

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**



**UTILIZACIÓN DEL EQUIPO MERLIN PARA
DETERMINACIÓN DEL IRI
MONITOREO DE CONSERVACIÓN CARRETERA
CAÑETE-HUANCAYO KM 114+000 AL KM 116+000**

INFORME DE SUFICIENCIA

Para optar el Título Profesional de:

INGENIERO CIVIL

ELMER ENRIQUE NAPANGA NEGREIROS

Lima- Perú

2010

	Página
ÍNDICE	1
RESUMEN	3
LISTA DE CUADROS	4
LISTA DE FIGURAS	5
LISTA DE SÍMBOLOS Y SIGLAS	6
INTRODUCCIÓN	7
CAPÍTULO I : PERFIL DEL PROYECTO	9
1.1. ASPECTOS GENERALES.....	9
1.2. IDENTIFICACIÓN DEL PROYECTO	12
1.3. TRAMO EVALUADO KM. 114+000-116+000 CON TRATAMIENTO SUPERFICIAL MONOCAPA.....	17
CAPÍTULO II : MARCO TEÓRICO	18
2.1. ÍNDICE DE SERVICIABILIDAD DEL PAVIMENTO (PSI).....	18
2.2. ÍNDICE DE RUGOSIDAD INTERNACIONAL (IRI).....	19
2.3. METODOLOGÍA PARA LA DETERMINACIÓN DE LA RUGOSIDAD	20
2.3.1. Correlación D versus IRI.....	21
2.3.2. Método de Medición	22
2.3.3. Método para el cálculo de la rugosidad.....	27
CAPÍTULO III : DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE RUGOSIDAD INTERNACIONAL (IRI), TRAMO 114+000 AL 116,000	31
3.1. DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO	31
3.2. DETERMINACIÓN DE LA RUGOSIDAD DEL TRAMO EVALUADO	34
3.3. DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE RUGOSIDAD INTERNACIONAL (IRI) DEL TRAMO EVALUADO.....	37
3.4. DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE SERVICIABILIDAD DEL TRAMO EVALUADO (PSI).....	37

CAPÍTULO IV : ANÁLISIS DE RESULTADOS	39
4.1. ANÁLISIS DEL ÍNDICE DE SERVICIABILIDAD DEL TRAMO EVALUADO	39
4.2. COMPARACIÓN DE VALORES RUGOSIDAD DEL MONITOREO UNI VERSUS RESULTADOS DE RUGOSIDAD DEL TRAMO EVALUADO	39
4.3. ANÁLISIS DEL ÍNDICE DE SERVICIABILIDAD MEDIANTE LA CURVA DE DETERIORO DEL PAVIMENTO.....	39
CONCLUSIONES	41
RECOMENDACIONES.....	42
BIBLIOGRAFÍA	43
ANEXOS:	

A: Fotografías

B: Resultados de Campo

C: Resumen de Valores de Rugosidad

RESUMEN

Los trabajos realizados en el presente informe, se desarrollaron en el marco del monitoreo de la carretera Cañete – Yauyos – Chupaca, teniendo como objetivos la evaluación de la rugosidad con el equipo Merlín, y el nivel de confort, respecto al comportamiento en el tiempo que tiene la superficie de rodadura.

La evaluación de la rugosidad se realizó para el tramo comprendido entre las progresivas Km. 114+00 al Km. 116+000 en el cual se ubican los poblados de PUENTE AUCO, específicamente la evaluación de la rugosidad fue realizada en los sub tramos comprendidos en las progresivas Km. 114+800 al Km. 115+200 y Km. 115+600 al Km. 116+000 comprendiendo una longitud de 400 metros por tramo respectivamente, las cuales se caracterizan por tener un tipo de superficie de rodadura de tipo monocapa sobre una base estabilizada con un ancho de vía que varía de 3,00 a 3,50 m.

Actualmente no se tiene valores estándar de rugosidad para este tipo de tratamiento superficial aplicado para el tramo evaluado, por lo que se hace necesario realizar mediciones periódicas, para poder así tener valores de rugosidad los cuales nos permitan predecir el comportamiento de la superficie de rodadura durante el tiempo de vida útil para este tipo de superficie de rodadura.

El equipo Merlín aplicado en la determinación de la rugosidad de los tramos mencionados, es un equipo muy práctico, obteniéndose como resultados de índice de rugosidad 4,37 m/Km y 5,30 m/Km en los tramos evaluados, lo que da como valores de índice de serviciabilidad de 2,34 y 1,98 que corresponden a una vía en regulares a malas condiciones de transitabilidad.

LISTA DE CUADROS

Cuadro N°1.01: Tramificación y Características Generales.....	13
Cuadro N°1.02: Altitud, Región y Características.....	13
Cuadro N°2.01: Condición Funcional del Pavimento.....	18
Cuadro N°3.01: Cuadro de Datos de Rugosidad con Equipo MERLIN Km. 115+600 al Km. 116+000.....	33
Cuadro N°3.02: Cuadro de Datos de Rugosidad con Equipo MERLIN Km. 114+800 al Km. 115+200.....	34
Cuadro N°3.03: Resultados de Rugosidad.....	35
Cuadro N°3.04: Factor de Corrección del MERLIN.....	36
Cuadro N°3.05: Valores de Rugosidad Corregidos.....	36
Cuadro N°3.06: Cuadro de Resultados del Índice de Rugosidad Internacional (IRI).....	37
Cuadro N°3.07: Resultados de Índice de Serviciabilidad de los Tramos Evaluados.....	38

LISTA DE FIGURAS

Figura N°1.01: Ubicación de la Zona de Estudio.....	10
Figura N°1.02: Perfil Topográfico de la Carretera Cañete-Lunahuaná-Chupaca-Huancayo.....	14
Figura N°1.03: Ubicación de los Centros Poblados Aledaños a la Carretera	15
Figura N°1.04: Situación Actual 2010.....	16
Figura N°2.01: Medición de las desviaciones de la superficie del pavimento respecto de la cuerda promedio.....	20
Figura N°2.02: Histograma de la distribución de frecuencias de una muestra de 200 desviaciones medidas en forma consecutiva.....	21
Figura N°2.03: Esquema de Rugosímetro MERLIN.....	24
Figura N°2.04: Escala para determinar la dispersión de las desviaciones de la superficie del pavimento respecto del nivel de referencia o cuerda promedio.....	25
Figura N°2.05: Formato para la recolección de datos de campo.....	28
Figura N°3.01: Vista del estado deteriorado de la vía y marcado del tramo de la carretera, Km 114+080.....	31
Figura N°3.02: Vista de la calibración del equipo con la pastilla.....	32
Figura N°3.03: Vista del momento del ensayo y de la toma de datos.....	33
Figura N°3.04: Gráfico de histogramas del tramo Km. 115+600 al Km. 116+000	35
Figura N°3.05: Gráfico de histogramas del tramo Km. 114+800 al Km. 115+200	35
Figura N°4.01: Curva de Deterioro de la Vía.....	40

LISTA DE SÍMBOLOS Y SIGLAS

AASHTO: American Association of State Highway and Transportation Officials.

B : Base.

CA : Carpeta Asfáltica.

CBR : California Bearing Ratio (Razón de Soporte de California).

EAL : Equivalent Axis Load (Eje Equivalente de Carga).

F.C. : Factor de Corrección.

IMD : Índice Medio Diario.

IRI : Índice de Rugosidad Internacional.

Km : Kilómetro.

Kg : Kilogramo.

m : Metro Lineal.

m² : Metro Cuadrado.

m³ : Metro Cúbico.

MERLIN : Machine for Evaluation Roughness using Low-cost Instrumentation.

Mr : Module Resiliente.

m.s.n.m : Metros Sobre el Nivel del Mar.

n : Periodo de Diseño.

PSI : Índice de Serviciabilidad del Pavimento.

SUCS : Sistema Unificado de Clasificación de Suelos.

SB : Sub Base.

TSM : Tratamiento Superficial Monocapa.

TRRL : Transport and Road Research Laboratory.

INTRODUCCIÓN

La facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Ingeniería, como parte del Curso de Titulación del presente año 2010, ha programado el Proyecto de Evaluación Pavimentos de Bajo Volumen de Tráfico con fines de Mantenimiento y Rehabilitación, Monitoreo de Conservación Carretera Cañete – Huancayo Km. 114+000 al Km. 116+000, enmarcado en el Convenio UNI-MTC.

Actualmente el tramo evaluado presenta un tipo de solución básica que se viene implementando, como es colocación de un tratamiento superficial monocapa sobre una base estabilizada, construida en el mes de noviembre del 2008.

El desarrollo del presente informe tiene como objetivo principal aportar con datos estándares de rugosidad en el monitoreo de los trabajos de mantenimiento y conservación de carreteras debido a que no se cuentan con valores estándar de rugosidad para el tipo de solución básica empleada en el tramo evaluado, los valores obtenidos de rugosidad de la solución básica aplicada tienen la finalidad de contribuir en la elaboración de un manual de mediciones de rugosidad en vías de bajo volumen de tránsito, es importante realizar mediciones de rugosidad de una carretera ya que los valores de rugosidad permiten determinar el nivel de serviciabilidad que tiene la vía.

La determinación de la rugosidad es un método mundialmente aceptado el cual permite medir las condiciones de confort, seguridad vial y serviciabilidad que presenta la superficie de rodadura de la vía durante su tiempo de servicio, por tal en el presente informe se desarrolla la evaluación de la rugosidad de los tramos específicos mencionados.

Además se tiene como objetivos específicos el realizar la medición de la Rugosidad del pavimento mediante el uso del equipo Merlin en la carretera Cañete – Yauyos – Chupaca del Km. 114+000 al Km. 116+000, y presentar el procesamiento de datos de campo, presentar el valor de Serviciabilidad del Pavimento (PSI) de acuerdo a la rugosidad obtenida, y finalmente la elaboración de cuadros estadísticos.

Para alcanzar los objetivos antes señalados, el presente informe se divide en cuatro capítulos, los cuales se detallan a continuación:

Capítulo 1: Generalidades.- Este capítulo sirve como antecedente para tener conocimiento sobre las características y la situación actual de la carretera Cañete – Yauyos – Chupaca en el tramo analizado por el presente Curso de Titulación, además de iniciar la identificación del sub tramo asignado para la evaluación de la rugosidad del presente informe.

Capítulo 2: Marco Teórico.- En este capítulo se desarrolla los fundamentos teóricos y/o conceptuales que se requieren para el desarrollo del presente Informe de Suficiencia.

Capítulo 3: Aplicación al Tramo Km. 114+000 al 116+000.- En este capítulo se presentan todos los procedimientos para obtener, como resultado de la evaluación realizada, el valor del índice de Rugosidad Internacional (IRI) y del Índice de Serviciabilidad del Pavimento (PSI).

Capítulo 4: Análisis de Resultados.- En este capítulo se analizan todos los resultados obtenidos de la evaluación realizada, los cuales permitirán dar conclusiones y recomendaciones para la correcta ejecución de la obra. Además se desarrollará el procesamiento de Valores IRI proporcionados por el Monitoreo UNI.

CAPITULO I PERFIL DEL PROYECTO

1.1. ASPECTOS GENERALES

NOMBRE DEL PROYECTO

Utilización del equipo Merlín para determinación del IRI.

Monitoreo de Conservación Carretera Cañete – Huancayo Km. 114+000 al Km. 116+000.

UBICACIÓN

La zona de estudio comprende 2 kilómetros ubicada entre los kilómetros 114+000 y 116+000 en la carretera Cañete-Lunahuaná-Chupaca-Huancayo, la cual pertenece a la Ruta N° 22 de la Red Vial Nacional del Perú (Corredor Vial N° 13), la carretera en mención interconecta los departamentos de Lima y Junín, iniciando en la provincia de Cañete(Lima) a la altura del Km. 144 de la Panamericana Sur y finalizando en la ciudad de Huancayo en el Departamento de Junín, teniendo una longitud total de 271,730 km, dicha carretera intercomunica las provincias de Cañete, Yauyos, Concepción, Chupaca y Huancayo.



Figura N°1.01: Ubicación de la zona de estudio

Fuente: Panel fotográfico

Marco de Referencia

La Carretera Cañete-Lunahuaná-Chupaca-Huancayo 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, el programa "Proyecto Perú" 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 mejoramiento y estudio de la carretera Cañete-Lunahuaná-Chupaca-Huancayo nace de la necesidad de elevar el nivel de calidad de vida de las poblaciones aledañas a la carretera, además de optar por un desvío alternativo para la Carretera Central la cual actualmente presenta un tránsito lento provocado en ocasiones por huaicos, paros, accidentes de tránsito, etc.

En la actualidad la carretera Cañete-Lunahuaná-Chupaca-Huancayo presenta muchas deficiencias en cuanto a geometría, señalización, superficie de rodadura

y demás características que debe de tener una carretera para su buen tránsito, por la falta de accesibilidad de la carretera en mención se genera poca transitabilidad y por tal motivo bajo nivel de la calidad de vida.

Finalmente la carretera Cañete-Lunahuaná-Chupaca-Huancayo reúne todas las características para su mejoramiento y conservación, para generar una mayor transitabilidad, lo que finalmente se traducirá en una integración económica de las poblaciones aledañas a la carretera en mención.

Antecedentes

La carretera de penetración y enlace entre Cañete-Lunahuaná-Chupaca-Huancayo, fue proyectada y ejecutada por partes durante el gobierno del Sr. Augusto B. Leguía entre la década de 1920 a 1930, mediante la Ley decretada de la Conscripción Vial Territorial del Perú. Esta carretera conocida como Corredor Vial N° 13 Cañete-Lunahuaná-Chupaca-Huancayo, forma parte de la Ruta N° PE-24, con una longitud total de 271.73 km, la carretera Cañete-Lunahuaná-Chupaca-Huancayo forma parte de proyecto de desarrollo vial "Proyecto Perú" y se encuentra entre los departamentos de Lima y Junín, y su ámbito de desarrollo abarca las provincias de Cañete, Yauyos, Concepción, Chupaca y Huancayo.

Durante décadas la necesidad de interconexión territorial ha sido una de las preocupaciones de la población de los distritos de Imperial, Nuevo Imperial, Lunahuana, San Vicente de Cañete, Pacarán, Zúñiga, Yauyos, Alis, Ayauca, Cakra, Catahuasi, Huancaya, Huantan, Laraos, San José de Quero, San Juan de Jarpa, Tomas, Chupaca y Huancayo, que forman parte de las principales poblaciones aledañas a la carretera.

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 Ronchas-Chupaca y Rehabilitación del Tramo Zúñiga-Dv. Yauyos-Ronchas.

Debido a que actualmente esta vía forma parte del programa de desarrollo vial “Proyecto Perú”, se encuentra sujeta a un contrato de mantenimiento y transitabilidad vehicular durante 5 años por niveles de servicios (de los cuales ya han transcurrido 02 años), en el cual la empresa contratista desde el momento de la firma del contrato viene realizado el mantenimiento rutinario de toda la vía, el mantenimiento periódico de los tramos evaluados, la atención de emergencias, el monitoreo de la carretera, así como la colocación de la solución básica (base estabilizada con recubrimiento bituminoso), pero sin mejora en la geometría de las secciones ni el perfil de la vía; no obstante, esta vía no se encuentra en condiciones de soportar el volumen de tráfico que implicaría el convertirse en una alternativa viable de la Carretera Central, la cual sufre, en algunas épocas del año, interrupciones importantes debido a constantes deslizamientos como consecuencia de las fuertes lluvias que caen en la zona central del país. Es por esta razón que se tiene la necesidad de mejorar prioritariamente esta vía como un factor indispensable para dinamizar la economía, mejorar las condiciones de seguridad del tránsito, aligerar el tránsito vehicular y disminuir el tiempo de viaje entre Lima (Cañete) y Huancayo.

Lineamientos de Políticas de Desarrollo con el Proyecto

El mejoramiento de esta carretera, se encuentra enmarcado dentro 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.

1.2. IDENTIFICACION DEL PROYECTO

Situación y problemática que motiva el proyecto

Actualmente la carretera en Cañete-Lunahuaná-Chupaca-Huancayo presenta una base de rodadura de tipo Aşfaltada o Monocapa en sus diversos tramos respectivamente; esta clase de superficie de rodadura se encuentra diseñada para vehículos ligeros, pero por diversos agentes como agentes climatológicos, mal sistema de drenaje, el paso de los vehículos muy pesados y otras causas la

carretera presenta considerable deterioro en su superficie lo que ocasiona una disminución de la velocidad de marcha y finalmente todo esto se traduce en problemas de transitabilidad.

Para tales efectos de estudio y consideraciones de altitud en la que encuentran los tramos de la carretera, se ha dividido el proyecto en 7 tramos, determinados principalmente por el tránsito que soportan y a la vez por la topografía característica. Estos tramos son:

Cuadro N°1.01: Tramificación y Características Generales

Tramo	Itinerario	Longitud (km)	Región	Superficie	Topografía	Condición	IMDa
							2010
I	Cañete-Lunahuaná	39.95	Costa	Asfaltada	Ondulada	Buena	1477
II	Lunahuaná – Pacarán	11.91	Costa	Asfaltada	Ondulada	Regular	555
III	Pacarán – Zúñiga	3.74	Costa	Monocapa	Ondulada	Regular	520
IV	Zúñiga – Dv. Yauyos	70.4	Sierra	Monocapa	Accidentada	Regular	1145
V	Dv. Yauyos – Ronchas	128.19	Sierra	Monocapa	Accidentada	Regular	533
VI	Ronchas – Chupaca	16.54	Sierra	Monocapa	Ondulada	Regular	908
VII	Chupaca-Huancayo	11	Sierra	Asfaltado	Ondulada	Buena	

Fuente: Provias Nacional-Proyecto Perú

En el siguiente cuadro se presentan las cotas de poblaciones entre los tramos de la carretera.

Cuadro N°1.02: Altitud, Región y Características

Itinerario	Progresiva (km)	Superficie	Topografía	Condición	Altitud (msnm)	Región
Cañete	01+850	Asfaltada	Ondulada	Buena	71	Chala
Lunahuaná	38+975	Asfaltada	Ondulada	Regular	494	Chala
Pacarán	54+662	Monocapa	Ondulada	Regular	710	Yunga
Zúñiga	58+405	Monocapa	Accidentada	Regular	821	Yunga
Dv. Yauyos	128+805	Monocapa	Accidentada	Regular	2289	Yunga
Ronchas	256+990	Monocapa	Ondulada	Regular	3458	Quechua
Chupaca	273+531	Asfaltado	Ondulada	Buena	3270	Quechua
Huancayo	284+531	Asfaltado	Ondulada	Buena	3249	Quechua

Fuente: Provias Nacional-Proyecto Perú

En la siguiente figura se presenta el perfil altitudinal de la carretera de acuerdo al kilometraje.

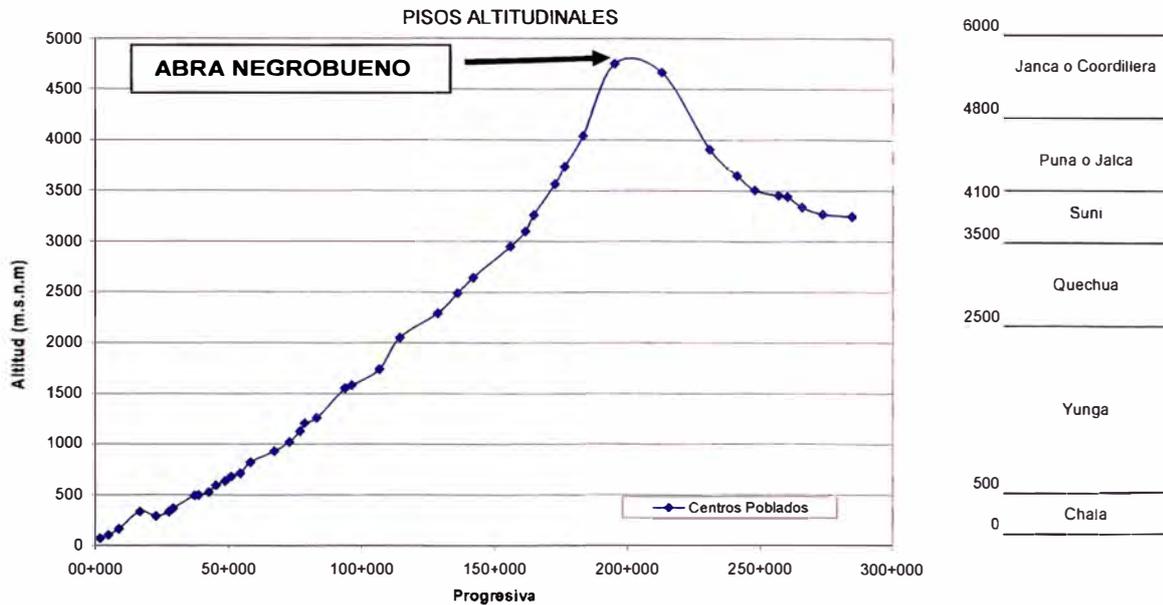


Figura N°1.02: Perfil Topográfico de la Carretera Cañete-Lunahuaná-Chupaca-Huancayo

Fuente: Elaboración propia

Finalmente refiriéndonos al tramo en estudio Km 114+000 al Km. 116+000 podemos indicar las condiciones y características en las que se encuentra la carretera:

En este tramo se encuentra la comunidad Puente Auco (Km. 115+605) la cual se encuentra a una altura de 2051 m.s.n.m. La orografía del tramo en mención es accidentada con pendientes muy pronunciadas, casi en todo su tramo se encuentra roca en un 80% y suelo de tipo coluvial en un 20%.

El ancho de plataforma es muy variable cuyo valor oscila entre 3.0 m y 3.5 m, el valor mínimo es debido al corte de talud en la roca así como también a la acción erosiva del río. En este tramo se puede apreciar un tipo de superficie de rodadura de tipo monocapa el cual se encuentra en condiciones regulares, la cual determina el confort que el usuario tiene al transitar por dicho tramo.

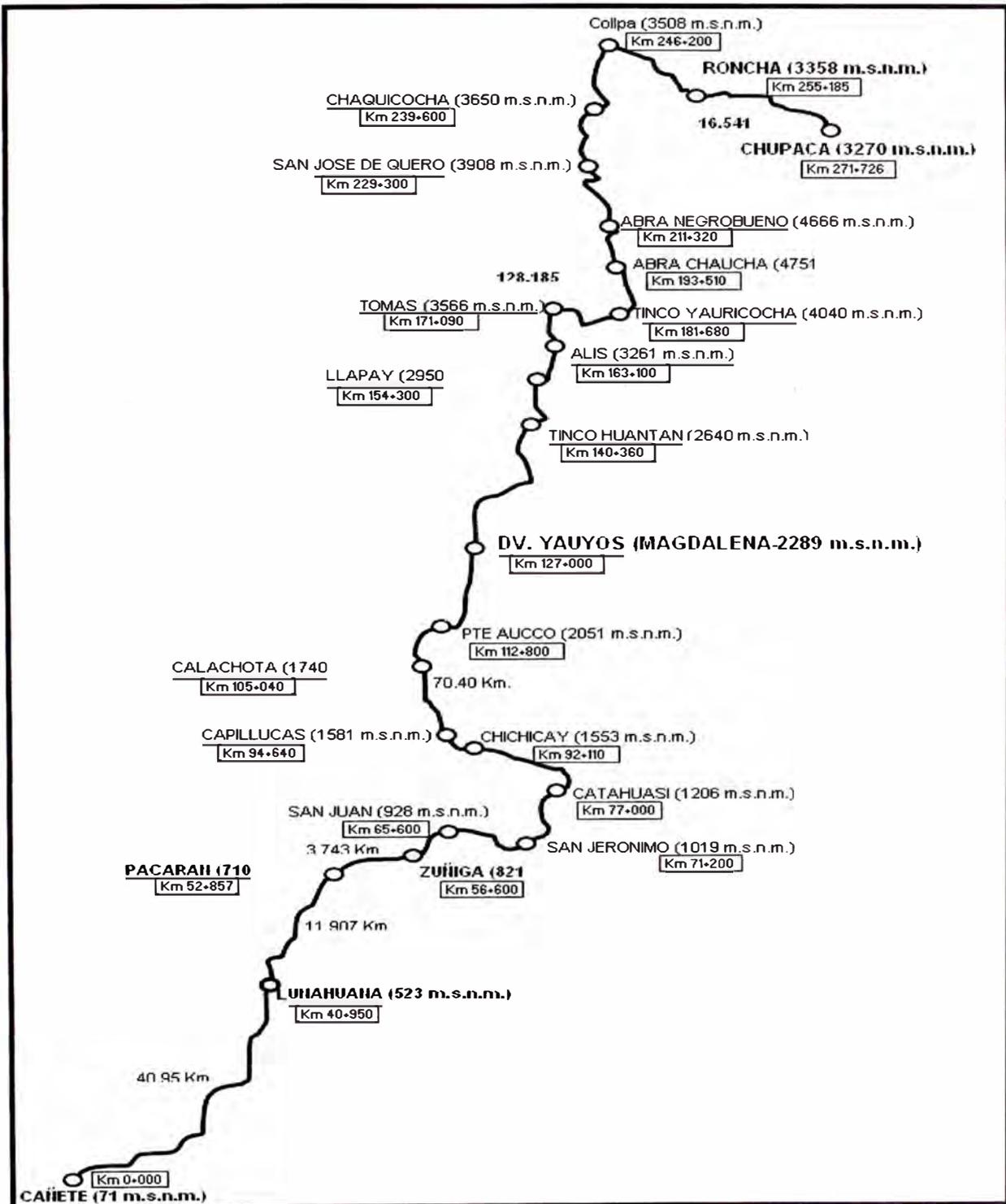


Figura N°1.03: Ubicación de los centros poblados aledaños a la carretera

Fuente: Elaboración propia

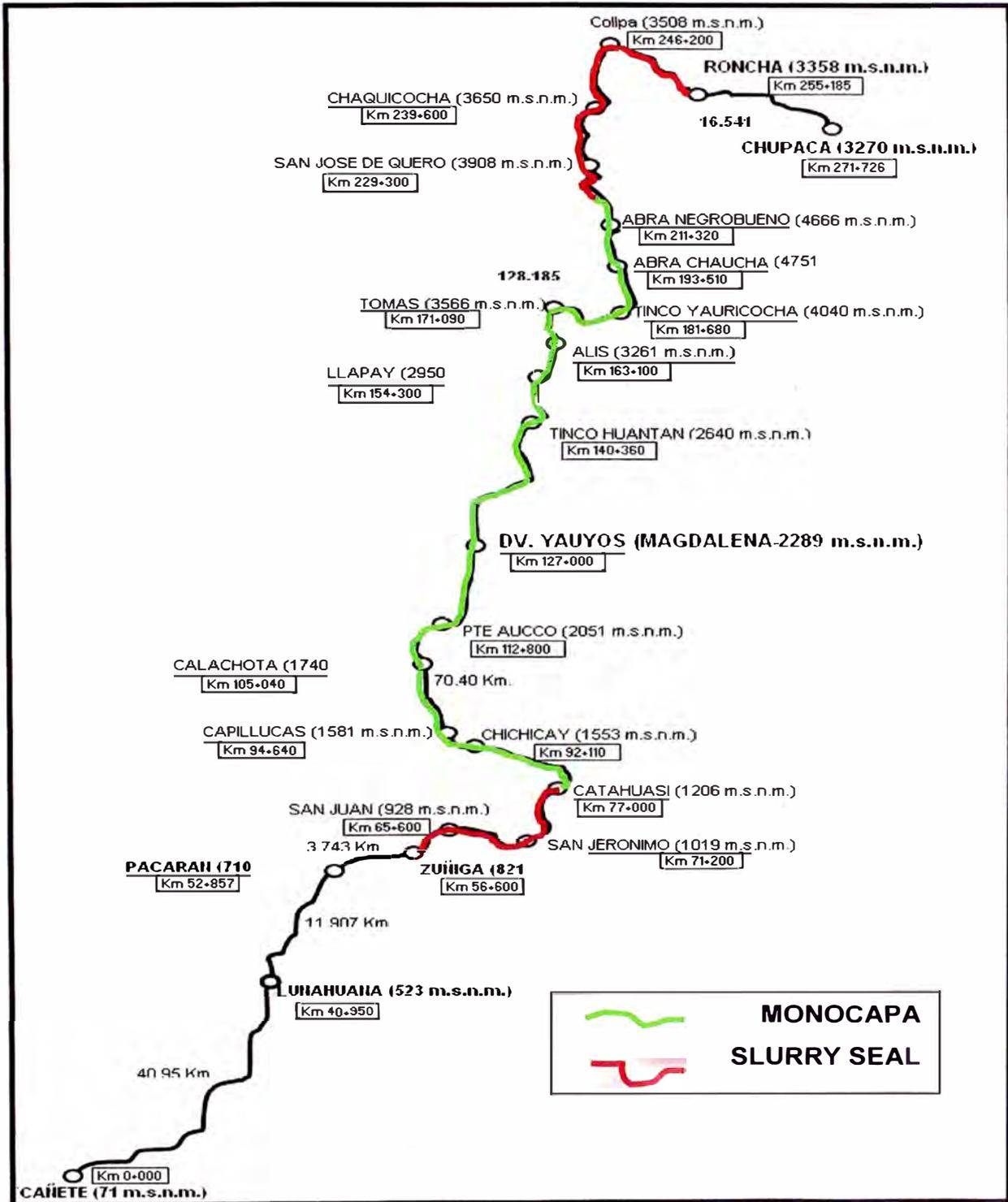


Figura N°1.04: Situación Actual 2010

Fuente: Consorcio Gestión de Carreteras

1.3. TRAMO EVALUADO KM. 114+000-116+000 CON TRATAMIENTO SUPERFICIAL MONOCAPA

El tramo evaluado comprende 2 kilómetros de la carretera Cañete-Lunahuaná-Chupaca-Huancayo comprendidos en los kilómetros 114+000 al kilómetro 116+000, el tipo de superficie de rodadura es de tipo monocapa, encontrándose en estado considerable de desgastes, además este tramo presenta deficiencia en su trazo geométrico, como son curvas cerradas, vías muy estrechas, además de presentar deficiencias en su geometría hay sectores en donde se puede apreciar que existen tramos donde puede haber desprendimiento de rocas, entre otros podemos mencionar también sectores críticos los cuales se encuentran próximos a las riveras del río los cuales ante una crecida eventual podrían destruirse.

En el tramo evaluado se puede apreciar que casi en su totalidad en la vía se encuentra roca en un 80% de todo el tramo, en el sector comprendido en el poblado de Puente Auco se puede apreciar que se encuentra suelo de tipo aluvional.

Otra problema encontrado en la vía es la falta de un sistema de drenaje, la vía presenta cunetas las cuales se encuentran colmatadas casi en su totalidad, en otra parte de la vía se puede apreciar que las cunetas no tienen profundidad lo cual dificulta el drenaje de la vía lo que finalmente se traduce como deficiente sistema de drenaje.

CAPITULO II MARCO TEORICO

2.1. INDICE DE SERVICIABILIDAD DEL PAVIMENTO (PSI)

El concepto de Serviciabilidad fue desarrollada en la AASHTO Road Test en el año 1962 y se define como la condición de un pavimento para proveer un manejo seguro y confortable a los usuarios en un determinado momento. La unidad de medida de la serviciabilidad que presenta un pavimento es el Índice de Serviciabilidad Presente (PSI, Present Serviciabilty Index).

Los valores de PSI varían de 1 a 5 y establecen la condición funcional del pavimento, desde el punto de vista de la calidad de la transitabilidad, según el siguiente cuadro:

Cuadro N°2.01: Condición Funcional del Pavimento según el PSI.

Rango de Serviciabilidad del Pavimento (PSI)	Transitabilidad (Calificativo)
0 – 1	Muy Mala
1 – 2	Mala
2 – 3	Regular
3 – 4	Buena
4 – 5	Muy Buena

Fuente: AASHTO - 1962

El índice de serviciabilidad se determina mediante una correlación con el valor del índice de rugosidad internacional (IRI), a continuación se presenta la correlación entre el índice de serviciabilidad del pavimento y el índice de rugosidad internacional.

$$PSI = 5,85 - 1,68(IRI)^{0,5}$$

Dónde:

PSI: Índice de serviciabilidad del pavimento

IRI: Índice de rugosidad internacional

2.2. INDICE DE RUGOSIDAD INTERNACIONAL (IRI)

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

El Índice Internacional de Rugosidad, mejor conocido como IRI (International Roughness Index), fue propuesto por el Banco Mundial en 1986 como un estándar estadístico de la rugosidad y sirve como parámetro de referencia en la medición de la calidad de rodadura de un camino. El Índice Internacional de Rugosidad tiene sus orígenes en un programa Norteamericano llamado Nacional Cooperative Highway Research Program (NCHRP) y está basado en un modelo llamado "Golden Car" descrito en el reporte 228 del NCHRP.

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

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

2.3. METODOLOGIA PARA LA DETERMINACION DE LA RUGOSIDAD

Fundamentos Teóricos

La determinación de la rugosidad de un pavimento se basa en el concepto de usar la distribución de las desviaciones de la superficie respecto de una cuerda promedio. La Figura N°5 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”.

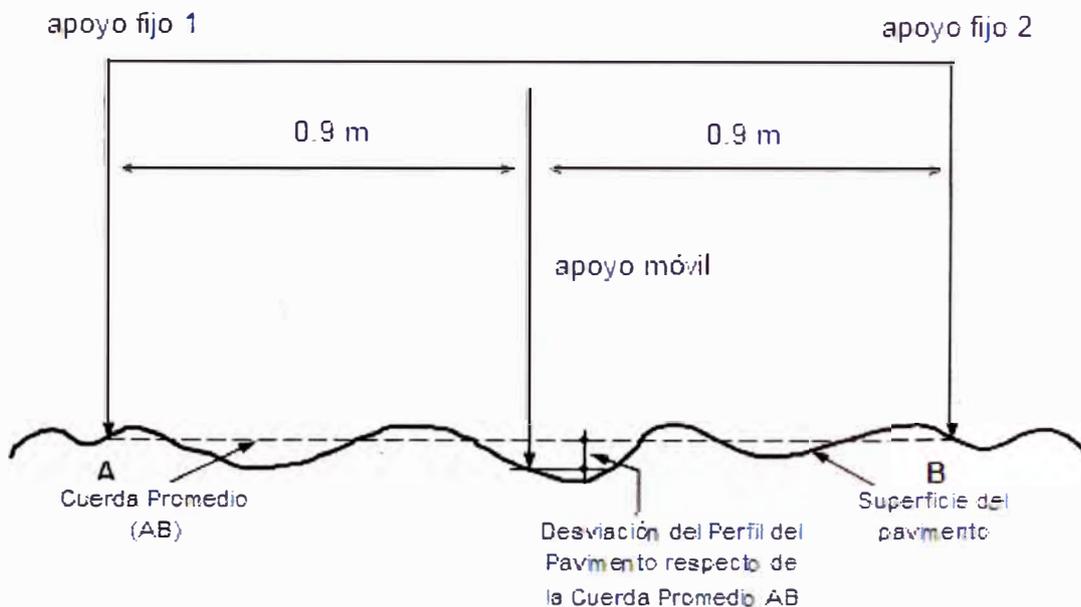


Figura N°2.01: Medición de las desviaciones de la superficie del pavimento respecto de la cuerda promedio

Fuente: M. A. Cundill – TRRL Research Report 301.

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

histograma de la distribución de frecuencias de las 200 mediciones, es posible medir la dispersión de las desviaciones y correlacionarla con la escala estándar de la rugosidad (Ver Figura N°6). El parámetro estadístico que establece la magnitud de la dispersión es el Rango de la muestra (D), determinado luego de efectuar una depuración del 10% de observaciones (10 datos en cada cola del histograma). El valor D es la rugosidad del pavimento en “unidades MERLIN”.

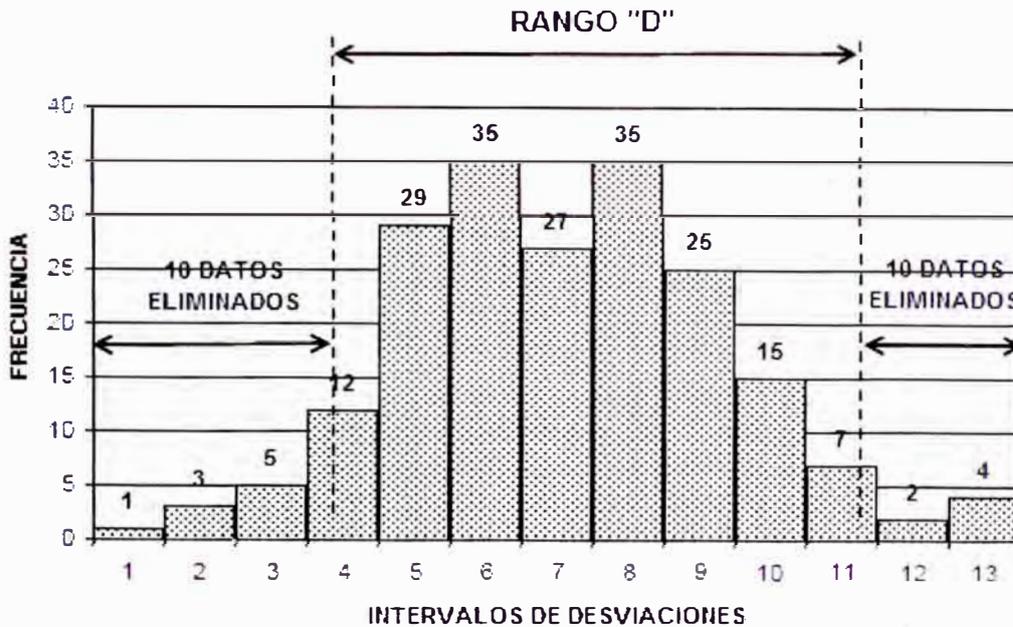


Figura N°2.02: Histograma de la distribución de frecuencias de una muestra de 200 desviaciones medidas en forma consecutiva.

Fuente: M. A. Cundill – TRRL Research Report 301.

2.3.1. Correlación 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:

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

$$\text{Cuando } \text{IRI} < 2.4, \text{ entonces } \text{IRI} = 0.0485 D \quad (2)$$

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

La expresión 2 es la ecuación de correlación establecida 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.

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

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

2.3.2. Método de Medición

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 por Ing. Pablo del Águila en 1993, existiendo a la fecha considerables unidades pertenecientes a otras tantas empresas constructoras y consultoras.

De acuerdo con la clasificación del Banco Mundial los métodos para la medición de la rugosidad se agrupan en 4 clases, siendo los de Clase 1 los más exactos

(Mira y Nivel, TRRL Beam, perfilómetros estáticos). La Clase 2 agrupa a los métodos que utilizan los perfilómetros estáticos y dinámicos, pero que no cumplen con los niveles de exactitud que son exigidos para la Clase 1. Los métodos Clase 3 utilizan ecuaciones de correlación para derivar sus resultados a la escala del IRI (Bump integrator, Mays meter). Los métodos Clase 4 permiten obtener resultados meramente referenciales y se emplean cuando se requieren únicamente estimaciones gruesas de la rugosidad.

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°7 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.

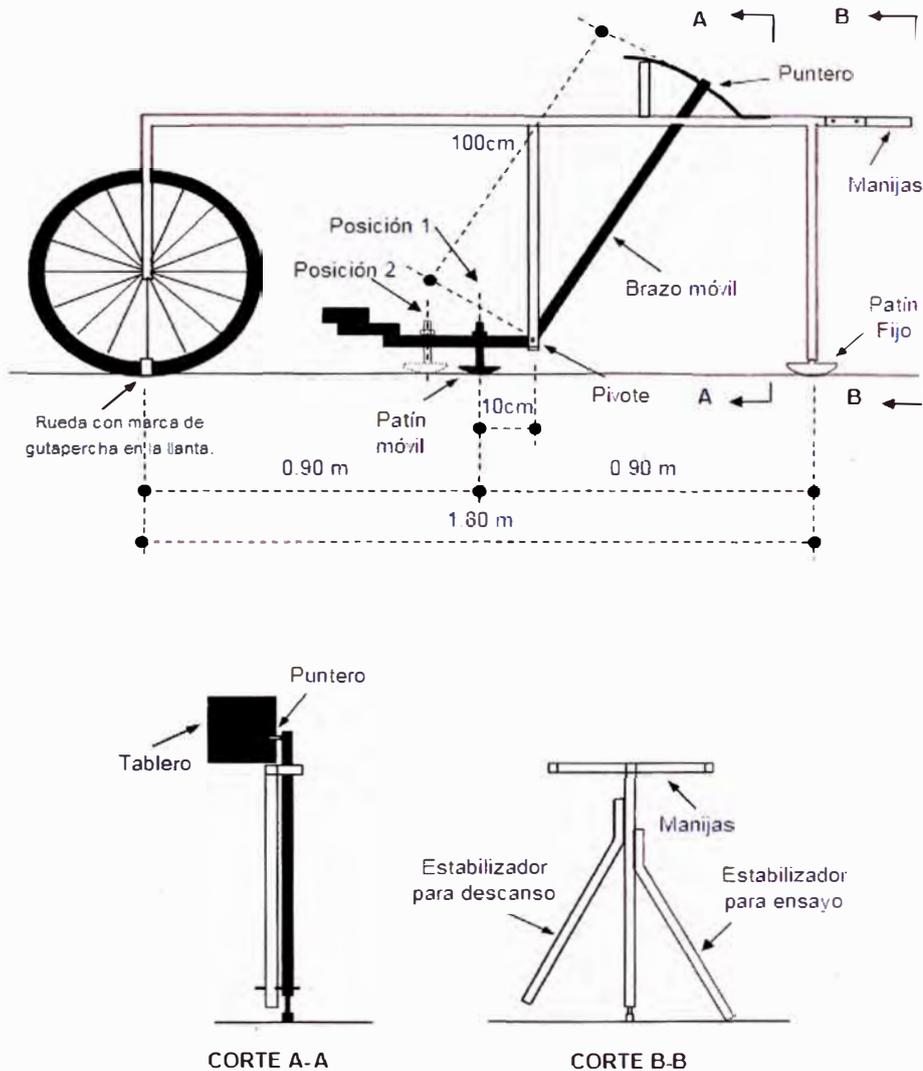


Figura N°2.03: Esquema del Rugosímetro MERLIN

Fuente: M. A. Cundill – TRRL Research Report 301.

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 cuál 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 cuál se desliza el puntero (Ver Figura N°8).

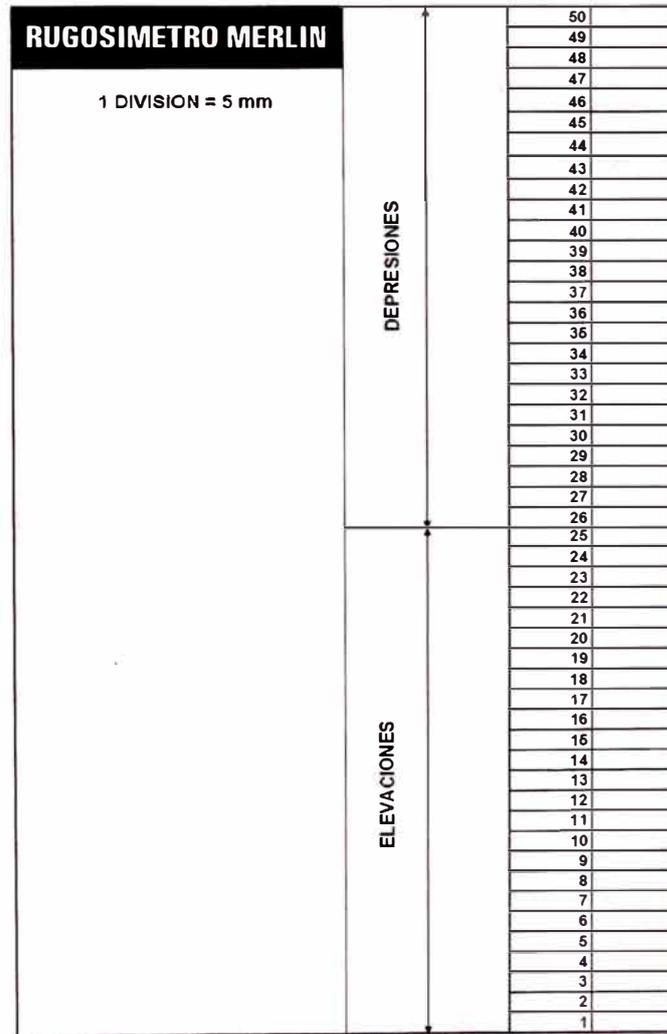


Figura N°2.04: Escala para determinar la dispersión de las desviaciones de la superficie del pavimento respecto del nivel de referencia o cuerda promedio.

Fuente: M. A. Cundill – TRRL Research Report 301.

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

Para determinar un valor de rugosidad se deben efectuar 200 observaciones de las “irregularidades que presenta el pavimento” (desviaciones relativas a la cuerda promedio), cada una de las cuáles son detectadas por el patín móvil del 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.

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 (Figura N°7, Corte B-B). La posición que adopta el puntero corresponderá a una lectura entre 1 y 50, la que se anotará en un formato de campo, tal como el mostrado en el Figura N°9. 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.

2.3.3. Método para el cálculo de la rugosidad

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).

**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											RECAPED 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 : _____

Figura N°2.05: Formato para la recolección de datos de campo

Fuente: M. A. Cundill – TRRL Research Report 301.

La dispersión de los datos obtenidos con el MERLIN se analiza calculando la distribución de frecuencias de las lecturas o posiciones adoptadas por el puntero, la cual puede expresarse, para fines didácticos, en forma de histograma (Figura N°6).

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°6, por ejemplo, en el extremo inferior del histograma, se tiene que por efecto del descarte de los 10 datos se eliminan los intervalos 1, 2 y 3, y un dato de los doce que pertenecen al

intervalo 4, en consecuencia resulta una unidad fraccionada igual a $11/12=0.92$. Caso similar sucede en el extremo superior del histograma, en donde resulta una unidad fraccionada igual a $3/7=0.43$. Se tiene en consecuencia un Rango igual a $0.92+6+0.43=7.35$ unidades.

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

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

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

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

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

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

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

donde,

EP : Espesor de la pastilla

LI : Posición inicial del puntero

LF : Posición final del puntero

Cálculo del Rango “D” corregido

El valor de rugosidad “D” calculado, deberá modificarse considerando el Factor de Corrección “F.C.”. El valor D corregido será $F.C. \times D$.

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

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).

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

$$\text{Cuando } \text{IRI} < 2.4, \text{ entonces } \text{IRI} = 0.0485 D \quad (2)$$

CAPITULO III DETERMINACION DEL INDICE DE RUGOSIDAD INTERNACIONAL (IRI), TRAMO Km. 114+000 AL Km. 116,000

3.1. DESCRIPCION DEL ENSAYO

Evaluación y numeración de puntos del tramo en estudio

Previo a los de los ensayos con el equipo Merlín se realizó una evaluación y numeración de puntos en todo el tramo en estudio, en la evaluación del tramo que corresponde a 2 kilómetros, se eligieron dos tramos representativos a los 2 kilómetros en los cuales posteriormente se realizaron los ensayos para determinar la rugosidad con el equipo Merlín, posterior a la evaluación de campo se optó por tomar los tramos Km. 114+800 al Km. 115+200 y Km. 115+600 al Km. 116+000 para poder así determinar la rugosidad de todo el tramo en estudio, los tramos representativos corresponden a 400 metros cada uno respectivamente, conjuntamente a la evaluación de campo se realizó el marcado de todo el tramo, iniciando en el Km. 114+000, marcando cada 10 metros y finalizando en el kilómetro Km. 116+000, la finalidad de la numeración de puntos en todo el tramo sirvió para poder ubicar con exactitud los tramos críticos, tramos muy deteriorados, etc.

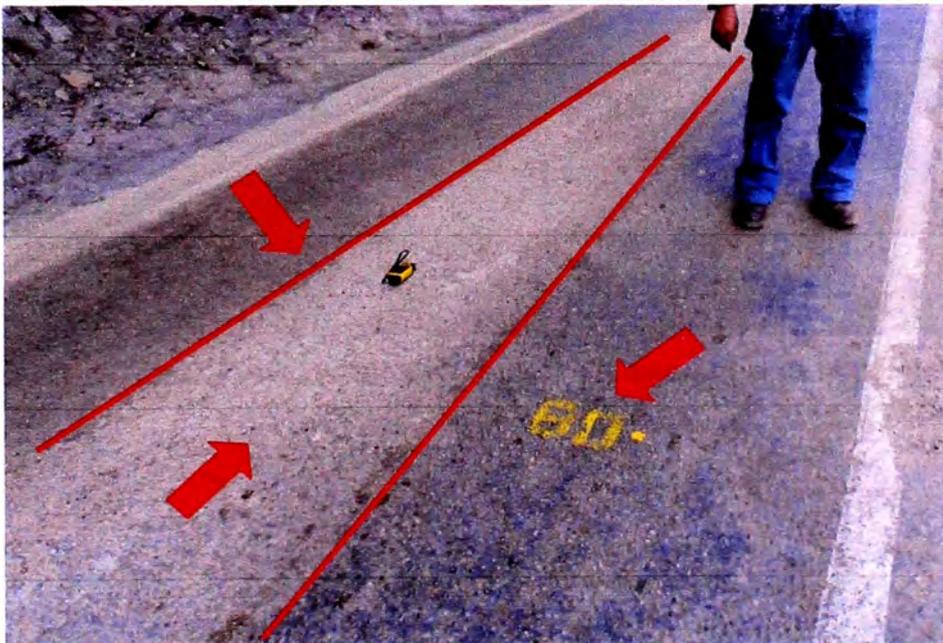


Figura N°3.01: Vista del estado deteriorado de la vía y marcado del tramo de la carretera, Km. 114+080

Fuente: Panel fotográfico de campo.

Realización del ensayo y toma de datos de campo

La toma de datos de campo de los tramos representativos a los 2 kilómetros en estudio se realizaron con el equipo MERLIN, previamente al ensayo se realizó la corrección del equipo con la pastilla, luego ubicando el puntero en el centro de la hoja posicionada en el tablero, la metodología utilizada consistió en una cuadrilla de 4 personas dos de las cuales se ubicaron estratégicamente, una por delante y otra por detrás, dichas personas cumplieron la función de desviar el tráfico evitando los posibles accidentes de tránsito que puedan ocurrir al momento de la realización del ensayo, las otras dos personas una de las cuales operario del equipo MERLIN y la otra anotador de los datos del ensayo.



Figura N°3.02: Vista de la calibración del equipo con la pastilla.

Fuente: Panel fotográfico de campo



Figura N°3.03: Vista del momento del ensayo y de la toma de datos.

Fuente: Panel fotográfico de campo

Cuadro N°3.01: Cuadro de Datos de Rugosidad con equipo MERLIN

Tramo Km. 115+600 al Km.116+000										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	1	25	30	28	27	25	26	27	22	24
2	34	22	21	22	19	25	26	14	28	23
3	27	19	18	23	21	18	23	23	27	23
4	16	17	16	28	27	29	11	27	25	19
5	22	26	27	24	21	14	20	24	28	17
6	20	22	25	26	30	29	20	19	26	21
7	17	23	19	28	31	25	21	21	15	25
8	18	17	19	43	32	15	24	20	23	26
9	14	12	17	16	26	24	28	14	14	18
10	22	21	26	18	20	18	17	19	9	26
11	16	20	20	25	28	24	25	19	22	24
12	15	13	19	20	34	32	23	25	11	20
13	18	31	22	23	28	26	26	25	18	19
14	27	18	17	26	21	21	28	22	21	23
15	17	22	19	26	14	29	19	23	13	22
16	23	26	23	32	35	12	16	14	17	26
17	20	22	16	25	20	33	25	22	26	21
18	26	19	23	23	32	24	19	19	26	24
19	12	19	19	22	17	28	30	12	20	14
20	21	20	26	31	26	15	29	21	19	13

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro N°3.02: Cuadro de Datos de Rugosidad con equipo MERLIN

Tramo Km. 114+800 al Km.115+200										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	16	18	15	20	27	25	9	19	26	19
2	11	29	20	31	21	17	26	25	26	19
3	28	23	12	23	31	16	18	23	24	22
4	20	15	29	27	36	23	24	22	24	20
5	20	28	19	16	25	25	26	25	19	19
6	22	33	11	10	18	19	24	23	25	19
7	28	34	32	8	27	24	11	24	27	26
8	26	24	45	30	9	13	24	19	27	24
9	25	21	18	24	24	21	13	21	28	23
10	19	24	9	42	31	16	25	23	18	26
11	20	24	14	16	39	13	20	23	28	30
12	14	17	25	26	30	25	26	26	26	28
13	24	26	20	21	26	7	25	25	11	28
14	1	16	17	29	32	4	30	28	14	27
15	14	12	33	25	29	26	24	25	26	10
16	23	23	32	25	27	19	31	17	24	27
17	28	19	24	19	41	17	28	21	19	20
18	19	21	28	44	33	14	32	26	25	28
19	17	33	24	40	33	16	25	30	16	16
20	23	24	27	16	12	18	18	33	14	17

Fuente: Elaboración propia.

3.2. DETERMINACION DE LA RUGOSIDAD DEL TRAMO EVALUADO

Gráfico de Histogramas

La metodología empleada en el cálculo de la rugosidad se realizó eliminando el 10% de los valores menos representativos (10 datos en cada extremo del histograma) del graficando el histograma de frecuencias, luego de eliminar los valores menos representativos se tiene el valor de la rugosidad (D) que sería el ancho del histograma de valores representativos obtenidos.

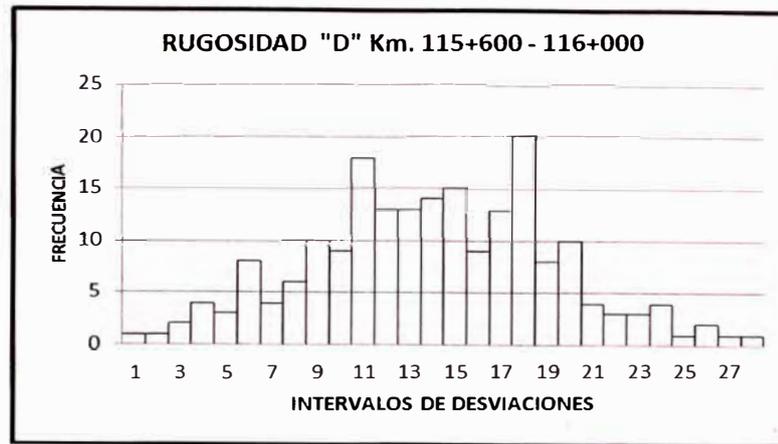


Figura N°3.04: Grafico de histogramas del tramo 115+600 al 116+000

Fuente: Elaboración propia

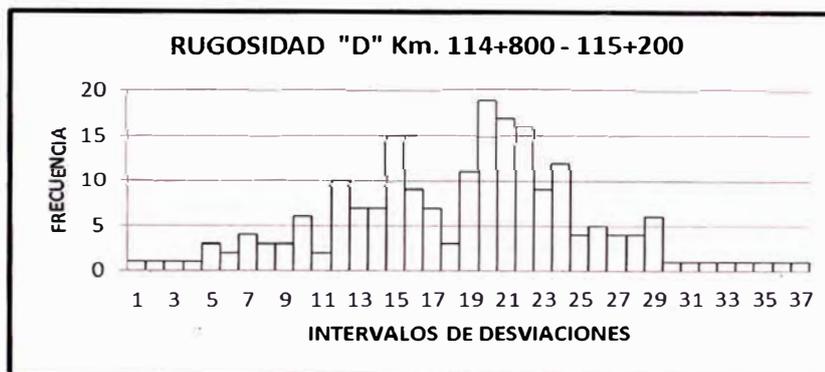


Figura N°3.05: Grafico de histogramas del tramo 114+800 al 115+200

Fuente: Elaboración propia

Rugosidad

Habiendo determinado los valores representativos del histograma de frecuencia se determina la rugosidad, en el siguiente recuadro se muestra los valores de rugosidad para los tramos evaluados.

Cuadro N°3.03: Resultados de Rugosidad

Tramo Evaluado	D(mm)	D
115+600 – 116+000	18,00	90,00
114+800 – 115+200	22,42	112,08

Fuente: Elaboración propia

Factor de Corrección

Los valores de rugosidad calculados deben de ser corregidos a continuación se muestra el cuadro con los factores de corrección de los modelos de los equipos utilizados en campo.

Cuadro N°3.04: Factor de Corrección del MERLIN

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

Fuente: Elaboración propia.

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

Donde:

F.C. : Factor de corrección.

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

LI: Lectura inicial.

LF: lectura final.

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

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

Finalmente con los datos calculados obtenemos los valores de la rugosidad corregida para cada tramo evaluado:

Cuadro N°3.05: Valores de Rugosidad Corregidos

Tramo Evaluado	D	D(mm)	Factor de Corrección	D corregido
115+600 – 116+000	18,00	90,00	0,892	80,28
114+800 – 115+200	22,42	112,08	0,892	99,98

Fuente: Elaboración propia.

3.3. DETERMINACION DEL INDICE DE RUGOSIDAD INTERNACIONAL (IRI) DEL TRAMO EVALUADO

Para poder determinar el índice de rugosidad internacional IRI de los tramos evaluados se utilizó la siguiente expresión:

$$IRI = 0,593 + 0,0471D$$

Donde:

IRI : Índice de Rugosidad Internacional, m/Km.

D : Rugosidad en unidades de MERLIN, mm.

$$2,4 \text{ m/Km.} < IRI < 15,9 \text{ m/Km.}$$

Reemplazando los valores de rugosidad obtenidos se tiene los valores de índice de rugosidad internacional IRI para cada tramo, a continuación en el cuadro siguiente se presentan los valores de IRI para cada tramo estudiado.

Cuadro N°3.06: Cuadro de resultados de Índice de Rugosidad Internacional (IRI)

Tramo Evaluado	D corregido	IRI
115+600 – 116+000	80,28	4,37
114+800 – 115+200	99,98	5,30

Fuente: Elaboración propia.

3.4. DETERMINACION DEL INDICE DE SERVICIABILIDAD DEL TRAMO EVALUADO (PSI)

Para poder determinar el índice de serviciabilidad que tienen los tramos en estudio, se utilizó la siguiente expresión:

$$PSI = 5,85 - 1,68(IRI)^{0.5}$$

Donde:

IRI : Índice de Rugosidad Internacional, m/Km.

En el siguiente cuadro se presentan los valores de los índices de rugosidad calculados para cada tramo.

Cuadro N°3.07: Resultados de Índice de Serviciabilidad de los tramos evaluados

Tramo Evaluado	D corregido	IRI	PSI
115+600 – 116+000	80,28	4,37	2,34
114+800 – 115+200	99,98	5,30	1,98

Fuente: Elaboración propia.

CAPITULO IV ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1. ANÁLISIS DEL ÍNDICE DE SERVICIABILIDAD DEL TRAMO EVALUADO

Los valores obtenidos de índice de serviciabilidad del pavimento corresponden a una carretera en malas condiciones para el tramo comprendido entre los kilómetros 114+800 – 116+000, ya que los resultados de PSI resultan al rededor de 2 y de acuerdo al calificativo de transitabilidad corresponde a una vía en condición mala.

Para el tramo comprendido entre los kilómetros 114+800 – 115+200, corresponde a una vía en condiciones regulares según calificativo de transitabilidad, debido a que los valores de PSI resultan por encima de 2 y según el calificativo corresponden a una vía en regulares condiciones de transitabilidad.

4.2. COMPARACIÓN DE VALORES RUGOSIDAD DEL MONITOREO UNI VERSUS RESULTADOS DE RUGOSIDAD DEL TRAMO EVALUADO

Los valores obtenidos por el monitoreo UNI en julio del 2009 son casi similares a los valores obtenidos en campo, como es de esperarse en los valores obtenidos por los ensayos efectuados son ligeramente superiores a los valores obtenidos por el monitoreo UNI, por lo que podemos decir que la vía del tramo evaluado se encuentra en condiciones regulares a malas.

4.3. ANÁLISIS DEL ÍNDICE DE SERVICIABILIDAD MEDIANTE LA CURVA DE DETERIORO DEL PAVIMENTO

De acuerdo con la curva del modelo de deterioro de la vía los valores obtenidos del índice de serviciabilidad del pavimento, la vía se encuentra en el Umbral de Serviciabilidad, esto quiere decir que la vía se encuentra en los límites de serviciabilidad y por lo tanto requerirá de una nueva superficie de rodadura.

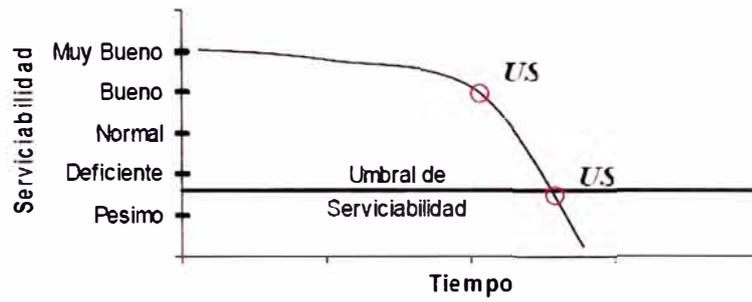


Figura N°4.01: Curva de Deterioro de la Vía.

Fuente: Tecnología del Asfalto, diplomado de Maestrías, Profs: Gabriel Sepúlveda Ruiz

CONCLUSIONES

1. Los valores de rugosidad obtenidos mediante el equipo MERLIN en el tramo de estudio son; 4,37 para el tramo Km. 115+600 al Km. 116+000 y 5,30 para el tramo Km. 114+800 al Km. 115+200 resultan ligeramente superiores a los valores obtenidos por los monitoreos realizados anteriormente por la UNI esto quiere decir que la superficie de rodadura tipo monocapa se encuentra en desgaste por lo que se tendría que realizar mantenimiento periódico para poder así disminuir la rugosidad y por lo tanto aumentar el índice de serviciabilidad de la vía.
2. Se puede concluir que el aumento considerable de la rugosidad de la vía se debe al paso de los vehículos no apropiados (vehículos con sobre carga superiores a las permitidas) para este tipo de superficie de rodadura.
3. Los valores de Índice de Serviabilidad obtenidos en cada tramo mediante correlaciones con el índice de rugosidad internacional (IRI) corresponden a una vía de regulares a malas condiciones de transitabilidad.
4. Los valores obtenidos del ensayo de rugosidad por medio del Merlín guardan mucha relación en cuanto a la evaluación de todo el tramo en estudio, deduciéndose que la vía se encuentra en regulares a malas condiciones, ya que en el campo se pudo apreciar que la carretera se encuentra en desgaste continuo producido por el paso de los vehículos.
5. Se puede concluir que el equipo de Merlín es un equipo limitativo porque es un equipo manual dependiendo de la habilidad del operador, práctico solo para tramos cortos, en tramos largos sería muy tedioso determinar la rugosidad de toda la vía; la ventaja de este equipo es que sobre otros equipos que determinan la rugosidad, sería su precisión.

RECOMENDACIONES

1. Debido al estado actual de desgastes en que se encuentra la vía, se recomienda reducir el tiempo de evaluación de la rugosidad de la superficie de rodadura, con el equipo Merlín, debido a que actualmente la vía se encuentra en un nivel considerable de desgaste y por lo tanto una rugosidad elevada, la recomendación se realiza con la finalidad de poder así estimar el tiempo dentro del cual se deberá colocar una nueva superficie de rodadura, para poder así elevar el índice de serviciabilidad que debería tener la vía.
2. Para las próximas evaluaciones de la rugosidad de la vía, se recomienda excluir los tramos en los cuales se encuentran estructuras (gibas, badenes), las cuales no sean representativas y generarían demasiada dispersión en las lecturas con el equipo merlín.
3. Se recomienda disminuir el periodo de evaluación de la rugosidad cuando el índice de serviciabilidad se encuentre próximo a 2 ya que la calificación para este valor de serviciabilidad es de regular a mala y por lo tanto hay una mala transitabilidad de la vía.
4. Se recomienda determinar la rugosidad mediante un levantamiento topográfico del tramo evaluado, para así poder determinar el nivel de rugosidad de manera más precisa.

BIBLIOGRAFÍA

1. AASHTO; **Guide for Design of Pavement Structures; American Association of State Highway and Transportation**, USA, 1993.
2. ASOCIACION AYESA – ALPHA CONSULT; **Estudio de Pre inversión a Nivel de Factibilidad del Proyecto Mantenimiento y Rehabilitación de la Carretera Ruta 22 Tramo: Lunahuaná – Yauyos – Chupaca**, MTC, Lima, 2005.
3. CHANG ALBITRES, CARLOS M.; **Pavimentos – Un Enfoque al futuro**; Fondo Editorial ICG, Lima, 2005.
4. CUNDILL, M. A.; **“The Merlin Low-cost Road Roughness Measuring Machine”**, Transport and Road Research Laboratory, Department of Transport. TRRL Research Report 301, Crowthorne – Gran Bretaña, 1991.
5. DEL AGUILA, PABLO M.; **Estado del Arte sobre la Medición de la Rugosidad de Pavimentos en el Perú**; Fondo Editorial ICG, Lima 2005.
6. MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES; **Especificaciones Técnicas Generales para Construcción de Carreteras**, Oficina de Control de Calidad, Lima – Perú, 200.
7. MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES; **Manual para el Diseño de Carreteras Pavimentadas de Bajo Volumen de Tránsito**, Tarea Asociación Grafica Educativa , Lima, 2008.
8. PALACIOS LEON, FLORIANO; **Estudio de Pre inversión a Nivel de Perfil para el Mejoramiento y Rehabilitación de la carretera Ruta 22, Tramo: Lunahuaná – Yauyos – Chupaca**, MTC, Lima, 2004.
9. SAYERS, M. W. et al; **“Guidelines for Conducting and Calibrating Road Roughness Measurements”**. World Bank Technical Paper N°46. Washington D.C., 1986.

ANEXOS

ANEXO A:
Fotografías



Foto N°01: En la foto se aprecia el instante en que el equipo MERLIN se calibra para posteriormente realizar el ensayo, Km 115+200.



Foto N°02: En esta vista se aprecia el instante en que se realiza el ensayo de rugosidad de MERLIN, así como también se aprecia la toma de datos, Km 115+900.



Foto N°03: Aquí se aprecia el instante en que se realiza el ensayo de rugosidad de MERLIN, así como también se aprecia la toma de datos, Km 115+700.



Foto N°04: Aquí también se aprecia la hoja pegada al tablero con las divisiones para obtener los datos de rugosidad, Km 115+620.

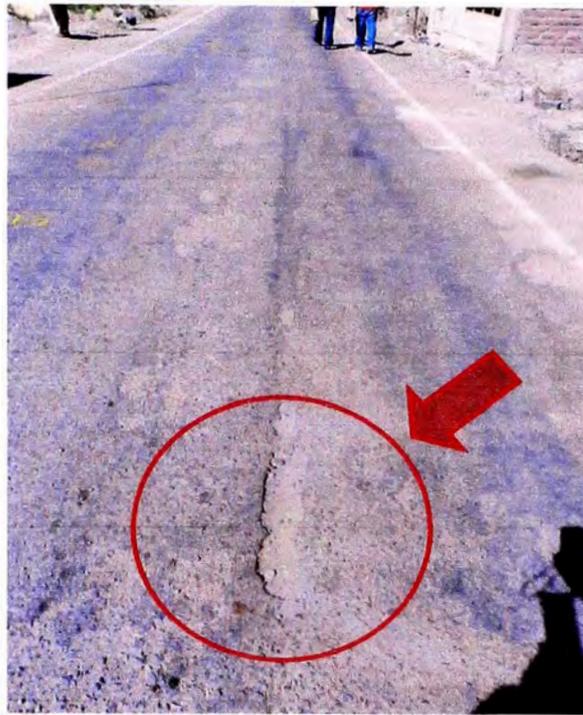


Foto N°05: En esta foto se puede apreciar el estado de deterioro en que se encuentra la vía, se observa desprendimiento del pavimento, Km 115+540.

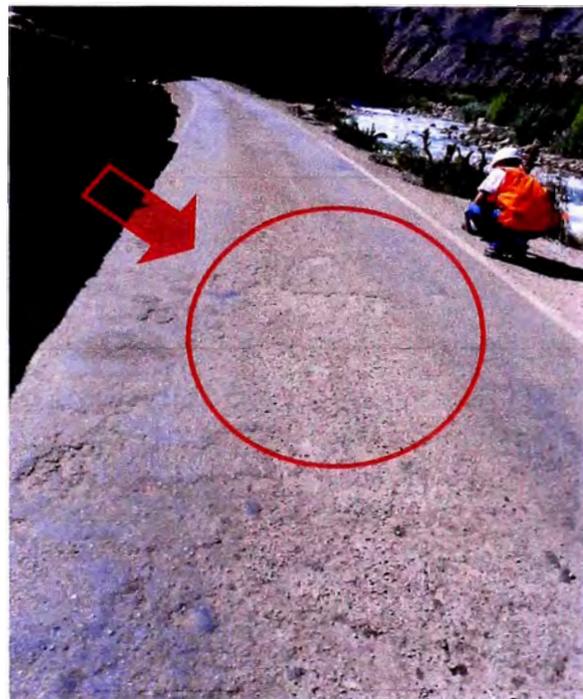


Foto N°06: Esta foto muestra el nivel elevado de desgastes en la que se encuentra la vía, Km 115+600.



Foto N°07: Aquí se puede apreciar el desprendimiento del asfalto producto del paso de los vehículos, Km 115+250.



Foto N°08: En la foto se puede ver la grava descubierta debido al desprendimiento del asfalto, Km 114+840.



Foto N°09: Aquí podemos observar el desgaste del carril derecho, debido al paso de los vehículos, Km 114+480.



Foto N°10: Se puede apreciar en la foto el material con el cual se realizará el mantenimiento de la vía, caserío puente Auco Km 115+240.



Foto N°11: En la foto se aprecia la aplicación del cemento asfáltico para el parchado de la vía, poblado puente Auco Km 115+240.



Foto N°12: En esta vista se aprecia como el poste de señalización se encuentra caído por la falta de espacio en la vía, Km 115+660.



Foto N°13: En esta foto se puede apreciar un sector crítico muy cercano al río, ante una crecida del río se podría dañar la vía e imposibilitar el paso de los vehículos, Km 115+500.



Foto N°14: Aquí se puede apreciar que la vía es muy estrecha y además un talud muy inclinado, Km 115+700.



Foto N°15: La flecha indica que la cuneta no tiene mucha profundidad y también que se encuentra rellena por hojas y lodo, Km 114+080.

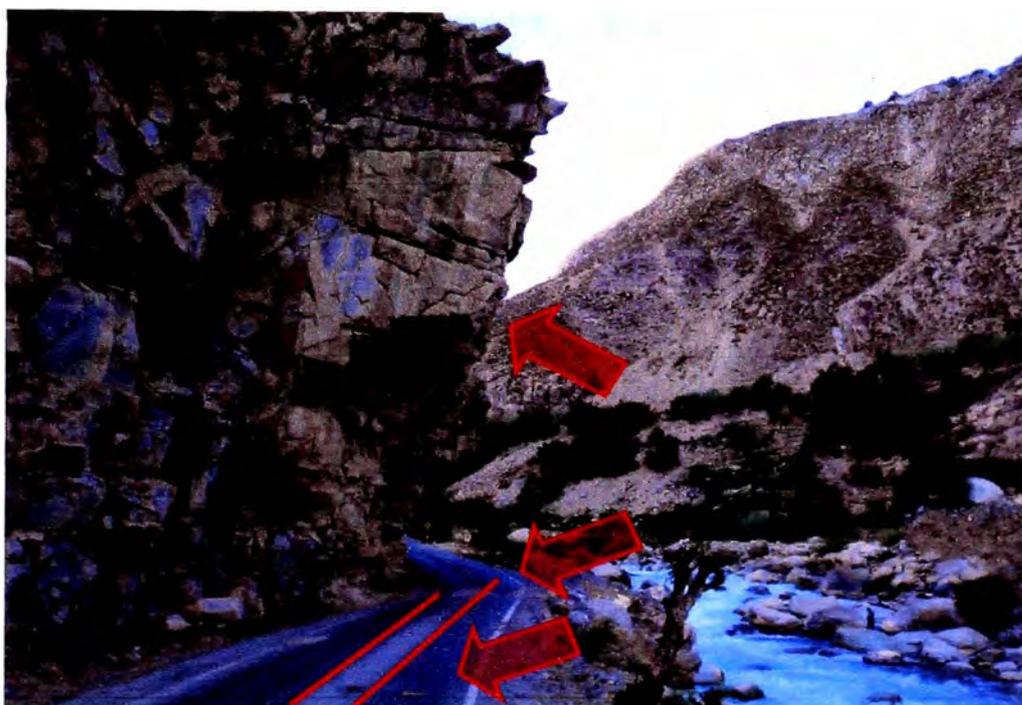


Foto N°16: Aquí podemos ver un talud de roca muy inclinado, también se puede ver el cambio de coloración de la vía, lo que significa que la carretera se encuentra muy desgastada debido al paso de los vehículos, Km 114+200.

ANEXO B:
Resultados de Campo

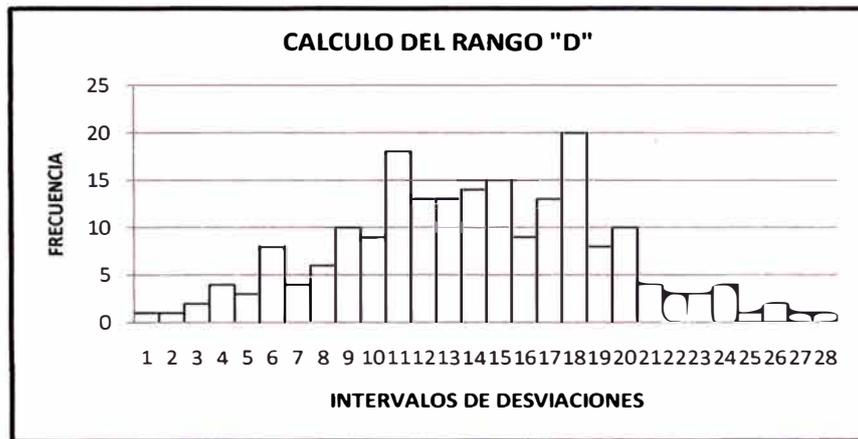
PROCESAMIENTO DE LOS DATOS DE CAMPO - RUGOSÍMETRO MERLIN

PROGRESIVA : DEL 115+600 AL 116+000
CARRIL : IZQUIERDO
DIST. DEL BORDE : A 1m del borde

FECHA : 22/05/2010
ARCHIVO : 1 - 01

CONTEO DE DESVIACIONES PARA EL CÁLCULO DEL IRI

DESVIACIÓN	REP.
1	1
9	1
11	2
12	4
13	3
14	8
15	4
16	6
17	10
18	9
19	18
20	13
21	13
22	14
23	15
24	9
25	13
26	20
27	8
28	10
29	4
30	3
31	3
32	4
33	1
34	2
35	1
43	1



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

TOTAL	200
--------------	------------

D	D(mm)	Fac. Corr	D Corregido	IRI (m/km)
18.00	90.00	0.89200	80.28	4.37

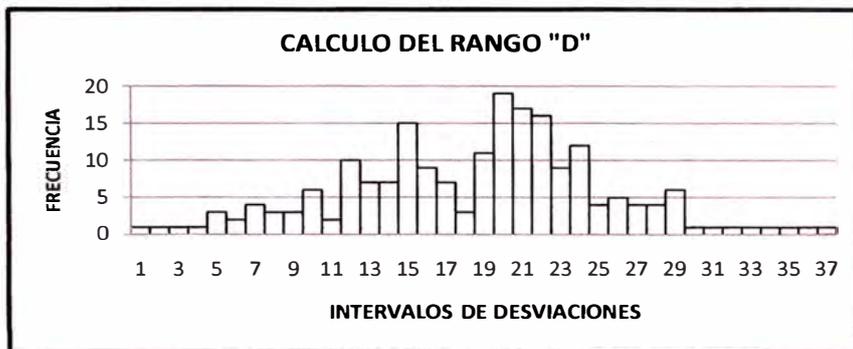
PROCESAMIENTO DE LOS DATOS DE CAMPO - RUGOSÍMETRO MERLIN

PROGRESIVA : DEL 114+800 AL 115+200
CARRIL : IZQUIERDO
DIST. DEL BORDE : A 1m del borde

FECHA : 22/05/2010
ARCHIVO : I - 02

CONTEO DE DESVIACIONES PARA EL CÁLCULO DEL IRI

DESVIACIÓN	REP.
1	1
4	1
7	1
8	1
9	3
10	2
11	4
12	3
13	3
14	6
15	2
16	10
17	7
18	7
19	15
20	9
21	7
22	3
23	11
24	19
25	17
26	16
27	9
28	12
29	4
30	5
31	4
32	4
33	6
34	1
36	1
39	1
40	1
41	1
42	1
44	1
45	1
TOTAL	200



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

D	D(mm)	Fac. Corr	D Corregido	IRI (m/km)
22.42	112.08	0.89200	99.98	5.30

ANEXO C:
Resumen de Valores de Rugosidad

RESUMEN DE LOS VALORES DEL ÍNDICE DE RUGOSIDAD INTERNACIONAL - IRI

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

CÓDIGO DEL ARCHIVO	TRAMO		DISTANCIA	IRI	FECHA DE ENSAYO
	PROG.	PROG. FINAL			
I - 31	79+500	79+900	A 1.00m del borde	4.64	29/06/2009
I - 32	79+900	80+300	A 1.00m del borde	3.51	29/06/2009
I - 33	80+300	80+700	A 1.00m del borde	3.49	29/06/2009
I - 34	80+700	81+100	A 1.00m del borde	3.74	29/06/2009
I - 35	81+900	82+300	A 1.00m del borde	6.32	29/06/2009
I - 36	82+300	82+700	A 1.00m del borde	3.50	29/06/2009
I - 37	83+000	83+400	A 1.00m del borde	5.89	29/06/2009
I - 38	84+000	84+400	A 1.00m del borde	5.05	29/06/2009
I - 39	84+400	84+800	A 1.00m del borde	4.01	29/06/2009
I - 40	84+800	85+200	A 1.00m del borde	4.02	29/06/2009
I - 41	85+200	85+600	A 1.00m del borde	4.55	29/06/2009
I - 42	86+130	86+530	A 1.00m del borde	3.85	03/07/2009
I - 43	87+400	87+800	A 1.00m del borde	4.02	03/07/2009
I - 44	88+500	88+900	A 1.00m del borde	3.61	04/07/2009
I - 45	89+000	89+400	A 1.00m del borde	4.56	04/07/2009
I - 46	90+500	90+900	A 1.00m del borde	4.51	04/07/2009
I - 47	91+200	91+600	A 1.00m del borde	4.32	04/07/2009
I - 48	92+400	92+800	A 1.00m del borde	2.91	10/07/2009
I - 49	93+200	93+600	A 1.00m del borde	3.34	10/07/2009
I - 50	94+300	94+700	A 1.00m del borde	2.99	10/07/2009
I - 51	95+600	96+000	A 1.00m del borde	4.55	10/07/2009
I - 52	96+400	96+800	A 1.00m del borde	5.01	10/07/2009
I - 53	97+200	97+600	A 1.00m del borde	4.30	10/07/2009
I - 54	98+000	98+400	A 1.00m del borde	5.05	10/07/2009
I - 55	99+100	99+500	A 1.00m del borde	4.51	10/07/2009
I - 56	100+000	100+400	A 1.00m del borde	5.09	30/06/2009
I - 57	100+400	100+800	A 1.00m del borde	4.52	30/06/2009
I - 58	100+800	101+200	A 1.00m del borde	5.42	30/06/2009
I - 59	101+200	101+600	A 1.00m del borde	4.64	30/06/2009
I - 60	102+400	102+800	A 1.00m del borde	5.40	30/06/2009
I - 61	103+000	103+400	A 1.00m del borde	4.02	06/07/2009
I - 62	104+000	104+400	A 1.00m del borde	4.28	06/07/2009
I - 63	105+000	105+400	A 1.00m del borde	4.30	06/07/2009
I - 64	106+000	106+400	A 1.00m del borde	4.15	06/07/2009
I - 65	107+200	107+600	A 1.00m del borde	4.30	06/07/2009
I - 66	107+700	108+100	A 1.00m del borde	3.81	06/07/2009
I - 67	108+200	108+600	A 1.00m del borde	3.97	07/07/2009
I - 68	109+600	110+000	A 1.00m del borde	4.37	07/07/2009
I - 69	110+400	110+800	A 1.00m del borde	3.68	07/07/2009
I - 70	111+400	111+800	A 1.00m del borde	3.99	07/07/2009
I - 71	112+100	112+500	A 1.00m del borde	4.71	07/07/2009
I - 72	113+300	113+700	A 1.00m del borde	4.52	07/07/2009
I - 73	114+900	115+300	A 1.00m del borde	4.73	07/07/2009
I - 74	115+300	115+700	A 1.00m del borde	4.86	07/07/2009
I - 75	116+600	117+000	A 1.00m del borde	4.30	08/07/2009
I - 76	117+600	118+000	A 1.00m del borde	3.82	08/07/2009

RESUMEN DE LOS VALORES DEL ÍNDICE DE RUGOSIDAD INTERNACIONAL - IRI

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

CÓDIGO DEL ARCHIVO	TRAMO		DISTANCIA	IRI	FECHA DE ENSAYO
	PROG.	- PROG. FINAL			
I - 77	118+600	- 119+000	A 1.00m del borde	4.71	08/07/2009
I - 78	119+500	- 119+900	A 1.00m del borde	5.10	08/07/2009
I - 79	120+300	- 120+700	A 1.00m del borde	4.52	08/07/2009
I - 80	121+800	- 122+200	A 1.00m del borde	3.67	08/07/2009
I - 81	123+300	- 123+700	A 1.00m del borde	5.24	08/07/2009
I - 82	124+100	- 124+500	A 1.00m del borde	4.82	08/07/2009
I - 83	125+500	- 125+900	A 1.00m del borde	4.04	08/07/2009
I - 84	126+400	- 126+800	A 1.00m del borde	4.59	08/07/2009
I - 85	127+400	- 127+800	A 1.00m del borde	3.48	09/07/2009
I - 86	127+800	- 128+200	A 1.00m del borde	3.66	09/07/2009
I - 87	129+300	- 129+700	A 1.00m del borde	3.80	09/07/2009
I - 88	130+100	- 130+500	A 1.00m del borde	4.48	09/07/2009
I - 89	131+600	- 132+000	A 1.00m del borde	4.32	09/07/2009
I - 90	132+400	- 132+800	A 1.00m del borde	4.32	09/07/2009
I - 91	133+500	- 133+900	A 1.00m del borde	4.29	09/07/2009
I - 92	134+500	- 134+900	A 1.00m del borde	4.49	09/07/2009
I - 93	135+500	- 135+900	A 1.00m del borde	3.93	09/07/2009
I - 94	136+590	- 136+990	A 1.00m del borde	5.03	09/07/2009
I - 95	137+300	- 137+700	A 1.00m del borde	4.73	09/07/2009
I - 96	138+535	- 138+935	A 1.00m del borde	4.46	09/07/2009

PROMEDIO ARITMÉTICO

4.35

Rango IRI	Longitud (Km.)	%
0 - 2.800	0.00	0.00
2.801- 4.000	7.60	0.29
4.001- 5.000	14.40	0.55
>= 5.001	4.40	0.17
Total	26.40	1.00

RESUMEN DE LOS VALORES DEL ÍNDICE DE RUGOSIDAD INTERNACIONAL - MERLÍN

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

CÓDIGO DEL ARCHIVO	TRAMO		DISTANCIA	IRI	FECHA DE ENSAYO
	PROG. INICIAL	PROG. FINAL			
I - 01	55+050	55+450	A 1m del borde	3.08	23/06/2009
I - 02	55+450	55+850	A 1m del borde	2.80	23/06/2009
I - 03	55+850	56+250	A 1m del borde	3.23	23/06/2009
I - 04	56+250	56+650	A 1m del borde	2.87	23/06/2009
I - 05	57+000	57+400	A 1m del borde	3.28	24/06/2009
I - 06	57+400	57+800	A 1m del borde	3.74	24/06/2009
I - 07	57+800	58+200	A 1m del borde	3.78	24/06/2009
I - 08	58+200	58+600	A 1m del borde	4.00	24/06/2009
I - 09	58+900	59+300	A 1m del borde	3.21	24/06/2009
I - 10	59+300	59+700	A 1m del borde	3.75	24/06/2009
I - 11	59+700	60+100	A 1m del borde	4.08	25/06/2009
I - 12	60+500	60+900	A 1m del borde	3.19	25/06/2009
I - 13	61+500	61+900	A 0.70m del borde	3.61	25/06/2009
I - 14	62+560	62+960	A 1.00m del borde	2.91	26/06/2009
I - 15	63+000	63+400	A 1.00m del borde	3.48	26/06/2009
I - 16	64+100	64+500	A 1.00m del borde	2.54	26/06/2009
I - 17	65+600	66+000	A 1.00m del borde	3.17	02/07/2009
I - 18	66+000	66+400	A 1.00m del borde	3.22	02/07/2009
I - 19	67+600	68+000	A 1.00m del borde	3.74	02/07/2009
I - 20	68+500	68+900	A 1.00m del borde	2.85	02/07/2009
I - 21	69+045	69+445	A 1.00m del borde	3.86	02/07/2009
I - 22	70+150	70+550	A 1.00m del borde	3.08	02/07/2009
I - 23	71+500	71+900	A 1.00m del borde	3.80	02/07/2009
I - 24	72+000	72+400	A 1.00m del borde	3.55	03/07/2009
I - 25	73+100	73+500	A 1.00m del borde	3.34	03/07/2009
I - 26	74+400	74+800	A 1.00m del borde	3.51	03/07/2009
I - 27	75+000	75+400	A 1.00m del borde	3.57	03/07/2009
I - 28	76+300	76+700	A 1.00m del borde	3.51	03/07/2009
I - 29	77+200	77+600	A 1.00m del borde	3.18	03/07/2009
I - 30	78+050	78+450	A 1.00m del borde	2.84	03/07/2009

PROMEDIO ARITMÉTICO

3.36

Rango IRI	Longitud (Km.)	%
0 - 2.800	0.80	0.07
2.801- 4.000	10.80	0.90
4.001- 5.000	0.40	0.03
>= 5.001	0.00	0.00
Total	12.00	1.00

RESUMEN DE LOS VALORES DEL ÍNDICE DE RUGOSIDAD INTERNACIONAL (IRI)														
TRAMO		IRI (m/km)								Variación		Nivel de Regularidad		
		LADO IZQUIERDO				LADO DERECHO				IRI (Mín-Máx)	IRI PROM (Izq-Der)			
P. INICIAL	P. FINAL	1ra	2da	3ra	PROM	1ra	2da	3ra	PROM					
90+000	- 90+400	5.2	5.6	5.5	5.4	4.2	4.6	3.9	4.2	1.6	1.2	medio		
90+400	- 90+800	6.4	6.1	5.6	6.0	5.2	4.7	4.1	4.7	2.3	1.4	alto		
90+800	- 91+200	5.6	5.2	5.1	5.3	5.1	5.1	5.3	5.2	0.6	0.1	bajo		
91+200	- 91+600	5.5	5.6	5.4	5.5	4.7	5.1	4.6	4.8	1.1	0.7	bajo		
91+000	- 91+400	4.5	4.2	4.4	4.4	3.7	3.9	3.9	3.8	0.8	0.6	bajo		
91+400	- 91+800	4.8	5.0	4.6	4.8	4.9	5.6	4.9	5.1	1.0	0.3	bajo		
91+800	- 92+200	4.3	4.6	4.1	4.3	4.5	3.8	4.1	4.1	0.8	0.2	bajo		
92+200	- 92+600	4.1	4.0	3.8	4.0	4.1	4.4	3.1	3.9	1.4	0.1	medio		
92+600	- 93+000	4.5	5.0	4.8	4.8	3.8	3.9	4.1	3.9	1.2	0.8	medio		
93+000	- 93+400	4.5	4.6	4.1	4.4	4.2	4.3	3.9	4.1	0.6	0.2	bajo		
93+400	- 93+800	3.6	3.9	4.0	3.8	4.2	3.7	3.5	3.8	0.6	0.1	bajo		
95+000	- 95+400	3.5	3.4	3.7	3.5	3.8	3.1	3.6	3.5	0.7	0.0	bajo		
95+400	- 95+800	4.1	4.0	3.3	3.8	3.9	4.0	3.8	3.9	0.8	0.1	bajo		
95+800	- 96+200	5.9	6.1	5.9	5.9	6.9	6.4	6.6	6.6	1.1	0.7	bajo		
96+200	- 96+600	5.7	5.3	5.2	5.4	5.4	4.8	5.0	5.1	1.0	0.3	bajo		
96+600	- 97+000	5.0	5.0	4.5	4.8	4.8	4.8	5.1	4.9	0.6	0.1	bajo		
97+100	- 97+500	4.4	3.8	4.6	4.3	5.8	5.0	4.6	5.1	2.0	0.9	alto		
97+500	- 97+900	4.7	4.7	4.9	4.8	5.2	5.1	5.1	5.2	0.5	0.4	bajo		
97+900	- 98+300	4.6	4.3	4.0	4.3	5.7	5.1	5.1	5.3	1.8	1.0	alto		
98+300	- 98+700	4.5	4.3	4.6	4.4	5.7	5.4	5.9	5.7	1.6	1.2	medio		
98+700	- 99+100	5.3	4.5	4.5	4.8	5.6	5.8	4.7	5.4	1.4	0.6	medio		
99+100	- 99+500	5.6	4.8	4.8	5.1	6.1	5.5	5.2	5.6	1.3	0.5	medio		
99+500	- 99+900	4.7	5.7	5.8	5.4	5.7	5.2	5.0	5.3	1.1	0.1	bajo		
99+900	- 100+300	4.4	4.5	3.9	4.3	5.5	5.1	4.5	5.1	1.6	0.8	medio		
100+300	- 100+700	4.5	4.1	4.1	4.2	5.3	4.6	4.4	4.8	1.2	0.5	medio		
100+700	- 101+100	5.2	5.1	5.9	5.4	6.3	5.1	5.3	5.6	1.3	0.2	medio		
101+100	- 101+500	5.3	5.2	4.7	5.1	5.1	5.4	4.7	5.0	0.7	0.0	bajo		
101+500	- 101+900	5.0	5.5	5.0	5.2	4.9	5.5	5.3	5.2	0.6	0.1	bajo		
101+900	- 102+300	4.9	4.8	4.5	4.7	5.2	5.3	5.4	5.3	0.9	0.6	bajo		
102+300	- 102+700	4.9	5.1	4.8	4.9	5.7	5.3	4.4	5.1	1.3	0.2	medio		
102+700	- 103+100	4.5	3.9	4.5	4.3	3.8	4.8	4.6	4.4	1.0	0.1	bajo		
103+100	- 103+500	4.4	5.0	5.2	4.9	4.6	4.2	4.8	4.5	1.0	0.3	bajo		
103+500	- 103+900	4.9	5.3	4.7	4.9	4.6	4.9	5.6	5.0	1.0	0.1	bajo		
103+900	- 104+300	4.8	5.0	4.8	4.9	4.8	5.2	4.7	4.9	0.5	0.1	bajo		
104+300	- 104+700	4.8	4.9	5.4	5.0	4.6	5.2	4.8	4.9	0.8	0.1	bajo		
104+700	- 105+100	4.8	4.6	5.1	4.9	4.5	4.2	4.5	4.4	0.9	0.5	bajo		
105+100	- 105+500	4.4	4.6	4.1	4.4	5.0	5.0	5.2	5.0	1.1	0.7	medio		
105+500	- 105+900	4.7	5.3	4.7	4.9	4.6	4.5	4.4	4.5	1.0	0.4	bajo		
105+900	- 106+300	4.8	4.3	4.4	4.5	4.9	4.4	5.2	4.8	0.9	0.3	bajo		
106+300	- 106+700	4.8	4.9	5.9	5.2	5.6	5.0	5.4	5.3	1.1	0.1	bajo		
106+700	- 107+100	5.6	5.1	5.1	5.3	5.1	6.8	5.7	5.9	1.7	0.6	alto		
107+100	- 107+500	5.4	5.2	5.6	5.4	5.2	4.9	4.8	5.0	0.8	0.5	bajo		
107+500	- 107+900	3.9	4.0	4.1	4.0	3.4	3.5	3.8	3.6	0.7	0.4	bajo		
107+900	- 108+300	3.8	4.2	4.6	4.2	3.9	3.8	3.8	3.8	0.8	0.4	bajo		
108+300	- 108+700	4.1	4.3	4.4	4.3	4.8	4.1	4.1	4.3	0.7	0.0	bajo		
108+700	- 109+100	5.2	5.2	5.0	5.2	5.2	5.6	4.9	5.2	0.8	0.1	bajo		
109+100	- 109+500	4.7	4.3	4.5	4.5	4.5	4.3	4.8	4.5	0.5	0.0	bajo		
109+500	- 109+900	5.3	5.4	5.3	5.3	4.7	4.6	4.8	4.7	0.9	0.7	bajo		
109+900	- 110+300	5.6	5.7	6.4	5.9	5.4	5.5	5.1	5.4	1.2	0.5	medio		
110+300	- 110+700	7.5	6.6	7.2	7.1	6.5	7.3	6.8	6.9	1.0	0.2	bajo		
110+700	- 111+100	4.7	5.3	4.4	4.8	4.2	5.0	4.9	4.7	1.1	0.1	bajo		
111+100	- 111+500	5.2	5.7	4.5	5.1	4.0	4.5	5.3	4.6	1.7	0.5	alto		
111+500	- 111+900	5.3	4.8	5.1	5.0	4.8	4.8	4.7	4.8	0.5	0.3	bajo		
111+900	- 112+300	4.8	4.0	5.4	4.7	4.5	5.4	4.5	4.8	1.4	0.1	medio		
112+300	- 112+700	6.5	6.8	6.5	6.6	6.0	5.2	5.0	5.4	1.9	1.2	alto		
112+700	- 113+100	6.3	6.4	5.1	5.9	5.4	6.0	6.2	5.9	1.2	0.1	medio		
IRI Mínimo					3.5	IRI Mínimo					3.5	0.5	0.0	=MÍN
IRI Máximo					7.1	IRI Máximo					6.9	2.3	1.4	=MÁX
IRI Promedio					4.9	IRI Promedio					4.9			
Desv. Estandar					0.7	Desv. Estandar					0.7			
IRI Característico					6.0	IRI Característico					6.0			

