

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



**EVALUACION SUPERFICIAL UTILIZANDO EL EQUIPO  
MERLIN  
MONITOREO DE CONSERVACION CARRETERA  
CAÑETE - HUANCAYO KM.100+000 AL KM.102+000**

**INFORME DE SUFICIENCIA**

**Para optar el Título Profesional de:**

**INGENIERO CIVIL**

**JOSE LUIS PINTO MUÑOZ**

**Lima- Perú**

**2010**

## ÍNDICE

<b>RESUMEN</b>	<b>03</b>
LISTA DE CUADROS	05
LISTA DE FIGURAS	06
LISTA DE SÍMBOLOS Y DE SIGLAS	07
<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>08</b>
<b>CAPÍTULO I: RESUMEN DEL PERFIL</b>	<b>09</b>
1.1. ASPECTOS GENERALES	09
1.1.1 Nombre y ubicación del proyecto	09
1.1.2 Unidad formuladora y ejecutora	10
1.1.3 Participación de las entidades involucradas	10
1.1.4 Marco de referencia	10
1.2. IDENTIFICACION	11
1.2.1 Diagnostico de la situación actual	11
1.2.2 Definición del problema y sus causas	13
1.2.3 Definición del objetivo central del proyecto	13
1.2.4 Planteamiento de alternativas de solución	13
1.3. FORMULACION Y EVALUACION	14
1.3.1 Horizonte del proyecto	14
1.3.2 Área de influencia	14
1.3.3 Estudio de tráfico	14
1.3.4 Análisis de la demanda	14
1.3.5 Análisis de la oferta	15
1.3.6 Balance oferta - demanda	16
1.3.7 Costos	16
1.3.8 Beneficios	17
1.3.9 Evaluación social	17
1.3.10 Análisis de sensibilidad	18
1.3.11 Selección de alternativas	19

<b>CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO</b>	<b>20</b>
2.1. NORMATIVIDAD	20
2.2. MÉTODO DE ANÁLISIS	20
2.2.1. Recopilación de información	20
2.2.2. Trabajo de campo	21
2.2.3. Trabajo de gabinete	20
2.3. MÉTODOS PARA LA MEDICION DE RUGOSIDAD	21
2.3.1. Métodos Clase 1	21
2.3.2. Métodos Clase 2	21
2.3.3. Métodos Clase 3	22
2.3.4. Métodos Clase 4	23
2.3.5. Métodos Utilizados en el Perú	23
<b>CAPÍTULO III: EVALUACIÓN SUPERFICIAL CON EQUIPO MERLIN</b>	<b>25</b>
3.1. LA RUGOSIDAD	25
3.2. EVALUACION DE LA RUGOSIDAD	27
3.3. PRIMERAS ESPECIFICACIONES PARA LA RUGOSIDAD	28
3.4. ESPECIFICACIONES ACTUALES PARA RUGOSIDAD	29
3.5. EVALUACION DE LA RUGOSIDAD DE LOS PAVIMENTOS	30
3.5.1/Redes viales evaluadas	30
3.5.2 Resultados de rugosidad encontrados	30
3.6. DIAGNÓSTICO	31
3.7. SITUACION ACTUAL	32
3.8 VALORES DE IRI MEDIOS EN PUNTOS CERCANOS AL TRAMO	33
3.9 RESULTADO DE VALORES OBTENIDOS EN CAMPO	33
3.10 EQUIPO MINIMO PARA REALIZAR UN ENSAYO DE IRI	34
3.11 ESTADO ACTUAL DE LA SUPERFICIE DE RODADURA	36
<b>CAPÍTULO IV: METODOLOGIA PARA DETERMINAR LA RUGOSIDAD</b>	<b>38</b>
4.1. RESUMEN	38
4.2. FUNDAMENTOS TEORICOS	38
4.3. CORRELACIONES “D” VERSUS “IRI”	39

4.4. MÉTODO DE MEDICIÓN	40
4.4.1 El rugosímetro Merlín	40
4.5. CÁLCULO DEL RANGO "D"	45
4.5.1 Factor de corrección para el ajuste de "D"	45
4.5.2 Variación de relación de brazos	47
4.5.3 Calculo del rango "D" corregido	47
4.5.4 Determinación de la rugosidad en la escala del IRI	47
4-6 LIMITES DE LA RUGOSIDAD PARA EL CONTROL DE CALIDAD	47
4.7 DATOS OBTENIDOS EN CAMPO	49
4.8 RESUMEN DE RESULTADOS OBTENIDOS	53
<b>CONCLUSIONES</b>	<b>54</b>
<b>RECOMENDACIONES</b>	<b>56</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>58</b>
<b>ANEXOS</b>	<b>59</b>

## RESUMEN

La Carretera Central es una vía de conexión entre los corredores económicos Costa, Sierra y Selva del país, mediante la cual se hace posible el intercambio comercial entre Lima, los valles interandinos y la selva peruana.

El monitoreo de conservación de la carretera Cañete - Huancayo del km.100+000 al km.102+000 nace de 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 demanda, clima y topografía.

A su vez dicho proyecto forma parte del Programa de Desarrollo Vial "Proyecto Perú" del Ministerio de Transportes y Comunicaciones, diseñado para mejorar las vías de integración de corredores económicos, conformando ejes de desarrollo sostenido con el fin de elevar el nivel de competitividad de las zonas rurales en la Red Vial Nacional, Departamental y Vecinal, dentro de la cual se encuentra el tramo en estudio.

El Contrato de servicios de conservación vial por niveles de servicio de la carretera está en ejecución y a cargo del Consorcio Gestión de Carreteras (CGC) que actualmente viene desarrollando trabajos de mantenimiento rutinario y periódico de la vía.

La zona en estudio se encuentra en el tramo Zúñiga – Dv. Yauyos y corresponde al Km. 100+000 al Km. 102+000, al cual se le evaluará la superficie de rodadura mediante el uso del equipo Merlin, para que junto al desarrollo de las otras especialidades se logre mejorar la serviciabilidad de la vía para una vida útil de 3 años.

Para mejorar la transitabilidad y serviciabilidad de la vía se debe de conocer el perfil de la superficie de rodadura, en el presente informe se evaluará la superficie de rodadura con el equipo MERLIN hallando el Índice de Rugosidad Internacional (IRI) y el índice de serviciabilidad presente (PSI) que tiene el tramo en estudio.

Con los parámetros obtenidos se podrá evaluar el estado de la superficie, y tomar la decisión de cuando es el momento de intervenir la vía mediante una

conservación periódica, que permita recuperar las condiciones iniciales de serviciabilidad, llevándola a los niveles de cuando fue construida.

Para este fin se ha dividido el informe en cuatro capítulos. El Capítulo I, explica un resumen del Perfil del proyecto, analizando sus tres alternativas y eligiendo la mejor de ellas. El Capítulo II, hace referencia a las normas y fundamentos teóricos y métodos de medición en los que se ha basado el presente estudio. El Capítulo III, muestra conceptos y parámetros de rugosidad utilizados en otros países y comparados con el Perú. El Capítulo IV, muestra la metodología y formulación utilizada mediante el Merlín para el cálculo del IRI y PSI, así mismo se calcula los valores del IRI con los datos tomados de campo, con lo cual se llega a tomar la decisión de dar el mantenimiento a la superficie de rodadura.

Finalmente se muestran las conclusiones y recomendaciones a las que se ha llegado con el presente informe.

## LISTA DE CUADROS

<b>Cuadro 1.01.</b> Unidad Formuladora y Ejecutora	10
<b>Cuadro 1.02.</b> IMD proyectado al 2010, tramo Zúñiga-Dv. Yauyos.	15
<b>Cuadro 1.03.</b> Costo de mantenimiento situación sin proyecto monocapa.	16
<b>Cuadro 1.04.</b> Costo de Inversión y mantenimiento anual.	18
<b>Cuadro 3.01.</b> Intervalos de rugosidad	27
<b>Cuadro 3.02.</b> Rangos de índice de serviciabilidad presente	28
<b>Cuadro 3.03.</b> Rugosidad característica para pavimentos de tratamientos superficial bicapa y sello asfáltico	32
<b>Cuadro 3.04.</b> Valores de IRI medios por el MTC	33
<b>Cuadro 3.05.</b> Resultado de valores de IRI obtenidos en campo	33
<b>Cuadro 3.06.</b> Personal mínimo para ejecutar un ensayo	34
<b>Cuadro 3.07.</b> Costo por ensayo con equipo MERLIN mecánico	35
<b>Cuadro 3.08.</b> Costo de medición con equipo MERLIN mecánico por año	35
<b>Cuadro 3.09.</b> Costo por ensayo con equipo MERLIN con colector de datos	36
<b>Cuadro 3.10.</b> Costo de medición c. equipo MERLIN con colector por año	36
<b>Cuadro 4.01.</b> Resultados del ensayo N°01	52
<b>Cuadro 4.02.</b> Resultados del ensayo N°02	52
<b>Cuadro 4.03.</b> Resultados del ensayo N°03	52
<b>Cuadro 4.04.</b> Resumen de resultados obtenidos	53

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.01.</b>	Plano de Ubicación de la Zona	09
<b>Figura 3.01.</b>	La rugosidad	25
<b>Figura 3.02.</b>	Escalas de rugosidad	26
<b>Figura 3.03.</b>	Escalas de rugosidad en el Perú	26
<b>Figura 3.04.</b>	Sección típica de la carretera	32
<b>Figura 3.05.</b>	IRI calculado VS IRI MTC	34
<b>Figura 3.06.</b>	Filtraciones de agua	37
<b>Figura 3.07.</b>	Fisuras y desprendimiento del tratamiento superficial	37
<b>Figura 4.01.</b>	Desviaciones del perfil	38
<b>Figura 4.02.</b>	Histograma de distribución de frecuencias	39
<b>Figura 4.03.</b>	Esquema del rugosímetro MERLIN	41
<b>Figura 4.04.</b>	Procedimiento de trabajo con el equipo MERLIN	43
<b>Figura 4.05.</b>	Formato para la toma de datos	44
<b>Figura 4.06.</b>	Datos para el ensayo N°01	49
<b>Figura 4.07.</b>	Datos para el ensayo N°02	50
<b>Figura 4.08.</b>	Datos para el ensayo N°03	51

## LISTA DE SÍMBOLOS Y DE SIGLAS

### SÍMBOLOS

AASTHO	American Association of States Highway and Transportation official
ASTM	American Society for Testing and Materials
BM	Banco Mundial
CGC	Consortio Gestión de Carreteras
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
PERT	Proyecto Especial de Rehabilitación de Transporte
PSI	Indice de Serviciabilidad Presente
TIR	Tasa interna de retorno
TRRL	Laboratorio Británico de Investigación de Caminos y Transportes
TSB	Tratamiento superficial bicapa
TSM	Tratamiento superficial monocapa
VAN	Valor actual neto

## INTRODUCCIÓN

El presente informe se desarrolla de acuerdo a los términos de referencia del Curso Taller “Monitoreo de Cambio de Estándar de la Carretera Cañete-Huancayo” para obtener el Título profesional de Ingeniero Civil por la modalidad de Actualización de Conocimientos, para lo cual se ha elegido el tramo del Km. 100+000 al Km. 102+000 como base de estudio.

De acuerdo a ello, se evaluaron tres alternativas de solución para el cambio de estándar explicados en el Perfil del Proyecto y con ello se realizó el diseño y expediente técnico correspondiente al mejoramiento del drenaje superficial para la mejor alternativa.

En el Capítulo I, se presenta el resumen del estudio a nivel de perfil del Monitoreo de Cambio de Estándar de la Carretera Cañete-Yauyos del Km. 100+000 al Km. 102+000 en el cual se detalló la ubicación del proyecto, los objetivos, la descripción y evaluación económica de las tres alternativas de solución al problema planteado siendo la mejor alternativa técnica y económica la que considera el mejoramiento del drenaje con cunetas y alcantarillas, reforzar taludes erosionados con estructuras de sostenimiento y vegetación y mejoramiento de la superficie de rodadura de la vía con la aplicación de un tratamiento superficial monocapa (TSM).

En el Capítulo II, se hace referencia a la normatividad vigente para el diseño y conservación de carreteras no pavimentadas de bajo volumen de tránsito así como las consideraciones hidráulicas e hidrológicas para el diseño de las estructuras para el drenaje longitudinal (cunetas) y transversal (alcantarillas).

El Capítulo III, muestra conceptos y parámetros de rugosidad utilizados en otros países y comparados con el Perú. El Capítulo IV, muestra la metodología y formulación utilizada mediante el Merlín para el cálculo del índice de rugosidad internacional (IRI) y índice de serviciabilidad presente (PSI), así mismo se calcula los valores del IRI con los datos tomados de campo, con lo cual se llega a tomar la decisión de dar el mantenimiento a la superficie de rodadura.

Finalmente se muestran las conclusiones y recomendaciones a las que se ha llegado con el presente informe.

## CAPITULO I

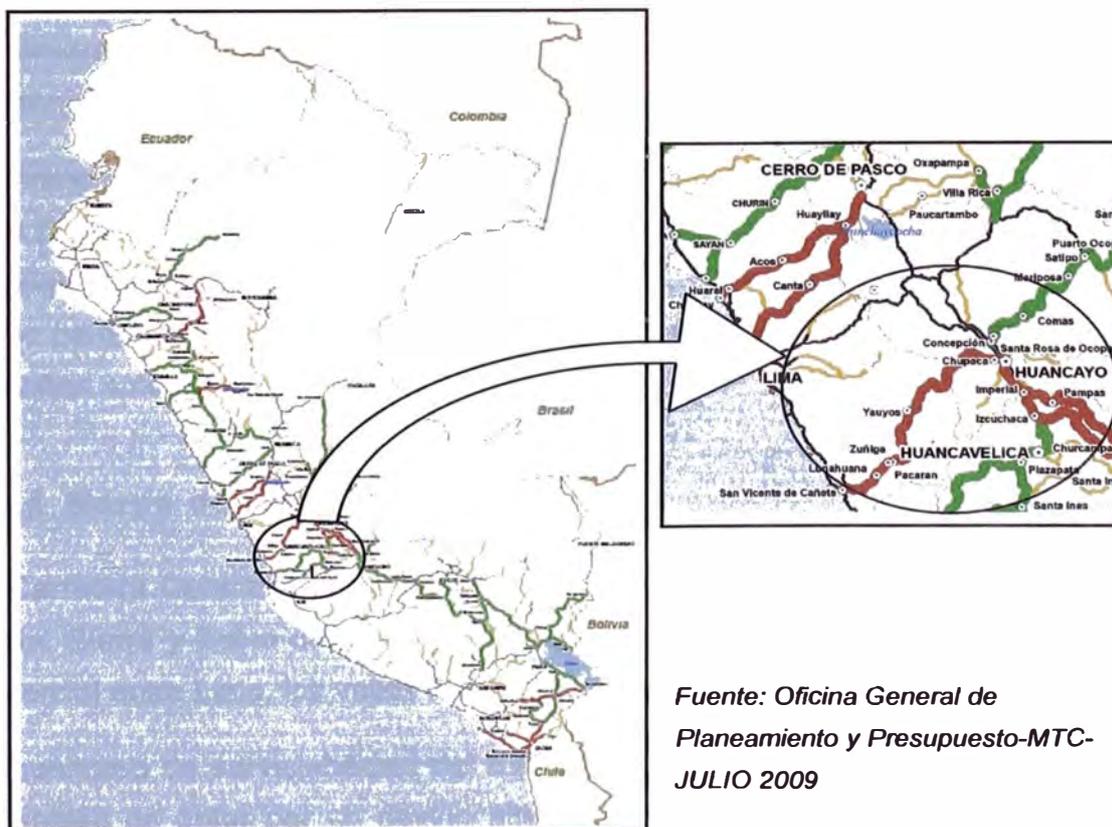
### RESUMEN DEL PERFIL

#### 1.1 ASPECTOS GENERALES

##### 1.1.1 Nombre y ubicación del proyecto

- *Nombre del Proyecto:*  
“Estudio del proyecto de Cambio de Estándar de la Carretera Cañete – Yauyos – Huancayo: km 100+000 → km 115 + 000”.
- *Ubicación:*  
El proyecto se ubica en las provincias de Cañete, Yauyos, Chupaca, Jauja, Concepción y Huancayo, pertenecientes a las regiones de Lima y Junín. Geográficamente se encuentra entre las regiones de la costa, Yunga y Suni, entre los 450 m.s.n.m. y 4600 m.s.n.m.

Figura 1.01. Plano de Ubicación de la Zona



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

### 1.1.2 Unidad formuladora y ejecutora

**Cuadro 1.01: Unidad Formuladora y Ejecutora**

Unidad Formuladora:	Universidad Nacional de Ingeniería
Sector:	Ministerio de Transporte y Comunicaciones.
Pliego:	PROVIAS NACIONAL
Dirección:	Av. Túpac Amaru S/N
Responsables	Grupo 1
Unidad Ejecutora	Grupo 1 UNI - FIC

*Fuente: Elaboración Grupo Nro. 01*

### 1.1.3 Participación de las entidades involucradas

Las entidades involucradas son : el Gobierno Regional de Lima y Junín, Municipalidades Provinciales y Distritales tendrán una participación importante en la gestión del proyecto ante las autoridades del MTC, pues se deberán realizar las coordinaciones necesarias a fin de mantener la vía en condiciones de operatividad y serviciabilidad, o también se coordinara con PROVIAS NACIONAL para la realización del proyecto y su posterior ejecución, demostrando estar plenamente interesados y comprometidos en su realización y posterior mantenimiento.

Los beneficiarios principales del proyecto a realizar serían los usuarios de la vía, y los pobladores de las localidades de Lunahuaná, Pacarán, Zúñiga, Calachota, Magdalena, Yauyos y los pueblos de Catahuasi, Canchan y Chichicay. Al ser el tramo parte de un todo, también se beneficiaran pueblos y localidades de tramos aledaños anteriores y posteriores.

### 1.1.4 Marco de referencia

La Carretera Central es una vía de conexión entre los Corredores Económicos Costa, Sierra y Selva del país, mediante la cual se hace posible el intercambio comercial entre Lima, los valles interandinos y la selva peruana.

El monitoreo de serviciabilidad del tramo de la carretera en estudio nace de la necesidad de optar por un desvío alternativo para la Carretera Central la cual

actualmente cuenta con un alto tránsito, debido a las características propias de clima y topografía en la vía se genera un congestionamiento en la carretera.

A su vez dicho proyecto forma parte del Programa de Desarrollo Vial “Proyecto Perú”, el cual, mediante Resolución Ministerial N° 223-2007-MTC-02, modificada por Resolución Ministerial N° 408-2007-MTC/02, se crea con la finalidad de mejorar las vías de integración de corredores económicos, conformando ejes de desarrollo sostenido con el fin de elevar el nivel de competitividad de las zonas rurales, en la Red Vial Nacional, Departamental y Vecinal.

El proyecto se enmarca dentro de los lineamientos y funciones de las regiones en lo referente a la atención de las necesidades básicas de la población a través del desarrollo de obras de infraestructura social y económica que contribuyan con el mejoramiento de la calidad de vida de la población.

El Programa “Proyecto Perú” aspira a establecer un sistema de contratación de actividades de conservación de la infraestructura vial, mediante contratos de prestaciones que se controlen por niveles de servicio y por plazos iguales o superiores a tres (3) años, que implican el concepto de “transferencia de riesgo” al Contratista.

Bajo este sistema se desarrolla una cultura preventiva, con la finalidad de evitar el deterioro prematuro de las vías mediante intervenciones rutinarias y periódicas de manera oportuna. Esto significa en la práctica, actuar permanentemente para mantener la carretera en óptimas condiciones de transitabilidad.

## **1.2 IDENTIFICACIÓN**

### **1.2.1 Diagnóstico de la situación actual**

#### ***Antecedentes***

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

El 27 de diciembre de 2007, la empresa “Consorcio Gestión de Carreteras”, asume las obligaciones de contratista conservador para realizar el Servicio de Conservación Vial por Niveles de Servicio de la Carretera Cañete - Lunahuaná - Pacarán - Chupaca y Rehabilitación del Tramo Zúñiga - Dv. Yauyos - Ronchas.

Actualmente, el Consorcio Gestión de Carreteras (CGC), viene haciendo trabajos de mantenimiento periódico como parte de los compromisos contraídos.

### **Justificación**

Al proyectarse la carretera Cañete – Yauyos - Huancayo como ruta alterna a la Carretera Central, se necesitaría lograr una mejor transitabilidad para atender la demanda futura debido a que con el mejoramiento, la vía se convertirá en un corredor económico de gran importancia, es por esta razón que es competencia del Estado realizar los trabajos allí proyectados.

Los beneficios económicos que se desarrollarán con la mejora de esta vía repercutirán en los pobladores que se localicen en el área de influencia elevando su nivel de vida y como consecuencia disminuyendo el nivel de pobreza, así como también al resto del país.

### **Descripción del tramo asignado**

El tramo asignado de la carretera comprende desde el Km 100+000 hasta el Km 115+000 y actualmente la estructura está conformada por dos tipos de recubrimiento: 9 mm de Tratamiento Superficial Monocapa en un sector, 18 mm Monocapa con de Slurry en otro sector.

Entre los principales problemas del tramo se encuentran: diseño geométrico deficiente, tortuosidad elevada, sección inadecuada para el paso de camiones pesados, problemas de drenaje deficiente, falta de señalización en tramos, algunos taludes erosionados y/o inestables.

De la visita al tramo asignado se ha encontrado que el principal problema el deterioro prematuro del TSM colocado por el contratista, la cual lo reforzó con una capa de T.S-Slurry por tramos, adicionalmente el sistema de drenaje es deficiente en gran parte de tramo que a su vez presenta anchos de plataforma muy reducidos.

El ancho promedio de la vía varía entre 2.35 y 4.50 m.

### **1.2.2 Definición del problema y sus causas**

El problema central a atender es el “Bajo nivel de Serviciabilidad de la Carretera”, debido a causas directas (mal estado de la carretera e inadecuadas características técnicas de la carretera) y causas indirectas (deficiente sistema de drenaje, superficie de rodadura con desprendimiento de los agregados, trazo geométrico inadecuado).

Este problema trae como consecuencia efectos directos (altos costos de operación en el transporte y aumento en el tiempo de viaje) y efectos indirectos (pérdida económica de productores y escaso desarrollo de las actividades socioeconómicas).

### **1.2.3 Definición del objetivo central del proyecto**

El objetivo central del proyecto se encuentra ligado a la solución del problema principal del proyecto que es “Bajo nivel de Serviciabilidad de la Carretera”, así el objetivo central será “Mejorar el nivel de Serviciabilidad de la Carretera”.

Los medios para lograr el objetivo central están ligados directamente con la solución de las causas del problema principal, tal es así que los medios no serán más que la situación positiva de las causas del problema.

### **1.2.4 Planteamiento de las alternativas de solución**

#### ***Alternativa 1***

Mejoramiento del trazo, mejoramiento del drenaje (construcción de cunetas, subdrenes y reemplazo de alcantarilla por badén), construcción de muro de suelo reforzado y colocación de Slurry. Incluye programa de actividades de mantenimiento periódico y rutinario.

#### ***Alternativa 2***

Mejoramiento del trazo, mejoramiento del drenaje (construcción de cunetas, subdrenes y reemplazo de alcantarilla por alcantarilla de mejor sección), construcción de muro de concreto ciclópeo y colocación de Slurry al 60%. Incluye programa de actividades de mantenimiento periódico y rutinario.

### **Alternativa 3**

Mejoramiento del trazo, mejoramiento del drenaje (construcción de cunetas, subdrenes y reemplazo de alcantarilla por badén), construcción de muro de concreto ciclópeo y colocación de bicapa. Incluye programa de actividades de mantenimiento periódico y rutinario.

## **1.3 FORMULACIÓN Y EVALUACIÓN**

### **1.3.1 Horizonte del proyecto**

Para la presente evaluación consideraremos que las alternativas de solución del proyecto tendrán un horizonte de 3 años considerando el periodo 2010 al 2012.

### **1.3.2 Área de influencia**

Se considera que el área de influencia a evaluar va desde la progresiva km 100+000 hasta el km 115+000, siendo un tramo característico de 15 km a considerar a modo de muestra representativa para ser extrapolada a lo largo de toda la carretera que consta de una longitud de 281.73 km.

### **1.3.3 Estudio de tráfico**

Los datos del conteo de tráfico fueron extraídos del informe "Conservación Vial Por Niveles De Servicio De La Carretera Cañete – Zúñiga – Dv Yauyos – Ronchas – Chupaca – Estudio De Tráfico – Junio Del 2008", la fuente de información corresponde al Consorcio Gestión De Carreteras. Los datos fueron obtenidos de las estaciones de control, el dato para nuestro sector fue sacado de la estación E- 4 que le corresponde el tramo analizado.

### **1.3.4 Análisis de la demanda**

En la actualidad por la carretera circulan un numero regular de vehículos de varios tipos como automóviles (privados y de servicio colectivo), camionetas rurales (tipo combi), microbuses, ómnibus y camiones.

**Cuadro 1.02:** IMD proyectado al 2010, tramo Zúñiga-Dv. Yauyos.

TIPO DE VEHÍCULO	2008	2009	2010
AUTOS	1	1	1
CAMIONETAS	20	20	21
CAMIONETA RURAL	4	4	4
MICRO	0	0	0
OMNIBUS 2E	8	8	8
OMNIBUS 3E	0	0	0
CAMION 2E	9	9	10
CAMION 3E/4E	11	11	12
ARTICULADOS	0	0	0
<b>IMD</b>	<b>53</b>	<b>54</b>	<b>56</b>

*Fuente: Consorcio de Gestión de Carreteras.*

### 1.3.5 Análisis de la oferta

La oferta vial existente se detalla a continuación (información recabada del inventario vial):

- Tramo de carretera a nivel de afirmado.
- Pendiente promedio longitudinal de 1.95%.
- Los anchos de la calzada existente varían entre 2.80 m y 6.00 m.
- Existen bermas a los lados del camino con un mínimo encontrado de 0.50m.
- En el Km. 106+150 hay presencia de estancamiento de agua, se recomienda colocar una alcantarilla para evacuar esta agua.
- Las alcantarillas nuevas serán de 36" como mínimo, se toma esta consideración para facilidad del mantenimiento.

Las actividades económicas relevantes de la localidad son la ganadería y agricultura con una producción significativa.

### 1.3.6 Balance oferta – demanda

En base a la demanda descrita y a la oferta vial existente, se plantea mejorar el servicio de la carretera, a fin de elevar la transitabilidad entre Dv.Yaullos-Ronchas-Chupaca con una PSI entre 3-4.

El mejoramiento de la infraestructura vial incrementará la capacidad de la vía, así como la seguridad de los vehículos resultando un aumento del tránsito vehicular y un adecuado ordenamiento urbano mejorando la prestación del servicio de transporte público, que permite una mayor movilidad y desplazamientos de sus pobladores, esta representa la meta a alcanzar del presente proyecto.

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.

### 1.3.7 Costos

Para el presente perfil los costos mantenimiento de carreteras, así como los Costos Operativos Vehiculares se han basado en los costos modulares elaborados por la Oficina General de Presupuesto y Planificación del MTC. Los costos de Inversión se han estimado en base a experiencias anteriores en zonas similares.

#### **Costos en la situación sin proyecto**

Se considera que la situación sin proyecto es una situación optimizada de la carretera donde se considera un mantenimiento anual sin haber realizado mejora alguna adicional.

**Cuadro 1.03:** Costo de mantenimiento situación sin proyecto Monocapa.

<b>Tipo de Mantenimiento</b>	<b>Costo Referencial</b>
Mantenimiento Rutinario	54511.00
Periódico	10205.00

Fuente: Elaboración Grupo Nro. 01.

### **Costos en la situación con proyecto**

Para la elaboración de los costos de inversión para el tramo analizado y para las alternativas se han tomado los metrados de los términos de referencia del Servicio de Conservación vial de la carretera: Cañete – Lunahuana – Pacaran – Chupaca y Rehabilitación del tramo Zúñiga – Dv. Yauyos – Ronchas del MTC Provias Nacional.

### **Precios sociales**

Los precios sociales se calculan multiplicando con los factores de conversión, de 0,80 para la inversión, 0,75 para los costos de mantenimiento.

### **Costos incrementales**

Los costos incrementales son la diferencia de los costos entre la situación con proyecto y la situación sin proyecto. Para los costos a precios sociales mostrados anteriormente para las situaciones sin proyecto y con proyecto se elabora el siguiente cuadro con costos incrementales.

#### **1.3.8 Beneficios**

La estimación de los beneficios del proyecto, se realizará en función al Método del Ahorro o reducción en Costos de Operación Vehicular (COV) y en el mantenimiento de la vía.

#### **1.3.9 Evaluación social**

La evaluación económica para este caso se realizó por el método del VAN (Valor actual neto) y el TIR (Tasa de interés de retorno). Considerando una tasa de descuento de 14%. Para la evaluación económica se consideraron como beneficios, las economías en costos de mantenimiento de la carretera, costos de operación vial y en la reducción de tiempo de viaje. En los siguientes cuadros se resume la evaluación económica de las alternativas planteadas para cada tramo.

Ninguna de las alternativas que ofrece un índice de beneficio/costo mayor a 1, la cual no es rentable ninguna de las propuestas.

**Cuadro 1.04. Valores Actuales Netos, TIR (%) y B/C.**

Valor Actual Neto (VAN) (US\$)	
Alternativas	Tramo: -Dv. Yauyos- Ronchas
Longitud (Km)	15
Mejoramiento con Slurry	-2,647,551
Mejoramiento con Slurry al 60%	-859,744
Mejoramiento con Bicapa	-4,012,593

Tasa Interna de Retorno (TIR) (%)	
Alternativas	Tramo: -Dv. Yauyos- Ronchas
Longitud (Km)	15
Mejoramiento con Slurry	-----
Mejoramiento con Slurry al 60%	2.77%
Mejoramiento con Bicapa	-----

Relación Beneficio/Costo (B/C)	
Alternativas	Tramo: -Dv. Yauyos- Ronchas
Longitud (Km)	15
Mejoramiento con Slurry	0.00
Mejoramiento con Slurry al 60%	0.11
Mejoramiento con Bicapa	0.00

Fuente: Elaboración Grupo Nro. 01

### 1.3.10 Análisis de sensibilidad

En la evaluación económica las alternativas no son rentables (Los valores del VAN son negativo). Debido a las siguientes causas:

- Las condiciones contractuales se oponen a mejoras en la transitabilidad, no generan incremento de tráfico en ese tramo.
- Los elevados costos del proyecto y con metrados mayores del ancho real.
- La velocidad real en el tramo es de 25 km/h, resultado de la intransitabilidad por falta de visibilidad, anchos muy cortos que no promueve el uso de esta vía.

### **1.3.11 Selección de alternativas**

A partir de los resultados obtenidos de los análisis económicos efectuados al tramo en estudio, ninguna de las alternativas es rentable debido al sobre costo del proyecto y al bajo volumen de tráfico que hay en dicha zona.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1. NORMATIVIDAD**

Las bases para la elaboración del presente informe se encuentran en los términos de referencia del Curso Taller "Monitoreo de Conservación de La Carretera Cañete - Yauyos".

Las consideraciones técnicas han sido desarrolladas según lo recomendado en:

- Manual de diseño de carreteras no pavimentadas de bajo volumen de tránsito (MTC, 2008).
- Manual para la conservación de carreteras no pavimentadas de bajo volumen de tránsito (MTC, 2008).
- Especificaciones técnicas generales para la conservación de carreteras de bajo volumen de tránsito, (MTC, 2007).

#### **2.2. MÉTODO DE ANÁLISIS**

Se desarrolló el estudio mediante la siguiente metodología:

##### **2.2.1 Recopilación de información**

Con la cual se determinó las características del tramo en estudio, ubicación, clima, IMDs, problemática general, etc. en base a:

- Informe de conservación vial por niveles de servicio de la carretera Cañete–Lunahuaná–Pacarán-Chupaca y rehabilitación del tramo Zúñiga-Dv. Yauyos – Ronchas desarrollado por CGC
- Estudio de preinversión a nivel de factibilidad del proyecto: "Rehabilitación y mejoramiento de la Carretera Ruta 22 Tramo: Lunahuaná-Dv. Yauyos-Chupaca desarrollado por Provias Nacional.
- Cartas Geográfica y Geológica del IGN, Tupe (1745) 26-I.
- Precipitaciones pluviométricas de la estación Pacarán del SENAMHI.
- Informes de suficiencia de estudios realizados cercanos al área asignada.

### **2.2.2 Trabajo de campo**

Desarrollado el 15 de mayo del 2010, es sin duda el que define con claridad la problemática específica del tramo asignado, la información recopilada se complementa con una inspección visual y encuesta a pobladores que da una mejor idea del comportamiento del entorno sobre la superficie de rodadura.

### **2.2.3 Trabajo de gabinete**

Finalmente toda esta información se procesó y analizó elaborándose el perfil del proyecto, las alternativas de solución y eligiéndose la mejor de ellas para su desarrollo en el presente informe. Para este fin se determinó que se debe realizar una verificación, en base a los datos del Merlín de la superficie actual y luego proponer las actividades a desarrollar para su mejoramiento y los procedimientos de conservación en el tiempo.

## **2.3. MÉTODOS PARA LA MEDICION DE 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 cuán directa sea la correlación que emplean para relacionar sus medidas con el Índice Internacional de Rugosidad (IRI).

### **2.3.1 Métodos Clase 1**

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

### **2.3.2 Métodos Clase 2**

Esta clase incluye todos los otros métodos en los cuales la rugosidad se determina sobre la base de la medición del perfil longitudinal, pero con una exactitud menor que los de la Clase 1. Estos métodos recurren al uso de perfilómetros de alta velocidad o mediciones estáticas con equipos similares a

los de Clase 1, pero con niveles inferiores de exactitud. Entre los perfilómetros de alta velocidad se tienen, el APL Trailer y GMRtype Inertial Profilometer.

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

### **2.3.3 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 Roughness 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.

Las mediciones efectuadas mediante los métodos Clase 3 dependen de las características dinámicas de un vehículo, para proporcionar parámetros de rugosidad que puedan correlacionarse con el Índice de Rugosidad Internacional (IRI). Sin embargo, las propiedades dinámicas de cada vehículo son particulares y cambian con el tiempo, por lo que las mediciones directas deben ser correlacionadas con el IRI mediante una ecuación de calibración, que debe ser obtenida experimentalmente y específicamente para el vehículo empleado.

Esta clase también incluye métodos que emplean otros tipos de instrumentos para medir la rugosidad, diferentes a un RTRRMS, que sean capaces de generar parámetros razonablemente correlacionados con la escala del IRI. Entonces, un método para medir rugosidad califica como Clase 3 si emplea algún tipo de ecuación de correlación, 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), etc., todos ellos producidos comercialmente.

### **2.3.4 Métodos Clase 4**

Hay situaciones en las que se requieren datos de rugosidad sin necesidad de una gran precisión o simplemente no es posible obtener datos precisos; Sin embargo se hace deseable relacionar las medidas a la escala del IRI. En tales casos 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. De hecho un equipo tipo respuesta que no está calibrado cae dentro la categoría de Clase 4.

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

Si bien en el Perú existen también equipos tipo respuesta (Bump Integrator), su uso ha sido bastante limitado. En cuanto a la calidad de resultados, la experiencia no ha sido muy afortunada, debido fundamentalmente a la falta de exactitud de las calibraciones efectuadas o a la imposibilidad de mantener las condiciones con las que inicialmente fueron calibrados los equipos, lo que ha incidido en la obtención de resultados inconsistentes con el estado de los pavimentos evaluados.

En consecuencia, la mayor experiencia en el Perú está relacionada con el método basado en el uso del rugosímetro denominado MERLIN, desarrollado por el TRRL de Gran Bretaña. De acuerdo a la clasificación del Banco Mundial, el método de medición del MERLIN califica por la forma como Clase 3, ya que hace uso de una ecuación de correlación para relacionar los valores que determina con la escala del IRI.

Sin embargo, por haber sido diseñado como una variación de un perfilómetro estático, y debido a la gran exactitud de sus resultados, es considerado como un método Clase 1.

El MERLIN es un equipo de diseño simple, que funciona de acuerdo al principio de la palanca. 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.

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. El desarrollo completo de la metodología utilizada en la actualidad se puede encontrar en la referencia bibliográfica (3).

## CAPÍTULO III

### EVALUACIÓN DE SUPERFICIE CON EQUIPO MERLIN

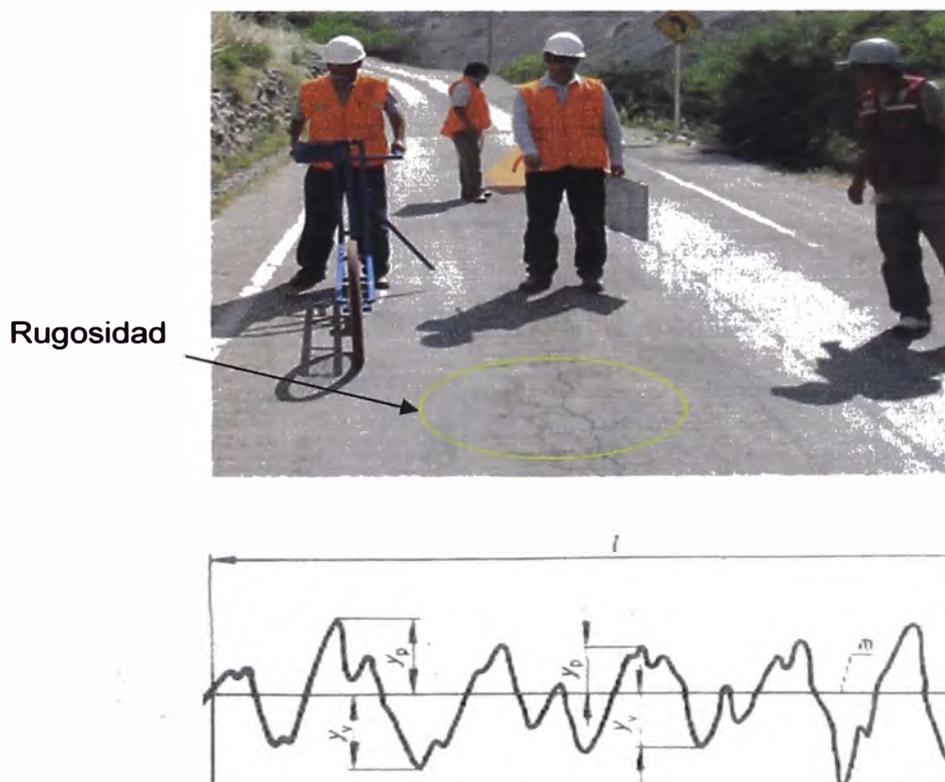
#### 3.1 LA RUGOSIDAD

Parámetro que permite medir el grado de irregularidad longitudinal en una carretera.

En la norma de ensayo ASTM E 867-06, se define el concepto de Rugosidad como:

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.

**Figura 3.01.** La rugosidad



La rugosidad mide las alteraciones de la superficie del pavimento y el Índice de Rugosidad Internacional (IRI) es el referente más usado.

### 3.1.1 Índice de rugosidad internacional (IRI)

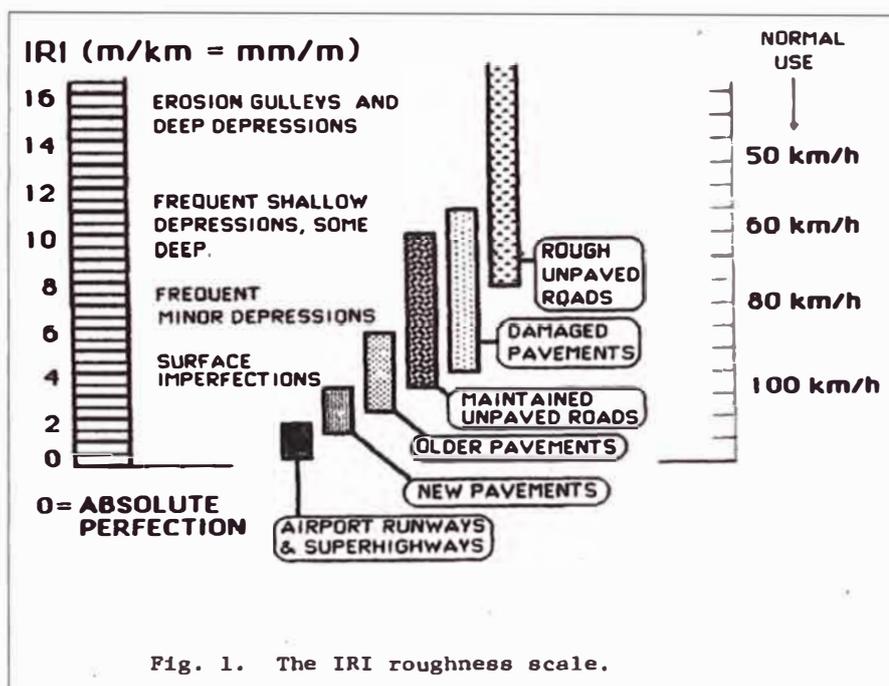
El Índice Rugosidad Internacional, mejor conocido como IRI (Internacional Roughness Index). Fue propuesto por el Banco Mundial en 1986.

El estándar estadístico de la rugosidad 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 Cooperativa Highway Reseach Program (NCHRP).

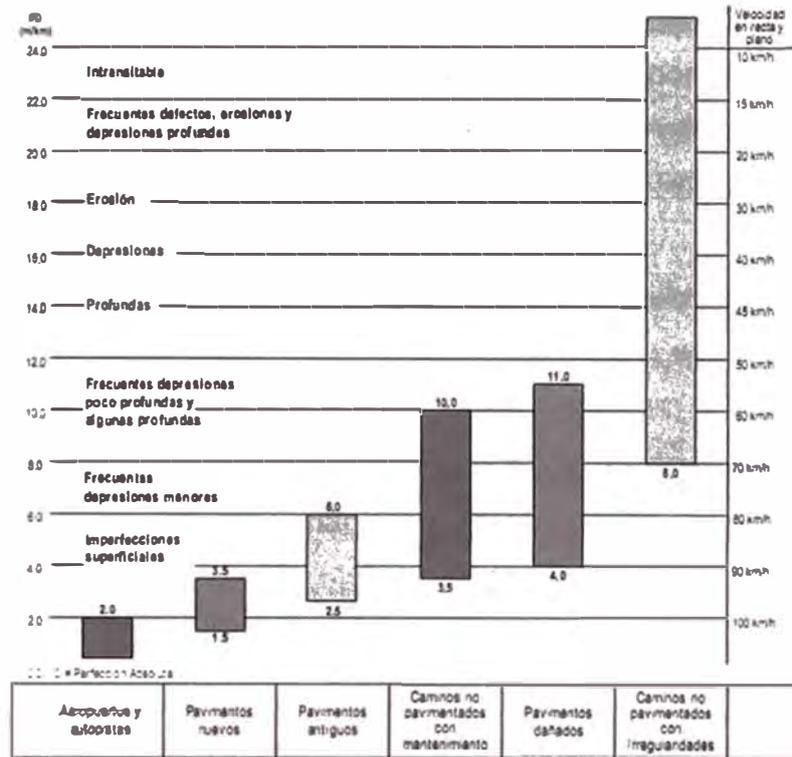
El cálculo matemático del IRI está basado en la acumulación de desplazamientos en valor absoluto (en milímetros, metros o pulgadas) dividido entre la distancia recorrida sobre un camino (en m, km. o millas)

Figura 3.02. Escalas de rugosidad



Índice estándar para expresar la medida de rugosidad de los pavimentos

**Figura 3.03. Escalas de rugosidades en el Perú**



FUENTE: MTC Manual para la conservación de carreteras no pavimentadas de bajo volumen de tránsito.

**Cuadro 3.01. Intervalos de rugosidad**

IRI (afirmado)	IRI (asfaltado)	Estado del pavimento
8 – 12	2 – 4	Bueno
12 – 15	4 – 6	Regular
16 – 20	6 – 8	Mal estado
20 – máx.	8 – máx.	Pésimo Estado

FUENTE: MTC. Provias Nacional. Gerencia de Planificación y Presupuesto. Elaboración de Diagnóstico de la Unidad de Gestión de Carreteras e Implementación del Sistema de Gestión de Carreteras de Provias Nacional. Lima, noviembre de 2005

### 3.2 EVALUACION DE LA RUGOSIDAD

La rugosidad de un pavimento es el parámetro que relaciona la magnitud y frecuencia de las irregularidades superficiales o altimétricas, con la comodidad o confort al transitar sobre él. La unidad de medición de rugosidad que se emplea en el Perú es el IRI (International Roughness Index), parámetro desarrollado por el Banco Mundial para uniformizar los diversos criterios que existen para medir y calibrar la rugosidad de los pavimentos. Para evaluar la serviciabilidad del pavimento se emplea el parámetro denominado Índice de Serviabilidad

Presente (PSI), el cual establece la condición funcional o capacidad de servicio actual del pavimento, conceptos que fueron desarrollados por el cuerpo técnico del Ensayo Vial AASHO, en 1957 . Los valores del PSI se evalúan mediante una escala que va de 0 a 5, en donde la condición óptima corresponde al máximo valor.

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

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

Donde,

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

R: Rugosidad, IRI (International Roughness Index)

PSI: Índice de Serviciabilidad Presente

La Transitabilidad de la vía, es decir, la adjetivación de 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:

**Cuadro 3.02.** Rangos de índice de serviciabilidad presente

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

### 3.3 PRIMERAS ESPECIFICACIONES PARA RUGOSIDAD

Para el caso de pavimentos asfálticos nuevos, se consideró que el acabado debería ser tal que la Serviciabilidad de la vía estuviese comprendida en el rango superior de la escala del PSI, es decir, correspondiente a una Transitabilidad

Muy Buena (PSI entre 4 y 5). Tomando como base un PSI igual a 4, que es un valor que se supuso podía ser alcanzado fácilmente mediante procesos constructivos convencionales, se estableció utilizando la expresión de Sayers que relaciona el IRI con el PSI, que la rugosidad que debería solicitar la especificación era de 1.23 m/km.

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

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

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

### **3.4 ESPECIFICACIONES ACTUALES PARA RUGOSIDAD**

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

De acuerdo al documento publicado, la rugosidad de los pavimentos se deberá controlar calculando un parámetro denominado IRI característico (IRI<sub>c</sub>), el cuál es igual al IRI promedio más el producto de un coeficiente estadístico igual a 1.645 por la desviación estándar (IRI<sub>c</sub> = IRI<sub>prom</sub> + 1.645 Desv.Std.). Calculado el IRI característico (IRI<sub>c</sub>), el sector o tramo es aceptado si cumple con las siguientes condiciones:

- a. En tramos de pavimento de nueva construcción, el índice IRIc debe ser menor o igual a 2.0.
- b. En tramos de refuerzo del pavimento (recapados), el índice IRIc debe ser menor o igual que 2.5.
- c. En tramos de sellado del pavimento, el índice IRIc debe ser menor o igual que 3.0.

### **3.5 EVALUACION DE LA RUGOSIDAD DE LOS PAVIMENTOS**

#### **3.5.1 Redes viales evaluadas**

En el período 1992-1996, se llevó a cabo en el Perú un gran programa de rehabilitación de carreteras, financiado por el Banco Interamericano de Desarrollo, el cual estuvo bajo la administración inicial de la Unidad Ejecutora de Proyectos del Ministerio de Transportes, Comunicaciones, Vivienda y Construcción, que posteriormente se convirtió en el Programa Especial de Rehabilitación de Infraestructura de Transportes (PERT). Los trabajos comprendieron la reparación de la Carretera Panamericana y la Carretera Central, vías fundamentales para el Perú.

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

#### **3.5.2 Resultados de rugosidad encontrados**

El Cuadro N°3.03 presenta una relación de proyectos de carreteras, ubicados en el Perú, en donde se efectuaron mediciones de rugosidad con MERLIN, y que corresponden a estudios de rehabilitación, mantenimiento y/o control de calidad.

Así mismo se observa la rugosidad promedio y a la rugosidad característica.

Los pavimentos asfálticos nuevos en el Perú presentan una Rugosidad Característica promedio igual a 2.21 m/km, con un máximo de 3.57m/km y un mínimo de 1.35m/km.

El PSI promedio de estos pavimentos es 3.37, con un máximo de 3.91 y un mínimo de 2.61. La Transitabilidad, definida de acuerdo a los criterios expuestos, va de Buena a Regular.

Los pavimentos asfálticos antiguos que fueron evaluados durante la ejecución de estudios de rehabilitación, presentaron en promedio una rugosidad característica de 6.28m/km, con un máximo de 9.81m/km y un mínimo de 1.63m/km. El PSI promedio de estos pavimentos es de 1.73, con un máximo de 3.72 y un mínimo de 0.84. La Transitabilidad es en consecuencia muy variable y va de Buena a Pésima.

Los recapados asfálticos que se efectuaron como parte de la rehabilitación de la Carretera Panamericana y la Carretera Central, presentaron en promedio una Rugosidad Característica de 2.16m/km, con un máximo de 3.62m/km y un mínimo de 1.42m/km. El PSI promedio de estos pavimentos es igual a 3.39, con un máximo de 3.86 y un mínimo de 2.59. La Transitabilidad, definida de acuerdo a los criterios expuestos, va de Buena a Regular.

Los tratamientos superficiales y los pavimentos afirmados evaluados dieron resultados de rugosidad elevados y, en consecuencia, valores de PSI sumamente bajos. La Transitabilidad de estos pavimentos osciló de Regular a Pésima.

### **3.6 DIAGNÓSTICO**

De acuerdo al reconocimiento realizado en el trabajo de campo del día 15 de mayo del 2010, en el tramo del Km. 100+000 al Km. 102+000 se tienen que la carretera se desarrolla mayoritariamente a media ladera y presenta anchos variables entre 2.8 y 6 m.

Los valores de IRI medidos entre Junio y Julio del 2009 con respecto a los valores medidos en mayo del 2010 (Ver capítulo IV) son similares, esto se debe principalmente a que el tratamiento superficial monocapa del año 2008 fue mejorado mediante un tratamiento superficial slurry. Además del bajo nivel de tránsito presente en la zona que no se ha incrementado.

**Cuadro 3.03**

**Rugosidad Característica y Serviciabilidad determinada para pavimentos de Tratamiento Superficial Bicapa y Sello Asfáltico**

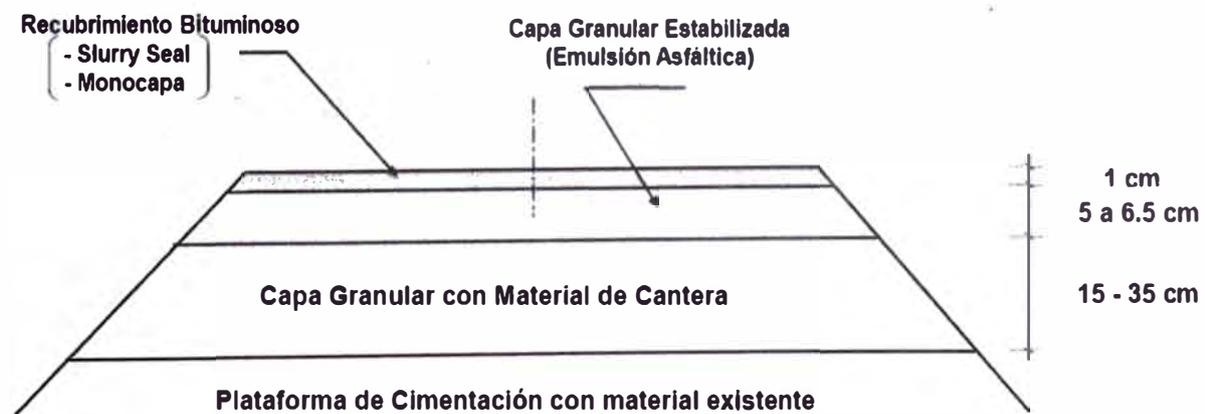
N°	Proyecto	Sector	Subtramo	Long. (Km)	Pavimento	Fecha	R prom. (IRI)	Desv. Estándar	Coef. Variación	R caract. (IRI)	Serviciabilidad (PSI)
6	CARRETERA CENTRAL	HUAYRE-HUANUCO	KM 39+300-KM 46+500	7.2	TRATAMIENTO SUPERF. BICAPA	Sep-93	5.13	0.91	17.74	6.63	1.5
13	PATIVILCA-HUARAZ-CARAZ	CONDCOCHA-CATAC	KM 127+000 - KM 135+400	8.4	TRATAMIENTO SUPERF. BICAPA	Apr-94	3.8	0.29	7.63	4.28	2.3
16	PATIVILCA-HUARAZ-CARAZ	CONDCOCHA-CATAC	KM 143+200 - KM 165+400		TRATAMIENTO SUPERF. BICAPA	Apr-94	4.4	0.72	16.36	5.58	1.81
24	ILO-DESAGUADERO-LA PAZ	ILO-DESAGUADERO	KM 99+700-KM 120+000	20.3	TRATAMIENTO SUPERF. BICAPA	Jan-95	5.41	1.64	30.31	8.11	1.14
37	PANAMERICANA NORTE	SULLANA-AGUAS VERDES	KM 1186+000-KM 1224+000	28	CARPETA SELLO ASFALTICO	Aug-95	1.84	0.35	19.02	2.42	3.22
48	PATIVILCA-HUARAZ-CARAZ	CATAC-ANTA	KM 0+000 - KM 35+000	35	TRATAMIENTO SUPERF. BICAPA	Sep-95	3.8	0.82	21.58	5.15	1.96
49	PATIVILCA-HUARAZ-CARAZ	CATAC-ANTA	KM 0+000-KM 20+500	20.5	TRATAMIENTO SUPERF. BICAPA	Sep-95	3.99	1.16	29.07	5.9	1.71
50	PANAMERICANA NORTE	LAMBAYEQUE-PIURA	KM 0+000-KM 8+500	6.5	CARPETA SELLO ASFALTICO	Oct-95	2.91	0.6	20.62	3.9	2.46
62	PANAMERICANA NORTE	LAMBAYEQUE-PIURA	KM 0+000-KM 6+500	6.5	CARPETA SELLO ASFALTICO	Apr-96	2.64	0.28	10.61	3.1	2.85
82	PATIVILCA-HUARAZ-CARAZ	CONDCOCHA-CATAC	KM 127+100-KM 135+410	8.3	TRATAMIENTO SUPERF. BICAPA	Oct-95	3.16	0.55	17.41	4.06	2.39
94	AREQUIPA-JULIACA	AREQUIPA-PATAHUASI (CD)	KM 0+000 - KM 19+000	19	TRATAMIENTO SUPERF. BICAPA	Jun-97	3.12	0.55	17.63	4.02	2.41
95	AREQUIPA-JULIACA	AREQUIPA-PATAHUASI (CI)	KM 0+000 - KM 19+000		TRATAMIENTO SUP. BICAPA	Jun-97	3.29	0.78	23.71	4.57	2.18
<b>PROMEDIO</b>							3.62			<b>4.81</b>	2.16

FUENTE: Experiencias y resultados obtenidos en la evaluación de la rugosidad de más de 3000 km de pavimentos en el Perú (Pablo del Aguila Rodriguez)

**3.7 SITUACIÓN ACTUAL**

Actualmente el tramo ha sido mejorado con material granular estabilizado con emulsión asfáltica y un tratamiento superficial tipo monocapa, y sobre este último un tratamiento superficial Slurry Seal.

**Figura 3.04. Sección típica de la carretera**



### 3.8 VALORES DE IRI MEDIOS EN PUNTOS CERCANOS AL TRAMO

A continuación se muestra un cuadro con las medidas de IRI calculados en varios tramos de la carretera efectuada entre junio y julio del 2009 por el MTC.

**Cuadro 3.04.** Valores de IRI medios por el MTC

TRAMO		DISTANCIA	IRI	FECHA DE ENSAYO
PROG. INICIAL	PROG. FINAL			
100+000	- 100+400	A 1.00m del borde	5.09	30/06/2009
100+400	100+800	A 1.00m del borde	4.52	30/06/2009
100+800	- 101+200	A 1.00m del borde	5.42	30/06/2009
101+200	- 101+600	A 1.00m del borde	4.64	30/06/2009
102+400	- 102+800	A 1.00m del borde	5.40	30/06/2009
103+000	- 103+400	A 1.00m del borde	4.02	06/07/2009
104+000	- 104+400	A 1.00m del borde	4.28	06/07/2009
105+000	105+400	A 1.00m del borde	4.30	06/07/2009
106+000	- 106+400	A 1.00m del borde	4.15	06/07/2009
107+200	- 107+600	A 1.00m del borde	4.30	06/07/2009
107+700	- 108+100	A 1.00m del borde	3.81	06/07/2009
108+200	- 108+600	A 1.00m del borde	3.97	07/07/2009
109+600	- 110+000	A 1.00m del borde	4.37	07/07/2009

FUENTE: Ministerio de Transportes y Comunicaciones.

### 3.9 RESULTADO DE VALORES OBTENIDOS EN CAMPO

A continuación se detallan los resultados obtenidos de la Medición de Campo, asimismo se hace una comparación con los valores obtenidos por el MTC en zonas cercanas al tramo en estudio

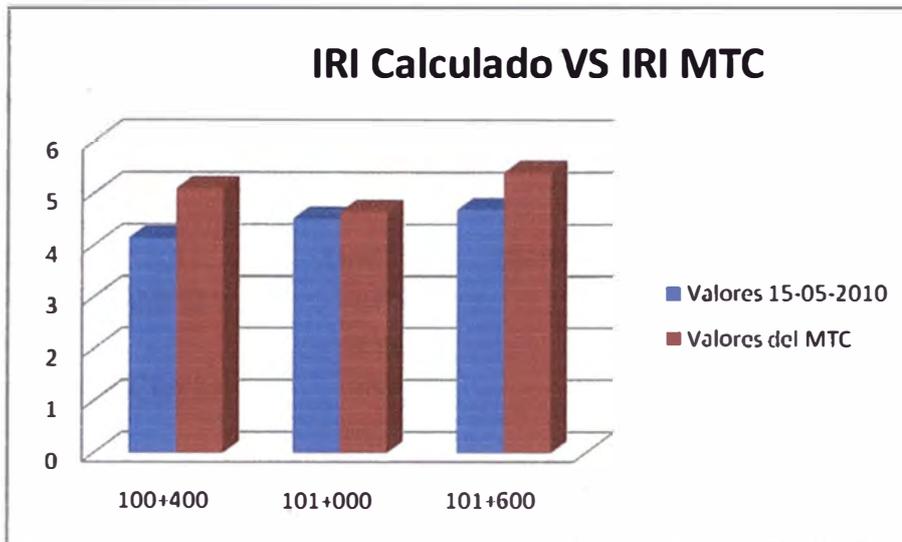
**Cuadro 3.05:** Resultado de valores de IRI obtenidos en campo

TRAMO		DISTANCIA	IRI	PSI	FECHA DE ENSAYO	ESTADO DE PAVIMENTO
PROG. INICIAL	PROG. FINAL					
100+400	- 100+800	A 1.00m del borde	4.14	2.35	15/05/2010	Regular
101+000	- 101+400	A 1.00m del borde	4.51	2.20	15/05/2010	Regular
101+600	- 102+000	A 1.00m del borde	4.68	2.13	15/05/2010	Regular

FUENTE: Elaboración propia

El equipo utilizado para la toma de datos fue proporcionado por el Consorcio Gestión de Carreteras, cuyo número de serie es el 541 y su factor de corrección calculado fue 0.924, con un espesor de pastilla de cobre de 6.47 mm.

**Figura 3.05: IRI calculado VS IRI MTC**



### 3.10 EQUIPO MINIMO PARA REALIZAR UN ENSAYO DE IRI

Para realizar este trabajo se requiere por lo menos de 06 personas, los cuales se describen en el siguiente cuadro:

**Cuadro 3.06: Personal minimo para ejecutar un ensayo**

Personal	Función	Cantidad
Operador de equipo	Desplazar el MERLIN y leer la posición final del puntero	1
Registrador	Indicar el estacionamiento del MERLIN y anotar los datos	1
Seguridad - conos	Colocación de conos para el desvío del tránsito.	1
Seguridad - banderola	Se colocará a 30 m del equipo para señalar con la banderola desvío del tráfico	1
Fotógrafo	Para registrar fotográficamente el ensayo	1
Chofer	Para conducir la camioneta que transporta el equipo	1
Personal Total		<b>6</b>
Rendimiento (por ensayo)		<b>40 min /400 m</b>

**Cuadro 3.07: Costo por ensayo con equipo MERLIN mecánico**

<b>MEDICIÓN DE IRI DEL PAVIMENTO CON LA MERLIN CADA 400 MTS</b>					
UNIDAD=Km Rendimiento:		<b>16 Km/D</b>		Costo Directo Por: Km	<b>98.42</b>
<b>Descripción Recurso</b>					
<b>Mano de Obra</b>	<b>Und</b>	<b>Cuadrilla</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio S/.</b>	<b>Parcial S/.</b>
INGENIERO DE CAMPO	HH	1	0.5	32.5	16.25
TÉCNICO	HH	1	0.5	13.52	6.76
CHOFER DE CAMIONETA	HH	1	0.5	11.97	5.99
PEÓN	HH	3	1.5	10.81	48.65
					<b>77.64</b>
<b>Equipo</b>					
CAMIONETA	HM	1	0.5	25.55	12.78
MERLIN	HM	1	1	8	8.00
					<b>20.78</b>

**Cuadro N°. 3.08: Costo de medición con equipo MERLIN mecánico por año**

Rendimiento: 16 km/D Long: Tramo Km: 281.73

DESCRIPCIÓN	PERIODO	PERIODO DE CONSERVACIÓN			COSTO TOTAL S/.
		2010	2011	2012	
Medición de IRI anual.	1	69,284.16	69,284.16	69,284.16	207,852.48
Medición de IRI anual.	2	138,568.32	138,568.32	138,568.32	415,704.96

**Cuadro 3.09** Costo por ensayo con equipo MERLIN con colector de datos

MEDICIÓN DE IRI DEL PAVIMENTO CON MERLIN CADA 400 MTS					
UNIDAD=K Rendimiento					
m :		32 Km/D	Costo Directo Por: Km		48.88
<b>Descripción Recurso</b>					
<b>Mano de Obra</b>	<b>Und</b>	<b>Cuadri</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio S/.</b>	<b>Parcial S/.</b>
INGENIERO DE CAMPO	HH	0.5	0.125	32.5	2.03
TÉCNICO	HH	1	0.25	3.38	3.38
CHOFER DE CAMIONETA	HH	1	0.25	11.97	2.99
PEÓN	HH	1	1.25	2.70	2.70
					<b>11.11</b>
<b>Equipo</b>					
CAMIONETA	HM	1	0.5	25.55	12.78
MERLIN	HM	1	1	25.00	25
					<b>37.78</b>

**Cuadro 3.10.** Costo de medición con equipo MERLIN con colector de datos por año

MEDICIÓN DE IRI DEL PAVIMENTO CON MERLIN CADA 400 MTS					
Rendimiento: 16 km/D Long: Tramo Km: 281.73					
DESCRIPCIÓN	PERIODO	PERIODO DE CONSERVACIÓN			COSTO TOTAL S/.
		2010	2011	2012	
Medición de IRI anual.	1	34,412.4	34,412.4	34,412.4	103,237.2
Medición de IRI anual.	2	68,824.8	68,824.8	68,824.8	206,474.4

### 3.11 ESTADO ACTUAL DE LA SUPERFICIE DE RODADURA.

En el **cuadro 3.05** vemos los resultados del IRI indicando que la superficie analizada entre la progresiva 100+000 a 102+ 000 de acuerdo al **cuadro 3.01** se encuentra en estado regular. Una de las principales causas que ha contribuido al deterioro progresivo de la superficie es el drenaje longitudinal, observándose que en algunos casos no existen cunetas, por lo que el flujo superficial tiene trayectorias que siguen los puntos bajos, llegándose a producir estancamientos de agua en algunos casos, tal como se observa en la figura 3.06.

Existen canales de regadío que necesitan ser revestido para evitar que la filtración de agua dañe la vía, tal como se apreció en la inspección visual, asimismo hay obstrucciones puntuales en la ruta de las cunetas. Lo cual ha generado que la superficie se sature continuamente y se produzcan fisuramientos y desprendimientos del recubrimiento superficial tal como se observa en la figura 3.07.

**Figura 3.06: Filtraciones de agua**



**Figura 3.07: Fisuras y desprendimiento del tratamiento superficial**



## CAPÍTULO IV

### METODOLOGIA PARA DETERMINAR LA RUGOSIDAD

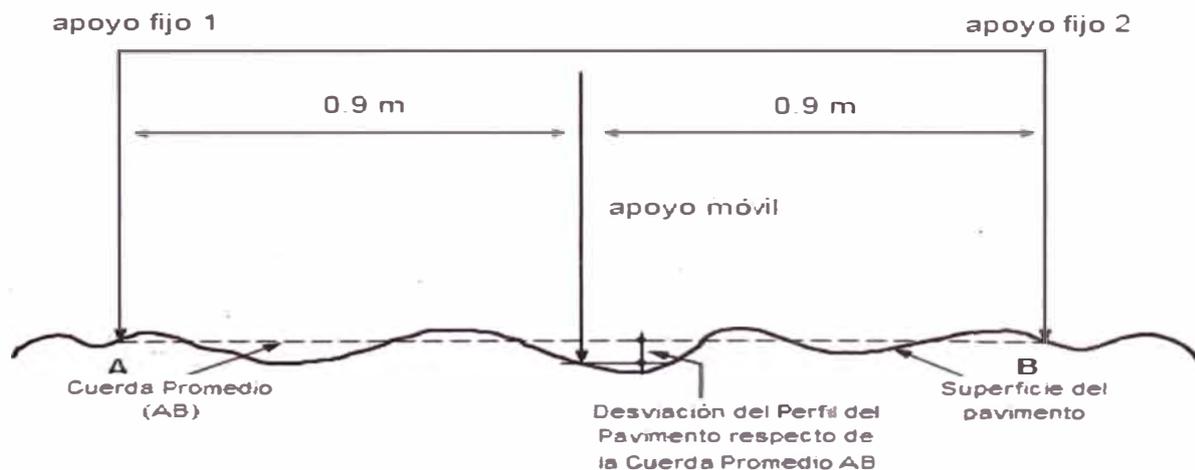
#### 4.1. RESUMEN

El rugosímetro MERLIN se introdujo en el Perú en el año 1993, tres años después que fuera dado a conocer por el TRRL. Si bien la metodología original para el cálculo de la rugosidad, comprende un método de medición simple y un procedimiento sencillo de cálculo gráfico, no permite de por sí obtener un buen rendimiento con el equipo, aspecto relevante identificado desde un principio. Entre 1993 y 1998, el MERLIN fue empleado para la evaluación de la rugosidad de más de 3,000 km de carreteras en el Perú, experiencia que sirvió para establecer las bases de una metodología propia.

#### 4.2. FUNDAMENTOS TEORICOS

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. La figura ilustra como el MERLIN mide el desplazamiento vertical entre la superficie del camino y el punto medio de una línea imaginaria de longitud constante. El desplazamiento es conocido como "la desviación respecto a la cuerda promedio".

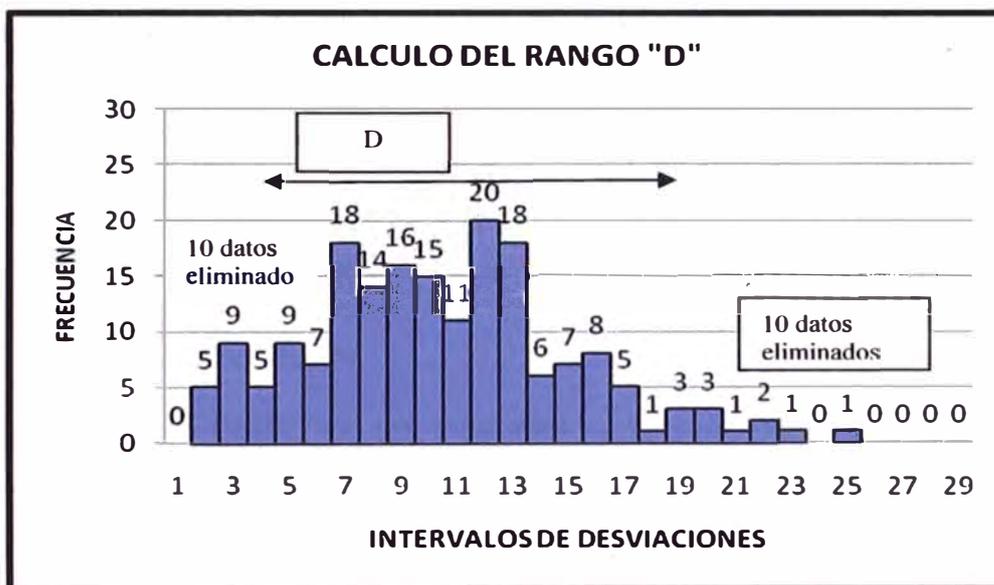
**Figura 4.01: Desviaciones del perfil**



La longitud de la cuerda promedio es 1.80m, por ser la distancia que proporciona los mejores resultados en las correlaciones. Asimismo, se ha definido que es necesario medir 200 desviaciones respecto de la cuerda promedio, en forma

consecutiva a lo largo de la vía y considerar un intervalo constante entre cada medición. Para dichas condiciones se tiene que, a mayor rugosidad de la superficie mayor es la variabilidad de los desplazamientos. Si se define el histograma de la distribución de frecuencias de las 200 mediciones, es posible medir la dispersión de las desviaciones y correlacionarla con la escala estándar de la rugosidad. El parámetro estadístico que establece la magnitud de la dispersión es el Rango de la muestra (D), determinado luego de efectuar una depuración del 10% de observaciones (10 datos en cada cola del histograma). El valor D es la rugosidad del pavimento en “unidades MERLIN”.

**Figura 4.02: Histograma de distribución de frecuencias**



El concepto de usar la dispersión de las desviaciones de la superficie respecto de una cuerda promedio, como una forma para evaluar la rugosidad de un pavimento no es nuevo ni original del TRRL. Varios parámetros de rugosidad precedentes, tal como el conocido Quarter-car Index (QI), han sido propuestos por otros investigadores basándose en el mismo concepto

**4.3 CORRELACIONES “D” VERSUS “IRI”**

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

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

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

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

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

#### **4.4 MÉTODO DE MEDICIÓN**

##### **4.4.1 El rugosímetro Merlin**

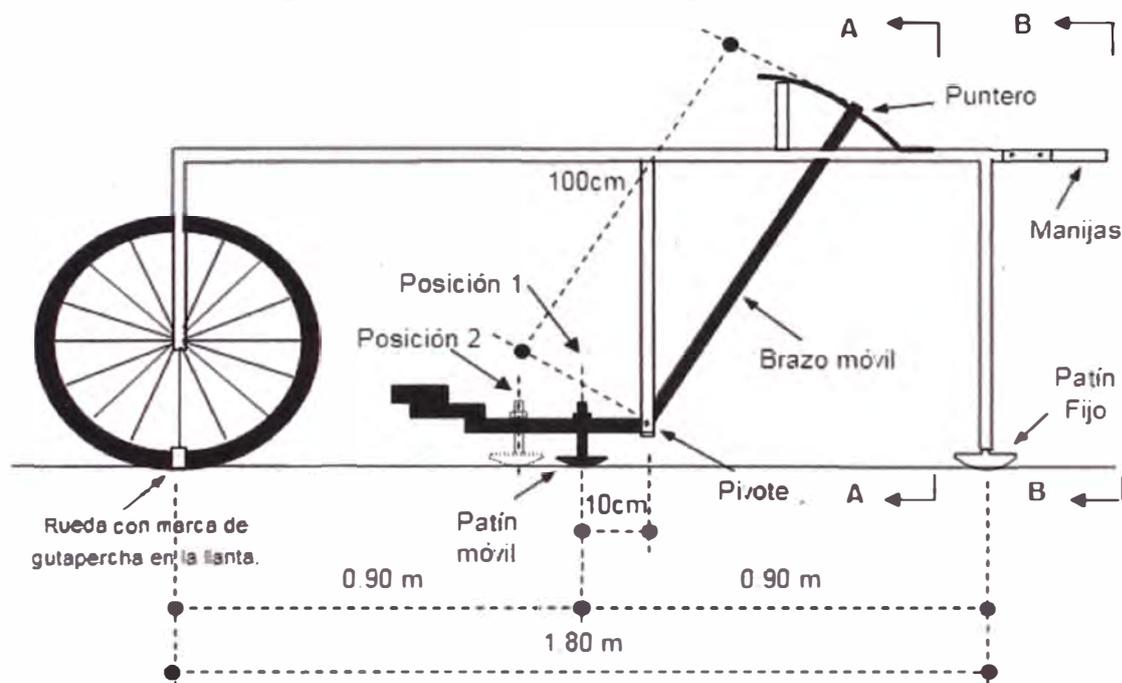
El rugosímetro MERLIN, es un instrumento versátil, sencillo y económico, pensado especialmente para uso en países en vías de desarrollo. Fue introducido en el Perú en 1993.

El método de medición que utiliza el MERLIN, 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.

El MERLIN es un equipo de diseño simple. La Figura N° 4.03 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.

**Figura 4.03:** Esquema del rugosímetro MERLIN



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.

### Ejecución de ensayos

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 trecho de aproximadamente 400 m de longitud, sobre un determinado carril de una vía. Las mediciones se efectúan siguiendo la huella exterior del tráfico.

**Figura 4.04:** Procedimiento de trabajo con el equipo MERLIN





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 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. 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 MERLIN, que es aproximadamente esa dimensión, es decir, cada ensayo se realiza al cabo de una vuelta de la rueda.

**Figura 4.05: Formato para la toma de datos**



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 el Figura N° 4.05. 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.

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 trecho 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.

## 4.5 CÁLCULO DEL RANGO “D”

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

La dispersión de los datos obtenidos con el MERLIN se analiza calculando la distribución de frecuencias de las lecturas o posiciones adoptadas por el puntero, la cual puede expresarse, para fines didácticos, en forma de histograma

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

Efectuado el descarte de datos, se calcula el “ancho del histograma” en unidades de la escala, considerando las fracciones que pudiesen resultar como consecuencia de la eliminación de los datos. En la figura N° 4.02, por ejemplo, en el extremo inferior del histograma, se tiene que por efecto del descarte de los 10 datos del extremo izquierdo y derecho se eliminarán.

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.

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

Las ecuaciones (1) y (2) representan correlaciones entre el valor D y la rugosidad en unidades IRI, las cuales han sido desarrolladas para una condición de relación de brazos del rugosímetro de 1 a 10 (Ver Figura N° 5). Esta relación

en la práctica suele variar, y depende del desgaste que experimenta el patín del brazo móvil del instrumento. En consecuencia, para corregir los resultados se verifica la relación de brazos actual del instrumento, y, se determina un factor de corrección que permita llevarlos valores a condiciones estándar.

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

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

Esta acción hará que el puntero sobre el tablero se desplace, asumiendo una relación de brazos estándar de 1 a 10, una distancia igual al espesor de la pastilla multiplicado por 10 (es decir:  $6.2 \times 10 = 62$  mm), lo que significa, considerando que cada casillero mide 5 mm, que el puntero se ubicará aproximadamente en el casillero 12, siempre y cuando la relación de brazos actual del equipo sea igual a la asumida.

Si no sucede eso, se deberá encontrar un factor de corrección (F.C.) usando la siguiente expresión:

$$F.C. = (EP \times 10) / [(LI - LF) \times 5] \dots\dots\dots(IV.3)$$

Donde,

- EP : Espesor de la pastilla
- LI : Posición inicial del puntero
- LF : Posición final del puntero

Por ejemplo:

Si la posición inicial del puntero fue 25 y la final fue 10, entonces el Factor de

Corrección será:

$$FC = (6.2 \times 10) / [(25-10) \times 5] = 0.82666$$

#### 4.5.2 Variación de relación de brazos

Para facilidad del trabajo, el rugosímetro admite dos posiciones para el patín del brazo pivotante (Ver Figura N° 4.03).

a. Una posición ubicada a 10 cm del punto de pivote, posición estándar que se utiliza en el caso de pavimentos nuevos o superficies muy lisas (baja rugosidad).

En ese caso la relación de brazos utilizada será 1 a 10.

b. Una posición ubicada a 20 cm del punto de pivote, posición alterna que se utiliza en el caso de pavimentos afirmados muy deformados o pavimentos muy deteriorados.

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

#### 4.5.3 Cálculo del rango “D” corregido

El valor D calculado, deberá modificarse considerando el Factor de Corrección y la Relación de Brazos empleada en los ensayos (RB=1). El valor D corregido será el que se multiplica por el factor de corrección.

Este valor llevado a condiciones estándar es la rugosidad en “unidades MERLIN”.

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

Para transformar la rugosidad de unidades MERLIN a la escala del IRI, se usa las expresiones (1) y (2). Aplicando la expresión para el caso de  $IRI > 2.5$ , se obtiene finalmente los valores de rugosidad.

#### 4.6. LIMITES DE LA RUGOSIDAD PARA EL CONTROL DE CALIDAD

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:

$$IRI_c = IRI_p + 1.645 \sigma \dots\dots\dots(IV.4)$$

Donde,  $IRI_c$  : IRI característico

$IRI_p$  : IRI promedio

$\sigma$  : Desviación Estándar

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

- a. Para pavimentos asfálticos nuevos, el  $IRI_c$  deberá ser menor o igual a 2.0 m/km.
- b. Para pavimentos con recapado asfáltico, el  $IRI_c$  deberá ser menor o igual a 2.5 m/km
- c. Para pavimentos con sellado asfáltico, el  $IRI_c$  deberá ser menor o igual a 3.0 m/km.

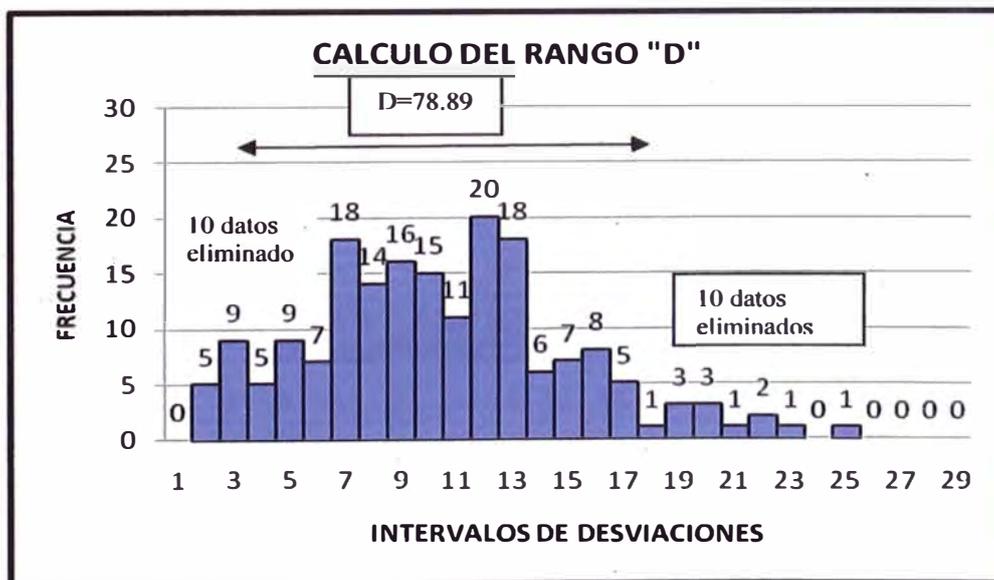
En caso de no cumplirse con estos límites, el sector o tramo deberá subdividirse en secciones de rugosidad homogénea, y se calculará el IRI característico para cada una de ellas, los que deberán cumplir los límites indicados.

### 4.7 DATOS OBTENIDOS EN CAMPO

**Figura 4.06.** Datos para el ensayo N°01

ENSAYO N° 1      KM 100+400      HORA 08:30 a.m.

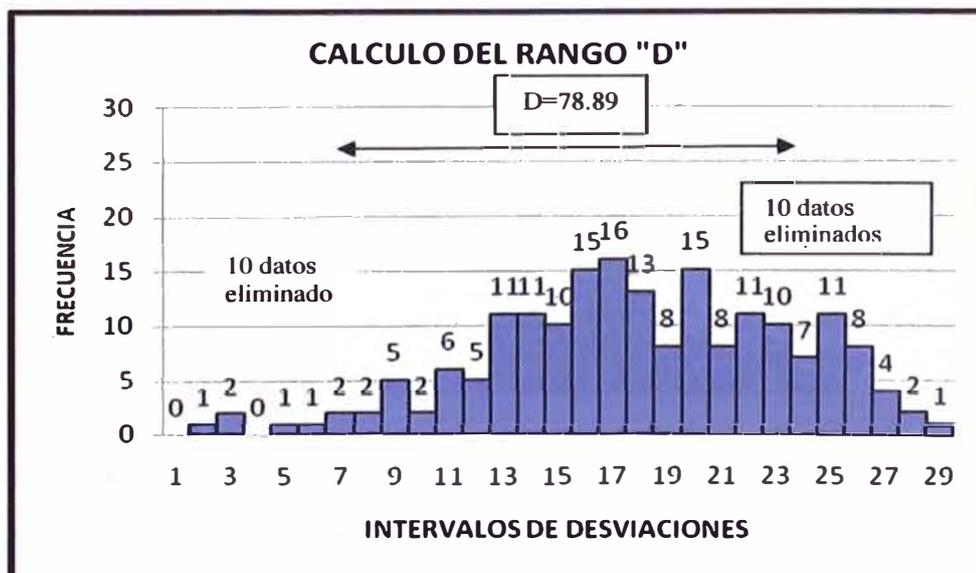
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	23	10	26	20	19	10	17	17	19	16
2	16	16	19	19	9	10	17	14	14	6
3	7	14	20	4	13	18	23	22	18	17
4	16	17	10	9	14	17	22	22	15	20
5	16	15	19	11	16	19	6	14	23	19
6	12	19	11	14	15	20	16	18	19	18
7	16	12	20	8	15	10	29	19	8	18
8	13	20	17	16	19	24	13	19	20	17
9	16	17	24	17	26	20	14	12	20	23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



**Figura 4.07. Datos para el ensayo N°02**

ENSAYO N° 2      KM 101+000      HORA 09:30 p.m.

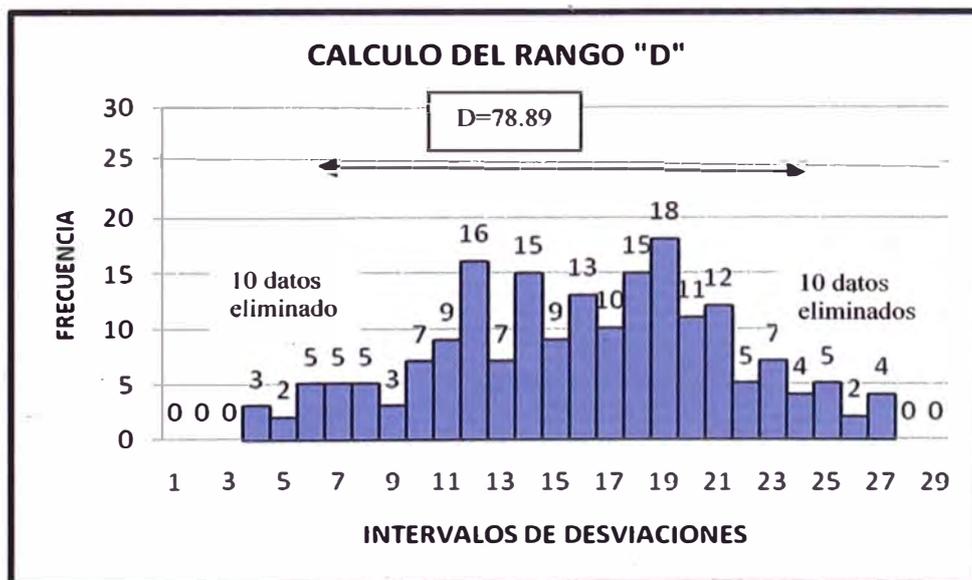
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	23	40	42	21	30	33	34	18	29	31
2	29	21	36	8	25	27	33	20	33	19
3	19	23	18	27	23	21	16	13	34	25
4	26	25	25	20	27	30	17	4	19	29
5	28	21	20	28	28	26	20	30	33	31
6	25	25	25	23	26	32	15	27	6	18
7	22	31	27	26	5	25	10	35	14	25
8	32	23	25	31	27	21	24	26	31	24
9	21	29	23	27	27	20	18	24	24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



**Figura 4.08. Datos para el ensayo N°03**

ENSAYO N° 3      KM 101+600      HORA 11:00 a.m.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	23	15	19	26	33	27	13	24	25	19
2	23	19	19	12	11	20	20	21	24	18
3	31	22	19	23	25	14	24	30	28	22
4	20	26	25	22	13	27	50	32	21	32
5	15	23	26	14	25	22	16	28	34	27
6	23	19	24	26	19	31	28	16	27	26
7	24	23	26	34	26	28	25	43	12	21
8	15	22	28	37	24	28	20	40	38	23
9	14	18	22	30	20	28	25	26	22	28
10	19	21	23	30	19	27	25	29	13	28
11	22	17	27	27	18	24	27	34	16	29
12	20	24	25	30	17	26	32	28	14	30
13	17	21	26	21	31	26	21	21	24	26
14	24	21	11	23	9	23	28	34	23	21
15	17	19	21	27	23	29	26	31	11	17
16	19	37	13	25	18	18	25	18	22	19
17	14	25	19	33	27	32	27	26	20	15
18	23	25	18	32	18	25	26	29	17	19
19	15	21	38	21	29	26	25	25	21	18
20	19	21	26	26	17	30	19	30	13	28



**Cálculo del IRI y PSI**

**Ensayo N° 01**

**Cuadro 4.01. Resultados del ensayo N°01**

D	D(mm)	Fac. Corr	D Corregido	IRI (m/km)
15.78	78.89	0.95385	75.25	4.14

Utilizando la expresión establecida por Sayer, para un IRI= 4.14

$$PSI = 5e^{(- IRI/5.5)} \rightarrow PSI = 2.35$$

**Ensayo N° 02**

**Cuadro 4.02. Resultados del ensayo N°02**

D	D(mm)	Fac. Corr	D Corregido	IRI (m/km)
17.43	87.13	0.95385	83.10	4.51

Utilizando la expresión establecida por Sayer, para un IRI= 4.51

$$PSI = 5e^{(- IRI/5.5)} \rightarrow PSI = 2.20$$

**Ensayo N° 03**

**Cuadro 4.03. Resultados del ensayo N°03**

D	D(mm)	Fac. Corr	D Corregido	IRI (m/km)
18.20	91.00	0.95385	86.80	4.68

Utilizando la expresión establecida por Sayer, para un IRI= 4.68

$$PSI = 5e^{(- IRI/5.5)} \rightarrow PSI = 2.13$$

## 4.8 RESUMEN DE RESULTADOS OBTENIDOS

**Cuadro 4.04.** Resumen de resultados obtenidos

TRAMO		DISTANCIA	IRI	PSI	FECHA DE ENSAYO	ESTADO DE PAVIMENTO
PROG. INICIAL	PROG. FINAL					
100+400	- 100+800	A 1.00m del borde	4.14	2.35	15/05/2010	Regular
101+000	- 101+400	A 1.00m del borde	4.51	2.20	15/05/2010	Regular
101+600	- 102+000	A 1.00m del borde	4.68	2.13	15/05/2010	Regular

Fuente: Elaboración propia

TRAMO		DISTANCIA	IRI	PSI	FECHA DE ENSAYO	ESTADO DE PAVIMENTO
PROG. INICIAL	PROG. FINAL					
100+000	- 100+400	A 1.00m del borde	5.09		30/06/2009	Regular
100+400	- 100+800	A 1.00m del borde	4.52		30/06/2009	Regular
100+800	- 101+200	A 1.00m del borde	5.42		30/06/2009	Regular
101+200	- 101+600	A 1.00m del borde	4.64		30/06/2009	Regular
102+400	- 102+800	A 1.00m del borde	5.40		30/06/2009	Regular

Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones

TRAMO		DISTANCIA	IRI	PSI	FECHA DE ENSAYO	ESTADO DE PAVIMENTO
PROG. INICIAL	PROG. FINAL					
99+800	- 100+200	A 1.00m del borde	5.98		02/10/2009	Regular
100+000	- 100+400	A 1.00m del borde	4.79		01/10/2009	Regular
100+400	- 100+800	A 1.00m del borde	4.70		01/10/2009	Regular

Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones.

## CONCLUSIONES

- El IRI determina la condición actual del pavimento, el valor es necesario para establecer etapas de mantenimiento superficial del pavimento. Es un parámetro de control de calidad al final de la construcción de un pavimento. útil para determinar si se han alcanzado los estándares de calidad indicadas en el expediente técnico.
- La rugosidad es un dato que permite reconocer la serviciabilidad de la vía, la cual se degrada a través del tiempo, por diferentes factores como el tráfico, el clima, aguas superficiales, etc. es empleado en el inventario vial, el cual permite calificar el estado o condición funcional de la vía y permite el cálculo de los costos de operación del usuario, para determinar medidas correctivas y no perder su confort y seguridad.
- Con los resultados obtenidos de IRI se observa que el estado superficial de la vía en el momento que se tomaron los datos (15-05-2010) es similar al estado de la superficie cuando el MTC con fecha 01-10 -2009 realiza la medición de la rugosidad con el equipo Merlin. Esto se debe principalmente a que después de las mediciones ejecutadas por el MTC se ejecutó un tratamiento superficial con Slurry Seal.
- Los valores de IRI obtenidos colocan al tramo analizado como superficie de rodadura en regular estado, lo cual es compatible con lo observado en campo, donde ha observado que la superficie presenta, ondulaciones, agrietamientos y en algunos casos desprendimientos de la superficie tal como se observa en la figura 3.07.
- La deficiencia de los sistemas de drenaje, y la sección vial inadecuada, no permiten la evacuación inmediata de las aguas (de las lluvias y de regadío), se acumulan en la plataforma produciendo y agravando las fallas antes señaladas.
- La falta de un buen drenaje longitudinal y transversal contribuye al deterioro de la superficie y al incremento de los valores de IRI.
- Es necesario contar con un programa de conservación de cunetas y alcantarillas para los próximos 03 años. En el anexo 03 se ha elaborado un programa tentativo de conservación de drenaje rutinario.

- En este tramo el valor del IRI es decisivo para tomar la decisión de ejecutar un mantenimiento o mejoramiento de la superficie.
- Es necesario tomar registros históricos de las vías asfaltadas con datos sobre la construcción, rehabilitación y/o mantenimiento, realizando un seguimiento del estado de los pavimentos, mediante las evaluaciones periódicas de la condición superficial, medición de deflexiones, rugosidad, ahuellamiento entre otros parámetros de evaluación.
- La rugosidad de la superficie influye en los valores de costos operativos vehiculares, siempre que la velocidad de avance supere los 40 k/hora. Para este tramo de carretera la rugosidad calculada no influye en los COV debido a que la velocidad de circulación no supera los 40 k/hora, esto principalmente se debe a que la carretera presenta curvas cerradas y además se han colocado gibas para evitar que la velocidad de los vehículos se incremente y conlleve a accidentes de tránsito.
- Mientras que los valores de IRI no superen los rangos establecidos como regulares, no sería necesario hacer mejoramientos de superficie.

## RECOMENDACIONES

- La evaluación de rugosidad con equipo Merlin es recomendable en distancias cortas, mientras que en distancias largas se recomienda el equipo "Bump Integrator" (Método tipo respuesta) por tener mayor rendimiento en toma de datos.
- Se recomienda el equipo Merlin para calibrar el equipo "Bump Integrator"
- En el transcurso de cada medición de rugosidad con el Merlin, asegurar bien los pernos del equipo Merlin para garantizar buenos resultados.
- Debido a que los valores de rugosidad tomados en periodos de aproximadamente 07 meses permanecen constantes, se recomienda que se siga con lo indicado en los términos de referencia del contrato de hacer mediciones de rugosidad por lo menos una vez al año.
- Solo en el caso que los valores de rugosidad varíen significativamente tal es así que cambien de estado regular a malo, solo allí sería necesario hacer un mejoramiento de superficie, ya sea con tratamiento superficial monocapa o un Slurry Seal.
- Se recomienda realizar estudios más a detalle acerca de la relación entre la rugosidad de los pavimentos y el COV, de tal manera que se pueda conocer de manera práctica como varían los costos operativos vehiculares en proporción con los incrementos de rugosidad que se obtienen en campo.
- Debido a que la carretera cruza muchos terrenos de cultivo, los cuales dejan pasar sus aguas de regadío hacia las cunetas y a las alcantarillas, se recomienda capacitar a los pobladores sobre el funcionamiento de las obras de drenaje aledaños a sus terrenos haciéndoles comprender que son los directos beneficiados en que el sistema funcione correctamente y así indicarles que alerten sobre algún desperfecto o cuando haya emergencias que puedan ocurrir en el tiempo entre los monitoreos planificados.
- Para los contratos por niveles de servicio de una carretera, se considera que no es muy conveniente periodos de contrato cortos ya que no permiten hacer inversiones importantes que son necesarias sobre todo en el sistema de drenaje. Además se estima conveniente que se considere una partida menor para desarrollar el cambio de trazo en puntos específicos, muchas veces

esto puede solucionar sin mayores costos problemas que de no remediarlos de esa forma requerirían constante inversión y afectan directamente la transitabilidad, por ejemplo excavar un volumen pequeño de roca que obstruye el libre tránsito, razón por la cual se tiene un trazo de curva cerrada al ingreso de un puente o en la cercanía a una alcantarilla, ello produce que los vehículos de carga pesada hagan maniobras para poder circular y dañen continuamente a estas estructuras, esto se reflejó en el tramo estudiado.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Del AGUILA, P.M. "Desarrollo de la Correlación para la determinación del IRI en pavimentos asfálticos nuevos, utilizando el rugosímetro MERLIN" Trabajo presentado al X Congreso Ibero-Latinoamericano. Sevilla, 1999.
2. 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.
3. Del AGUILA, P.M. "Metodología para la medición de la rugosidad de los pavimentos con equipo de bajo costo y gran precisión".
4. Loyaga Torres Daniel Bernabé, Mejoramiento de la carretera Cañete – Yauyos del Km. 57+900 al Km. 58+200 –Drenaje superficial, Lima – Perú, Diciembre 2008.
5. Ministerio de Transportes y Comunicaciones, Contrato de servicios de conservación vial por niveles de servicio de la carretera Cañete – Lunahuana – Pacaran – Chupaca y rehabilitación del tramo Zuñiga DV. Yauyos – Ronchas, Lima – Perú, 2007.

## **ANEXOS**

**ANEXO 01: PLANO DE UBICACIÓN**

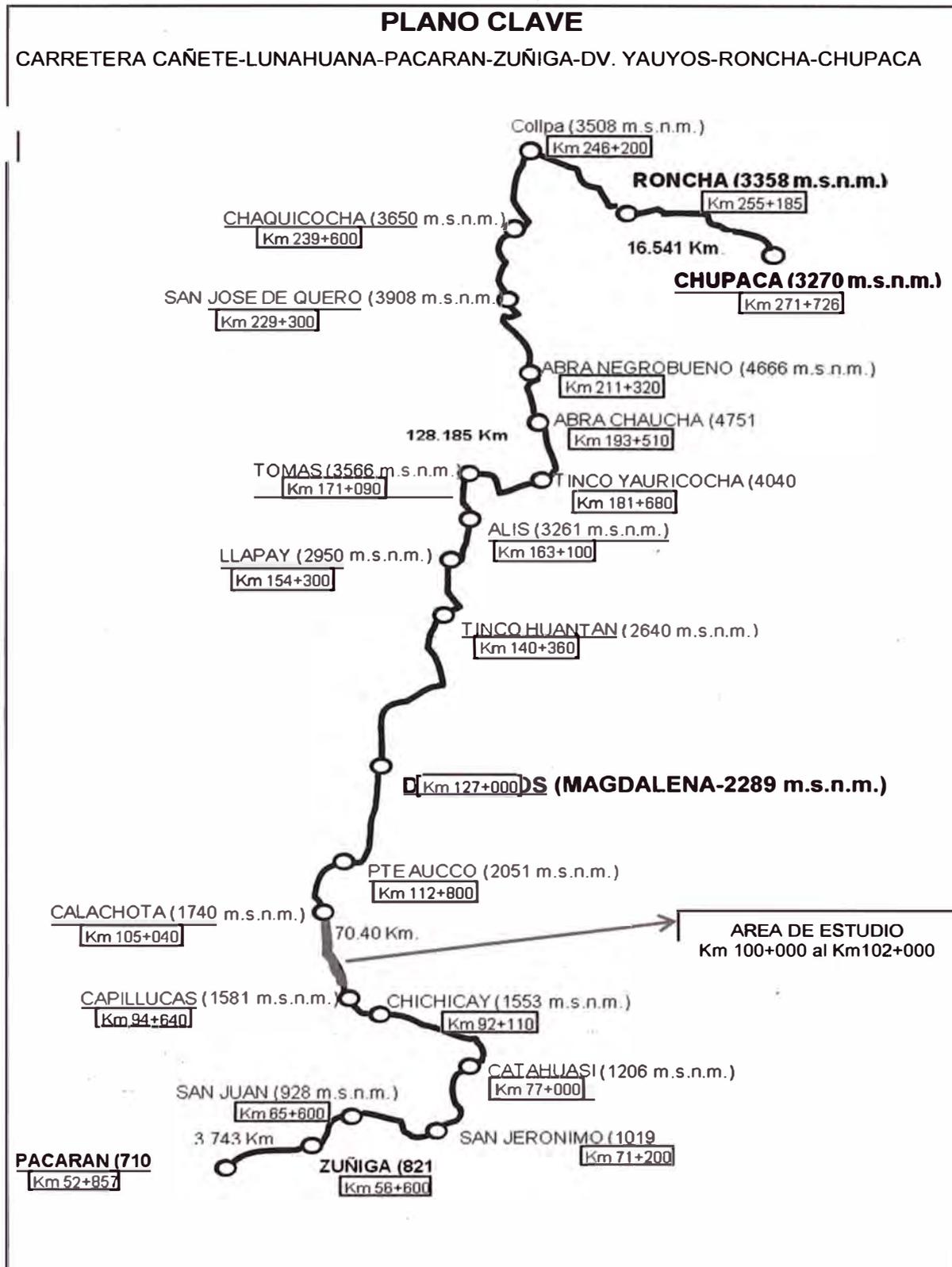
**ANEXO 02: FORMATOS DE TOMA DE DATOS EN CAMPO**

**ANEXO 03: PROGRAMA DE CONSERVACION DE DRENAJE RUTINARIO**

**ANEXO 04: ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS CONSERVACION - DRENAJE**

**ANEXO 05: PANEL FOTOGRAFICO**

**ANEXO 01: Plano de Ubicación**



**ANEXO 02: Formato de Toma de Datos en Campo**

**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 : \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

**ANEXO 03: Programa de conservación rutinaria - Periodo de 3 años**

DESCRIPCIÓN	UND	METRADO	EPOCA SECA		EPOCA DE LLUVIAS		TOTAL	PERIODO	METRADO TOTAL	UND
			7 MESES		5 MESES					
			FRECUENCIA	VECES	FRECUENCIA	VECES				
Limpieza de cunetas no revestidas	m	379.88	1/mes	7	2/mes	10.000	17.000	3	19373.88	m
Reperfilado de cunetas no revestidas	m	379.88	1/7meses	1	1/5meses	1.000	2	3	2279.28	m
Limpieza de alcantarillas de PVC incl. cabezales	m	3.60	1/mes	7	2/mes	10.000	17	3	183.60	m
Limpieza de alcantarillas artesanales	m	10.80	1/mes	7	2/mes	10.000	17	3	550.80	m
Monitoreo	Km	2.00	diario		diario		365	3	2190.00	Km

### ANEXO 04: Análisis de precios unitarios conservación - drenaje

#### LIMPIEZA DE CUNETAS NO REVESTIDAS

RECURSOS	UND.	CANT.	INDICE	PRECIO S/.	COSTO S/.
Rendimiento: 750 M/DIA Unidad: M					
<b>Mano de obra</b>					<b>0.93</b>
Capataz	HH	0.10	0.001	16.00	0.02
Operario	HH	2.00	0.021	13.00	0.28
Peon	HH	4.00	0.043	10.00	0.43
Peon P/señalización	HH	2.00	0.021	10.00	0.21
<b>Materiales</b>					<b>3.00</b>
Señales y elementos de seguridad	GLB		1.000	3.00	3.00
<b>Equipos y herramientas</b>					<b>0.82</b>
camión volquete 4x2 140-210 HP 6 m3	HM	0.50	0.005	131.90	0.70
Segadora mecánica	HM	0.50	0.005	13.50	0.07
Herramientas	%		0.050	0.93	0.05
<b>TOTAL COSTO DIRECTO</b>					<b>4.76</b>

#### REPERFILADO DE CUNETAS NO REVESTIDAS

RECURSOS	UND.	CANT.	INDICE	PRECIO S/.	COSTO S/.
Rendimiento: 5000 M/DIA Unidad: M					
<b>Mano de obra</b>					<b>0.10</b>
Capataz	HH	0.10	0.000	16.00	0.00
Peon	HH	4.00	0.006	10.00	0.06
Peon P/señalización	HH	2.00	0.003	10.00	0.03
<b>Materiales</b>					<b>3.00</b>
Señales y elementos de seguridad	GLB		1.000	3.00	3.00
<b>Equipos y herramientas</b>					<b>0.12</b>
camión volquete 4x2 140-210 HP 6 m3	HM	0.50	0.001	131.90	0.11
Segadora mecánica	HM	0.50	0.001	13.50	0.01
Herramientas	%		0.050	0.10	0.00
<b>TOTAL COSTO DIRECTO</b>					<b>3.22</b>

### LIMPIEZA DE ALCANTARILLAS DE PVC

Rendimiento: 30 M/DIA Unidad: M

RECURSOS	UND.	CANT.	INDICE	PRECIO S/.	COSTO S/.
<b>Mano de obra</b>					<b>15.49</b>
Capataz	HH	0.10	0.027	16.00	0.43
Operario	HH	0.50	0.133	13.00	1.73
Peon	HH	3.00	0.800	10.00	8.00
Peon P/señalización	HH	2.00	0.533	10.00	5.33
<b>Materiales</b>					<b>3.00</b>
Señales y elementos de seguridad	GLB		1.000	3.00	3.00
<b>Equipos y herramientas</b>					<b>4.29</b>
camión volquete 4x2 140-210 HP 6 m3	HM	0.10	0.027	131.90	3.52
Herramientas	%		0.050	15.49	0.77
<b>TOTAL COSTO DIRECTO</b>					<b>22.79</b>

### LIMPIEZA DE ALCANTARILLAS ARTESANALES

Rendimiento: 22 M/DIA Unidad: M

RECURSOS	UND.	CANT.	INDICE	PRECIO S/.	COSTO S/.
<b>Mano de obra</b>					<b>21.13</b>
Capataz	HH	0.10	0.036	16.00	0.58
Operario	HH	0.50	0.182	13.00	2.36
Peon	HH	3.00	1.091	10.00	10.91
Peon P/señalización	HH	2.00	0.727	10.00	7.27
<b>Materiales</b>					<b>3.00</b>
Señales y elementos de seguridad	GLB		1.000	3.00	3.00
<b>Equipos y herramientas</b>					<b>5.85</b>
camión volquete 4x2 140-210 HP 6 m3	HM	0.10	0.036	131.90	4.80
Herramientas	%		0.050	21.13	1.06
<b>TOTAL COSTO DIRECTO</b>					<b>29.98</b>

**MONITOREO (BICICLETA)**

Rendimiento: 10 KM/DIA Unidad: KM

RECURSOS	UND.	CANT.	INDICE	PRECIO S/.	COSTO S/.
<b>Mano de obra</b>					<b>10.40</b>
Operario	HH	1.00	0.800	13.00	10.40
<b>Equipos y herramientas</b>					<b>8.52</b>
BICICLETA	HM	1.00	0.800	10.00	8.00
Herramientas	%		0.050	10.40	0.52
<b>TOTAL COSTO DIRECTO</b>					<b>18.92</b>

**RECUPERACION TOTAL O PARCIAL, ALCANTARILLA DE PVC**

Rendimiento: 3 M/DIA Unidad: M

RECURSOS	UND.	CANT.	INDICE	PRECIO S/.	COSTO S/.
<b>Mano de obra</b>					<b>35.20</b>
Capataz	HH	0.20	0.533	16.00	8.53
Peon P/señalización	HH	1.00	2.667	10.00	26.67
<b>Materiales</b>					<b>3.00</b>
Señales y elementos de seguridad	GLB		1.000	3.00	3.00
<b>Equipos y herramientas</b>					<b>1.76</b>
Herramientas	%		0.050	35.20	1.76
<b>Insumos partida</b>					<b>104.40</b>
EXCAVACION NO CLASIFICADA P/ESTRUCTURAS	M3		1.300	14.00	18.20
CAMA DE ARENA	M3		0.100	12.00	1.20
TUBERIA DE PVC	ML		1.000	85.00	85.00
RELLENO PARA ESTRUCTURAS	M3		0.800	26.00	20.80
MURO DE PIEDRA f'c = 175 kg/cm2, emboquillado 1:5	M3		0.800	110.00	88.00
ENROCADO COLOCADO, DIAM MIN = 8"	M3		0.600	36.00	21.60
<b>TOTAL COSTO DIRECTO</b>					<b>144.36</b>

**RECUPERACION TOTAL O PARCIAL, ALCANTARILLA  
ARTESANAL**

Rendimiento:

6 UND/DIA

Unidad: **UND**

RECURSOS	UND.	CANT.	INDICE	PRECIO S/.	COSTO S/.
<b>Mano de obra</b>					<b>108.00</b>
Capataz	HH	0.50	0.667	16.00	10.67
Operario	HH	1.00	1.333	13.00	17.33
Peon	HH	4.00	5.333	10.00	53.33
Peon P/señalización	HH	2.00	2.667	10.00	26.67
<b>Materiales</b>					<b>3.00</b>
Señales y elementos de seguridad	GLB		1.000	3.00	3.00
<b>Equipos y herramientas</b>					<b>5.40</b>
Herramientas	%		0.050	108.00	5.40
<b>TOTAL COSTO DIRECTO</b>					<b>116.40</b>

## ANEXO 05: PANEL FOTOGRAFICO

Fotografías mostrando el proceso constructivo





Fotografía mostrando el proceso calibración del equipo Merlin



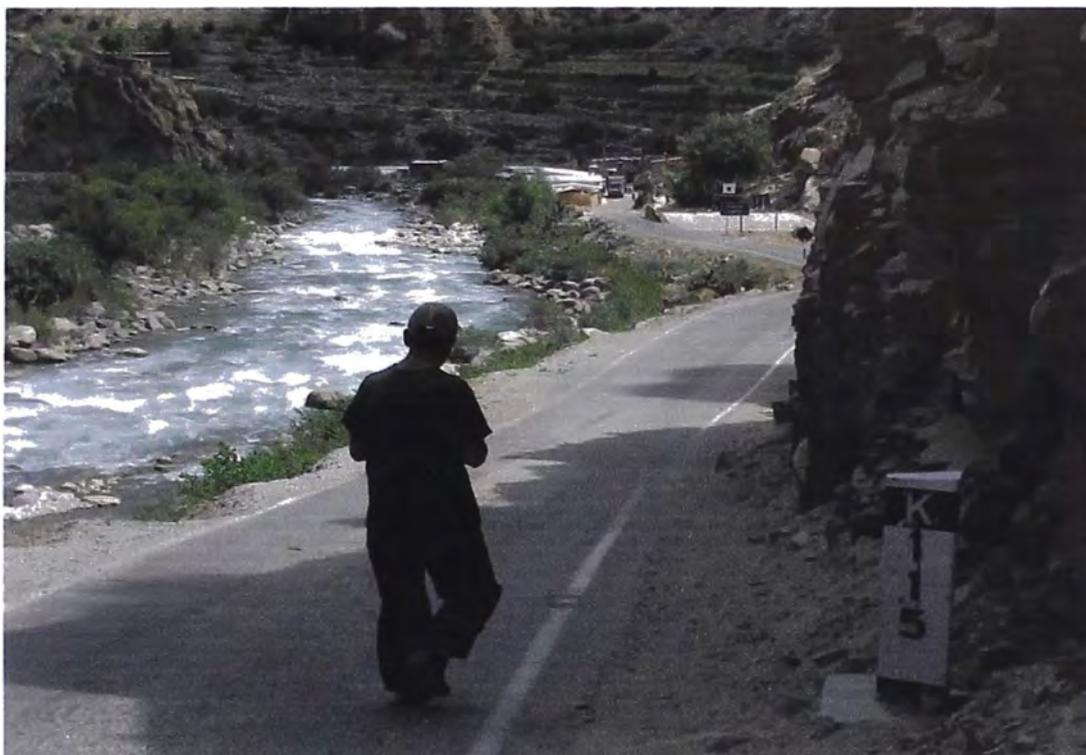
Fotografía mostrando el proceso de medición del IRI



Fotografía mostrando cunetas obstruidas Km. 100+00



Fotografías mostrando Falta de drenaje de coronación - Km. 102+400



Fotografía mostrando el ancho de calzada de 2.5 m.- Km 115+00