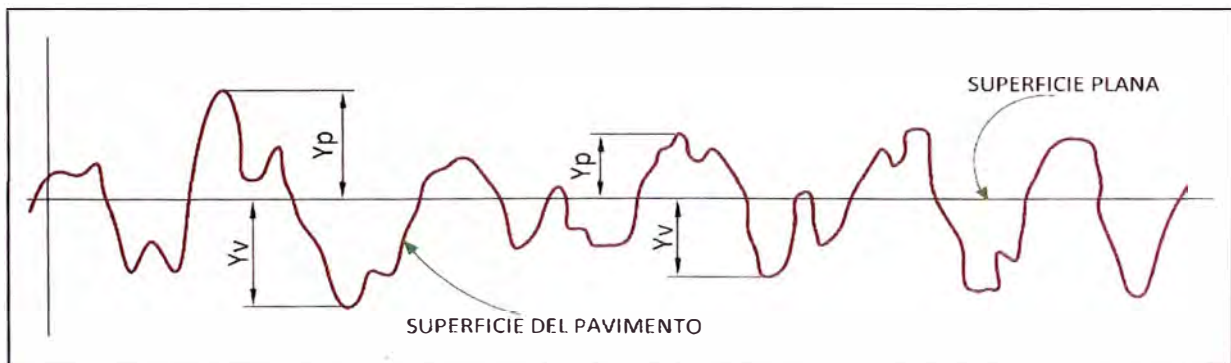


Figura 2.1: Representación de la rugosidad de un pavimento (Fuente: Elaboración propia)

Según la norma de ensayo ASTM E 867, define el concepto de Rugosidad como: “La desviación de una determinada superficie respecto a una superficie plana teórica, con dimensiones que afectan la dinámica del vehículo, la calidad de manejo, cargas dinámicas y el drenaje”.

#### 2.2. INDICE INTERNACIONAL DE RUGOSIDAD (IRI)

La unidad de medida de la rugosidad es el Índice de Rugosidad Internacional (International Roughness Index), expresado en metros por kilómetro y se determina por medio de un rugosímetro patronado y aceptado de acuerdo con las prácticas de la ingeniería vial. Su estudio se inicia en el IRRE (International

Road Roughness Experiment), realizado en Brasilia (Brasil) entre Mayo y Junio de 1982, con la finalidad de estandarizar mundialmente el parámetro de medición de rugosidad.

Para definir el International Roughness Index (IRI), los expertos del Banco Mundial crearon un modelo de nominado "quarter car" (figura 2.2). Al avanzar el modelo por una carretera a una velocidad constante de 80km/h e ir siguiendo sus irregularidades, las masas se mueven verticalmente y para una combinación estándar de valores de las constantes de los muelles, masas y amortiguador, el movimiento vertical relativo acumulado de la masa superior que simula el asiento del conductor), al recorrer el modelo una longitud determinada de carretera, es lo se conoce como IRI.

Esta unidad se emplea en el Perú y fue propuesta por el Banco Mundial para uniformizar los diversos criterios que existen para medir y calibrar la rugosidad de los pavimentos.

La escala de la rugosidad IRI relaciona la rugosidad con el estado del pavimento, por eso a medida que se deterioran las carreteras, se reduce la comodidad en la conducción del vehículo; bajo este contexto la comodidad es medida en términos del Índice Internacional de Rugosidad o IRI.

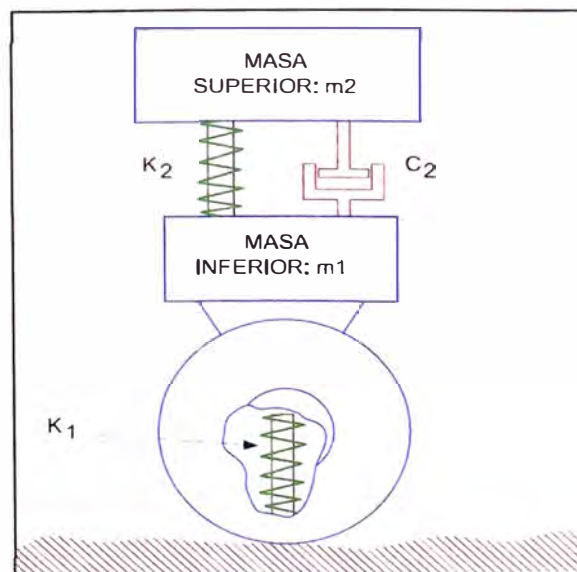


Figura 2.2: Modelo Quarter Car para el cálculo del IRI Lógico  
(Fuente: Elaboración propia)

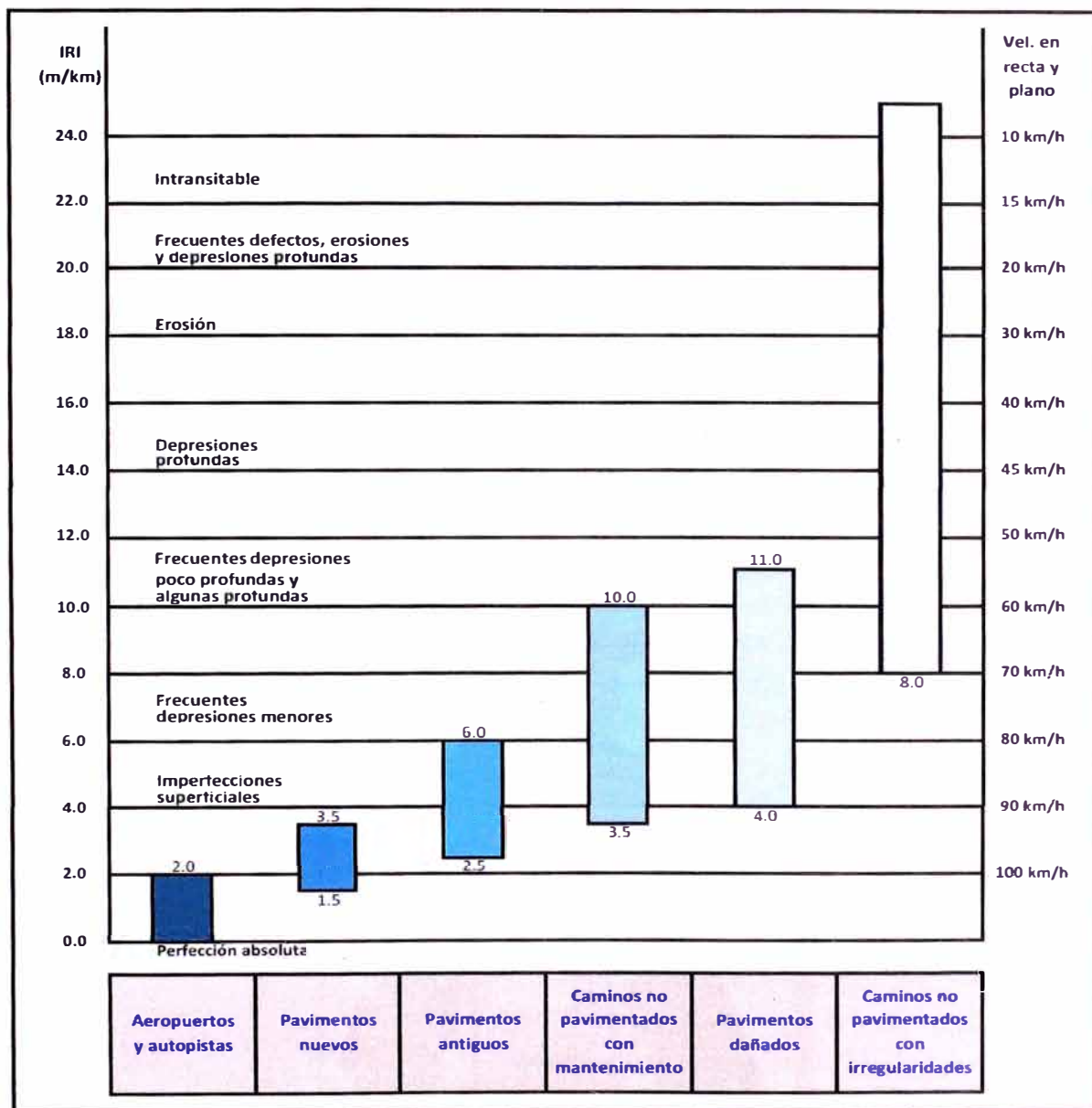


Figura 2.3: Escala de Rugosidad IRI (m/km) (Fuente: Elaboración propia)

### 2.3. MÉTODOS PARA LA MEDICION DE LA RUGOSIDAD

Los diversos métodos para medir la rugosidad que existe en el mundo pueden agruparse, de acuerdo a la clasificación dada por el Banco Mundial, en cuatro clases genéricas, con relación a que tan directa sea la correlación que emplean para relacionar sus medidas con el Índice Internacional de Rugosidad (IRI).

### a. MÉTODOS CLASE 1

Estos métodos están basados en la medición de perfiles topográficos de gran precisión, se constituyen como los más exactos que existen para la determinación del IRI.

Los métodos de la clase 1 establecen la rugosidad a través de la determinación muy exacta del perfil longitudinal de un pavimento, con medidas espaciadas cada 0.25 m y cotas con una precisión de 0.5 mm. A esta clase pertenecen los métodos basados en la medición del perfil del pavimento con el perfilómetro TRRL Beam, y, con mira y nivel de precisión (Rod and Level).



Figura 2.4: Nivel Topográfico

### b. MÉTODOS CLASE 2

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

Tanto los métodos Clase 1, como los Clase 2, establecen la rugosidad en unidades IRI haciendo uso de programas de cómputo, los cuales se basan en algoritmos matemáticos que simulan la respuesta dinámica que experimenta el sistema de suspensión de un vehículo modelo, al “transitar” por el perfil medido.

### c. MÉTODOS CLASE 3

En esta clase están los métodos que recurren al uso de una ecuación de correlación para la estimación del IRI. Estos métodos, también denominados “tipo respuesta” (Response-Type Road Roghness Measuring System, o simplemente, RTRRMS), establecen la rugosidad basados en la detección del movimiento relativo que experimenta el sistema de suspensión de un vehículo de pasajeros o de un tráiler remolcado, al transitar sobre el pavimento.

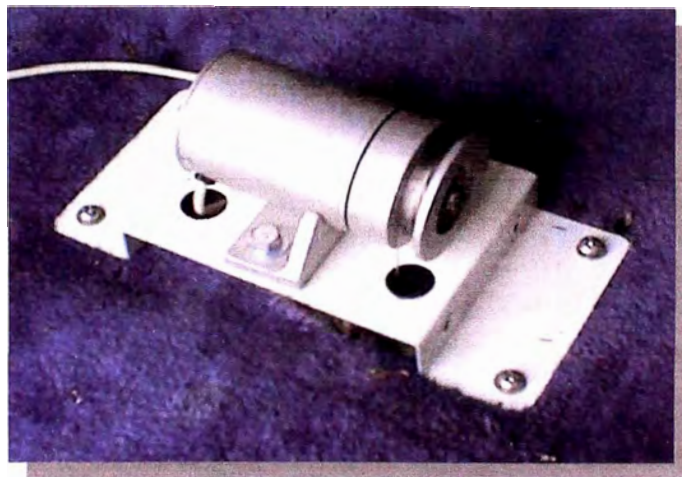


Figura 2.5: Bump Integrator

Esta clase también incluye métodos que emplean otros tipos de instrumentos para medir la rugosidad, diferentes a un RTRRMS. Un método califica como Clase 3 si emplea una ecuación de calibración para correlacionar el IRI con las mediciones tomadas directamente con el equipo, indistintamente del tipo de instrumentación o vehículo que se utilice para la obtención de la medida de rugosidad básica.

Los métodos Clase 3 emplean diversos tipos de equipos, tales como el Mays Meter (Norteamericano), Bump Integrator (Inglés), NAASRA Meter (Australiano).

#### **d. MÉTODOS CLASE 4**

En las situaciones que se requieren datos de rugosidad sin necesidad de una gran precisión o simplemente no es posible obtener datos precisos; pero se requiere relacionar las medidas a la escala del IRI, se puede recurrir a una evaluación subjetiva, ya sea mediante experiencia previa recorriendo caminos o basándose en una inspección visual. Otra posibilidad es utilizar las medidas obtenidas con un equipo sin calibrar, tal como un RTRRMS. Un equipo tipo respuesta que no está calibrado se ubica en la categoría de Clase 4.

#### **e. MÉTODOS UTILIZADOS EN EL PERÚ**

En el Perú existen equipos tipo respuesta como el Bump Integrator, pero su uso ha sido bastante limitado. Respecto a la calidad de resultados, la experiencia no ha sido muy afortunada, debido principalmente a una falta de exactitud de las calibraciones efectuadas o al no poder mantener las condiciones con las que inicialmente fueron calibrados los equipos, esto ha incidido en la obtención de resultados inconsistentes con el estado de los pavimentos evaluados.

La mayor experiencia en el Perú está relacionada con el método basado en el uso del rugosímetro denominado MERLIN (Machine for Evaluating Roughness using Low-cost Instrumentation), desarrollado por el TRRL (Transport and Road Research Laboratory) de Gran Bretaña. De acuerdo a la clasificación del Banco Mundial, el método de medición del MERLIN califica por la forma como Clase 2, por haber sido diseñado como una variación de un perfilómetro estático, y debido a la gran exactitud de sus resultados, se utiliza para la calibración del Bump Integrator.

El MERLIN es un equipo de diseño simple, que funciona de acuerdo al principio de la palanca. Para calcular la rugosidad de los pavimentos con el MERLIN, se ha utilizado en un principio el método original propuesto por el TRRL. Posteriormente se realizaron modificaciones a fin de obtener un mayor rendimiento con el equipo. Asimismo, se elaboró una nueva ecuación de correlación, con base en la experiencia peruana, que es empleada para el control de calidad de pavimentos nuevos.



Figura 2.6: Equipo MERLIN

## 2.4. SERVICIABILIDAD

La serviciabilidad de un pavimento esta definido como su habilidad para servir al tipo de tráfico (automóviles y camiones) que usa la vía. Los niveles de servicio son indicadores que califican y cuantifican el estado de servicio de una vía, y que normalmente se utilizan como límites admisibles hasta los cuales pueden evolucionar su condición superficial, funcional, estructural, y de seguridad, los indicadores para una vía de bajo tránsito deben referirse a conceptos de transitabilidad, seguridad y comodidad.

El concepto de “transitabilidad” en el Perú define una situación de “disponibilidad de uso”, este debe estar garantizado la mayor parte del tiempo. En el caso de la seguridad se debe reducir el número de accidentes. La comodidad operativa debe ser medida en términos de rugosidad.

Para evaluar la serviciabilidad del pavimento se emplea el parámetro denominado Índice de Serviciabilidad Presente (PSI, Present Serviciability Index)



el cual establece la condición funcional o capacidad de servicio actual del pavimento. Este concepto fue desarrollado por el cuerpo técnico del Ensayo Vial AASHO, en 1957. Los valores del PSI se evalúan mediante una escala que varía entre cero (0), camino imposible, y cinco (5), camino perfecto.

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

La expresión 1, es una correlación desarrollada con la base de datos establecida en el Ensayo Internacional sobre Rugosidad de Caminos, realizado en Brasil en 1982.

$$PSI = 5e^{-(IRI/5.5)} \quad \text{para } R < 12 \quad (1)$$

donde,

R: Rugosidad, IRI (International Roughness Index)

PSI: Índice de Serviciabilidad Presente

La calidad de servicio que brinda en un momento determinado el pavimento, se evalúa en función de los valores de PSI calculados, de acuerdo a los siguientes rangos:

PSI	CONDICION
0-1	Muy mala
1-2	Mala
2-3	Regular
3-4	Buena
4-5	Muy buena

Cuadro 2.1: Índice de serviciabilidad Presente.  
(Fuente: Elaboración propia)

## CAPITULO III

### METODOLOGÍA PARA MEDIR EL IRI CON EL RUGOSIMETRO MERLIN

#### 3.1. FUNDAMENTO TEÓRICO

La determinación de la rugosidad de un pavimento se basa en el concepto de usar la distribución de las desviaciones de la superficie respecto de una cuerda promedio. Bajo este concepto el rugosímetro MERLIN mide el desplazamiento vertical entre la superficie de la vía y el punto medio de una línea imaginaria de longitud constante. Este desplazamiento es conocido como “la desviación respecto a la cuerda promedio”.

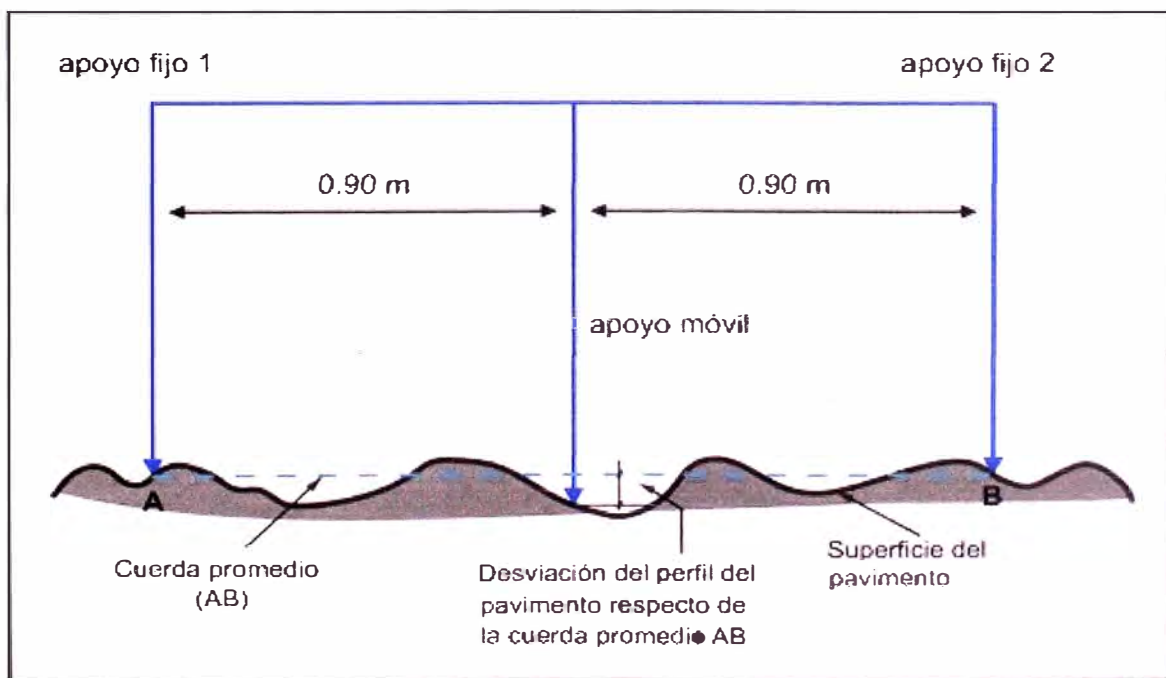


Figura 3.1: Medición de las desviaciones del pavimento respecto a la cuerda promedio  
(Fuente: Elaboración propia)

De acuerdo a la estructura del equipo MERLIN, la longitud de la cuerda promedio es 1.80 m., ya que es la distancia entre sus apoyos fijos.

La metodología para determinar la rugosidad con este equipo indica que es necesario realizar 200 mediciones respecto a la cuerda promedio, en forma consecutiva a lo largo de la vía y considerar un intervalo de 2 m.

Al elaborar el histograma de la distribución de frecuencias de las 200 mediciones tomadas, es posible medir la dispersión de las desviaciones y establecer una correlación con la escala estándar de la rugosidad.

El índice de rugosidad internacional (IRI) es el parámetro utilizado para uniformizar los resultados de los diversos equipos que como el MERLIN también miden rugosidad. Para ellos se tienen las siguientes expresiones que correlacionan el "D" con el IRI:

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

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

El valor D es la rugosidad del pavimento en "unidades MERLIN", donde D es el rango de la muestra, que es un parámetro estadístico que establece la magnitud de la dispersión. Es determinado luego de efectuar una depuración del 10% de observaciones (10 datos en cada extremo del histograma).

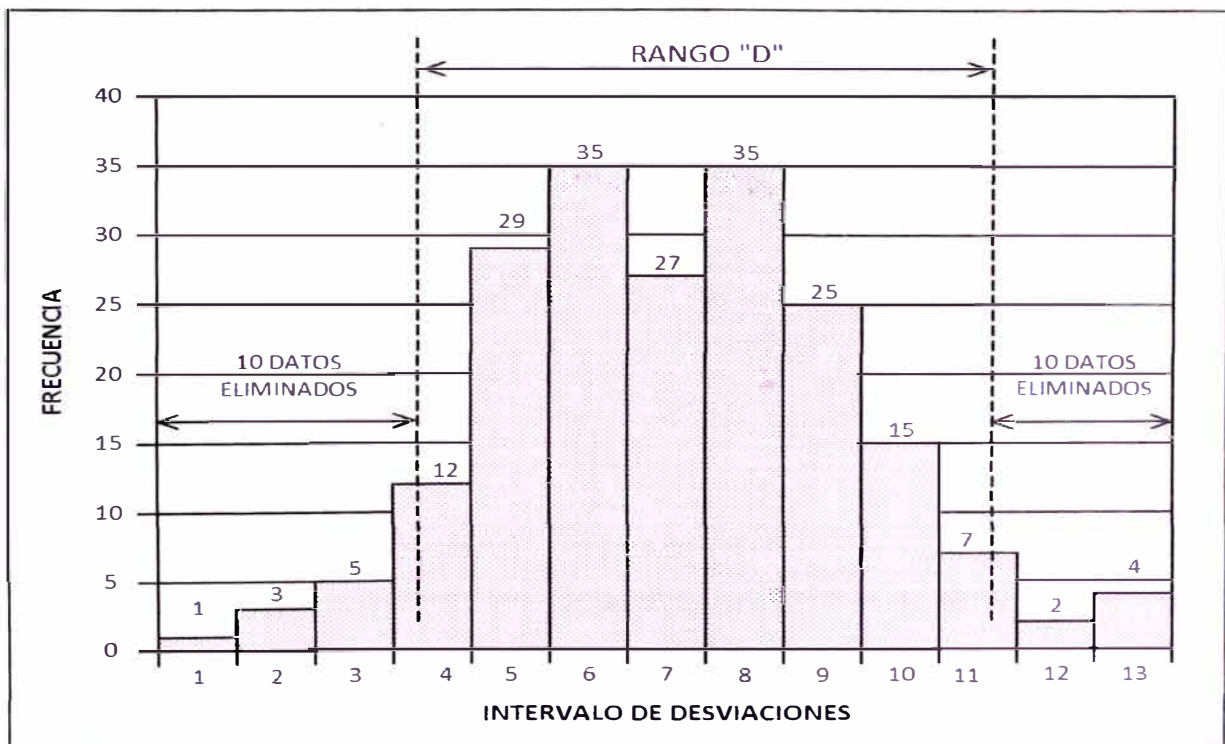


Figura 3.2: Histograma de desviación de frecuencias (Fuente: Elaboración propia)

De las expresiones de correlación del “D” con el “IRI”, la expresión 1 es la ecuación original establecida por el TRRL, esta ecuación de correlación es empleada para la evaluación de pavimentos en servicio, con superficie de rodadura asfáltica, granular o de tierra, y se aplica cuando la rugosidad se encuentre comprendida en el intervalo indicado. La expresión 2 es la ecuación de correlación establecida de acuerdo a la experiencia peruana y luego de comprobarse que la ecuación original del TRRL no era aplicable para el caso de pavimentos asfálticos nuevos o poco deformados. Se desarrolló siguiendo la misma metodología que la utilizada por el laboratorio británico. Esta ecuación se emplea para el control de calidad de pavimentos recién construidos

En el Perú a través del Proyecto Especial de Rehabilitación de la Infraestructura de Transportes (PERT), se dió a conocer las nuevas especificaciones técnicas para rugosidad (Octubre 1995), las cuales se incluyeron como parte del control para la recepción de las obras.

En donde se indica que para el caso de pavimentos asfálticos nuevos o rehabilitados, la rugosidad o regularidad superficial se deberá controlar calculando el parámetro denominado IRI característico, el cuál es definido por la siguiente expresión:

$$IRI_C = IRI_P + 1.645 \cdot \sigma$$

Donde:

$IRI_C$  : IRI característico

$IRI_P$  : IRI promedio

$\sigma$  : Desviación Estándar

De acuerdo al factor de correlación empleado ( $K=1.645$ ), se cumplirá que el 95% del pavimento experimentará una rugosidad igual o menor al  $IRI_C$ . El sector o tramo será aceptado si cumple con las siguientes condiciones:

Pavimentos Asfálticos Nuevos:  $IRI_C \leq 2.0$  m/km.

Pavimentos con Recapado Asfáltico:  $IRI_C \leq a$  2.5 m/km.

Pavimentos con Sellado Asfáltico:  $IRI_C \leq 3.0$  m/km.

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

### 3.2 DESCRIPCION DEL EQUIPO MERLIN

El MERLIN es un equipo de diseño simple, Posee la capacidad de detectar y amplificar las irregularidades que presenta la superficie del pavimento. Lo que mide el MERLIN no es la magnitud de las deformaciones sino su variabilidad. El principio que sustenta el método es que a mayor variabilidad, mayor resulta la magnitud de la rugosidad.

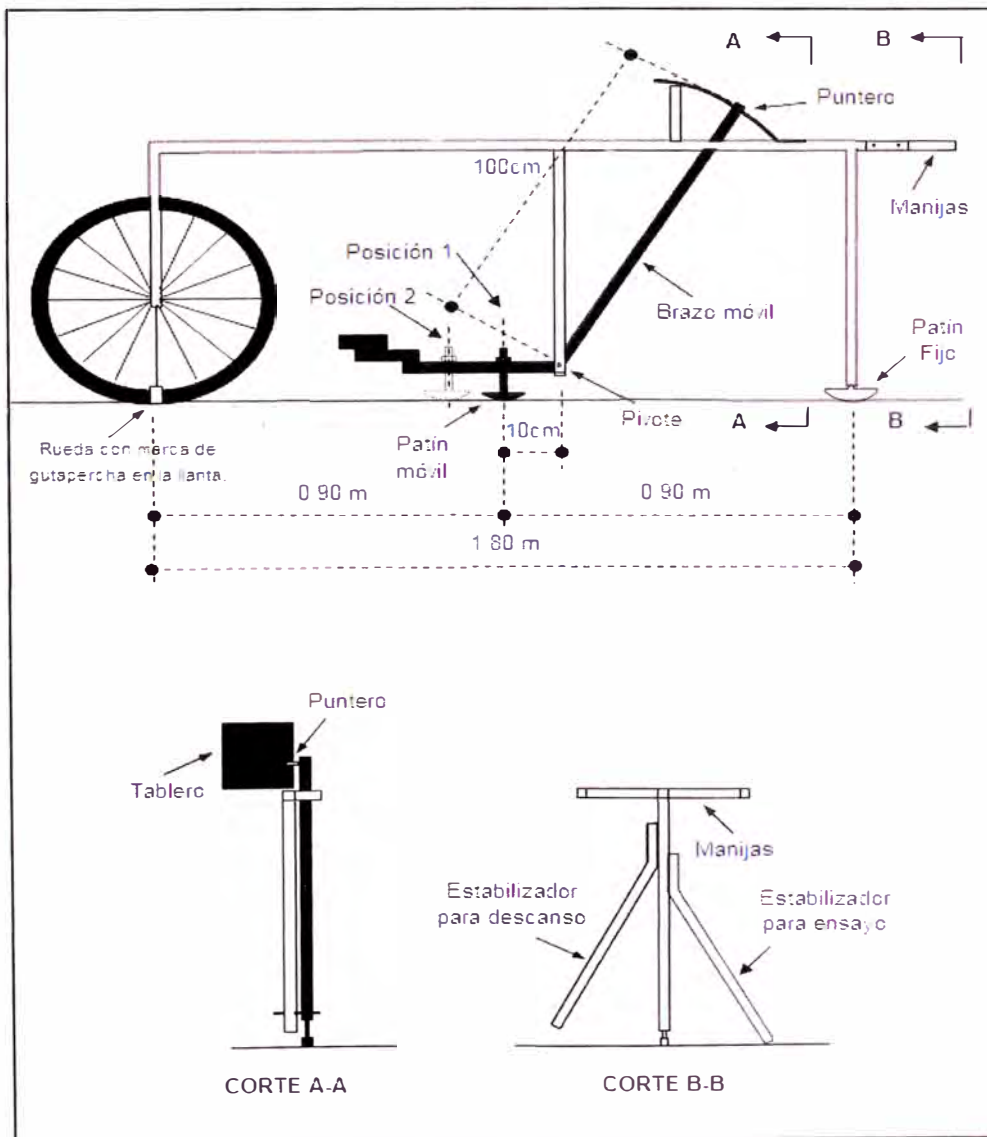


Figura 3.3: Esquema del rugosímetro MERLIN (Manual del usuario MERLINER)

La Figura 3.3 presenta un esquema ilustrativo del instrumento. Consta de un marco formado por dos elementos verticales y uno horizontal. Para facilidad de desplazamiento y operación el elemento vertical delantero es una rueda, mientras que el trasero tiene adosados lateralmente dos soportes inclinados, uno en el lado derecho para fijar el equipo sobre el suelo durante los ensayos y otro en el lado izquierdo para descansar el equipo. El elemento horizontal se proyecta, hacia la parte trasera, con 2 manijas que permiten levantar y movilizar el equipo, haciéndolo rodar sobre la rueda en forma similar a una carretilla.

Aproximadamente en la parte central del elemento horizontal, se proyecta hacia abajo una barra vertical que no llega al piso, en cuyo extremo inferior pivotea un brazo móvil. El extremo inferior del brazo móvil está en contacto directo con el piso, mediante un patín empernado y ajustable, el cual se adecua a las imperfecciones del terreno, mientras que el extremo superior termina en un puntero o indicador que se desliza sobre el borde de un tablero, de acuerdo a la posición que adopta el extremo inferior del patín móvil al entrar en contacto con el pavimento.

La relación de brazos entre los segmentos extremo inferior del patín móvil-pivote y pivote-puntero es 1 a 10, de manera tal que un movimiento vertical de 1 mm, en el extremo inferior del patín móvil, produce un desplazamiento de 1 cm del puntero. Para registrar los movimientos del puntero, se utiliza una escala gráfica con 50 divisiones, de 5 mm. de espesor cada una, que va adherida en el borde del tablero sobre el cual se desliza el puntero.

### **3.2. RECOLECCIÓN Y TOMA DE DATOS EN CAMPO.**

Para la toma de datos de campo se realizó un viaje a la zona, donde se ubica el tramo comprendido entre el Km. 108 +0.00 y el Km. 110+0.00. , de la Carretera Cañete – Huancayo.

Para la ejecución del ensayo debe seleccionarse un trecho de aproximadamente 400 m de longitud, sobre un determinado carril de una vía. A lo largo del recorrido se ha observado que la carretera presenta varias curvas, lo que

dificulta la toma de datos ya que no se puede escoger un tramo sin curvas para pasar con el equipo MERLIN. En todo el desarrollo del tramo los anchos de la calzada varían e incluso hay zonas donde sólo puede pasar un vehículo.



Figura 3.4: km.110 Carretera Cañete -Huancayo

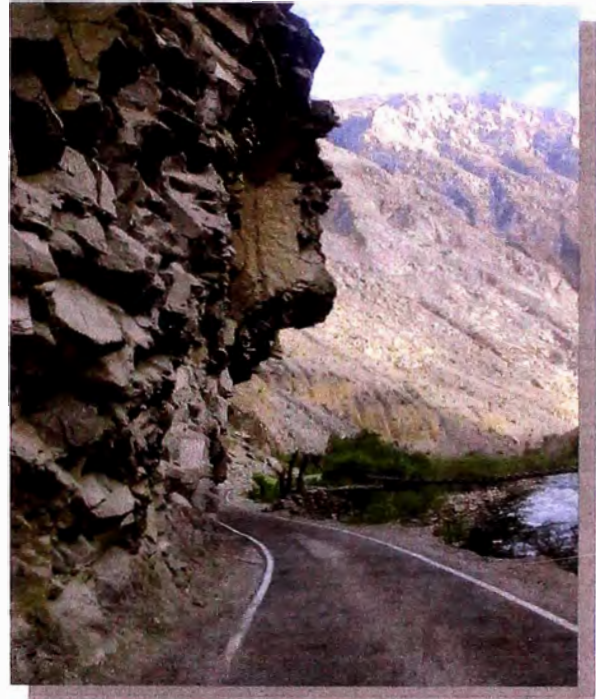


Figura 3.5: Tramo en curva Km.109

Antes de comenzar el ensayo se debe conformar un equipo de personas que debe estar compuesto por un operador quien se encargará de operar el MERLIN, un auxiliar quien anotará las lecturas y 2 vigías que cumplan la función de señalizadores, a fin de que alerten a los transportistas del desarrollo del ensayo.

Para la recolección de datos se empleo el formato que se muestra en la figura 3.6, en esta hoja de campo se anota el tramo del kilómetro que se va evaluar, el tipo de pavimento y las lecturas que indica el puntero del MERLIN.

Las lecturas se realizan estacionando el equipo a intervalos regulares, generalmente cada 2.00 m de distancia; en la práctica esto se resuelve tomando como referencia la circunferencia de la rueda del MERLIN, que es aproximadamente esa dimensión, es decir, cada ensayo se realiza al cabo de una vuelta de la rueda. Para fines prácticos sobre la rueda se coloca una cinta adhesiva de color llamativo, lo que permite al operador controlar que la llanta gire una vuelta entre lectura y lectura.

**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	TIPO DE PAVIMENTO	
										ASFALTADO	<input type="checkbox"/>
										BASE GRAVA/ARI	<input type="checkbox"/>
										BASE EMPEDADA	<input type="checkbox"/>
										TRA 1 TUCAPA	<input type="checkbox"/>
										CANCHA EN TERRO	<input type="checkbox"/>
										CANCHA EN CEMENTO	<input type="checkbox"/>
										RECAPADO ASFALTICO	<input type="checkbox"/>
										OTRO	<input type="checkbox"/>
										OTRO	<input type="checkbox"/>

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

Figura 3.6: Formato para toma de datos en campo

La posición que adopta el puntero corresponderá a una lectura entre 1 y 50, la que se anotará en el formato de campo. Este 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.

Para determinar un valor de rugosidad se deben efectuar 200 lecturas de las “irregularidades que presenta el pavimento” (desviaciones relativas a la cuerda promedio), para cada kilómetro evaluado. Cada vez que se estacione el equipo para efectuar una lectura, la posición es detectada por el patín móvil del MERLIN, 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.

Si al realizar las lecturas sobre el tablero de la escala gráfica del MERLIN, el puntero se ubica en la parte superior fuera de la gráfica se colocará 01. Si al pasar por una giba el patín móvil se estaciona sobre ella la lectura será 50.





Figura 3.7: Giba en el tramo Km.108 – Km 109

### 3.3. DETERMINACION DEL IRI

#### 3.3.1 PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO

La dispersión de los datos obtenidos con el MERLIN de cada ensayo, 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.

##### Cálculo del Rango “D”

De los valores agrupados en intervalos de frecuencia en el histograma, se debe descartar 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 resultado de esta operación es la magnitud del rango “D”.

### Factor de corrección para el ajuste de “D”

Este factor de corrección se aplica a “D”, debido a que la ecuación correlación entre el valor D y la rugosidad en unidades IRI ha sido desarrollada para una condición de relación de brazos del rugosímetro de 1 a 10, pero en la práctica esta relación varía debido al desgaste del patín del brazo móvil del instrumento.

Para corregir “D” se verifica la relación de brazos actual del instrumento, y, se determina un factor de corrección que permita llevar los valores a condiciones estándar.

Para determinar el factor de corrección se hace uso de un disco circular de bronce de aproximadamente 5 cm de diámetro y 6 mm de espesor. Para determinar el espesor exacto de la pastilla, se tomara 4 medidas diametralmente opuestas con un calibrador con aproximación al décimo de mm., y se calculará el valor promedio de las medidas. Luego se coloca el rugosímetro sobre una superficie plana y se efectúa la lectura que corresponde a la posición que adopta el puntero cuando el patín móvil se encuentra sobre el piso. Se levanta el patín y se coloca la pastilla de calibración debajo de él, apoyándola sobre el piso.

Para hallar el factor de corrección (F.C.) se usa la siguiente expresión:

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

Donde:

EP : Espesor de la pastilla

LI : Posición inicial del puntero

LF : Posición final del puntero

### Cálculo del Rango “D” corregido

El valor 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, como se encuentra en “unidades MERLIN” se multiplicará por 5.

Luego deberá modificarse considerando el Factor de Corrección (FC) y la Relación de Brazos (RB) empleada en los ensayos.

### Determinación de la rugosidad en la escala del IRI

Para convertir la rugosidad calculada en mm. a la escala del IRI, se tienen las expresiones de correlación del Rango "D" entre el IRI, descritas en el ítem 3.1.

### 3.3.2 CALCULOS REALIZADOS

En campo se realizaron 02 ensayos, el primero para el Km. 110 y el segundo para el Km. 109, obteniéndose 200 lecturas para el primero y 200 para el segundo.

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

**PROYECTO:** *Corredor Vial N° 13*      **OPERADOR :** *SHG*  
**SECTOR :** *4*      **SUPERVISOR :** *SHG*  
**TRAMO :** *ZUÑIGA - CV. YAUYOS*      **FECHA :** *15/04/2010*  
**CARRIL :** *IZQUIERDO*      **SENTIDO :** *DESCENDENTE*

**ENSAYO N°** 1      **KM** 110+000      **HORA** 08:30 a.m.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	24	18	9	20	13	12	7	20	16	17
2	21	15	17	13	17	1	13	19	12	13
3	14	22	14	3	16	25	4	23	11	15
4	18	19	11	17	25	12	14	22	15	9
5	23	20	5	18	9	13	2	14	16	16
6	20	16	18	20	17	10	01	27	13	10
7	26	18	17	26	14	10	16	15	17	3
8	27	13	16	17	10	5	01	18	20	11
9	19	22	9	24	22	14	18	17	11	22
10	20	20	10	10	28	19	14	13	16	16
11	10	22	18	16	22	14	9	5	15	16
12	13	21	7	16	10	15	14	13	22	1
13	22	25	13	24	30	18	1	14	13	11
14	14	16	35	11	14	8	11	4	12	7
15	26	19	17	19	18	23	13	15	9	21
16	23	13	31	15	20	13	17	9	16	12
17	16	18	31	18	17	18	3	13	18	21
18	19	14	20	20	17	16	9	16	11	11
19	7	20	12	18	14	17	14	8	14	18
20	16	21	20	19	15	17	15	21	12	10

**TIPOS DE PAVIMENTO:**

AFIRMADO

BASE GRANULAR

BASE IMPRIMADA

TRATAMIENTO MONOCAPA

TRATAMIENTO SLURRY SEAL

RECAPEO ASFALTICO

SELLO

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

**OBSERVACIONES:**

Figura 3.8a: Hoja de campo – Ensayo 01 (110+000 – 109+600)

<b>ENSAYOS PARA MEDICIÓN DE LA RUGOSIDAD CON MERLIN (HOJA DE CAMPO)</b>											
PROYECTO :	Corredor Vial N° 13					OPERADOR :	SHG				
SECTOR :	4					SUPERVISOR :	SHG				
TRAMO :	ZUÑIGA - CV. YAUYOS					FECHA :	15/04/2010				
CARRIL :	IZQUIERDO					SENTIDO :	DESCENDENTE				
ENSAYO N°	1	KM			109+000	HORA		09:19 a.m.			

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1	27	18	21	31	21	24	36	28	25	25	TIPOS DE PAVIMENTO:  AFIRMADO <input style="width: 40px; height: 20px;" type="checkbox"/>  BASE GRANULAR <input style="width: 40px; height: 20px;" type="checkbox"/>  BASE IMPRIMADA <input style="width: 40px; height: 20px;" type="checkbox"/>  TRATAMIENTO MONOCAPA <input checked="" style="width: 40px; height: 20px;" type="checkbox"/> x  TRATAMIENTO SLURRY SEAL <input style="width: 40px; height: 20px;" type="checkbox"/>  RECAPEO ASFALTICO <input style="width: 40px; height: 20px;" type="checkbox"/>  SELLO <input style="width: 40px; height: 20px;" type="checkbox"/>  <input style="width: 40px; height: 20px;" type="checkbox"/>
2	26	21	28	37	27	24	32	24	26	30	
3	24	24	22	24	32	29	30	30	22	26	
4	35	27	26	28	30	27	30	23	28	20	
5	39	28	26	23	30	31	26	29	33	40	
6	19	23	29	29	27	33	28	29	24	42	
7	28	19	28	38	27	33	25	30	18	24	
8	34	31	30	31	28	34	25	26	31	16	
9	27	36	25	24	26	34	30	28	50	8	
10	20	20	20	28	36	32	33	25	28	20	
11	27	27	19	35	21	33	26	33	36	26	
12	28	26	24	28	25	31	17	34	29	19	
13	18	18	27	26	25	23	24	28	28	19	
14	28	50	16	31	29	27	23	26	29	30	
15	24	9	17	32	30	29	33	27	20	29	
16	25	36	25	42	26	28	22	18	27	31	
17	15	30	23	34	27	26	25	22	21	32	
18	21	23	23	35	26	25	30	26	24	33	
19	19	22	28	23	21	17	25	28	26	16	
20	28	24	25	27	29	30	30	20	28	35	

**OBSERVACIONES:**  
 9,9 GIBA 50  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

*Figura 3.8b: Hoja de campo – Ensayo 02 (109+000 – 108+600)*

### Cálculo del rango “D”

Para calcular el rango “D” se elabora un histograma de distribución de frecuencias con los datos obtenidos de cada ensayo (ver figuras 3.13a y 3.13b). En cada histograma se elimina el 5% de datos (10 datos) en cada extremo, el rango comprendido entre dichos intervalos será el valor de “D” en unidades MERLIN.

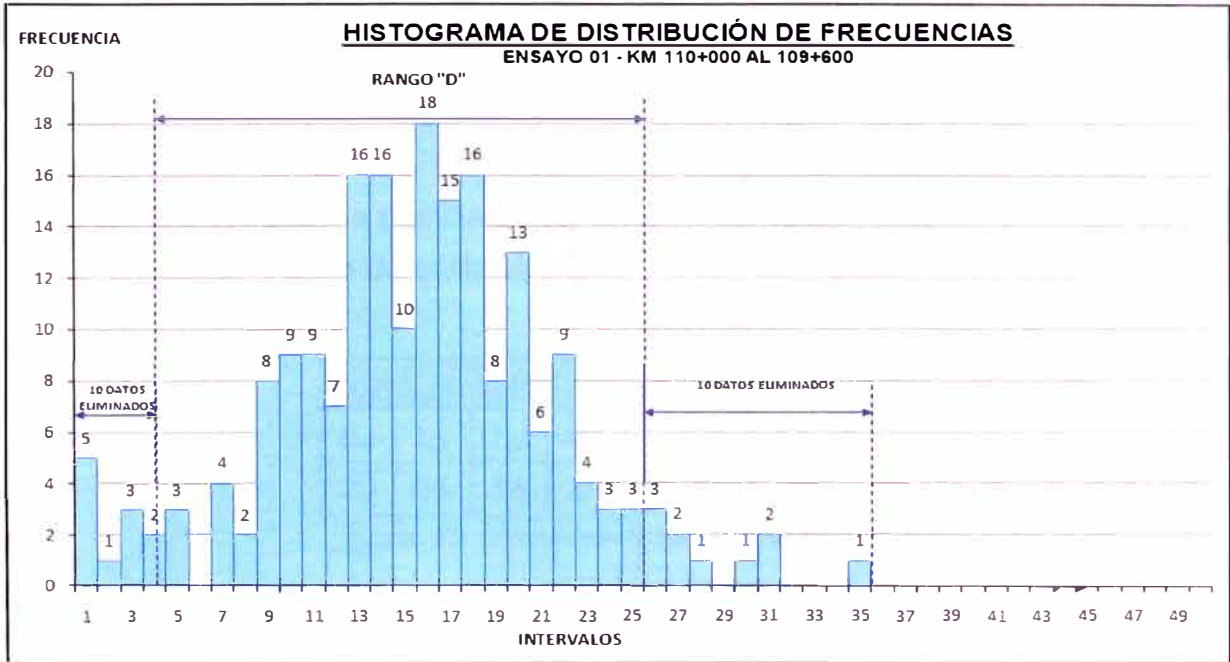


Figura 3.9a: Histograma de distribución de frecuencias - Ensayo 01 (110+000 - 109+600)

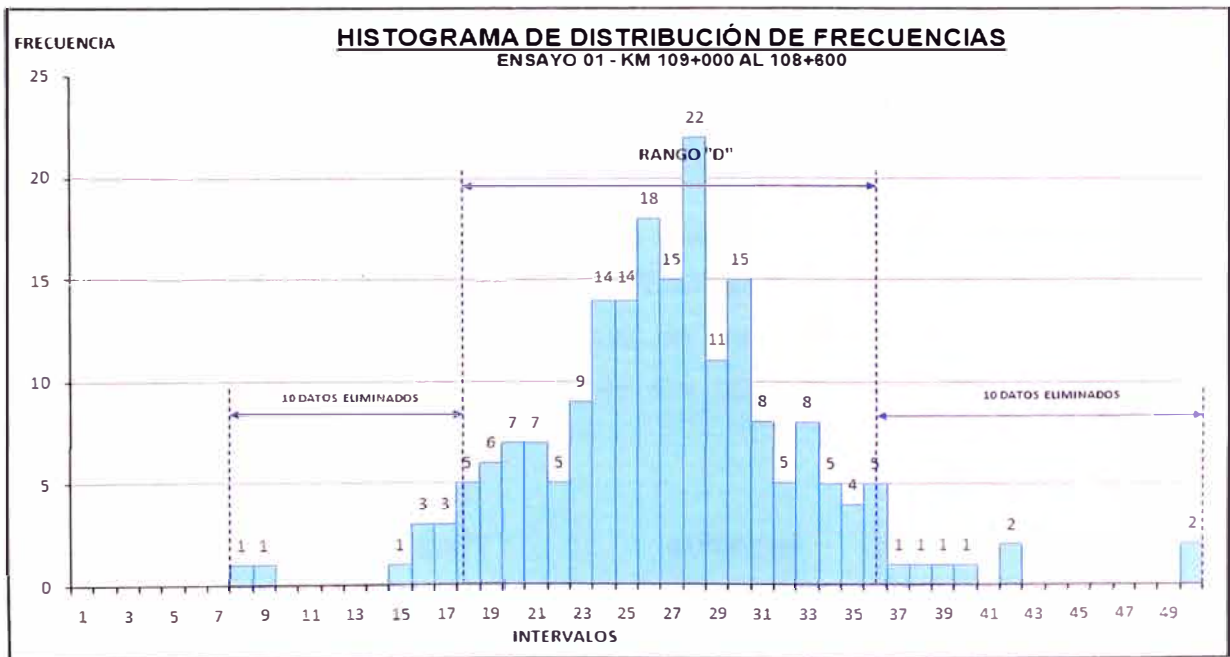


Figura 3.9b: Histograma de distribución de frecuencias - Ensayo 02 (109+000 - 108+600)

Para convertir a mm. valor de "D" se multiplica por 5 (1 und. = 5 mm.), entonces el rango "D" para cada ensayo será:

$$D_1 = 21.5 \text{ und.} \times 5 \text{ mm./und.} \quad \text{entonces:} \quad D_1 = 107.5 \text{ mm}$$

$$D_2 = 18.4 \text{ und.} \times 5 \text{ mm./und.} \quad \text{entonces:} \quad D_2 = 92 \text{ mm}$$

### Factor de corrección para el ajuste de “D”

Para la realización del ensayo se empleo un rugosímetro MERLIN serie 540, para lo cual se tienen los siguientes datos:

Espesor promedio de la pastilla de calibración (EP): 6.47 mm.

Lecturas con la pastilla de calibración:

Lectura Inicial $L_i$				Lectura Final $L_f$			
$L_{i1}$	$L_{i2}$	$L_{i3}$	$L_{i4}$	$L_{f1}$	$L_{f2}$	$L_{f3}$	$L_{f4}$
25	25	25	25	11	10	10	11

Cuadro 3.1: Lecturas con la pastilla de calibración

Lectura inicial promedio ( $L_i$ ) = 25

Lectura final promedio ( $L_f$ ) = 10.5

Se reemplaza en la expresión del factor de corrección (FC)

$$FC = (6.47 \times 10) / [(25 - 10.5) \times 5] = 0.892$$

Para corregir el valor del rango “D” se debe aplicar el factor de corrección calculado (FC) y el factor por relación de brazos (RB) empleada en los ensayos, en este caso se uso la relación de brazos de 1 a 10, por lo tanto el factor a usar será 1 (RB = 1). Se realiza el cálculo del “D” corregido ( $D_{\text{correg.}}$ ) para cada ensayo:

$D_{1 \text{ correg.}} = 107.5 \text{ mm.} \times 0.892 \times 1$  entonces,  $D_{1 \text{ correg.}} = 95.89 \text{ mm.}$

$D_{2 \text{ correg.}} = 92 \text{ mm.} \times 0.892 \times 1$  entonces,  $D_{2 \text{ correg.}} = 82.06 \text{ mm.}$

### Determinación de la rugosidad en la escala del IRI

Para convertir la rugosidad calculada en mm. a la escala del IRI, se emplea la expresión (1) del ítem 3.1:

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

$IRI_1 = 0.593 + 0.0471 \times 95.890$  entonces,  $IRI_1 = 5.1094$

$IRI_2 = 0.593 + 0.0471 \times 82.064$  entonces,  $IRI_2 = 4.4582$

## CAPITULO IV

### VENTAJAS DEL EQUIPO MERLIN

#### 4.1. ANALISIS COMPARATIVO DE COSTOS DEL EQUIPO MERLIN VS. OTROS EQUIPOS

Entre los equipos que miden la rugosidad se tiene la mira y el nivel, con los cuales se puede determinar el perfil del pavimento, siendo el método más preciso. Después se encuentran el MERLIN, el Bump Integrator, entre otros equipos.

Para el desarrollo del análisis de costos de medición de rugosidad con equipo MERLIN se tiene las siguientes consideraciones: el ensayo por kilómetro considera que es para ambos carriles izquierdo y derecho; el rendimiento considerado para el equipo es de 8 km/día; los análisis realizados se desarrollarán por día y después se estimará por kilómetro.

<b>Partida:</b> Ensayo con rugosímetro MERLIN					
<b>Rendimiento diario:</b> 8 Km/día					
Descripción	und.	cuadrilla	cantidad	costo	total
<b><u>Materiales</u></b>					
Pintura de tráfico	gln		0.25	30	7.5
<b><u>Mano de obra</u></b>					
peon	hh	5	40	11	440
operario	hh	2	16	13	208
<b><u>Equipos y herramientas</u></b>					
Rugosímetro Merlín	hm	2	16	11.25	180
Herramientas manuales	%		3	648	19.44
<b>Costo x día (s/.)</b>					<b>854.94</b>
<b>Costo x km (s/.)</b>					<b>106.87</b>

Cuadro 4.1: Análisis de costo para medición de rugosidad con equipo MERLIN alquilado

Para el desarrollo del análisis de costos de medición de rugosidad con equipo Bump Integrator se tiene las siguientes consideraciones: el ensayo por kilómetro considera que es para ambos carriles izquierdo y derecho; se considera la toma de datos con MERLIN para la calibración del equipo; el rendimiento considerado para el equipo es de 60 km/día ya que se encuentra limitado por la velocidad a la que la camioneta debe pasar para hacer el ensayo (30 Km/h); los análisis realizados se desarrollarán por día (8 horas) y después se estimará por kilómetro.

<b>Partida:</b> Ensayo con Bump Integrator <b>Rendimiento diario:</b> 60 Km/día					
Descripción	Und	Cuadrilla	Cantidad	Costo	Total
<b><u>Materiales</u></b>					
Pintura de tráfico	gln		0.25	30	7.5
combustible	gln		12	9.5	114
<b><u>Mano de obra</u></b>					
peon	hh	3	24	11	264
operario	hh	2	16	13	208
chofer	hh	1	8	13	104
<b><u>Equipos y herramientas</u></b>					
Camioneta pick up	hm	1	8	20	160
Bump integrator	hm	1	8	23	184
Rugosímetro Merlín	hm	2	16	6	96
Herramientas manuales	%		3	576	17.28
<b>Costo x día (s/.)</b>					<b>1,154.78</b>
<b>Costo x km (s/.)</b>					<b>19.25</b>

Cuadro 4.2: Análisis de costo para medición de rugosidad con equipo Bump Integrator alquilado

Debido al bajo rendimiento del rugosímetro MERLIN, el costo por kilómetro es más elevado en comparación con el Bump Integrator, por ello se realizó otro análisis, para realizar una comparación de precios de cada equipo y determinar en cuantos kilómetros de uso se alcanzaría el precio de cada uno.



MERLIN	
Empresa	Precio S/.
Técnicas CP S.A.C.	1,500.00
IML E.I.R.L.	2,420.00
<b>Costo Promedio</b>	<b>1,960.00</b>

Cuadro 4.3: Costo promedio del equipo MERLIN sin I.G.V.

BUMP INTEGRATOR	
Empresa	Precio S/.
INGECAL S.A.C.	46,640.00
H.W.Kessel S.A.C.	58,570.00
<b>Costo Promedio</b>	<b>52,605.00</b>

Cuadro 4.4: Costo promedio del equipo Bump Integrator Mark III sin I.G.V.

De acuerdo a los costos de cada equipo, para el MERLIN se tendría que evaluar 102 km, para llegar al precio del equipo. En el caso del Bump Integrator se tendría que recorrer 2 734 km para poder compensar el precio del equipo. Si se compara la diferencia de kilómetros es razonable pensar que sería conveniente comprar un rugosímetro MERLIN.

La compra del rugosímetro MERLIN sería más rentable aún si los contratos por conservación fueran por un período más largo, en vez de 5 años podría ser a 10 años, y si el intervalo entre cada evaluación de rugosidad fuera más corto, lo que incrementaría la cantidad de kilómetros de evaluación. Por otra parte el tiempo que el rugosímetro no se use, se puede dar el servicio de alquiler del equipo.

## 4.2. VENTAJAS DEL EQUIPO MERLIN

El rugosímetro MERLIN (acrónimo de la terminología inglesa Machine for Evaluating Roughness using low-cost Instrumentation), basándose en el principio del perfilómetro estático, y tiene la ventaja de ser un equipo de bajo costo, fácil manejo y un método de análisis simple con resultados confiables.

### Equipo de bajo Costo

El equipo MERLIN, fue desarrollado en especial para medir la rugosidad en países en vías de desarrollo, por su bajo costo. Actualmente tiene un costo

menor en comparación de otros equipos como el perfilómetro láser o el Bump Integrator.

El IIFIC (Instituto de Investigación de la Facultad de Ingeniería Civil) elaboró un equipo MERLIN, con fines de investigación, cuyo objetivo es eliminar todo el proceso manual de toma de datos, y hacerlo electrónicamente, inclusive volcar por medios electrónicos dicha información en una computadora y (con ayuda de un programa hecho con esa finalidad) generar los mismos resultados que antes, pero en tiempo record. Lo que aumentaría su rendimiento reduciendo el costo por kilómetro de ensayo.



Figura 4.1: Automatización del Rugosímetro MERLIN (Fuente: IIFIC )

### Fácil manejo

El MERLIN es un equipo de diseño simple, que funciona de acuerdo al principio de la palanca, consta de un marco formado por dos elementos verticales y uno horizontal. Para facilidad de desplazamiento y operación el elemento vertical delantero es una rueda, mientras que el trasero tiene adosados lateralmente dos soportes inclinados, uno en el lado derecho para fijar el equipo sobre el suelo durante los ensayos y otro en el lado izquierdo para descansar el equipo. El elemento horizontal se proyecta, hacia la parte trasera, con 2 manijas que

permiten levantar y movilizar el equipo, haciéndolo rodar sobre la rueda en forma similar a una carretilla.

Método de análisis simple con resultados confiables

El MERLIN posee la capacidad de detectar y amplificar las irregularidades que presenta la superficie del pavimento. Lo que mide finalmente el MERLIN no es la magnitud de las deformaciones sino su variabilidad. El principio que sustenta el método es que a mayor variabilidad, mayor resulta la magnitud de la rugosidad.

Por haber sido diseñado este equipo como una variación de un perfilómetro estático y debido a la gran exactitud de sus resultados, califica como un método Clase 1. La correlación de los resultados obtenidos con el MERLIN, con la escala del IRI, tiene un coeficiente de determinación prácticamente igual a la unidad ( $R^2=0.98$ ). Por su gran exactitud, sólo superado por el método topográfico (mira y nivel), algunos fabricantes de equipos tipo respuesta (Bump Integrator, Mays Meter, etc.) lo recomiendan para la calibración de sus rugosímetros.

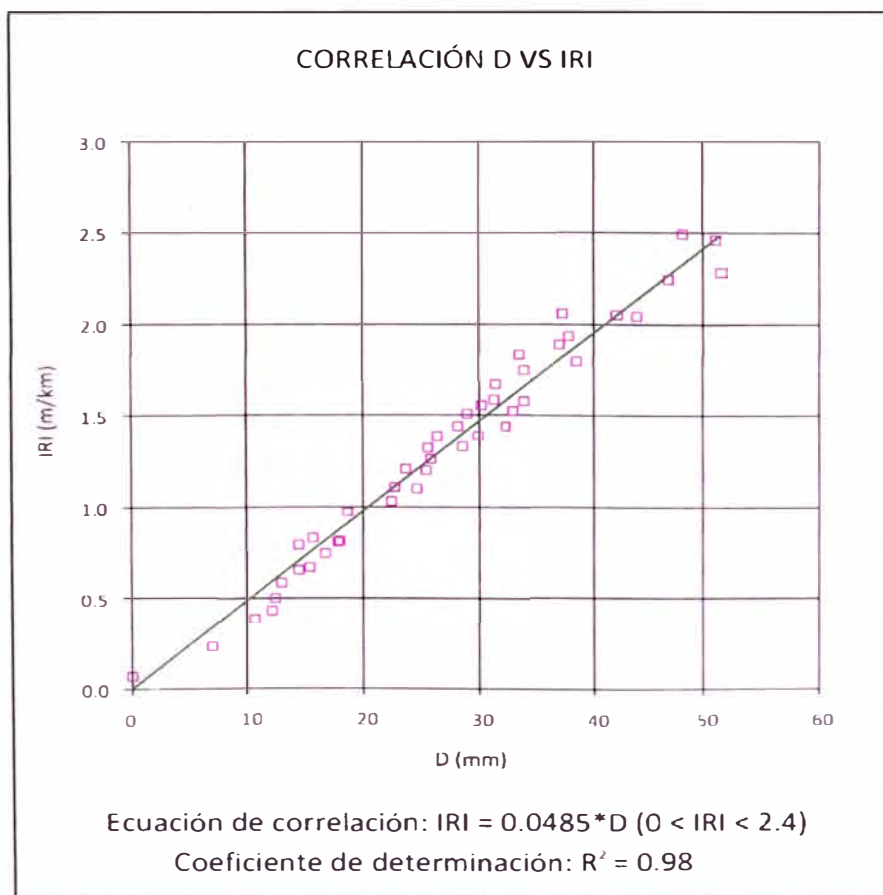


Figura 4.2: Ecuación de correlación para evaluación de rugosidad con MERLIN (Fuente: elaboración propia)

## CONCLUSIONES

1. Del resultado obtenido del IRI en el tramo comprendido en el Km. 108 y el km 110, al compararse con los datos del contratista del mes de marzo, los resultados son similares. Como la evaluación fue sólo para evaluar 2 km. de la carretera, no se puede obtener un IRI representativo para determinar el nivel de serviciabilidad en el que se encuentra la vía.
2. El rugosímetro MERLIN posee tres ventajas resaltantes respecto a otros equipos, las cuales son su bajo costo, fácil manejo, y la aplicación de un método simple para el análisis de sus datos, con resultados de gran precisión, que sólo es superado por el uso de la mira y el nivel para determinar la rugosidad.
3. El equipo MERLIN es una alternativa de bajo costo para evaluar la rugosidad de los pavimentos, si es empleado constantemente se justificaría su compra ya que su costo se encuentra por debajo de equipos como el Bump Integrator. De los análisis de precios por kilómetro de ensayo se observa que con evaluar 102 km de pavimento en ambos carriles se alcanzaría el costo del equipo.
4. De las desventajas encontradas en el empleo de rugosímetro MERLIN, se encuentran su bajo rendimiento y una considerable incidencia de la mano de obra en el costo del ensayo para medir la rugosidad.
6. El tema de la rugosidad en la evaluación superficial, es una herramienta de trabajo sumamente valiosa y confiable, que permite optimizar la toma de decisiones en los proyectos de rehabilitación y obtener pavimentos con mejor capacidad de servicio inicial en los proyectos de construcción, lo que incide en la disminución de los costos de operación vehicular, una mayor seguridad en las carreteras y en la prolongación de la vida útil de la red vial.
5. Dentro de los términos de referencia del contrato de conservación de la carretera Cañete – Huancayo, se indica que el Contratista debe medir el IRI una vez al año, para poder llevar una estadística del comportamiento de pavimento, mas no se hace mención de que sirva como un parámetro de control.

## RECOMENDACIONES

1. Debido al bajo rendimiento del equipo MERLIN y un considerable porcentaje de incidencia de la mano de obra en el ensayo para determinar la rugosidad, se sugiere la automatización del rugosímetro. Al aumentar el rendimiento y disminuir la mano de obra disminuiría el costo del ensayo, haciendo a este equipo más atractivo para su adquisición, ya sea como alquiler o compra.
2. Se recomienda la compra del equipo MERLIN, si los tramos a evaluarse sobrepasan los 102 km, ya que de acuerdo a los análisis de costos, en este punto se alcanzaría el costo del equipo.
3. En el contrato actual de conservación se indica que el IRI se debe medir una vez al año. Se sugiere que para futuros contratos de conservación, la evaluación de los pavimentos sea cada semestre a fin de que se tenga un mejor control de la rugosidad y por lo tanto de la serviciabilidad, esta medida provocará que el ensayo se realice una mayor cantidad de kilómetros lo que justificaría la compra de un equipo como el rugosímetro MERLIN, debido a su bajo costo, en comparación con el Bump Integrator, además de que el MERLIN es más preciso y se emplea para la calibración del Bump Integrator.

## BIBLIOGRAFIA

CAMINEROS SAC, "Manual de Usuario MERLINER". Lima, 2002.

CUNDILL, M.A. "The MERLIN Road Roughness Machine: User Guide". Transport Research Laboratory, Overseas Development Administration. TRL Report 229. Crowthorne, 1996.

DEL AGUILA, Pablo, "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, Pablo, "Desarrollo de la ecuación de correlación para la determinación del IRI en pavimentos asfálticos nuevos utilizando el rugosímetro MERLIN". Ponencia presentada al X Congreso Ibero Latinoamericano del Asfalto, Sevilla, España, 1999.

DEL AGUILA, Pablo, "Metodología para la determinación de la Rugosidad de los Pavimentos con equipo de Bajo Costo y Gran Precisión". Ponencia presentada al X Congreso Ibero Latinoamericano del Asfalto, Sevilla, España, 1999.

MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES, "Manual para la Conservación de Carreteras No Pavimentadas de Bajo Volumen de Tránsito". Lima, 2008.

## ANEXOS

### A.1. COTIZACIONES DE RUGOSIMETRO MERLIN

COTIZACION-556-2009 UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA  
**TECNICAS CP S.A.C**

Lima, 13 de Noviembre del 2009

			función "hold", auto apagado tras 10 minutos, funda protectora con clip tipo lapicero. Marca : Amarell Precedencia : Alemana	218.16	Inmediato
46	01	TCP556	<b>TERMOMETRO ELECTRONICO DIGITAL.</b> Tipo lapicero, rango -50 a 150°C, display 0.1°C, bulbo de 120 mm de largo con Terminal de punta, función "hold", funda protectora con clip tipo lapicero. Marca : Amarell Precedencia : Alemana	145.44	Inmediato
47	01	TCP557	<b>TERMOMETRO DE MAXIMO Y MINIMO.</b> Rango de -30 a 50 °C con varillas magneticas para determinación de las temperaturas máximas y mínimas alcanzadas durante un periodo. Marca : Amarell Precedencia : Alemana	106.05	Inmediato
48	01	TCP558	<b>TERMOMETRO DE VIDRIO</b> Rango de -10 a 300°C, división de 1°C Marca : Amarell Precedencia : Alemana	115.14	Inmediato
49	01	TCP559	<b>TERMOMETRO DIGITAL</b> -30 - 500 °C , ½" metro de cable y 10 cm de punta de prueba	507.67	Inmediato
50	01	TCP560	<b>TERMOMETRO DIGITAL</b> 0 - 250 °C	72.11	Inmediato
51	01		<b>RUGOSIMETRO (MERLIN)</b> Marca: TAMIEQUIPOS Precedencia: Bogota-Colombia	1,785.00	Inmediato

Av. San Diego de Alcalá Mz F1 Lt 24 Urb. San Diego Lima 31 E-mail: [tecnicascp@yahoo.com](mailto:tecnicascp@yahoo.com)  
Telefax: (511) 540-2790 Celular: (511) 93226368 [tecnicascp@hotmail.com](mailto:tecnicascp@hotmail.com)  
LIMA - PERU [www.tecnicascp.com](http://www.tecnicascp.com)



INDUSTRIAS EN METAL LAMINADO S.A.S.

**PRESUPUESTO No.156-2009**

Lima, 28 de Septiembre de 2008

Señor Ing. Arturo Hernández

De Nuestra mayor consideración:

Por intermedio de la presente le remitimos nuestro presupuesto a todo costo por la fabricación de un rugosímetro MERLIN para medir rugosidad de pavimentos.

**DETALLES:**

- Base principal confeccionada en tubo estructural
- Sistemas pivotantes con contrapeso para mantener el punto de lectura en contacto con el pavimento.
- Puntos de lectura (media lunas) desmontables para un cambio por desgaste.
- Pintura en acabado acrílico

**Accesorios adicionales:**

- Caja de madera o estuche

Costo : S 850.00 Dólares americanos + IGV.

**FORMA DE PAGO:**

- El 50 % de adelanto y saldo contra entrega

**TIEMPO DE ENTREGA:**

20 días calendarios

**VALIDEZ DE LA OFERTA:**

10 días calendarios

En espera de una pronta respuesta nos despedimos de Usted:

Atentamente:

ALFONSO TOVAR VALDIVIA



## A.1. COTIZACIONES DE RUGOSIMETRO BUMP INTEGRATOR

**H.W.Kessel S.A.C.**  
Av. Ricardo Palma N° 905, San Antonio - Miraflores  
Teléfono: 2662800 Fax: 2662801  
e-mail: ventas@hwkessel.com.pe  
R.U.C. 20100329206  
Equipos y Materiales para Laboratorio e Industria, Reactivos para Diagnóstico Clínico

Miraflores, 21 de setiembre de 2009

Señor(es):  
Universidad de Ingeniería

Atención: Ing. Arturo Hernández  
FAX:

COTIZACIÓN N°: 191U09  
REPRESENTANTE DE VENTAS: Ing. José Luis López Benavides.  
Celular: 999-191329

De acuerdo a su solicitud, le presentamos nuestra Oferta por lo siguiente:

ITEM	CANT	CODIGO	DESCRIPCION	PRECIO UNITARIO Nuevos soles	PRECIO TOTAL Nuevos soles
01	01	A1471	Bump Integrator TRL Mark III Se utiliza para medir la rugosidad del asfalto . Incluye Unidad de Integración Unidad de conteo	69.700,00	69.700,00

**CONDICIONES GENERALES:**

**IMPUESTO:** Los precios incluyen I.G.V.

**FORMA DE PAGO:** Contado contra entrega

**PLAZO DE ENTREGA:** 8 a 12 semanas de recibida su orden de compra

**VALIDEZ DE OFERTA:** 25 días.

**GARANTIA:** Un año, libre de todo defecto de fabricación. Disponemos de servicio técnico propio para reparación y mantenimiento correctivo y preventivo, con personal técnico especializado, amplio stock de repuestos y accesorios originales CNS FARNELL (Inglaterra) que respaldan nuestro servicio.

JL/ca.



Lima, 29 de Octubre del 2008

Señores  
UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

Atención:  
Oficina de Infraestructura FIG-UNI

Asunto : Presentación de Cotización de Rugosímetro  
Bump Integrator

Ref. : E-mail (18/10/2008)

Presente-

Estimados señores, en atención a su amable solicitud, se tiene a bien presentar nuestra mejor oferta por el Rugosímetro Bump Integrator con las siguientes características:

CANTIDAD	COD. CAT. DE REF.	DESCRIPCIÓN	PRECIO PARCIAL(*) (Nuevos Soles)
01	A-1471	<b>TRL BUMP INTEGRATOR (MARK III)</b> Instrumento de medición de rugosidad de carreteras tipo respuesta (RTRRM). Se suministra con instrucciones de montaje. El vehículo en el cual se instalará el instrumento deberá disponer de eje sólido. Si el vehículo tiene suspensión independiente, este equipo no es adecuado	27 577.00
01	A-1475	<b>KID DE INSTALACION PARA BUMP INTEGRATOR (A1471)</b>	3 541.00
01	A-1473	<b>CONTADOR PARA BUMP INTEGRATOR (A 1471)</b> . Completo con Instrucciones de Montaje.	11 829.00
01	A1471-1016x2	<b>CABLES DE REPUESTO PARA BUMP INTEGRATOR</b> . (Pack de 2 cables)	573.00
01	A-1478	<b>ODOMETRO PARA MEDIDA DE DISTANCIAS RTRRM</b>	11 980.00

**PRECIO TOTAL: S/. 55 500.00 (CINCUENTA Y CINCO MIL QUINIENTOS CON 00/100 NUEVOS SOLES)**

(\*) La precios indicados son integrales, es decir por todos los items, en caso de pedidos individuales se formulará presupuesto independiente por item, salvo se solicite la totalidad de los mismos en simultáneo.

IMPUESTOS : Los precios incluyen el IGV  
VALIDEZ DE LA OFERTA : 10 días  
FORMA DE PAGO : Contado contra entrega  
PLAZO DE ENTREGA : 3 a 5 Semanas de Recibida la Orden de Servicio  
GARANTIA : 01 Año de todo defecto de fabricación

Tener en cuenta que esta cotización incluye los gastos administrativos del envío del equipo desde su país de origen, importación y desaduanaje hasta la puesta en sus almacenes.

Quedamos a su disposición a la espera de sus gratas órdenes.  
Aterramente,

ELYAS SALAS POMALAZA  
GERENTE GENERAL

Jirón Pascual de Vivaro N°46 – Magdalena del Mar – Lima 17 - Perú  
Email: ingecalperu@hotmail.com / ingecalperu@yahoo.es