

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



**EVALUACIÓN DE LA RUGOSIDAD CON EQUIPO MERLIN.
CARRETERA CAÑETE – CHUPACA.
SISTEMATIZACIÓN DEL PROCEDIMIENTO Y PROPUESTA
DE MANUAL**

INFORME DE SUFICIENCIA

Para optar el Título Profesional de:

INGENIERO CIVIL

ERIK BEDRIÑANA FITZGERRALD

Lima- Perú

2011

ÍNDICE	1
RESUMEN	3
LISTA DE CUADROS	4
LISTA DE FIGURAS	4
LISTA DE SÍMBOLOS Y DE SIGLAS	5
INTRODUCCIÓN	6
CAPITULO I: ANTECEDENTES	7
1.1 UBICACIÓN	8
1.2 OBJETIVO DEL ESTUDIO	11
1.3 GENERALIDADES	11
1.3.1 Descripción del entorno	11
1.3.2 Características de la carretera	14
1.3.3 Tipos de pavimentos	14
CAPITULO II: RUGOSIDAD Y SERVICIABILIDAD	17
2.1 SERVICIABILIDAD	17
2.2 RUGOSIDAD	19
2.2.1 Cálculo del Índice de Rugosidad Internacional (IRI)	20
2.2.2 Equipos de medición de la rugosidad	21
2.3 MEDICION DE LA RUGOSIDAD CON EQUIPO MERLIN	23
2.3.1 Descripción del equipo	23
2.3.2 Método de uso	25
2.3.3 Determinación de la rugosidad con equipo de bajo costo (MERLIN)	26
2.3.4 Calculo del rango de desviaciones D.	27
2.3.5 Factor de corrección del rango D	27
2.3.6 Ecuaciones de rugosidad	28
CAPITULO III: SISTEMATIZACIÓN DEL PROCEDIMIENTO Y PROPUESTA DE MANUAL	30
3.1 TRAMIFICACION Y SECTORIZACION DE LA ZONA DE ESTUDIO	30
3.1.1 Recopilación y análisis de datos	30
3.1.2 Tramificación de la carretera	31
3.2 PLAN DE TRABAJO PARA LA MEDICION DE LA RUGOSIDAD CON EQUIPO MERLIN	33

3.2.1	Consideraciones para evaluar la rugosidad con el equipo MERLIN	33
3.3	SISTEMATIZACION DEL PROCEDIMIENTO	35
3.3.1	Preparación	35
3.3.2	Planeamiento	35
3.3.3	Programación	36
3.3.4	Aprobación	36
3.3.5	Ejecución	36
3.3.6	Interpretación de resultados	40
3.3.7	Conclusiones	41
3.4	PROPUESTA DE MANUAL PARA MEDIR LA RUGOSIDAD CON EQUIPO DE BAJO COSTO (MERLIN)	42
3.4.1	Alcances y campo de aplicación	42
3.4.2	Referencias	43
3.4.3	Terminología	43
3.4.4	El equipo MERLIN.	43
3.4.5	Calibración del equipo	44
3.4.6	Lugares de evaluación	45
3.4.7	Medidas de seguridad	46
3.4.8	Resumen del método de uso del MERLIN	46
3.4.9	Procedimiento de evaluación	48
3.4.10	Método de cálculo de la rugosidad	50
3.4.11	Método para determinar si dos muestras de rugosidad corresponden a tramos homogéneos	53
3.4.12	Ejemplo de cálculo	55
3.4.13	Información y resultados	58
	CONCLUSIONES	61
	RECOMENDACIONES	62
	BIBLIOGRAFIA	63
	ANEXOS	64

RESUMEN

El presente trabajo trata sobre la evaluación de la rugosidad en la carretera Cañete – Chupaca, tomándola como ejemplo típico de una carretera de bajo volumen de tránsito. El enfoque del estudio se enmarca dentro del convenio de cooperación interinstitucional celebrado entre la Universidad Nacional de Ingeniería, representada por la Facultad de Ingeniería Civil y el Ministerio de Transportes y Comunicaciones, representado por PROVIAS NACIONAL, cuya finalidad es acompañar y monitorear los trabajos de conservación vial por niveles de servicios del Corredor Vial N°13: (Cañete – Lunahuaná – Pacarán – Chupaca, y rehabilitación del tramo Zuñiga – Dv. Yauyos – Ronchas), y cuyos alcances incluyen la elaboración de un proyecto de norma o manual de diseño para pavimentos de bajo volumen de tránsito (BVT). En este sentido, la UNI ha venido realizando trabajos de monitoreo que han producido una amplia base de datos, aunque hay sectores que aún no han sido analizados, y otros que requieren una auscultación sistematizada, por causa del progresivo cambio de estándar en la superficie de rodadura.

En ese sentido, y entendiendo que la evaluación de la rugosidad de un pavimento constituye una manera apropiada para evaluar la calidad del servicio que presta, es que este trabajo propone una sistematización de los procedimientos que implica particularmente la evaluación de la rugosidad utilizando el equipo de bajo costo disponible denominado comúnmente “MERLIN”. Adicionalmente, se hace una propuesta de manual de procedimientos respectivo.

LISTA DE CUADROS

Cuadro N° 2.01 Escala de Calificación de la Serviciabilidad	18
Cuadro N° 2.02 Ecuaciones de calibración	29
Cuadro N° 3.01 IRI medido con MERLIN. Carretera Cañete-Chupaca	30
Cuadro N° 3.02 IRI medido con MERLIN. Curso Titulación 2009-2	31
Cuadro N° 3.03 IRI medido con MERLIN - Curso Titulación 2010-2	31
Cuadro N° 3.04 Formato de registro de datos de campo	37
Cuadro N° 3.05 Sectorización por diferencias acumuladas	40
Cuadro N° 3.06 Intervenciones por condición funcional	40
Cuadro N° 3.07 Estado vial según rugosidad	41
Cuadro N° 3.08 Estado – Rugosidad - Tratamiento	41
Cuadro N° 3.09 Formato de registro de datos de campo	48
Cuadro N° 3.10 Progresiva vs Diferencia acumulada	56
Cuadro N° 3.09 Sectorización por diferencias acumuladas	57
Cuadro N° 3.10 Sectores homogéneos por diferencias acumuladas	57

LISTA DE FIGURAS

Figura N° 1.01 Plano de ubicación de la carretera	08
Figura N° 1.02 Plano clave de la carretera Cañete – Chupaca	09
Figura N° 1.03 Perfil longitudinal de la carretera	10
Figura N° 1.04 Regiones naturales de Perú	13
Figura N° 2.01 Modelo de cuarto de coche	20
Figura N° 2.02 Escala estándar para cuantificar el IRI	21
Figura N° 2.03 MERLIN tipo Mark 2	24
Figura N° 2.04: Deflexión respecto a la cuerda promedio	25
Figura N° 2.05 Tablero con escala gráfica y puntero	26
Figura N° 2.06 Medición de la rugosidad con equipo (MERLIN)	26
Figura N° 3.01 Histograma de distribución de frecuencias	37
Figura N° 3.02 Histograma de distribución de frecuencias	51
Figura N° 3.03 IRI vs progresiva	53
Figura N° 3.04 Área acumulada vs progresiva	54
Figura N° 3.05 Diferencias acumuladas vs progresiva	55
Figura N° 3.06 Diferencias acumuladas vs progresiva	56
Figura N° 3.07 Formulario para informe de evaluación de IRI	60

LISTA DE SIMBOLOS Y SIGLAS

AASHO:	American Association of State Highways Officials
AASHTO:	American Association of State Highways and Transportation Officials
BVT:	Carretera de bajo volumen de tránsito
D:	Rugosidad en unidades MERLIN
Dv:	Desvío
FIC:	Facultad de Ingeniería Civil
IMD:	Índice medio diario
IRI:	Índice de rugosidad internacional (International Roughness Index)
ISSA:	International Slurry Seal Association
MERLIN:	Acrónimo en inglés: Machine for Evaluating Roughness using Low-cost Instrumentation.
MTC:	Ministerio de Transportes y Comunicaciones
PSI:	Índice de serviciabilidad presente (Present Serviciability Index)
PROVÍAS NACIONAL:	Proyecto Especial de Infraestructura de Transporte Nacional
TRL:	Transport Research Laboratory
TRRL:	Transport and Road Research Laboratory
UNI:	Universidad Nacional de Ingeniería

INTRODUCCION

El presente informe está enmarcado dentro de los alcances del convenio de cooperación firmado entre la UNI-FIC y el MTC, uno de cuyos objetivos es la producción de un manual aplicable a carreteras de bajo volumen de tránsito. El enfoque de este estudio es la evaluación de la rugosidad de pavimentos, específicamente de la carretera Cañete – Chupaca.

El interés de este tema se hace patente ante la visible tendencia de involucrar cada vez más carreteras del sistema vial nacional dentro de contratos de conservación por niveles de servicio, tal como es el caso de la carretera Cañete – Chupaca. Por esta razón, se hace necesario contar con reglamentaciones oficiales que orienten o normen estos trabajos.

Como se ha mencionado anteriormente, este estudio se va a enfocar en la evaluación de la rugosidad en pavimentos de carreteras de bajo volumen de tránsito, para lo cual se realizarán mediciones del parámetro IRI, utilizando para el efecto el equipo de bajo costo disponible en la UNI.(MERLIN). La información resultante aportará criterios útiles a considerar dentro de futuros programas de rehabilitación o mantenimiento de carreteras de bajo volumen de tránsito.

El capítulo I versa sobre los antecedentes del convenio UNI-MTC, indica las características técnicas de la carretera Cañete – Chupaca, y hace una descripción del entorno geográfico de la misma, proveyendo datos de interés.

El capítulo II provee el marco teórico del tema, pues define los conceptos de rugosidad de pavimentos así como serviciabilidad, que atañen a este tema. También describe el equipo de bajo costo para evaluar la rugosidad, que se utilizó en este trabajo, denominado MERLIN por sus siglas en inglés. En esta parte se menciona el ensayo realizado in situ para la elaboración del presente informe.

El capítulo III describe la sistematización del procedimiento de evaluación de rugosidad, ordenando las actividades respectivas. Este capítulo también propone un manual de evaluación de la rugosidad con equipo MERLIN aplicables a carreteras de bajo volumen de tránsito.

CAPITULO I: ANTECEDENTES

En el año 2007, el MTC implementa el programa “Proyecto Perú”, con el objeto de conservar y desarrollar la infraestructura vial, y que incluye la carretera Cañete - Chupaca. Se adopta un sistema de gestión vial denominado “contratos por niveles de servicio”. La Universidad Nacional de Ingeniería, representada por la Facultad de Ingeniería Civil y el Ministerio de Transportes y Comunicaciones, representado por PROVIAS NACIONAL, firmaron un convenio de cooperación para el acompañamiento y monitoreo de los trabajos de conservación vial por niveles de servicios de la carretera mencionada, con el objeto de elaborar una norma o manual de diseño de carreteras de bajo volumen de tránsito (BVT).

Conservación Vial. Las “Especificaciones técnicas generales para la conservación de carreteras” del MTC (agosto 2007) definen el concepto de “conservación vial” como el conjunto de actividades que se realizan para mantener en buen estado las condiciones físicas de los diferentes elementos que constituyen la vía y, de esta manera, garantizar que el tránsito sea cómodo, seguro, fluido y económico. En la práctica, lo que se busca es preservar el capital ya invertido en la construcción de la infraestructura vial, evitar su deterioro físico prematuro y, sobre todo, mantener la vía en condiciones operativas adecuadas a las necesidades y demandas de los usuarios. Actualmente, se incluyen también actividades socio-ambientales, de atención de emergencias viales y de cuidado y vigilancia de la vía. Comprende la conservación vial rutinaria y la conservación vial periódica.

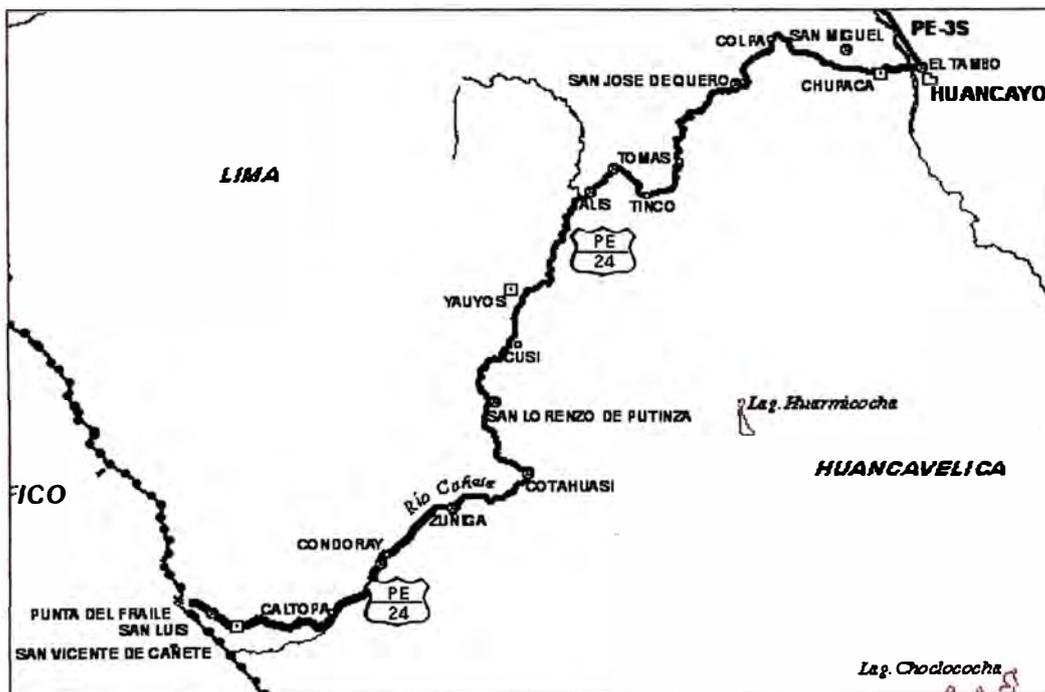
Niveles de servicio. El “Glosario de términos de uso frecuente en proyectos de infraestructura vial” del MTC define el concepto de “niveles de servicio” como los indicadores que califican y cuantifican el estado de servicio de una vía, y que normalmente se utilizan como límites admisibles hasta los cuales pueden evolucionar su condición superficial, funcional, estructural, y de seguridad. Los indicadores son propios a cada vía y varían de acuerdo a factores técnicos y económicos dentro de un esquema general de satisfacción del usuario (comodidad, oportunidad, seguridad y economía) y rentabilidad de los recursos disponibles.

1.1 UBICACIÓN

La carretera Cañete – Lunahuaná – Pacarán – Dv. Yauyos – Ronchas – Chupaca se ubica en la región central del país, uniendo las regiones geográficas de la costa y la sierra entre los departamentos de Lima y Junín (Ver Fig N° 1.01 y 1.02).

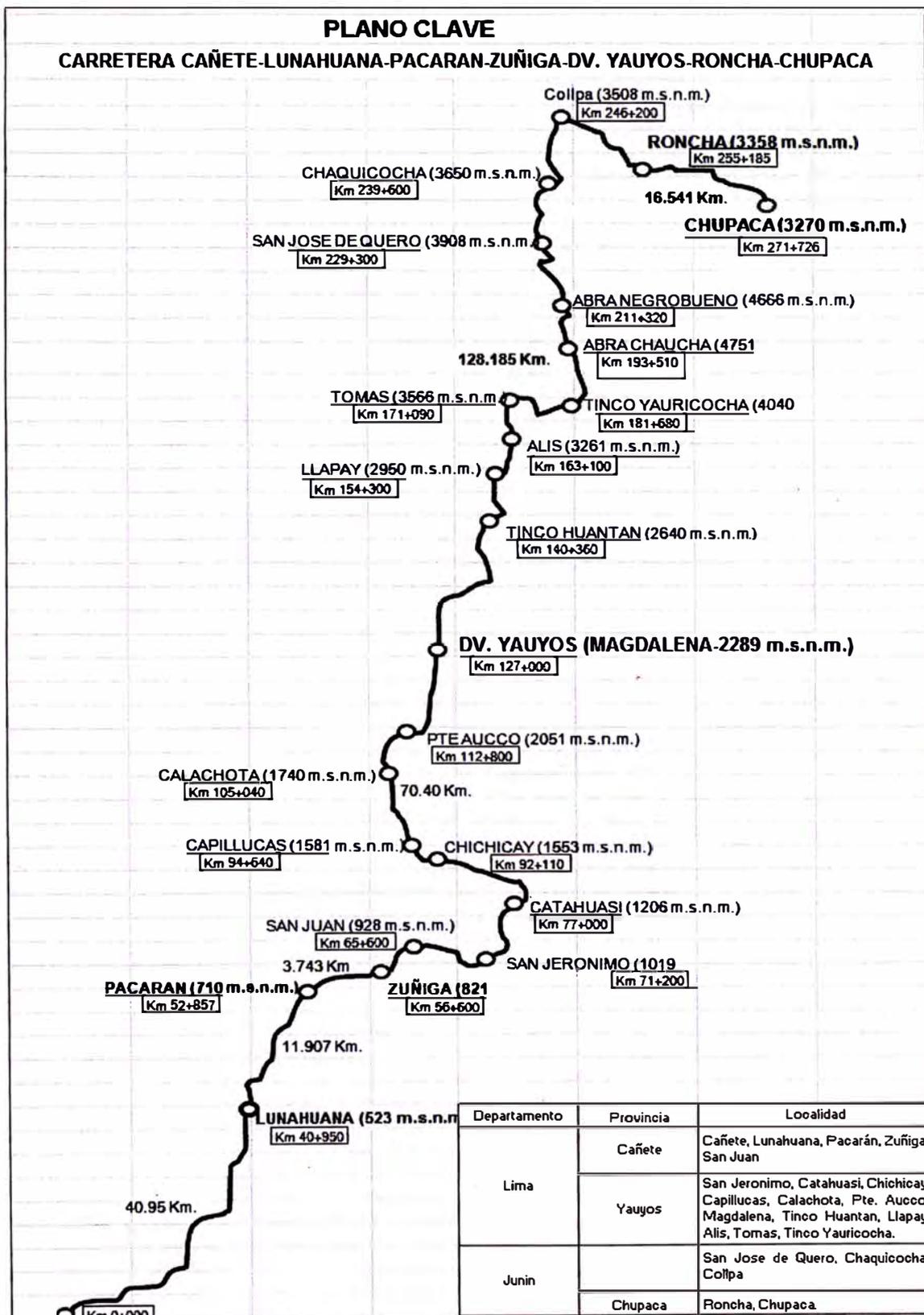
Su recorrido se inicia en la ciudad de San Vicente de Cañete en la progresiva Km. 001 + 805 y finalizando en la ciudad de Chupaca en el departamento de Junín, en la progresiva Km. 273 + 531. La longitud de la carretera es de 271.73 Km. Las altitudes que recorre van desde los 71 msnm hasta los 4,751 msnm. (Ver Fig N° 1.03). Las coordenadas UTM asociadas son (349542E, 8553780N) y (468436E, 8666980N).

Figura N° 1.01: Plano de ubicación de la carretera



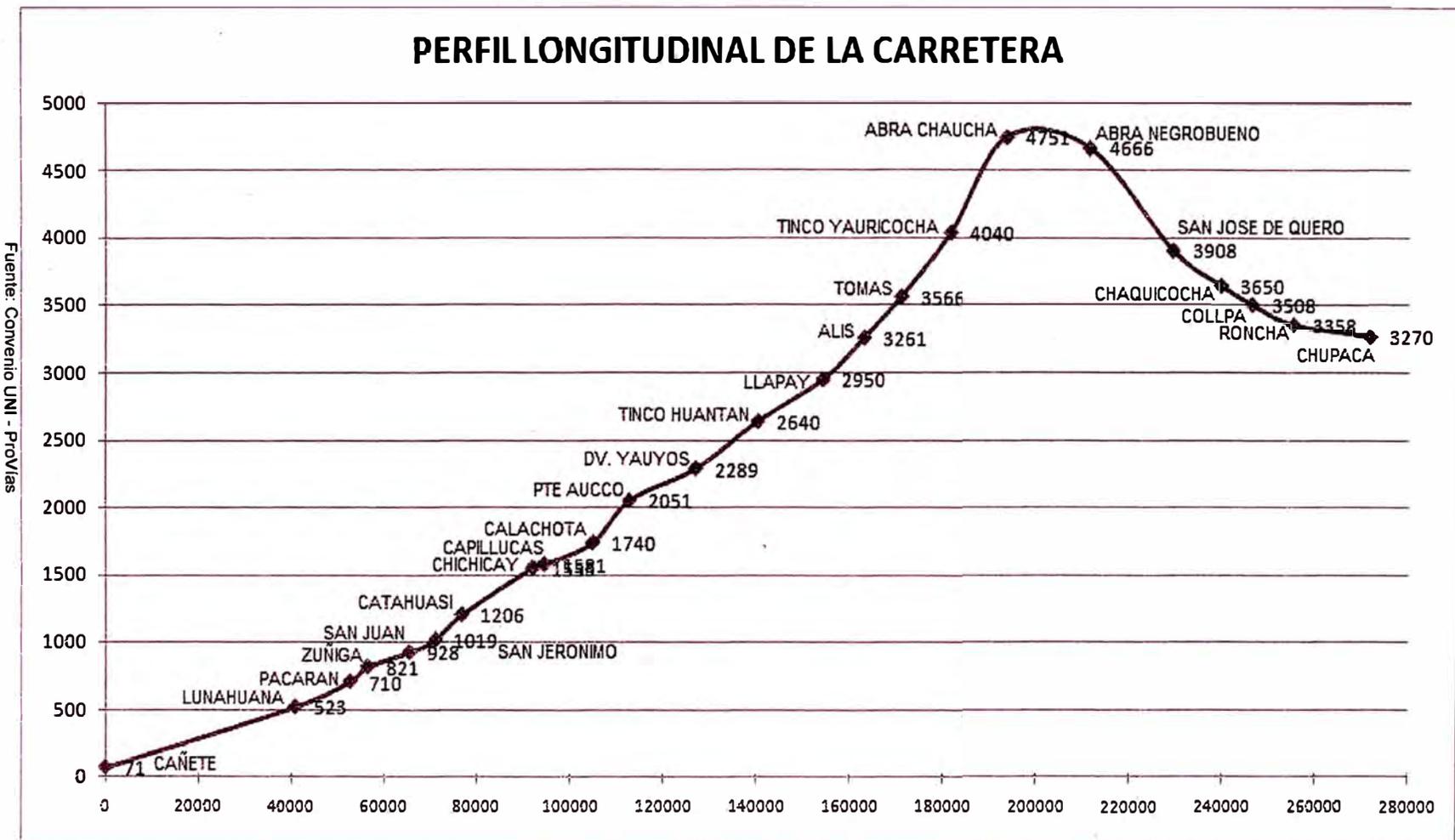
Fuente: Convenio UNI – Pro Vías

Figura N° 1.02: Plano clave de la carretera Cañete – Chupaca



Fuente: MTC

Figura N° 1.03: Perfil Longitudinal de la Carretera



1.2 OBJETIVO DEL ESTUDIO

El objeto de este estudio es describir una sistematización del procedimiento de evaluación de la rugosidad utilizando el equipo MERLIN. En consideración a lo anterior el desarrollo del estudio se enfocará en las siguientes partes:

- Describir un ordenamiento de las actividades de evaluación de mediciones de rugosidad con el equipo de bajo costo para el efecto (MERLIN).
- Elaborar una propuesta de manual de evaluación de la rugosidad utilizando el equipo de bajo costo para evaluación de rugosidad denominado MERLIN, en el que se describan instrucciones, procedimientos, criterios de aplicación, etc., aplicables para carreteras de bajo volumen de tránsito.

1.3 GENERALIDADES

1.3.1 Descripción del entorno

Clima y topografía. La carretera Cañete – Lunahuaná – Pacarán – Dv. Yauyos – Ronchas – Chupaca atraviesa siete de las ocho regiones naturales definidas por el geógrafo Javier Pulgar Vidal (ver Fig. N° 1.04).

La carretera comienza en la región costa (0 – 500 msnm), donde se encuentran las localidades de Cañete y Lunahuaná. El clima de esta región es sub tropical en la costa centro y sur. Cañete tiene una temperatura promedio de 22°C, fluctuando entre una máxima de 29°C y una mínima de 14°C. En el caso de Lunahuaná, los días son soleados durante casi todo el año, con una temperatura promedio de 32°C en el verano y 26°C en el invierno.

Ascendiendo, la carretera atraviesa la región Yunga (500 – 2,300 msnm), pasando por las localidades de Zúñiga (821 msnm) en el Km 56+600, Catahuasi (1,206 msnm) en el Km 77+000, Capillucas (1,581 msnm) en el Km 94+640, Carachota (1,740 msnm) en el Km 105+040, y la Dv. Magdalena (2,289 msnm) en el Km 127+000. Esta región se caracteriza por tener días soleados durante casi todo el año. La temperatura fluctúa entre 20°C y 27°C durante el día. Las

noches son refrescadas por los vientos que bajan de las regiones más altas y más frías.

Después atraviesa la región Quechua (2,300 – 3,500 msnm). El relieve de esta región es escarpado, conformado por los valles interandinos y los flancos de suave pendiente. En esta región la carretera atraviesa las localidades Tinco Huantan (2,640 msnm) en el Km 140+360, Llapay (2,950 msnm) en el Km 154+300, y Alis (3,261 msnm) en el Km 163+100. En esta región la temperatura media anual fluctúa entre 11°C y 16°C. Las máximas entre 22°C y 29 °C, y las mínimas entre -4°C y 7°C. En las estaciones de invierno y primavera durante el día esta región experimenta una fuerte insolación. Durante las noches la temperatura baja súbitamente por la escasa humedad atmosférica, experimentando un fuerte gradiente térmico entre el día y la noche.

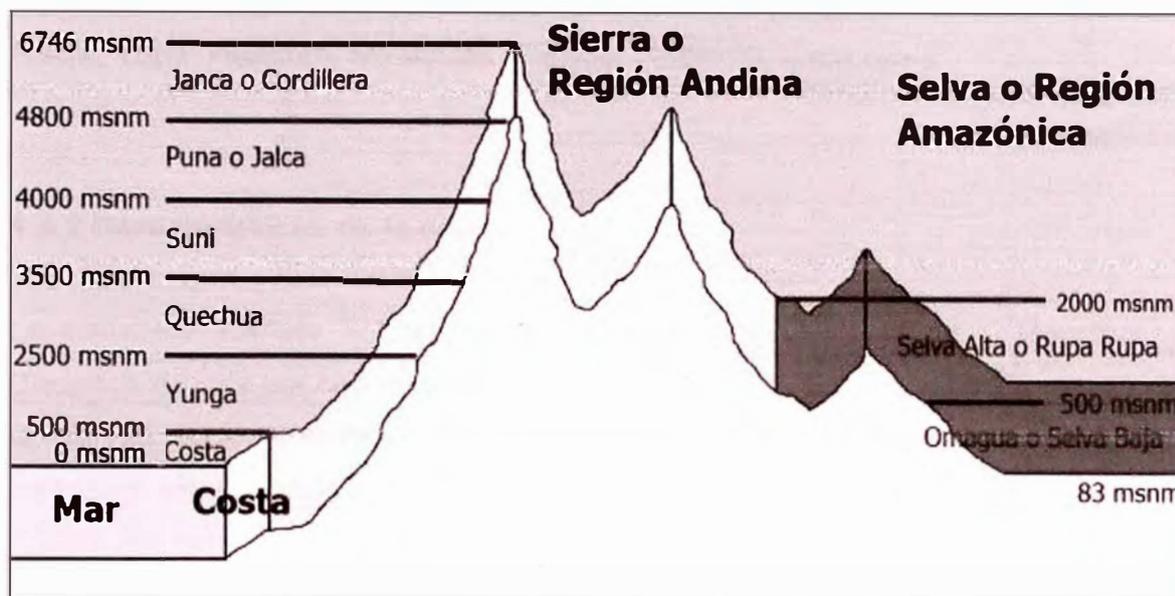
En su ascenso, la carretera atraviesa la región Suni o Jalca (3,500 – 4,000 msnm). En esta región el relieve es rocoso y escarpado, y se aprecian valles estrechos y zonas de pampas ligeramente onduladas, así como también acantilados y cerros. La carretera atraviesa la localidad de Tomas (3,566 msnm) en el Km 171+090. El clima de esta región es frío con una temperatura media anual que varía entre 7°C y 10°C, con máximas superiores a 20°C y mínimas que varían entre -16°C y -1°C. Se aprecian grandes nubes tipo cúmulo.

La carretera atraviesa la región Puna (4,000 – 4,800 msnm), donde el relieve es escarpado, de aspecto rocoso, y se aprecian glaciares. En su ascenso por esta región la carretera pasa por las localidades de Tinco Yauricocha (4,040 msnm) en el Km 181+680, el abra Chaucha (4,751 msnm) en el Km 193+510, para luego descender por el abra Negro Bueno (4,666 msnm) en el Km 211+320. La temperatura media anual varía entre 0°C y 7°C, con máximas mayores entre 15°C y 22°C que ocurren entre setiembre y abril, y mínimas que varían entre -25°C y -9°C que ocurren entre mayo y agosto.

En su descenso, la carretera vuelve a atravesar la región Suni o Jalca, pasando por las localidades de San José de Quero (3,908 msnm) en el Km 229+300, por Chaquicocha (3,650 msnm) en el Km 239+600, y Collpa (3,508 msnm) en el Km 246+200.

Finalmente la carretera vuelve a entrar en la región Quechua, pasando por la localidad de Ronchas (3,358 msnm) en el Km 255+185, y llegando a la ciudad de Chupaca (3,270 msnm) en la progresiva 271+726.

Figura N° 1.04: Regiones naturales de Perú



Fuente: http://www.estoesperu.net/8pisos_altitudinales.html

Precipitación. En cuanto a precipitaciones la carretera Cañete – Chupaca puede dividirse en los siguientes tramos:

- Entre Cañete y Catahuasi entre los 71 y 1,206 msnm. La precipitación promedio anual es escasa variando desde 10 mm en Cañete hasta 29 mm en Catahuasi.
- Cuenca media del río Cañete, entre los 2,000 y 3,500 msnm, donde la precipitación anual llegan a 297.1 mm.
- Cuenca alta del río Cañete, entre los 3,500 y más de 4,500 msnm, donde la precipitación se incrementa notablemente, registrándose por ejemplo 551 mm en la estación de Catania (3,825 msnm) en Yauyos, y 944.1 mm en la estación de Yauricocha (4,522 msnm) sita en Alis.

Hidrografía. La cuenca del río Cañete nace en la laguna Ticllacocha, a 4,600 msnm, al pie del nevado Tiílla, de la cordillera Pichcahuaria, y en su recorrido atraviesa las provincias de Yauyos y Cañete cambiando varias veces de dirección en su recorrido de 220 Km, para finalmente desembocar en el mar.

Entre los ríos que tributarios de esta cuenca se encuentran los ríos Huangascar, Caca, Tupe, Huantan, Miraflores, Yauyos, Aucampi, entre otros.

1.3.2 Características de la carretera.

La carretera Cañete – Lunahuaná – Pacarán – Dv. Yauyos – Ronchas – Chupaca es una vía con más de 50 años en servicio. Está clasificada dentro de la red vial nacional como corredor vial N° 13, una vía de tercera categoría, con velocidad directriz de 30 Km/h y un ancho de la calzada que varía entre 2.6 y 7.20m. No tiene bermas. La pendiente máxima es de 8.5%, la pendiente mínima es 0.10%.

1.3.3 Tipos de Pavimentos

En la carretera Cañete – Chupaca se han colocado pavimentos básicos en tramos que originalmente tenían superficie de rodadura de afirmado, y a este procedimiento se le ha denominado “cambio de estándar”, implicando necesariamente una mejora de las características técnicas de la vía. De esta manera encontramos que el contratista ha colocado tres tipos de pavimentos básicos. La construcción de un pavimento básico implica una menor inversión que un pavimento estándar, y se justifica cuando, por el limitado volumen de vehículos que la utilizan, la carretera en cuestión se clasifica como carretera de bajo volumen de tránsito (BVT). Una carretera se define como de BVT cuando su índice medio diario (IMD) es menor a 400 vehículos/día. El IMD se define como el volumen promedio del tránsito de vehículos en ambos sentidos durante 24 horas de una muestra vehicular (conteo vehicular).

En la carretera del estudio se han construido pavimentos básicos de tres tipos diferentes cada uno según la secuencia de los componentes de su estructura:

- Afirmado – grava estabilizada con emulsión – tratamiento superficial monocapa.
- Afirmado – grava estabilizada con emulsión – “slurry seal”.
- Afirmado – grava estabilizada con emulsión – tratamiento superficial monocapa – “slurry seal”.

Este procedimiento denominado “cambio de estándar” de una carretera (de superficie de afirmado a pavimento básico), se realiza siguiendo las etapas de reconformación de la subrasante, colocación de base estabilizada con emulsión asfáltica, y por último, aplicación del tratamiento superficial. A continuación se describen las tres etapas.

Reconformación de la subrasante. La subrasante reconformada implica entre otras mejoras, la restauración de las características geométricas de la fundación de la vía, puesto que implica escarificar la superficie, hacer cortes y rellenos, adicionando material de préstamo en los sectores que lo requieran hasta obtener el nivel de la subrasante conforme con el diseño de la vía. El espesor puede variar entre 10 y 30 cm. Esta etapa implica los siguientes pasos:

Escarificación de la plataforma existente. Se utiliza el “riper” de la motoniveladora.

Riego de la plataforma con agua.

Dos o tres pasadas con la cuchilla de la motoniveladora.

Compactación de la base reconformada.

Riego para el sellado de la base.

Base estabilizada con emulsión asfáltica. Una vez que se tiene la subrasante reconformada se procede a colocar la capa de base, la cual está constituida por una mezcla de gravilla estabilizada con asfalto, y debe tener un espesor de aproximadamente tres pulgadas.

La gravilla utilizada debe cumplir determinados requisitos de granulometría, por lo que se recomienda utilizarla en su tramo de prueba.

La emulsión asfáltica utilizada consiste en una dispersión homogénea de pequeños nódulos de cemento asfáltico cubiertos con un emulsificante, dentro

de una fase continua acuosa. En la carretera del estudio se ha usado emulsificante de rotura rápida.

Tratamiento superficial. Sobre la base estabilizada se coloca un recubrimiento bituminoso cuyo espesor mide aproximadamente un centímetro. En la carretera del estudio se han colocado dos tipos: el denominado “Slurry Seal”, y el tratamiento superficial simple denominado “monocapa”.

Cabe indicar que un tratamiento superficial de este tipo en la práctica no aporta resistencia estructural significativa al pavimento, proveyendo principalmente una cobertura impermeable a la base subyacente.

El “Slurry Seal” es un mortero asfáltico resultante de una mezcla homogénea de agua, emulsión asfáltica, filler mineral, y un agregado bien graduado. Es una mezcla de endurecimiento rápido, que mejora el desempeño del pavimento.

El tratamiento superficial simple o monocapa consiste en la aplicación de una película continua de ligante asfáltico sobre la superficie de una carretera, seguida de la colocación y compactación de una sola capa de agregado. El agregado a utilizar debe cumplir especificaciones geométricas determinadas. El material bituminoso es una emulsión asfáltica catiónica de rotura rápida del tipo CRR-2.

En la carretera del estudio se aplicó Slurry Seal entre las localidades de Pacarán y Catahuasi, y de Catahuasi en adelante se colocó tratamiento monocapa. Se observó que el tratamiento monocapa se degradó rápidamente.

CAPITULO II: RUGOSIDAD Y SERVICIABILIDAD

Según las “Especificaciones Técnicas Generales para la Conservación de Carreteras” del MTC (agosto de 2007), después de construida, rehabilitada o reconstruida, una vía se encuentra en buenas condiciones, debiendo ser atendida permanentemente mediante la conservación rutinaria y, cuando se hayan cambiado sus condiciones de bueno a un estado regular, se deberá realizar entonces la conservación periódica para volver el estado de la vía a unas condiciones similares a las iniciales.

La AASHTO desarrolló el concepto de “serviciabilidad” para evaluar el desempeño de una vía en relación a la percepción de confort de los usuarios. Al respecto, las Especificaciones Técnicas del MTC mencionan que en algunos países se utiliza el Índice de Rugosidad Internacional (IRI) para definir el momento de implementar un programa de conservación periódica. Las mismas Especificaciones Técnicas del MTC indican que el Índice Internacional de Rugosidad (IRI) es una medida de referencia para la regularidad superficial de la carretera en cuanto a deformaciones. El IRI mide la influencia del perfil longitudinal en la calidad de rodadura, expresada por la respuesta dinámica de un vehículo en movimiento. El IRI se cuantifica en metros por kilómetro, que es la media de los desplazamientos verticales por unidad de distancia

2.1 SERVICIABILIDAD

La definición de serviciabilidad fue desarrollada por la American Association of State Highway Officials (AASHO) en los años sesentas con el objeto de evaluar la capacidad de un pavimento para proporcionar un desplazamiento suave a los vehículos y una sensación de confort al usuario. Entonces, para evaluar la serviciabilidad de un pavimento se había establecido el parámetro denominado “Índice de Serviciabilidad Presente (PSI: Present Serviciability Index)”, el cual calificaba la condición funcional o capacidad de servicio del pavimento. Los valores de PSI se cuantifican en una escala de 0 a 5, donde el valor de 5 corresponde al pavimento en mejor estado (ver cuadro N° 2.01).

Cuadro N° 2.01 Escala de Calificación de la Serviciabilidad

Calificación		Descripción
Numérica	Verbal	
5 – 4	Muy buena	Los pavimentos nuevos o casi nuevos y sin deterioro clasifican en esta categoría.
4 – 3	Buena	Los pavimentos permiten un manejo de primera clase. Muestran poco o ningún deterioro superficial. Pavimentos flexibles comienzan a mostrar ahuellamiento. Pavimentos rígidos empiezan a mostrar deterioro superficial.
3 – 2	Regular	La calidad de manejo es notablemente menor a los pavimentos nuevos. Deterioro en pavimentos flexibles: ahuellamiento, parches, agrietamiento. Deterioro en pavimentos rígidos: fallas en las juntas, agrietamientos, escalonamiento, bombeo.
2 – 1	Mala	El grado de deterioro afecta la velocidad de tránsito. Deterioro en pavimentos flexibles: grandes baches y grietas profundas. Deterioro en pavimentos rígidos: desconche de juntas, escalonamiento, parches, agrietamiento y bombeo.
1 – 0	Muy Mala	Deterioro extremo. Tránsito a baja velocidad. Problemas de manejo. Grandes baches y grietas profundas. Más del 75% de la superficie se muestra deteriorada.

Fuente: AASHTO

El índice de serviciabilidad PSI consiste en calificar el grado de confort y seguridad que el usuario percibe al transitar por una vía a la velocidad de operación, y lo realiza un panel de evaluadores. Cada evaluador debe calificar la vía de una manera subjetiva es una escala de 0 a 5, correspondiendo el valor 0 a una vía intransitable y el valor de 5 a una vía en perfecto estado. El resultado en cada tramo de pavimento debe reportarse separadamente promediando los valores asignados por el panel de evaluadores. De esta manera se evaluaban el estado en que se encontraba una carretera.

2.2 RUGOSIDAD

En los años setentas era evidente que la regularidad de la superficie de un pavimento incidía en la calidad del mismo así como en los costos para los usuarios. Se habían desarrollado varias metodologías para medir la rugosidad de un pavimento, pero no eran compatibles entre sí. Para unificarlas, en 1,982 el Banco Mundial llevó a cabo en Brasil el proyecto internacional denominado "Internacional Road Roughness Experiment" (IRRE). Como resultado de dicho experimento se estableció un parámetro de medición de la regularidad superficial, que vino a denominarse "Índice de Rugosidad Internacional" (IRI: International Roughness Index), y que fue propuesto en 1,986 como un estándar estadístico de la rugosidad, e indicador de la calidad de la superficie de un pavimento.

Acerca del IRI se puede decir que: "El IRI resume matemáticamente el perfil longitudinal de la superficie de camino en una huella, representando las vibraciones inducidas por la rugosidad del camino en un auto de pasajeros típico. Está definido por el valor de referencia de la pendiente promedio rectificadas (RARS80: Reference Average Rectified Slope, razón entre el movimiento acumulado de la suspensión y la distancia recorrida) producto de la simulación del modelo de cuarto de carro, (RQCS: Reference Quarter Car Simulation), para una velocidad de desplazamiento de 80 km/h" (Badilla V., Gustavo, "Infraestructura Vial Digital", N° 21).

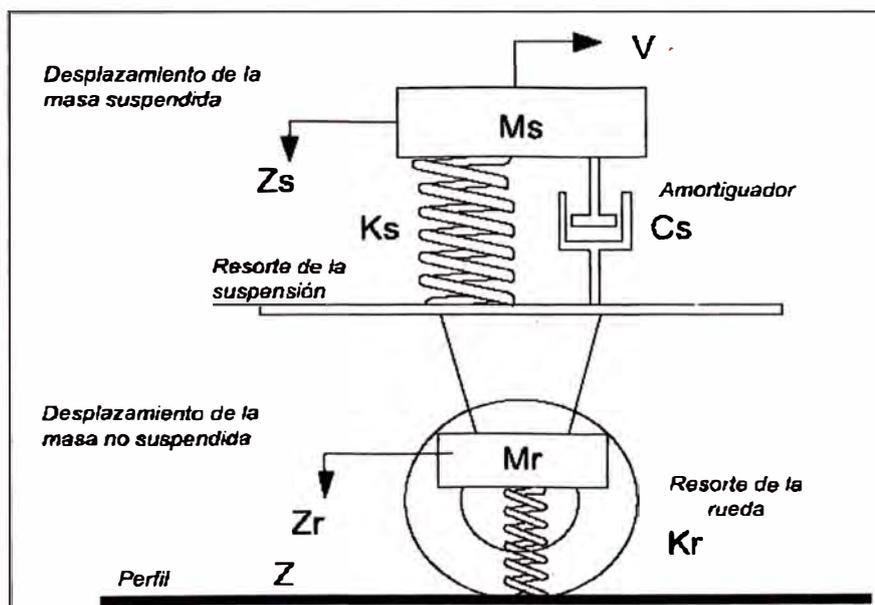
Las "Especificaciones técnicas generales para la conservación de carreteras" del MTC definen el IRI de esta manera: "El Índice Internacional de Rugosidad-IRI es una medida de referencia para la regularidad superficial de la carretera en cuanto a deformaciones. El IRI mide la influencia del perfil longitudinal en la calidad de rodadura, expresada por la respuesta dinámica de un vehículo en movimiento. El IRI se cuantifica en metros por kilómetro, que es la media de los desplazamientos verticales por unidad de distancia".

En resumen, el IRI es un modelo matemático, el cual calcula el movimiento acumulado en la suspensión de un vehículo de pasajero típico, al recorrer una superficie del camino a una velocidad de 80 km/h.

2.2.1 Cálculo del Índice de Rugosidad Internacional (IRI)

El primer paso del procedimiento para calcular el IRI es medir las cotas del terreno para tener el perfil real del camino. El IRI es independiente del método de obtención del perfil, y solo depende de la calidad del perfil longitudinal. Estos datos se analizan estadísticamente para generar un nuevo perfil. Así, se simula el comportamiento entre las llantas de los vehículos y la carretera, y se reduce la sensibilidad del algoritmo del IRI al intervalo de muestreo. Al nuevo perfil generado se le aplica el "modelo de cuarto de carro" (Figura N° 2.01) que se desplaza a 80 km/h, para registrar los desplazamientos verticales inducidos en un vehículo estándar, el cual es modelado como un conjunto de masas ligadas entre sí y con la superficie de la carretera, mediante resortes y amortiguadores. El movimiento sobre el perfil de la carretera produce desplazamientos, velocidades y aceleraciones en las masas, que nos lleva a medir los movimientos verticales no deseados atribuibles a la irregularidad del camino.

Figura N° 2.01 Modelo de cuarto de coche



Fuente: De Solminihac, H. Presentación PPT "Planificación y Gestión Vial", 2006

Donde:

k_s : constante del resorte de la suspensión

k_r : constante del resorte de la rueda

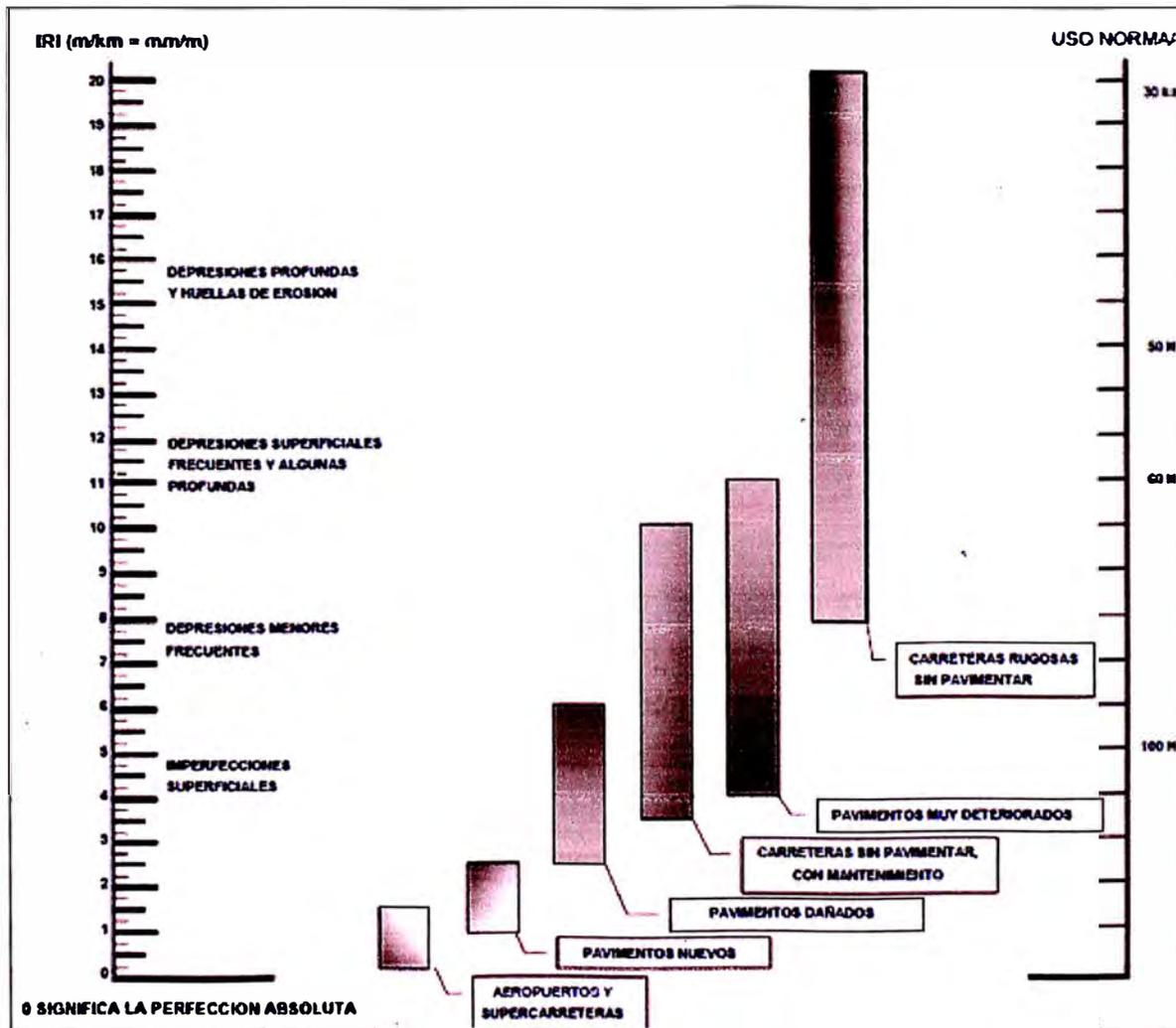
M_s : masa suspendida

M_r : masa no suspendida

c_s : amortiguador

Las ecuaciones dinámicas del modelo forman un sistema que utiliza como dato de entrada el perfil de la carretera (parte inferior del “resorte del neumático”). El movimiento vertical del eje respecto a la masa suspendida se calcula y se acumula. El valor en m/km es la medida final de la regularidad del camino. El Banco Mundial, se propuso una escala de medición de la regularidad superficial para diferentes tipos de vías (Figura N° 2.02).

Figura N° 2.02 Escala estándar para cuantificar el IRI



Fuente: UMTRI Research Review, Vol 33, N° 1, ene-feb 2002

2.2.2 Equipos de medición de la rugosidad

El Banco Mundial en su documento técnico N° 46 clasifica los métodos para medir la rugosidad de carreteras en cuatro clases, sobre la premisa de cuan directamente sus mediciones conciernen al IRI, y por consiguiente como afectan los requerimientos de calibración así como la precisión asociada con su uso.

Clase 1. Perfiles de precisión. Esta clase representa los mayores estándares de precisión para medir el IRI. Un método clase 1 requiere que el perfil longitudinal de la huella de la rueda sea medido (como una serie de puntos de elevación cercanamente espaciados a lo largo de la huella de la rueda) como base para el cálculo del valor de IRI. Para métodos perfilométricos estáticos, la distancia entre las muestras no debe ser mayor a 250 mm (4 mediciones por metro), y la precisión en las elevaciones debe ser 0.5 mm para pavimentos muy suaves. Los perfilómetros de alta velocidad son los más adecuados para medir el IRI rápidamente; sin embargo, el perfilómetro debe ser validado a la vez, contra un procedimiento establecido tal como el método de “mira y nivel” para probar su precisión. Un método que arroja este nivel de precisión tiene asociada la desventaja de requerir una gran inversión de esfuerzo para realizar la medición de la rugosidad (por ejemplo el método de mira y nivel). La precisión obtenida usando un método clase 1 iguala o excede los requerimientos de una aplicación dada, por lo que el método de clase 1 es visto como de utilidad primaria para validar otros métodos, o cuando son requeridos datos de especial alta precisión. A esta clase pertenece el método denominado de “mira y nivel”, “ROMDAS Z250”, “Barra TRRL”, “Dipstick”, “Perfilómetro ARRB”.

Clase 2. Otros métodos perfilométricos. Esta clase incluye todos los otros métodos en los que el perfil es medido como base para el cálculo directo del IRI, pero que no son capaces de dar la precisión requerida para una medición de clase 1. Ejemplos: “APL Trailer”, “Inertial Perfilometer GMR”, MERLIN.

Clase 3. IRI estimado a partir de ecuaciones de correlación. Son los sistemas tipo respuesta o sistemas de medición de rugosidad por reacción (SMRR). Las mediciones dependen de las características dinámicas del vehículo, y los valores deben adaptarse a unidades de IRI mediante ecuaciones de correlación. Tenemos por ejemplo el “Mays meter” y el “Bump integrator”

Clase 4. Estimaciones subjetivas y medidas no calibradas. Son evaluaciones subjetivas, que se utilizan cuando no se necesita altos niveles de precisión. Basta con una experiencia de manejo o podría usarse una inspección visual. Otra posibilidad es usar las mediciones de un instrumento no calibrado.

2.3 MEDICION DE LA RUGOSIDAD CON EQUIPO MERLIN

La rugosidad superficial de una carretera es un indicador de la condición de la misma. Se utilizará el equipo de bajo costo para evaluar la rugosidad (MERLIN) que fue desarrollado por el Laboratorio de Investigación del Transporte de Inglaterra (TRL: Transport Research Laboratory). La palabra "MERLIN" viene de la frase "Machine for Evaluating Roughness using Low-cost Instrumentation", que significa: "Equipo de bajo costo para evaluar la rugosidad". El instrumento es de construcción simple, fuerte, y es sencillo de usar. Puede ser empleado para medir la rugosidad de la superficie de un camino, o puede ser usado para calibrar otros instrumentos. Su rendimiento es de unos 8 a 10 Km por día.

2.3.1 Descripción del equipo.

Este equipo consiste de un marco metálico con una rueda en la parte delantera, y manijas y una pata en la parte trasera. La distancia entre la pata trasera y la parte inferior de la rueda es de 1.8 m. Adosado al marco hay un brazo movable mediante un pivote, que tiene un patín de prueba en un extremo, el cual descansa en la superficie del pavimento, a media distancia entre la rueda y la pata trasera. En el otro extremo del brazo hay un puntero que se mueve sobre un tablero graduado. El brazo pivotea cerca del patín de prueba para que con un desplazamiento vertical del mismo de 1 mm, se produzca un desplazamiento de 1 cm en el puntero.

La figura 2.03 muestra un esquema del MERLIN Mk 2. Este instrumento consta de:

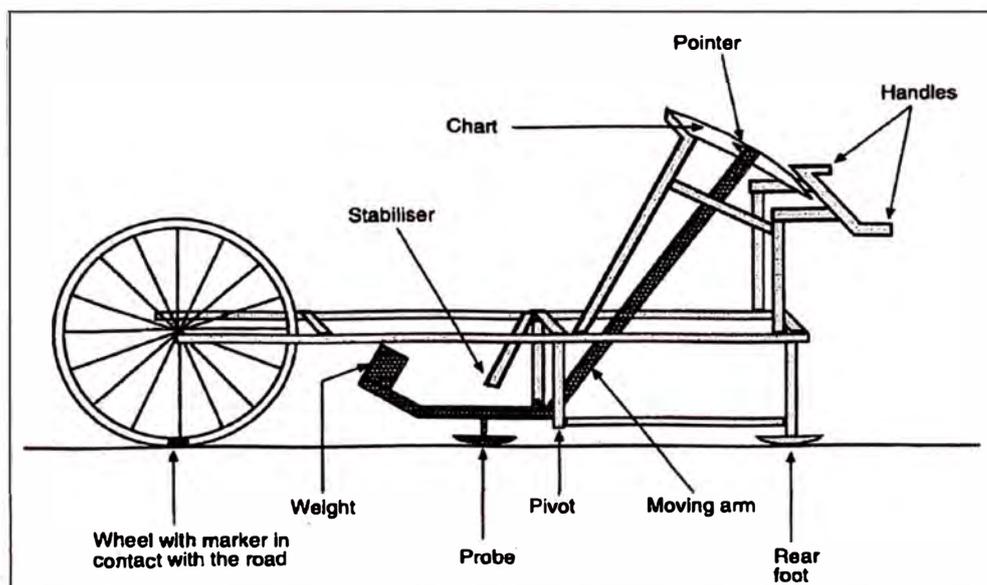
Una rueda de bicicleta en la parte delantera unida al marco por un eje. La parte inferior de la rueda actúa como la pata delantera.

Una pata metálica vertical adosada a la parte trasera del marco. Un patín en forma de media luna en la parte inferior de la pata constituye la pata trasera.

Dos barras verticales centrales en la mitad del equipo que bajan cerca de la superficie del camino. Estas barras facilitan conectar el brazo móvil.

- Un brazo móvil adosado en la parte inferior de la barra central mediante un pivote.
- Un patín metálico en forma de media luna (igual que la pata trasera), adosado en la parte inferior del brazo móvil. Este hace contacto con el camino a mitad de distancia entre las patas delantera y trasera.
- Un contrapeso adosado en el extremo del brazo móvil, que fuerza al patín hacia abajo hasta que toca la superficie del camino o la parte superior del brazo alcanza su posición final.
- Un puntero adosado en la parte superior del brazo móvil que se mueve sobre un apoyo del tablero. Las dimensiones son tales que un movimiento en el patín de 1 mm producirá un movimiento de 1 cm en el puntero.
- Dos manijas en la parte trasera del marco que permiten al operador levantar al MERLIN y hacerlo rodar a lo largo del camino.
- Un marcador en la rueda o llanta. Cuando el marcador está en la parte inferior, se dice que la rueda está en posición normal (Figura 2.03).
- Una cartilla gráfica sobre un tablero de apoyo.

Figura N° 2.03: MERLIN tipo Mark 2



Fuente: TRL Report 229, M. A. Cundill

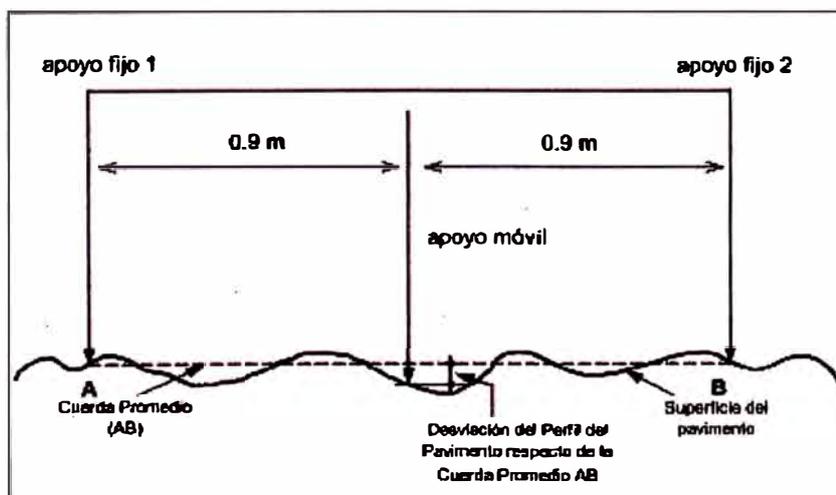
Por facilidad en la confección, el marco metálico, las barras centrales, la barra vertical posterior, el brazo móvil y las manijas, están hechas de tubo de acero de sección cuadrada. Las juntas son soldadas preferentemente.

2.3.2 Método de uso.

Para determinar la rugosidad de una sección de camino, se hacen 200 mediciones a intervalos regulares. En cada medición, el equipo es estacionado en el camino con la rueda en su posición normal y con la pata trasera y el patín en contacto con la superficie del camino. El desplazamiento del patín central mide la desviación vertical de un punto de la superficie de rodadura con respecto a una superficie ideal horizontal que pasa por los dos apoyos fijos (Ver Figura N° 2.04). Esta desviación vertical implica un movimiento del extremo superior del brazo móvil, que se desplaza sobre el tablero de anotaciones. (Ver Figura N° 2.05). La posición del puntero sobre el tablero gráfico se registra en un formato especial. Cada nueva medición se realiza moviendo el equipo hacia delante a una nueva posición en el camino y registrando la correspondiente nueva posición del puntero sobre el tablero, de manera que se va formando un histograma de distribución de las marcaciones. Las manijas del MERLIN son entonces levantadas de manera que el patín y la pata trasera queden sin contacto con el suelo, y el equipo es desplazado hacia delante hacia la siguiente posición a medir, donde el proceso es repetido.

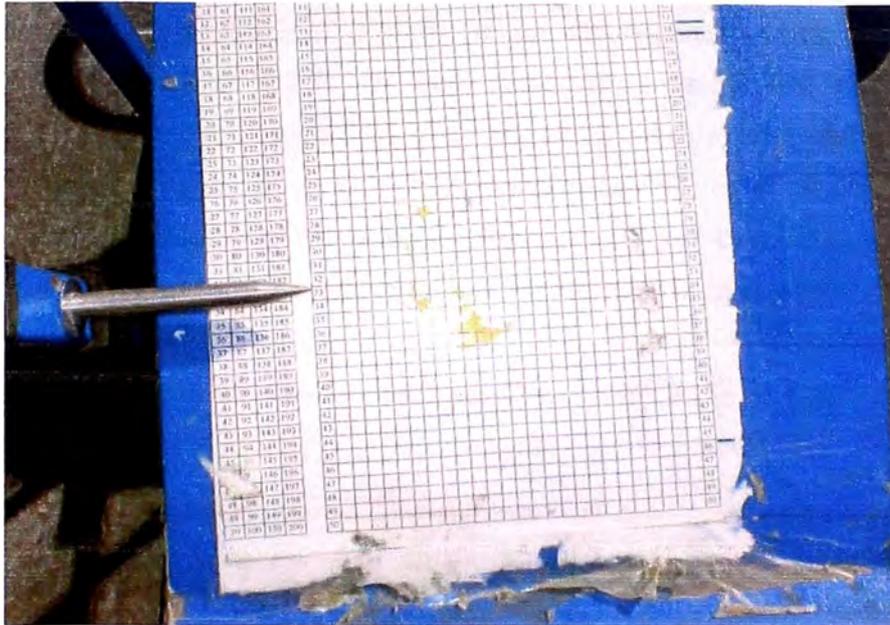
La circunferencia de la rueda de bicicleta mide 2 m, por lo que las 200 lecturas se deben hacer en un tramo de 400 m. Las lecturas obtenidas se registran en un histograma de frecuencias, de las cuales se elimina el 10% de los valores obtenidos. Con los restantes valores se calcula el IRI del tramo usando ecuaciones de correlación.

Figura N° 2.04: Deflexión respecto a la cuerda promedio



Fuente: TRL Report 229, M. A. Cundill (adaptado por Pablo del Aguila)

Figura N° 2.05 Tablero con escala gráfica y puntero



Fuente: elaboración propia

2.3.3 Determinación de la rugosidad con equipo de bajo costo (MERLIN).

El equipo de bajo costo para evaluar rugosidad (MERLIN) se emplea en tramos de carretera de 400 m de largo, efectuando 200 lecturas cada 2 m. La ubicación del puntero sobre la tabla gráfica indicará la lectura que debe registrarse en un formato para el efecto. El Cuadro N° 3.09 muestra el formato de registro de 200 lecturas correspondientes a un tramo de 400m del pavimento evaluado en la visita de campo del 27 de noviembre de 2010.

Figura N° 2.06 Medición de rugosidad con equipo de bajo costo (MERLIN)



Fuente: elaboración propia

2.3.4 Cálculo del rango de desviaciones D.

Con los valores obtenidos se construye un histograma de desviaciones vs frecuencia (ver Figura N° 3.01). En este histograma se elimina el 10% de las mediciones, es decir, veinte valores, diez de cada extremo del histograma. Los valores restantes forman el rango de desviaciones "D". Si en esta eliminación encontramos columnas que no pueden descartarse por completo, se continúa eliminando valores en forma proporcional a frecuencia de la columna.

Con los datos del ejemplo del formato del Cuadro N° 3.09 se procede como se indica a continuación:

Extremo izquierdo del histograma. Se eliminan las columnas correspondientes a las desviaciones 15, 17 y 18, que en conjunto tienen $1+3+4=8$ valores. Como faltan eliminar 2 valores para completar 10, se eliminarán dos de los 4 valores de la columna 19, mientras que sus otros dos valores quedarán dentro del rango D.

Extremo derecho del histograma. Se eliminan por completo los valores de las columnas 31, 32 y 34, que poseen en conjunto $1+2+5=8$ valores. Faltan 2 valores para completar los 10 eliminados. Estos últimos 2 valores se toman de la columna 30, donde quedará un solo valor que se integrará en el rango D.

El rango D se calcula de la siguiente manera:

$$D = (2/4) \text{ columna} + 10 \text{ columnas enteras} + (1/3) \text{ columna}$$
$$\text{Rango D} = 0.50 + 10 + 0.33 = 10.83 \text{ columnas}$$

El rango D se expresa en milímetros. Como cada columna de la escala equivale a 5 mm, multiplicamos el rango D por 5 obteniendo lo siguiente:

$$D = 10.83 \times 5\text{mm} = 54.15\text{mm}$$

2.3.5 Factor de corrección del rango D.

El equipo de bajo costo MERLIN ha sido construido con una relación de brazos que se puede ajustar en una razón de 1:10 ó 1:5. Esta relación de brazos cambia con el uso por causa del desgaste del patín central, por lo que debe

corregirse. Para calcular un factor de corrección se utiliza un disco metálico de 5 cm de diámetro y 6mm de espesor, haciendo el siguiente proceso:

Medir el espesor real de la pastilla con un vernier, al décimo de mm. Se hacen cuatro mediciones y se promedia. La pastilla metálica que se utilizó en la visita de campo efectuada el 27 de noviembre de 2010 midió 6.2 mm.

Se coloca el equipo sobre una superficie plana, a un costado de la carretera, y se ajusta el patín central de tal modo que la lectura en el tablero corresponda a la marca 25.

Se levanta el patín central y se coloca la pastilla debajo del patín, volviendo a tomar una lectura. En la visita de campo se obtuvo el valor de 39. Como el espesor de la pastilla es de 6.2mm y la relación de brazos es de 1:10, se espera que el puntero suba 62 mm sobre el tablero. Como cada división del tablero equivale a 5 mm, el puntero deberá subir en $62/5 = 12.4$ valores. Por lo tanto, si inicialmente se registró el valor de 25, ahora con la pastilla el puntero debe indicar $25+12.4=37.4$ (aproximadamente 37). Como la lectura final fue de 39, significa que el aparato requiere ser calibrado, pues dio una lectura en exceso. Se corregirá con un factor de corrección dado por la siguiente expresión:

$$\text{Factor de corrección (FC)} = (10T)/(5(L_{\text{final}} - L_{\text{inicial}}))$$

Donde "T" es el espesor de la pastilla metálica medida en mm.

Para los datos recolectados en la visita de campo se obtuvo el siguiente factor de corrección:

$$FC = (10(6.2))/(5(39-25)) = 0.8857$$

2.3.6 Ecuaciones de rugosidad.

Para superficies de tierra, afirmado, superficies tratadas o caminos de concreto asfáltico, la rugosidad puede ser determinada usando la ecuación:

$$\text{IRI} = 0.593 + 0.0471 D$$
$$(2.4 < \text{IRI} < 15.9)$$

Donde IRI es la rugosidad en términos del índice de rugosidad internacional, en m/Km, y D es obtenido del histograma del MERLIN, en mm. Según Cundill, Mediciones de valores de IRI menores a 3 no son usualmente importantes a causa de que a ese nivel, la rugosidad tiene poco efecto en los costos de operación de los vehículos (Cundill, M.A., TRL Report 229).

Las ondulaciones en la superficie de un camino consisten en una mixtura de ondas de superficie de diferentes longitudes de onda. La sensibilidad de la escala de IRI varía con la longitud de onda y es máxima para ondas de alrededor de dos metros. La sensibilidad del MERLIN es también alta a esa longitud de onda y esa es la razón por la que da una buena estimación del IRI. Sin embargo, con otras longitudes de onda ocurren diferencias. El MERLIN es más sensible que el IRI para ondas cortas, y menos sensible para ondas largas (Cundill, M.A., TRL Report 229).

En resumen, una vez obtenido el rango D, a partir del histograma de frecuencias, se calcula el valor del IRI mediante ecuaciones de calibración (ver Cuadro N° 2.03), desarrolladas a partir de un estudio experimental y estadístico, por el Laboratorio británico de investigación de Caminos y Transportes (TRRL).

Cuadro N° 2.03 Ecuaciones de calibración

D < 42	D > 42
$IRI = 0.0485 \times D$	$IRI = 0.593 + 0.047 \times D$

Fuente: Del Aguila, Pablo, "Metodología para la determinación de la rugosidad de los pavimentos"

CAPITULO III: SISTEMATIZACION DEL PROCEDIMIENTO Y PROPUESTA DE MANUAL

A través del convenio entre ProVías Nacional y la FIC – UNI, desde el año 2,009 se viene examinando la rugosidad de la superficie de la carretera Cañete – Chupaca, utilizándose dos perfilómetros: el equipo de evaluación de rugosidad de bajo costo (MERLIN) y el equipo de respuesta denominado bump integrator. Puesto que una meta del convenio es proponer normatividades para diseñar carreteras de bajo volumen de tránsito, se debe sistematizar los procedimientos empleados, para integrar la información resultante. En este caso se delinearé una sistematización de la evaluación de la rugosidad utilizando el equipo de evaluación de rugosidad de bajo costo (MERLIN).

3.1 TRAMIFICACION Y SECTORIZACION DE LA ZONA DE ESTUDIO

3.1.1 Recopilación y análisis de datos

Al inicio de una evaluación de rugosidad se debe acopiar y clasificar la información disponible. En la carretera en estudio se encontró que los datos de rugosidad correspondían a tramos diferentes de la vía, de manera que una mejor evaluación podría realizarse solo a partir de que posteriores campañas de medición de rugosidades cubran los vacíos de información detectados. En todo caso los datos recopilados se muestran en los cuadros N° 3.01 y 3.02:

Cuadro N° 3.01: IRI medido con MERLIN. Carretera Cañete-Chupaca

Progresiva Inicial (Km)	Progresiva Final (Km)	Tratamiento	Fecha	IRI
74.40	74.80	Slurry-seal	03/07/2009	3.51
75.00	75.40	Slurry-seal	03/07/2009	3.57
76.30	76.70	Slurry-seal	03/07/2009	3.51
77.20	77.60	Slurry-seal	03/07/2009	3.18
78.05	78.45	Slurry-seal	03/07/2009	2.84
79.50	79.90	Slurry-seal	29/06/2009	4.64
79.90	80.30	Slurry-seal	29/06/2009	3.51
80.30	80.70	Slurry-seal	29/06/2009	3.49
80.70	81.10	Slurry-seal	29/06/2009	3.74
81.90	82.30	Slurry-seal	29/06/2009	6.32
82.30	82.70	Slurry-seal	29/06/2009	3.50
83.00	83.40	Slurry-seal	29/06/2009	5.89

Fuente: CONVENIO ProVías – UNI

Cuadro N° 3.02: IRI medido con MERLIN. (Curso Titulación 2009-2)

Tipo de Superficie	Fecha de Ensayo	Tramo	IRI (m/Km)
Slurry Seal	02/10/2009	60+000 – 60+400	3.81
	02/10/2009	66+600 – 67+000	3.64
	02/10/2009	72+000 – 72+400	3.16
	02/10/2009	76+600 – 77+000	3.84
Monocapa	02/10/2009	80+100 – 80+500	3.94
	02/10/2009	84+600 – 85+000	4.93
	02/10/2009	91+100 – 91+500	4.30
	02/10/2009	97+800 – 98+200	4.79
	02/10/2009	99+800 – 100+200	6.48

Fuente: Informes de Suficiencia 2009-2

El 27 de noviembre la UNI recopiló más datos IRI de la carretera Cañete – Chupaca. Para ello fueron utilizados equipos de bajo costo para evaluar la rugosidad. Los equipos disponibles fueron el MERLIN analógico y el MERLIN automatizado de la IIFIC. Los resultados obtenidos se muestran en el Cuadro N° 3.03.

Cuadro N° 3.03: IRI medido con MERLIN - Curso de Titulación 2010-2

Prog. Inicial		Prog. Final	Tratamiento	Fecha	IRI MERLIN autom. carril der	IRI MERLIN manual carril izq	IRI prom
74+000	-	74+400	Slurry Seal	27/11/2010	4.16	3.70	3.93
74+400	-	74+800	Slurry Seal	27/11/2010	3.27	3.29	3.28
74+800	-	75+200	Slurry Seal	27/11/2010	3.76	3.30	3.53
75+200	-	75+600	Slurry Seal	27/11/2010	3.15	2.85	3.00
75+600	-	76+000	Slurry Seal	27/11/2010	3.76	3.30	3.53
76+000	-	76+400	Slurry Seal	27/11/2010	3.53	3.67	3.60
76+400	-	76+800	Slurry Seal	27/11/2010	3.65	3.28	3.46
76+800	-	77+200	Slurry Seal	27/11/2010	3.22	3.08	3.15
77+200	-	77+600	Slurry Seal	27/11/2010	3.06	3.20	3.13
77+600	-	78+000	Slurry Seal	27/11/2010	-	3.46	3.46
78+000	-	78+400	Slurry Seal	27/11/2010	-	3.10	3.10
78+400	-	79+000	Slurry Seal	27/11/2010	-	3.72	3.72
79+000	-	79+400	Slurry Seal	27/11/2010	4.36	4.28	4.32
79+400	-	79+800	Slurry Seal	27/11/2010	3.70	3.27	3.48
79+800	-	80+200	Slurry Seal	27/11/2010	3.88	3.72	3.80
80+200	-	80+600	Slurry Seal	27/11/2010	4.31	3.65	3.98
80+600	-	81+000	Slurry Seal	27/11/2010	3.62	4.13	3.88

Fuente: Grupo 3 - Curso de Titulación 2010-2

3.1.2 Tramificación de la carretera.

Es necesario establecer pautas para tramificar la carretera, como paso previo a la ejecución de ensayos de evaluación de la rugosidad. La sectorización de una carretera en tramos homogéneos es una etapa importante dentro de todo programa de mantenimiento. Se considera si un tramo es homogéneo en función

de la regularidad de alguna característica, por ejemplo: la rugosidad superficial (IRI), la condición estructural del pavimento, el volumen de tráfico (IMD), el número de carriles, la condición superficial del pavimento (PCI), el tipo de pavimento empleado, el espesor de la sub base, etc. También se pueden considerar los siguientes datos del entorno, aunque su relevancia es relativa: geomorfología (pendientes transversales, taludes, tipo de valles, arborización), gradiente térmico, etc., puesto que se puede considerar que estas últimas características influyen también en el estado de la carretera.

3.2 PLAN DE TRABAJO PARA LA MEDICION DE LA RUGOSIDAD CON EQUIPO MERLIN

3.2.1 Consideraciones para evaluar la rugosidad con el equipo MERLIN.

Para utilizar el equipo de bajo costo (MERLIN) en un programa de evaluación de rugosidad, es necesario tener en cuenta los siguientes aspectos:

Definir la frecuencia de evaluación de rugosidad del tramo de estudio.
Evaluar la rugosidad antes del periodo de lluvias (octubre) y después del mismo (mayo). Por lo tanto, la evaluación debería llevarse a cabo por lo menos dos veces por año.

No medir la rugosidad en singularidades tales como: puentes, gibas, ni en superficies de rodadura cubiertas con materiales de arrastre.

La medición debe ser un proceso continuo.

Debe considerarse medidas de seguridad para el personal, tal es el caso de hallarse en zonas de curvas tanto horizontales como verticales. Es necesario señalizar estos lugares de riesgo.

Medir el ancho del carril tanto izquierdo como derecho si lo hubiera (para medir el desgaste en la sección transversal).

El horario de trabajo recomendable necesariamente es en horas del día, lo más temprano posible. La jornada puede ser de 8 horas por día.

Para reducir las fuentes de error, el personal deberá tener especial cuidado en los siguientes aspectos:

No desviarse de la huella que se está midiendo.

La correcta ubicación de la marca guía de la rueda del equipo.

La toma de las lecturas del puntero.

El registro de las lecturas por el anotador.

Para el momento de levantar la información es necesario definir los siguientes aspectos:

El equipo a utilizar: el MERLIN, winchas, vernier, pintura, brochas.

El personal: un operador, un anotador, dos ayudantes de seguridad.

Las medidas de seguridad a tomar: todo el personal con cascos, zapatos y chalecos de seguridad; los ayudantes de seguridad provistos de conos y banderines de señalización.

Las comunicaciones: radios de comunicación.

Establecer la estructura del convoy: se adelanta unos 100 m un ayudante de seguridad, luego el equipo con el operador y el anotador, luego a unos 100 m el otro ayudante de seguridad.

Plantear el rendimiento de la jornada: es razonable un rendimiento de 8 a 10 Km/h.

3.3 SISTEMATIZACION DEL PROCEDIMIENTO

La sistematización del procedimiento de evaluar la rugosidad de la superficie de una carretera con el equipo de bajo costo denominado MERLIN debe incluir las siguientes etapas:

3.3.1 PREPARACIÓN

En esta etapa se recopilará la información disponible de la carretera. Se debe reunir información de las características técnicas, de la topografía, el clima, etc. Para ello será necesario ubicar las fuentes de información tales como el Ministerio de Transportes y Comunicaciones, los archivos de instituciones como Provias Nacional, el Convenio UNI – Provias, etc. Con la información recopilada se hará un inventario de las características de la vía, con el objeto de dividirla en tramos homogéneos. Hay diversos criterios para sectorizar una vía, tales como por su rugosidad superficial medida en IRI, por la condición estructural del pavimento, por el volumen de tránsito (IMD), por su número de carriles, por la condición superficial del pavimento (PCI), tipo de pavimento construido, espesores, etc. En el tramo estudiado se consideró tramificarlo en función al IRI y al tipo de tratamiento superficial. No se consideraron otros criterios por carecer de información actualizada.

3.3.2 PLANEAMIENTO

En esta etapa se debe visitar la zona de estudio. Luego del reconocimiento de campo, se podrá estimar que equipos serán necesarios para el estudio.

Es necesario establecer la frecuencia con que se debe realizar la evaluación de la rugosidad de una carretera. Es conveniente iniciar la evaluación desde el momento que la vía entra en servicio. La vida útil de una carretera se inicia cuando se concluye su construcción. Para la carretera Cañete – Chupaca se recomienda medir la rugosidad antes del periodo de lluvias (octubre) y después del periodo de lluvias (mayo), es decir, por lo menos dos veces por año.

Según Sayers un equipo tal como el MERLIN se podría utilizar en tramos no mayores a 50 Km de largo, no necesariamente contiguos, y con fines de hacer evaluaciones de rehabilitación o mejoramiento en sitios específicos. Para

evaluaciones de largo plazo en redes de carreteras que alcancen o superen los 1,000 Km de largo, se considerarán solamente instrumentos que puedan ser operados a altas velocidades (al menos 50 Km/h, preferiblemente 80 Km/h y aún mayores) (Sayers, WBTP N° 46, cap 2.4).

3.3.3 PROGRAMACIÓN

En esta etapa se definen los tramos a evaluar, y se elabora el prepuesto.

3.3.4 APROBACIÓN

Se refiere al proceso de aprobación propio del contratista, así como de la entidad que ha encargado el estudio.

3.3.5 EJECUCIÓN

La ejecución propiamente dicha se puede dividir en dos partes, la primera se refiere a la campaña de mediciones de la rugosidad, y la segunda al procesamiento de la información levantada. Los resultados deben sectorizarse haciendo uso del método de las sumas acumuladas.

Pasos para recopilar información de campo

Seleccionar 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.

La ejecución del ensayo requiere de dos personas que trabajan conjuntamente: un operador que desplaza el equipo y realiza las lecturas y un auxiliar que las anota.

Cada medición se realiza estacionando el equipo a intervalos de unos 2m de distancia; para esto se toma como referencia la circunferencia de la rueda del MERLIN, que mide unos 2 m, por lo que debe hacerse una medición a cada vuelta de la rueda.

En cada medición 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. El proceso de medición debe ser continuo.

La prueba empieza estacionando el equipo al inicio del trecho de ensayo. El operador espera que el puntero se estabilice sobre el tablero gráfico, y observará el número que indica el puntero, realizando así la lectura que será registrada por el anotador. Luego del registro, el operador toma el instrumento por las manijas, elevándolo y desplazándolo hacia delante una vuelta de rueda. En la nueva ubicación se repite la operación explicada y así sucesivamente hasta completar las 200 lecturas.

Cada medición debe hacerse estacionando la rueda en la misma posición, para lo cual se pone una señal o marca visible sobre la llanta (con gutapercha, por ejemplo), la que debe quedar 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

Registro y procesamiento de la información

La posición que adopta el puntero sobre la escala gráfica indica la magnitud de la desviación vertical y corresponderá a una lectura entre 1 y 50, la que se anotará en el formato mostrado en el Cuadro N° 3.04, empezando por el casillero (1,1); los datos se llenan de arriba hacia abajo y de izquierda a derecha.

De cada tramo de 400 m con el equipo MERLIN se obtienen 200 mediciones, con las que se calculará la rugosidad superficial de dicho tramo. El método obtiene la rugosidad expresada en unidades propias del equipo MERLIN; por lo que luego se calculará la rugosidad equivalente en unidades de IRI.

Con los valores obtenidos se hace un histograma de desviaciones vs frecuencia (Figura 3.01), estableciendo el rango de valores agrupados en intervalos de frecuencia (D). Luego se debe descartar los valores poco representativos. Para esto se elimina el 5% de datos de cada extremo del histograma (eliminando 20 datos en total). En este proceso de descarte, puede que algunas columnas de los extremos del histograma queden con una fracción de sus datos originales. En este caso el ancho de tal columna será la razón entre los datos que quedan y los datos que tenía originalmente.

Cuadro N° 3.04 Formato de registro de datos de campo

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

PROYECTO : _____ **OPERADOR :** _____
SECTOR : _____ **SUPERVISOR :** _____
TRAMO : _____ **FECHA :** _____
CARRIL : _____

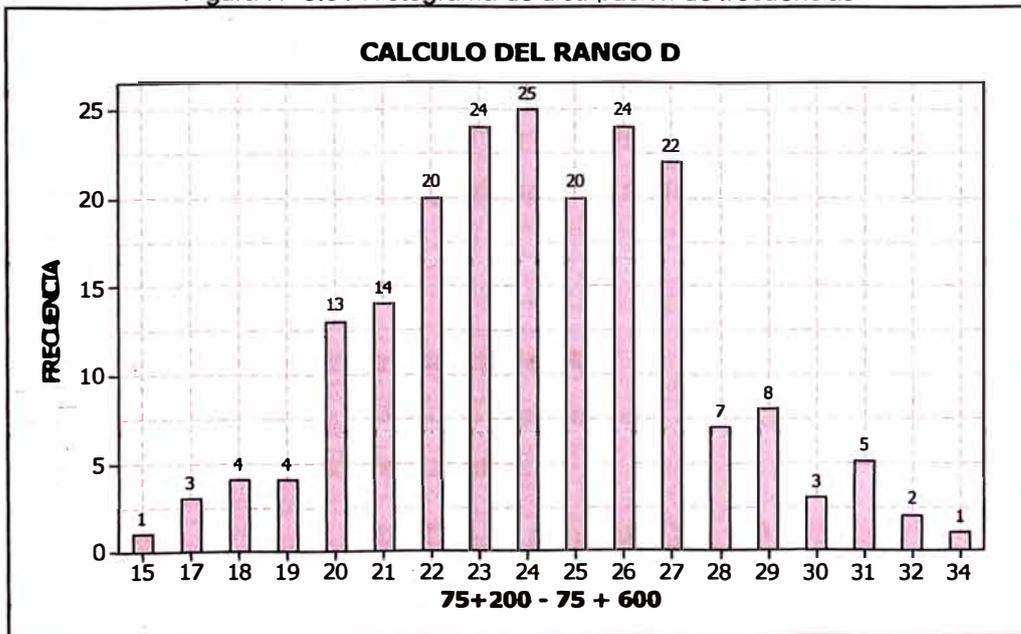
ENSAYO N° **KM** + **HORA**

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1											TIPO DE PAVIMENTO : <input type="checkbox"/> ASPHALTO <input type="checkbox"/> BASE CANALAS <input type="checkbox"/> BASE INTERMEDIA <input type="checkbox"/> TRAT. BICAPA <input type="checkbox"/> CARPETA ASFALTO <input type="checkbox"/> CURB. EN CALIESTE <input type="checkbox"/> MEZCLA PULVERULEA <input type="checkbox"/> APILO <input type="checkbox"/> OTRO
2											
3											
4											
5											
6											
7											
8											
9											
10											
11											
12											
13											
14											
15											
16											
17											
18											
19											
20											

OBSERVACIONES : _____

Fuente: "Manual del usuario MERLIN" – Pablo del Águila

Figura N° 3.01 Histograma de distribución de frecuencias



Fuente: elaboración propia

El rango D tendrá el valor de la suma de las columnas restantes más los valores fraccionarios de las columnas de los extremos, si es que hubiesen quedado después de haber descartado el 10% de valores.

El valor del rango D se debe expresar en mm, para lo cual se multiplica el valor D resultante por 5 mm, puesto que cada columna de la escala equivale a 5 mm.

Por causa del desgaste del patín de prueba del MERLIN, debe hallarse un factor de corrección para calcular el rango D. para esto se coloca el equipo sobre una superficie plana, y se ajusta el patín central de tal modo que la lectura en el tablero corresponda a la marca 25. Luego, sin mover el MERLIN, se coloca debajo del patín de prueba un disco metálico de espesor conocido y se vuelve a tomar lectura. Lo que se espera es que la nueva marca del puntero sea proporcional con la relación de brazos del equipo (1:10), es decir, que el puntero debe desplazarse una distancia igual al espesor del disco metálico multiplicado por 10. Si no hubiere desgaste, la nueva marca en el tablero será equivalente a la distancia anteriormente obtenida dividida por el espesor de cada cuadrícula que es 5mm. Si no sucediera esto, se debe calcular el factor de corrección FC mediante la siguiente expresión:

$$\text{Factor de corrección (FC)} = (10T) / (5 \times S)$$

Donde

T = Espesor del disco metálico (mm)

S = Variación de lecturas.

Luego, el valor corregido será D x FC. Este valor llevado a condiciones estándar es el valor de la rugosidad en unidades propias del instrumento MERLIN.

Cálculo de la rugosidad en la escala de IRI.

Para transformar la rugosidad a valores de la escala IRI, se utilizan las ecuaciones de correlación siguientes:

$$\text{Para } D < 42 \text{ se utiliza: } IRI = 0.0485 \times D$$

$$\text{Para } D > 42 \text{ se utiliza: } IRI = 0.593 + 0.047 \times D$$

El cálculo de la rugosidad superficial se realiza para cada tramo de 400 m.

Para mayor detalle acerca de este procedimiento, refiérase al acápite 3.4.10 de este informe.

Análisis de resultados

- Después de obtener los valores de IRI de todos los tramos en estudio, es conveniente agruparlos en sectores de IRI homogéneo. Para esto se utiliza el método de sumas acumuladas que permite simplificar la información resultante. Para ver una explicación más detallada de este método vea el acápite 3.4.11 del informe.

Cuadro N° 3.05 Sectorización por diferencias acumuladas

N° ord.	Progresiva						IRI	
01	74	+	000	al	74	+	400	3.93
02	74	+	400	al	74	+	800	3.28
03	74	+	800	al	76	+	000	3.35
04	76	+	000	al	76	+	800	3.53
05	76	+	800	al	78	+	800	3.25
06	78	+	800	al	79	+	800	3.90
07	79	+	800	al	80	+	200	3.80
08	80	+	200	al	81	+	000	3.93

Fuente: Elaboración propia

3.3.6 INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

La evaluación de la rugosidad de un pavimento necesariamente debe determinar valores que permitan clasificar la vía de acuerdo a su estado funcional, para decidir si requiere mantenimiento o la magnitud de tratamiento. En este caso, la rugosidad es un parámetro directamente relacionado con la condición funcional de un pavimento. El Cuadro 3.06 resume los criterios del MTC para elegir los tipos de tratamientos que debe recibir una vía, en relación a la condición funcional.

Cuadro N° 3.06 Intervenciones por condición funcional

Condición funcional	Intervención
Buen estado	Ninguna
Regular	Mantenimiento: parches, sello, recubrimiento, etc
Mal estado	Reconstrucción, cambio de superficie

Fuente: PROVIAS NACIONAL

Por otro lado, el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC) ha establecido ciertos límites para el índice Internacional de Rugosidad IRI, según se muestra en el Cuadro 3.07.

Cuadro N° 3.07 Estado vial según rugosidad

	Pavimentadas	No pavimentadas
Estado	Rugosidad	Rugosidad
Bueno	0 < IRI < 2.8	0 < IRI < 6
Regular	2.8 < IRI < 4	6 < IRI < 8
Malo	4 < IRI < 5	8 < IRI < 10
Muy malo	5 < IRI	10 < IRI

Fuente: MTC (2007)

Luego, la condición funcional de un pavimento se puede relacionar con el parámetro rugosidad, para recomendar el tratamiento a aplicar al pavimento, si es que lo requiere. Esto se resume en el Cuadro N° 3.08.

Cuadro N° 3.08 Estado – Rugosidad - Tratamiento

Vías Pavimentadas		
Estado	Rugosidad	Tratamiento
Bueno	0 < IRI < 2.8	Ninguna
Regular	2.8 < IRI < 4	Mantenimiento: parches, sello, recubrimiento, etc.
Malo	4 < IRI < 5	Desde mantenimiento hasta reconstrucción
Muy malo	5 < IRI	Reconstrucción, cambio de superficie

Fuente: Elaboración propia

3.3.7 CONCLUSIONES

Las conclusiones de la evaluación se presentarán en un formato que resuma la información de la ubicación de los tramos de estudio y de los valores de IRI respectivos. El informe debe indicar la fecha de ejecución de la evaluación, el tipo de carretera, tipo de pavimento, el nombre del responsable del control, etc.

3.4 PROPUESTA DE MANUAL PARA MEDIR LA RUGOSIDAD CON EQUIPO DE BAJO COSTO (MERLIN)

El manual indica las metodologías para medir la rugosidad con equipo de bajo costo (MERLIN), para calcular la rugosidad utilizando los datos obtenidos, y el método para determinar si dos muestras de rugosidad corresponden a tramos homogéneos.

La rugosidad superficial de un pavimento es un indicador importante de la condición del mismo. Este manual provee una descripción detallada del equipo de bajo costo para evaluación de carreteras (MERLIN) e instrucciones prácticas para su uso. Este equipo puede ser utilizado para medir directamente la rugosidad de un pavimento, como también sirve para calibrar otros instrumentos tales como el Bump Integrator.

3.4.1 ALCANCES Y CAMPO DE APLICACIÓN

Este método abarca en general los temas relacionados con las mediciones de rugosidad superficial (irregularidades en la superficie) de pavimentos asfálticos, de concreto, tratamientos superficiales y eventualmente, de otros tipos de capas de rodadura, expresada mediante el indicador IRI (Internacional Roughness Index), utilizando el equipo de bajo costo denominado MERLIN. Particularmente se aplicará en carreteras de bajo volumen de tránsito.

Es aplicable para medir la rugosidad en superficies con pavimentos flexible, pavimentos de concreto, pavimentos compuestos (recapados) y capas granulares.

Este método sirve para determinar la rugosidad de un pavimento haciendo uso de la distribución de las desviaciones de la superficie respecto de una cuerda promedio.

Este ensayo se realiza para obtener información que permita evaluar periódicamente la condición superficial en cuanto a su rugosidad. Esta evaluación periódica también deberá incluir realizar inventarios de fallas, textura, y evaluación estructural (deflexiones) para, según sea necesario, aplicar una capa nivelante o adicionalmente un refuerzo asfáltico, dependiendo de su capacidad de soporte remanente y del crecimiento del tránsito.

3.4.2 REFERENCIAS

Guidelines for Conducting and Calibrating Road Roughness Measurements, World Bank Technical Paper Number 46

MTC, Especificaciones generales para construcción de carreteras (EG - 2000), 2ª Ed.

Manual del usuario MERLINER, Camineros S.A.C.

The MERLIN road roughness machine: User guide, M.A. Cundill

Calibrating road roughness meters in developing countries, Transport Research Record 1536

3.4.3 TERMINOLOGÍA.

IRI. Sigla que corresponde al Índice de Rugosidad Internacional.

MERLIN. Equipo de bajo costo para evaluar la rugosidad “Machine for Evaluating roughness using Low-cost Instrumentation”.

Rugosidad (de pavimento). Parámetro del estado más característico de la condición funcional de la capa de superficie de rodadura de un pavimento. Alteraciones del perfil longitudinal del camino que provocan vibraciones en los vehículos que lo recorren. Se mide con el indicador denominado “Índice de Rugosidad Internacional” (IRI), el que se expresa en m/Km.

Sector homogéneo. Superficie de rodadura de estructuración uniforme a lo largo del camino.

Singularidad. Cualquier alteración del perfil longitudinal del camino que no provenga de fallas constructivas y que incremente el valor del IRI en el tramo en que se encuentra. Entre ellas se pueden citar puentes, badenes, tapas de alcantarillas, cruces de calles y otras, que por diseño geométrico alteren el perfil del camino.

3.4.4 EL EQUIPO MERLIN

El equipo de medición de bajo costo propiamente dicho consta de los siguientes componentes:

Una estructura metálica de soporte que constituye el cuerpo del equipo, suficientemente rígida que no permita deflexiones por su propio peso ni

alabeos cuando está en marcha. Esta estructura tiene en su parte central un brazo rígido que sirve de apoyo al tablero gráfico. Esta estructura metálica integra los demás componentes del equipo. La parte trasera superior de la estructura principal remata en dos manijas con las que el operador levanta la parte trasera del equipo para su desplazamiento.

Una rueda neumática como de bicicleta en la parte delantera para desplazar el equipo. Su circunferencia será de 2 m de largo. Esta llanta debe ser uniforme. Cualquier variación en el radio de la rueda podría afectar las mediciones. Para superar esto, todas las mediciones deben hacerse con la rueda en "posición normal". El radio de la rueda más la llanta deben ser revisados haciendo girar la rueda y observando cuidadosamente si su circunferencia pasa por un punto fijo.

En la parte trasera a un lado debe tener una pata metálica adosada a la estructura, que sirve para apoyar el equipo en posición vertical.

En la parte trasera inferior hay un patín que se atornilla a la estructura mediante un tornillo vertical de $\frac{1}{2}$ ".

En la parte central inferior de la estructura principal del equipo se apoya un brazo móvil mediante un pivote. El extremo inferior del brazo móvil termina en un contrapeso y en un patín metálico que va atornillado al brazo mediante un tornillo. Este patín metálico es el que hace contacto con el piso cada vez que el operador estaciona el equipo para tomar lectura. El extremo superior del brazo termina en un puntero que se desliza sobre el tablero gráfico cada vez que se apoya el equipo en el suelo, marcando el desplazamiento vertical en dicho punto. La relación de brazos entre los segmentos inferior y superior del brazo móvil es de 1 a 10, de manera que para un movimiento vertical de 1 mm en el extremo inferior del patín, se produce un movimiento de 10 mm en el puntero.

En la parte superior de la estructura hay un tablero gráfico con 50 divisiones de 5 mm de espesor cada una, sobre la cual se toman las lecturas.

3.4.5 CALIBRACIÓN DEL EQUIPO

Aunque el MERLIN es fabricado con rígidas especificaciones, su precisión se base en mantener la exacta proporción de 10:1 o de 5:1. Sin embargo, con el

uso es posible que pierda la proporción exacta. En consecuencia, es necesario aplicar un factor de corrección a las lecturas, conforme a las siguientes instrucciones:

Ubique el MERLIN sobre una superficie plana, tal como un piso de terrazo.

Ponga una hoja de papel A4 sobre el tablero gráfico.

Ajuste el patín de prueba hasta que el puntero esté aproximadamente en el centro del papel.

Marque la posición del puntero en el papel.

Ponga debajo del patín de prueba un disco de metal de grosor conocido (el grosor exacto no es importante, pero debe ser medido con precisión con un micrómetro o un vernier).

Haga una segunda marca en el papel y mida la distancia entre las dos marcas con una regla.

Repita varias veces en diferentes posiciones del piso y calcule el movimiento promedio del puntero.

El factor de corrección para la relación de brazos de 10:1 o la de 5:1 es dado por las ecuaciones respectivas:

$$FC = (10 \times T) / MP$$

$$FC = (5 \times T) / MP$$

Donde

FC = Factor de corrección del MERLIN

T = Espesor del disco de metal (mm)

MP = Movimiento promedio del puntero

Por ejemplo, si el espesor del disco de metal es de 6 mm y el movimiento promedio del puntero es de 62 mm para una relación de brazos de 10:1, el factor de corrección es 0.97.

3.4.6 LUGARES DE EVALUACIÓN

El MERLIN, por su bajo rendimiento (unos 8 Km/día), se recomienda para evaluar longitudes menores a 50 Km. Se debe realizar en tramos de 400 m de

acuerdo a las especificaciones del instrumento. Para tomar las lecturas, el instrumento debe desplazarse sobre la huella de las llantas de los vehículos, al costado del carril.

3.4.7 MEDIDAS DE SEGURIDAD

Todos los miembros del equipo deben contar con elementos personales de seguridad tales como zapatos y casco de seguridad. Dos miembros del personal deben distribuirse uno hacia delante y el otro hacia atrás del grupo que realiza las mediciones, provistos con implementos de señalización de tránsito, tal como conos y/o banderolas de seguridad. La distancia a la que deben ubicarse dependerá de la topografía del terreno, si es terreno plano y la visibilidad lo permite, se ubicarán con las señales a no menos de 100 m de distancia del operador; si hay presencia de curvas verticales u horizontales es mejor ubicarse en el punto medio de la curva, de manera que le permita tener contacto visual con el operador y con cualquier vehículo que se aproxime por el lado opuesto.

3.4.8 RESUMEN DEL MÉTODO DE USO DEL MERLIN

El ensayo se basa en la medición de la distribución de desviaciones de la superficie con respecto de una cuerda promedio. El MERLIN mide el desplazamiento vertical entre la superficie del camino y el punto medio de una línea imaginaria de longitud constante.

La ejecución del ensayo requiere de dos personas que trabajan conjuntamente: un operador que desplaza 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.

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 mide aproximadamente 2 m, es decir, cada registro 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. El proceso de medición es continuo y se realiza a una velocidad promedio de 2 km/h.

La posición que adopta el puntero sobre la escala gráfica corresponderá a una lectura entre 1 y 50, la que se anotará en un formato de campo, tal como el mostrado en el Cuadro N° 3.09. 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.

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 una vuelta de 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 visible sobre la llanta (con gutapercha, 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

Cuadro N° 3.09 Formato de registro de datos de campo

ENSAYO DE MEDICIÓN DE RUGOSIDAD CON EQUIPO MERLIN HOJA DE CAMPO - CURSO DE TITULACION FIC – UNI										
TRAMO:	75+200 AL 75+600									
OPERADOR:	Jaime Espinoza Sandoval									
CARRIL:	IZQUIERDO									
FECHA:	27/11/2010									
LECTURA DE DESVIACIONES										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	27	31	26	22	21	20	24	24	25	29
2	26	27	17	23	27	22	27	25	29	29
3	27	28	23	22	26	24	21	22	25	21
4	24	22	22	23	24	19	25	23	25	27
5	25	24	24	21	20	20	21	31	26	31
6	24	23	26	22	24	26	25	24	22	26
7	27	27	24	24	26	24	20	22	27	25
8	21	24	19	26	21	24	22	23	22	28
9	22	30	27	25	23	23	20	21	26	22
10	27	22	28	24	26	26	25	27	17	27
11	25	34	23	22	29	23	15	26	23	24
12	26	23	22	28	28	25	23	25	23	25
13	23	22	27	24	27	26	21	20	27	25
14	22	24	18	31	22	20	26	26	19	20
15	27	25	26	27	21	21	23	24	21	26
16	24	20	32	29	24	24	26	30	20	18
17	23	27	24	26	25	24	30	18	21	22
18	25	25	29	27	20	23	26	28	23	26
19	29	31	17	23	23	20	21	27	32	28
20	25	23	19	26	18	22	23	20	20	29
TIPO DE PAVIMENTO:	Slurry - Seal									

Fuente: elaboración propia

3.4.9 PROCEDIMIENTO DE EVALUACIÓN.

La evaluación del IRI de un tramo de camino o de un contrato, deberá ajustarse al siguiente procedimiento:

Forma de procesar. Procesar según el sentido del tránsito, cada carril separadamente en tramos de 400 m o fracción, en caso de que un tramo determinado al inicio o al término de un sector homogéneo no alcance los 400 m.

Rendimiento. En condiciones normales el equipo de evaluación de rugosidad de bajo costo (MERLIN) puede recoger datos de aproximadamente 20 tramos (de 400 m cada uno) por día, aún cuando ello depende de los traslados que se deban realizar y de las limitaciones que presente el tránsito y sin considerar eventuales fallas del equipo.

Singularidades. Se determinará si hay singularidades y se identificarán. Las singularidades que se pudieran presentar afectarán el tramo completo de 400 metros en la pista en que se encuentran ubicadas, el cual no se considerará en las evaluaciones. Las singularidades que se emplacen en dos tramos vecinos, ubicadas al final de un tramo y al comienzo del siguiente (ambas en la misma pista), afectarán los dos tramos de 400 metros, los que no se considerarán en las evaluaciones. Las singularidades que tengan longitudes de más de 400 m afectarán los tramos que las contengan, su longitud será un múltiplo de 400 m y no se considerarán en las evaluaciones y para las que tengan longitudes de más de 400 metros, en cuyo caso la longitud a considerar será un múltiplo de 400 m.

Secuencia de la evaluación. Siga el siguiente procedimiento para realizar una campaña de mediciones completa con el equipo de evaluación de rugosidad de bajo costo.

Determine las variaciones de los tipos de pavimento dentro de los límites del proyecto. Desarrolle una planificación de ensayos separada para cada tipo de pavimento.

Determine los atributos del proyecto, ya que estos influyen la planificación de los ensayos. Es muy útil preparar un esquema del proyecto que identifique al menos todos los cambios de pavimento, las intersecciones a nivel o desnivel, los puentes, áreas de servicio, tipos de bermas, etc.

Determine el tamaño de cada atributo del proyecto, lo que le permitirá estimar los requerimientos del equipo MERLIN para el proyecto, basados en

el supuesto que se pueden evaluar aproximadamente 8 Km de pavimento por día.

Determine la geometría del proyecto, pues ella influenciará la ubicación de los tramos a evaluar, ya que se deben tener en cuenta los aspectos relacionados con el flujo y seguridad del tránsito durante los ensayos.

Determine los tramos a evaluar. Utilice la información recopilada en las etapas precedentes para seleccionar las secciones por evaluar con el equipo MERLIN.

Anote las características del pavimento que está siendo evaluado (espesores, ancho de carril, tipos de capas que lo constituyen, características del suelo de fundación, etc.).

Realice la calibración del instrumento para obtener el factor de corrección.

Realice las mediciones en el terreno, registrando la temperatura ambiente y la hora en forma regular.

3.4.10 MÉTODO DE CÁLCULO DE LA RUGOSIDAD

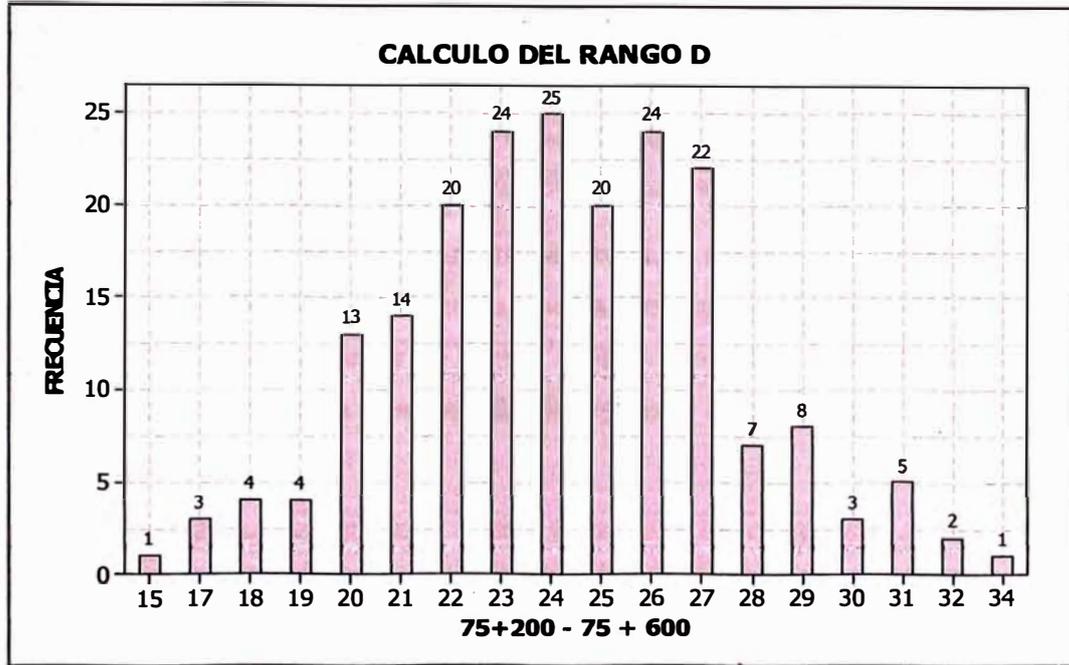
Se describe un procedimiento que permite calcular el IRI de la superficie de un pavimento a partir de las distancias medidas con el equipo de bajo costo MERLIN. Se basa en el concepto de medir la dispersión de las desviaciones de la superficie respecto de una cuerda promedio, como una forma para evaluar la rugosidad de un pavimento.

Determinación de la rugosidad con equipo de bajo costo (MERLIN). En cada tramo de 400 m el equipo MERLIN obtiene 200 lecturas con las que se calculará la rugosidad superficial de dicho tramo. Para esto se anotan las lecturas en un formato tal como el que se muestra en el Cuadro N° 3.09.

Calculo del rango de desviaciones "D". Con los valores obtenidos se construye un histograma de desviaciones vs frecuencia (Figura 3.02). Así se establece el rango de los valores agrupados en intervalos de frecuencia (D). En este punto se debe descartar el 10% de los valores, que corresponden a lecturas poco representativas. Para esto se descarta el 5% de los datos de cada extremo del histograma, totalizando 20 datos. Al hacer este proceso de descarte, puede

que algunas columnas de los extremos del histograma queden con una fracción de sus datos originales. En este caso el ancho de tal columna será la razón entre los datos que quedan y los datos que tenía originalmente.

Figura N° 3.02 Histograma de distribución de frecuencias



Fuente: elaboración propia

Por ejemplo, en el histograma de la figura 3.08, para eliminar el 5% de los datos del lado izquierdo del histograma, se eliminan las columnas correspondientes a las desviaciones 15, 17 y 18, que en conjunto tienen $1+3+4=8$ valores. Para completar 10 valores, se eliminarán dos de los 4 valores de la columna 19, mientras que sus otros dos valores quedarán dentro del rango D.

En el extremo derecho del histograma, se eliminan los valores de las columnas 31, 32 y 34, que poseen en conjunto $1+2+5=8$ valores. Para completar 10 valores eliminados, se toman 2 valores se toman de la columna 30, donde quedará un solo valor que se integrará en el rango D. El rango D tendrá el valor de la suma de las columnas restantes más los valores fraccionarios de las columnas de los extremos, si es que hubiesen quedado después de haber descartado el 10% de valores. En el ejemplo de cálculo tenemos:

$$D = (2/4) \text{ columna} + 10 \text{ columnas enteras} + (1/3) \text{ columna}$$

$$\text{Valor del rango D} = 0.50 + 10 + 0.33 = 10.83 \text{ columnas}$$

Para expresar el rango D en mm, hay que multiplicar el valor D resultante por 5 mm, puesto que cada columna de la escala equivale a 5 mm. En el ejemplo se obtiene lo siguiente:

$$D=10.83 \times 5\text{mm} = 54.15\text{mm}$$

Factor de corrección del rango D. El equipo de bajo costo MERLIN ha sido construido con una relación de brazos que se puede ajustar en una razón de 1:10 ó 1:5. Esta razón cambia por el desgaste del patín central, por lo que debe hallarse un factor de corrección realizando lo siguiente:

Se coloca el equipo sobre una superficie plana, a un costado de la carretera, y se ajusta el patín central de tal modo que la lectura en el tablero corresponda a la marca 25. Se toma lectura y se anota. Luego, sin mover el MERLIN, se coloca debajo del patín de prueba una pastilla de espesor conocido y se vuelve a tomar lectura.

Esta acción hará que el puntero sobre el tablero se desplace. Asumiendo una relación de brazos estándar de 1:10, una distancia igual al espesor de la pastilla (digamos 6.2 mm) se multiplicará por 10, es decir, $6.2 \times 10 = 62$ mm, lo que significa, considerando que cada casillero mide 5mm, que el puntero se ubicará aproximadamente en el casillero 12, siempre que la relación de brazos sea la asumida. Si no sucediera esto, se debe calcular el factor de corrección FC mediante la siguiente expresión:

$$\text{Factor de corrección (FC)} = (10T) / (5 \times S)$$

Donde $T =$ Espesor de la pastilla metálica (mm)

$S =$ Variación de lecturas.

En el ejemplo resulta: $FC = (10(6.2))/(5(39-25)) = 0.8857$

El valor corregido de D será $54.15 \times 0.8857 = 47.96$. Este valor llevado a condiciones estándar es el valor de la rugosidad en unidades propias del instrumento MERLIN.

Calculo de la rugosidad en la escala de IRI. Para transformar la rugosidad a valores de la escala IRI, se utilizan las ecuaciones de correlación siguientes:

Para $D < 42$ se utiliza: $IRI = 0.0485 \times D$

Mientras que para $D > 42$ se utiliza: $IRI = 0.593 + 0.047 \times D$

En el ejemplo resulta: $IRI = 0.593 + 0.0471 \times 47.96 = 2.85$ m/Km

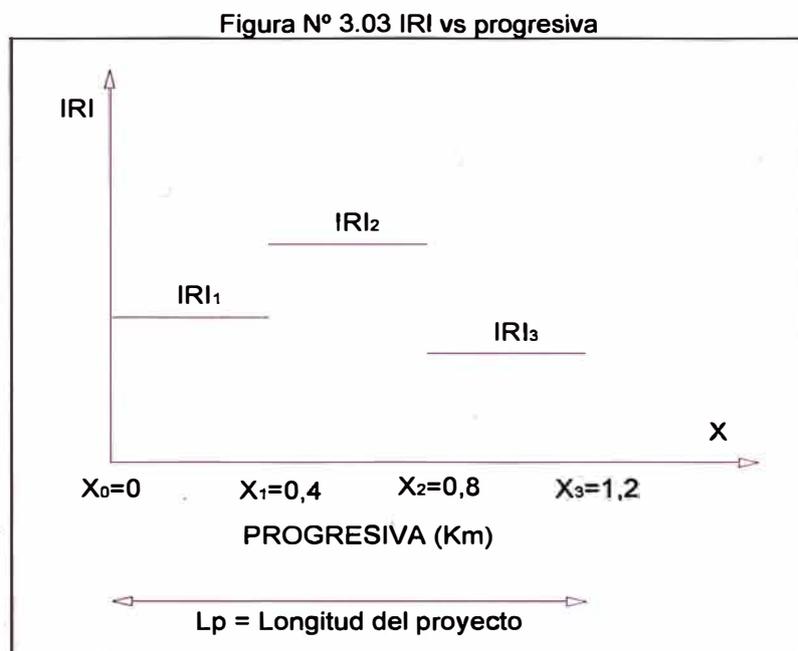
3.4.11 MÉTODO PARA DETERMINAR SI DOS MUESTRAS DE RUGOSIDAD CORRESPONDEN A TRAMOS HOMOGÉNEOS

Para la evaluación de la rugosidad de un pavimento resulta necesario determinar tramos que presenten comportamientos homogéneos, de manera de evaluarlos mediante los estadígrafos que los representen (promedio, percentil 80%, etc).

Por otra parte, el parámetro IRI puede ser utilizado como indicador del pavimento y con él realizar un análisis de la homogeneidad del mismo. Para realizar este análisis de homogeneidad, se requiere de herramientas estadísticas para separar o unir tramos homogéneos.

Método de sectorización por sumas acumuladas El método de sectorización por sumas acumuladas es apto para sectorizar un pavimento en tramos homogéneos. Este método es recomendado por la AASHTO (Guide for design of pavement structures, 1993, Apendix J),

Se toma como ejemplo un tramo con tres sectores de 400 m de largo cada una y su respectivo IRI para cada sector (ver Figura N° 3.03).

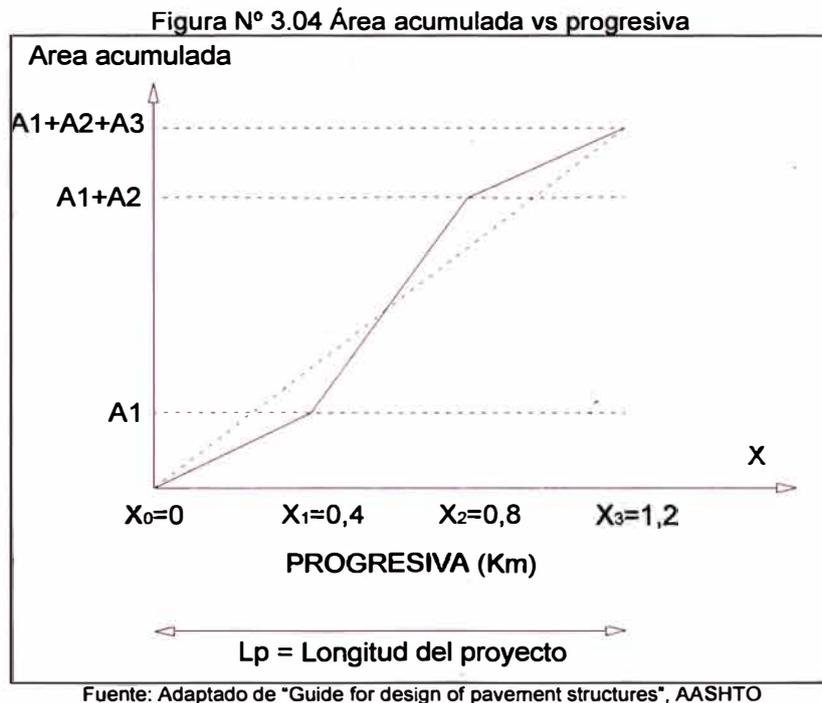


Fuente: Adaptado de "Guide for design of pavement structures", AASHTO.

Se promedian los valores de IRI de dos tramos consecutivos y se calcula el área de cada región.

$$\begin{aligned} X = X_0 &\rightarrow A_0 = 0 \\ X = X_1 &\rightarrow A_1 = (X_1 - X_0) IRI_1 \\ X = X_2 &\rightarrow A_2 = (X_2 - X_1) ((IRI_1 + IRI_2) / 2) \\ X = X_3 &\rightarrow A_3 = (X_3 - X_2) ((IRI_2 + IRI_3) / 2) \end{aligned}$$

Se puede graficar el área acumulada vs la progresiva (ver Figura N° 3.04). La línea continua representa el área acumulada por tramos. La línea segmentada representa el área media acumulada.



Para calcular el área media acumulada, se utiliza la siguiente expresión:

$$\bar{A} = \bar{r} X$$

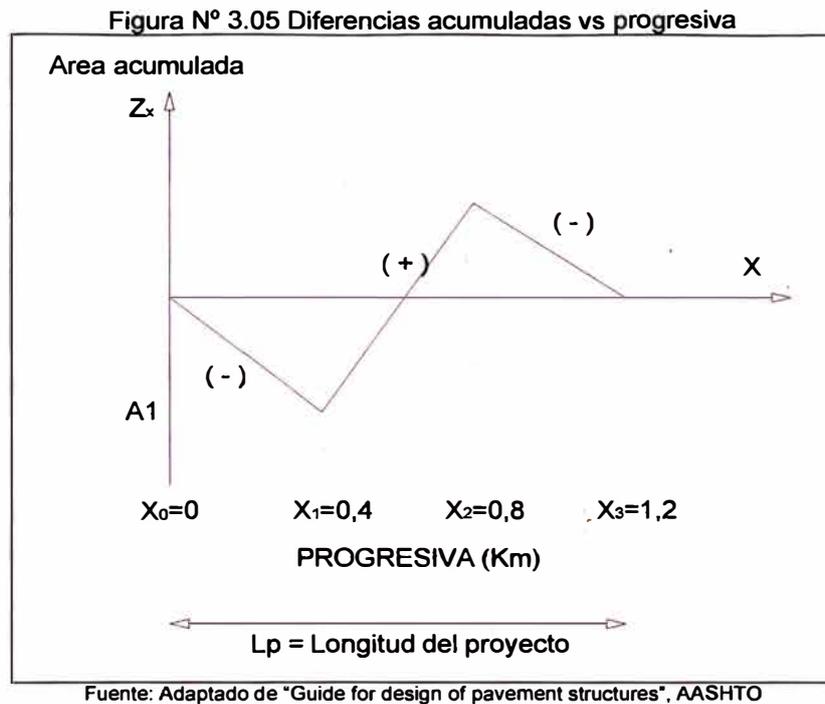
Donde:

$$\bar{r} = \frac{A_1 + A_2 + A_3}{L_p} = \frac{A_{total}}{L_p}$$

Luego se calcula el estadístico Z_x denominado "diferencia acumulada", que resulta de la diferencia entre el área acumulada y el área media acumulada. Gráficamente viene a ser representado por el espacio entre la línea continua y la línea segmentada.

$$Z_x = A_x - \bar{A}_x$$

Por último se grafica Z_x vs progresiva. En este gráfico la curva cambia de pendiente pasando de una pendiente positiva a una negativa, inclusive una pendiente nula.



En la Figura N° 3.05 las líneas que tienen una misma pendiente en valor y signo representan tramos homogéneos. Un valor positivo de Z_x indica un valor de IRI mayor que el promedio, un valor negativo de Z_x indica un valor de IRI menor que el promedio, mientras que si Z_x es igual a cero, significará que el valor del IRI es similar al promedio.

De esta manera se puede agrupar los tramos que presentan valores similares. El IRI correspondiente al tramo agrupado se calcula promediando los IRI de los tramos que lo conforman.

3.4.12 EJEMPLO DE CÁLCULO

Utilizando la información obtenida en la carretera Cañete – Chupaca el 27 de noviembre de 2010 se obtiene el Cuadro N° 3.10:

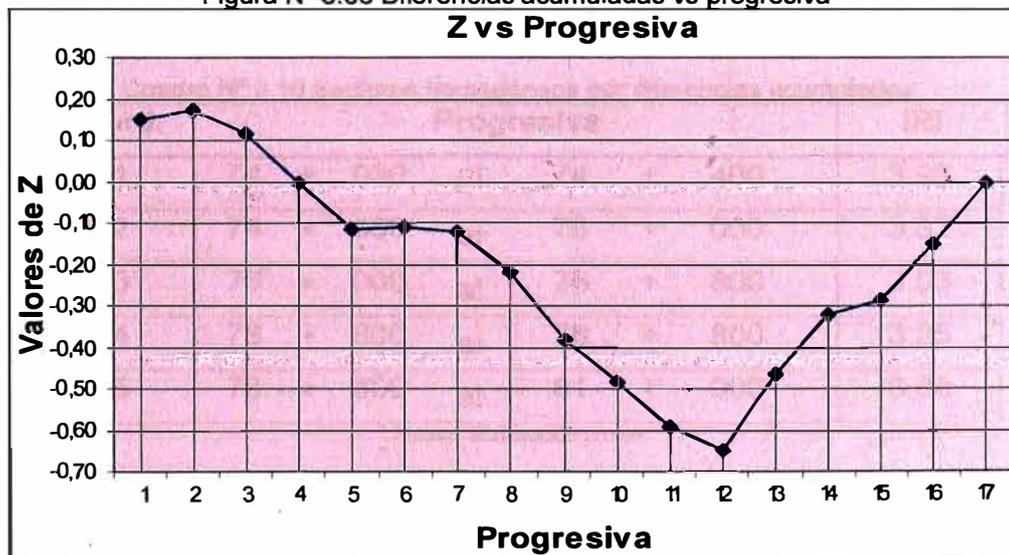
Cuadro N° 3.10 Progresiva vs Diferencia acumulada

Prog. inicial	Prog. final	Dist. (Km)	Dist. acum.	IRI	IRI Prom.	A	Σ A	A media	Zx
74,0	74,4	0,4	0,4	3,93	3,930	1,572	1,572	1,421	0,15141
74,4	74,8	0,4	0,8	3,28	3,605	1,442	3,014	2,841	0,17282
74,8	75,2	0,4	1,2	3,53	3,405	1,362	4,376	4,262	0,11424
75,2	75,6	0,4	1,6	3,00	3,265	1,306	5,682	5,682	-0,00035
75,6	76,0	0,4	2,0	3,53	3,265	1,306	6,988	7,103	-0,11494
76,0	76,4	0,4	2,4	3,60	3,565	1,426	8,414	8,524	-0,10953
76,4	76,8	0,4	2,8	3,46	3,530	1,412	9,826	9,944	-0,11812
76,8	77,2	0,4	3,2	3,15	3,305	1,322	11,148	11,365	-0,21671
77,2	77,6	0,4	3,6	3,13	3,140	1,256	12,404	12,785	-0,38129
77,6	78,0	0,4	4,0	3,46	3,295	1,318	13,722	14,206	-0,48388
78,0	78,4	0,4	4,4	3,10	3,280	1,312	15,034	15,626	-0,59247
78,4	78,8	0,4	4,8	3,72	3,410	1,364	16,398	17,047	-0,64906
79,0	79,4	0,4	5,2	4,32	4,020	1,608	18,006	18,468	-0,46165
79,4	79,8	0,4	5,6	3,48	3,900	1,56	19,566	19,888	-0,32224
79,8	80,2	0,4	6,0	3,80	3,640	1,456	21,022	21,309	-0,28682
80,2	80,6	0,4	6,4	3,98	3,890	1,556	22,578	22,729	-0,15141
80,6	81,0	0,4	6,8	3,88	3,930	1,572	24,150	24,150	0,00000

Z = Diferencia acumulada
Fuente: Elaboración propia

Las diferencias acumuladas obtenidas se muestran en la Figura N° 3.07:

Figura N° 3.06 Diferencias acumuladas vs progresiva



Fuente: Elaboración Propia

Según lo que muestra el gráfico, el tramo asignado se sectoriza agrupando los sectores de 400m que tienen la misma pendiente. Se tienen los siguientes sectores homogéneos (Cuadro N° 3.09):

Cuadro N° 3.09 Sectorización por diferencias acumuladas

N° ord.	Progresiva				IRI	
01	74	+	000	al 74	+ 400	3.93
02	74	+	400	al 74	+ 800	3.28
03	74	+	800	al 76	+ 000	3.35
04	76	+	000	al 76	+ 800	3.53
05	76	+	800	al 78	+ 800	3.25
06	78	+	800	al 79	+ 800	3.90
07	79	+	800	al 80	+ 200	3.80
08	80	+	200	al 81	+ 000	3.93

Fuente: Elaboración propia

Después de aplicar las diferencias acumuladas para hallar los sectores homogéneos, aún se puede reagrupar los sectores resultantes, uniendo aquellos sectores adyacentes cuyo IRI grupal no difieran en un valor mayor a 0.15 (Kennedy, James, "Dynamic segmentation of pavement surface condition").

Luego, el nuevo IRI grupal será el promedio de los IRI de los sectores unificados. De esta manera se pueden unificar los sectores 2° al 3°, y del 6° al 8°, quedando finalmente el tramo evaluado dividido según muestra el Cuadro N° 3.10:

Cuadro N° 3.10 Sectores homogéneos por diferencias acumuladas

N° ord.	Progresiva				IRI	
01	74	+	000	al 74	+ 400	3.93
02	74	+	400	al 76	+ 000	3.32
03	76	+	000	al 76	+ 800	3.53
04	76	+	800	al 78	+ 800	3.25
05	78	+	800	al 81	+ 000	3.88

Fuente: Elaboración propia

3.4.13 INFORMACIÓN Y RESULTADOS.

El parámetro que se utiliza de forma determinante y que ofrece mayor significado en los procesos de evaluación de la rugosidad de un pavimento, es el índice de rugosidad internacional (IRI). El IRI es un modelo matemático que calcula para una determinada carretera, el movimiento acumulado en la suspensión de un vehículo de pasajero típico, al recorrer la carretera a una velocidad de 80 Km/h.

El valor del IRI depende principalmente del estado de conservación de la superficie de la carretera en estudio.

Los resultados de la auscultación con equipo de evaluación de rugosidad de bajo costo (MERLIN) se deben organizar en archivos que contengan información sobre los siguientes aspectos:

Fecha (día, hora, minuto) del ensayo.

Relación de las doscientas lecturas obtenidas en cada tramo de 400 m de largo.

Datos de la carretera tales como tipo de superficie, ancho de carril, conformación del entorno geográfico, clima, etc.

La progresiva de inicio y fin de cada tramo.

Informe. El informe correspondiente deberá contener al menos los siguientes antecedentes:

Nombre del proyecto

Ubicación

– Tipo de camino.

Número y fecha de la resolución que adjudicó el contrato.

Empresa contratista

Tipo de pavimento

Sector evaluado

Fecha de medición

Descripción de la actividad y propósito

Descripción del personal

Descripción del equipo y herramientas

Registros de datos de campo

Descripción de la ejecución del trabajo

Resultados identificando cada tramo con sus progresivas e indicando el IRI

Interpretación de resultados

Observaciones, por ejemplo: causas principales de daños, o pronóstico de desarrollo de daños si no hay conservación

Nombre de la entidad encargada del control

Firma del responsable del control

Panel gráfico – fotográfico

La Figura N° 3.08 muestra un formulario tipo que define la forma en que debe presentarse el informe. Para llenarlo se debe proceder como sigue:

En las primeras dos columnas se debe anotar la progresiva inicial y final del tramo medido.

En la tercera se debe registrar el valor de IRI (m/Km).

En la columna observaciones se identifica cualquier singularidad del camino, por ejemplo un puente, o un cambio de tipo de características del camino, que sirva de referencia a quien evalúe la información.

Los resultados de las auscultaciones con equipo de evaluación de rugosidad de bajo costo (MERLIN) requieren de un análisis estadístico que permita identificar y agrupar tramos con iguales características de rugosidad.

El procedimiento a utilizar para sectorizar un pavimento en tramos homogéneos es el método de la suma acumulada, método que también es recomendado por la AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials, "Guide for Design of Pavement Structures", Apéndice J, ed. 1,993).

Figura N° 3.07 Formulario para informe de evaluación de IRI

FORMULARIO TIPO INFORME DE CONTROL DE IRI MEDIANTE MERLIN			
Nombre del contrato:			
Ubicación:			
Tipo de camino:			
Número y fecha de la resolución que adjudicó el contrato			
Empresa contratista			
Tipo de pavimento			
Sector evaluado			
Fecha de medición			
TRAMO		IRI	Observaciones
Prog. inicial	Prog. final	(m/Km)	
Observaciones			
Nota: proceso de medición realizado cada 400 m y/o fracción			
Entidad a cargo del control:			
Profesional responsable del control:			
			_____ Firma

Fuente: Adaptado del Manual de Carreteras de Chile

CONCLUSIONES

1. Previamente a la aplicación de este manual de evaluación de rugosidad con equipo MERLIN, debe recopilarse información del tramo de estudio, la cual debe ser analizada con el objeto de identificar sectores con características similares. Con fines de mantenimiento se debe realizar un planeamiento donde se prevea la extensión del trabajo, la frecuencia de los ensayos, los equipos y recursos que requerirá, y el respectivo presupuesto.
2. El manual provee información acerca de la manera de realizar las mediciones, la calibración del equipo MERLIN, las medidas de seguridad, la distribución del grupo de trabajo, los formatos de datos, el método de análisis de los datos, y la presentación de los informes resultantes.
3. El manual propuesto recopila la información disponible acerca del uso del equipo MERLIN para evaluar la rugosidad superficial de pavimentos de carreteras de bajo volumen de tránsito. Su finalidad es homogeneizar y estandarizar los procedimientos del mismo, así como también reducir la influencia de las fuentes de error.
4. Como el objetivo de este manual es obtener resultados de calidad se ha incluido tres partes principales: el método de medición de rugosidad propiamente dicho con equipo de bajo costo (MERLIN), el método de cálculo de la rugosidad en unidades de IRI, y el método de análisis estadístico para determinar la homogeneidad de los resultados.

RECOMENDACIONES

1. Para establecer políticas de mantenimiento y rehabilitación de pavimentos en carreteras de bajo volumen de tránsito, se recomienda determinar el IRI respectivo de los pavimentos siguiendo los pasos indicados en el presente manual.
2. El uso del equipo MERLIN para la evaluación de rugosidad de pavimentos en general se recomienda que se limite a tramos de carretera menores a 50 Km, por causa del bajo rendimiento del instrumento (8 a 10 Km/día).
3. Los datos resultantes deben ser analizados con el método de las sumas acumuladas, método que se utiliza para agrupar los tramos en sectores de características homogéneas, con fines de simplificación del reporte final.
4. El usuario debe realizar la calibración del equipo de medición. Asimismo, debe asegurarse de que tanto el operador como el anotador estén calificados para el manejo del equipo.
5. Se recomienda aplicar el contenido del manual, con el fin de optimizar las operaciones de medición de rugosidad superficial utilizando el equipo MERLIN.
6. El informe del resultado de las evaluaciones de rugosidad con equipo MERLIN, debe incluir la descripción de las singularidades del pavimento (fallas, baches, discontinuidades en general), además de los valores de IRI.
7. Se recomienda la difusión de este manual, para mejorar los procesos de evaluación de la rugosidad de pavimentos usando el equipo MERLIN.

BIBLIOGRAFÍA

1. AASHTO, "Guide for design of pavement structures", Washington D.C., 1993
2. Badilla Vargas, Gustavo, "Determinación de la regularidad superficial del pavimento, mediante el cálculo del Índice de Regularidad Internacional (IRI)", Revista "Infraestructura Vial Digital", N° 21, Universidad de Costa Rica, febrero de 2,009
3. Cundill, M. A., "TRL Report 229 The MERLIN Road Roughness Machine: User Guide", Transport Research Laboratory , Inglaterra, 1996.
4. De Solminihac T, Hernan, "Gestión de Infraestructura Vial". 3ª Edición, Alfaomega Grupo Editor, Colombia, 2005
5. Del Águila Rodríguez, Pablo, "Manual del Usuario MERLINER™, Metodología Para la Determinación de la Rugosidad de los Pavimentos". © Camineros S.A.C.
6. Del Águila Rodríguez, Pablo, "Desarrollo de la Ecuación de Correlación para la Determinación del IRI en Pavimentos Asfálticos Nuevos Usando el Rugosímetro MERLIN". © Camineros S.A.C.
7. Gay Allan, "History of Slurry and the International Slurry Surfacing Association", Paper from the International Slurry Surfacing Association's 5th World Congreso, Berlin, Alemania, 10 – 13 de marzo de 2002.
8. Ministerio de Obras Públicas – Dirección de Vialidad, Gobierno de Chile, "Manual De Carreteras – Vol N° 8 – Especificaciones y Métodos de Muestreo, Ensayo y Control", Chile, 2003.
9. Ministerio de Transportes y Comunicaciones, "Especificaciones Técnicas Generales para la Conservación de Carreteras", Lima, agosto de 2007.
10. Ministerio de Transportes y Comunicaciones, "Glosario de términos de uso frecuente en proyectos de infraestructura vial" , Lima, agosto de 2008.
11. Morrow Gregory, "Comparison of Roughness Measuring Instruments", University of Auckland, Auckland, New Zeland, mayo de 2006.
12. Perez Loarca, Karla, "Uso del perfilómetro Inercial con sensores láser para la determinación del IRI y sus aplicaciones en la ingeniería vial", Trabajo de graduación, Guatemala, octubre, 2005
13. Sayers, W S et al "Guidelines for conducting and calibrating road roughness measurements", World Bank Technical Paper Number 46. The World Bank, Washington D.C. (1,986).

ANEXOS

Anexo N° 01

Mortero asfáltico (Slurry seal)

Conocido mundialmente como “slurry seal”, se refiere a la mezcla asfáltica tipo mortero, resultado de una combinación de emulsión asfáltica con agregados de una granulometría específica. La adición de polímeros puede ser opcional. Los morteros están aprobados por las normas ASTM D-3910, ISSA A-105.

Usos y aplicaciones de los morteros asfálticos

Los usos de las emulsiones asfálticas son muy variados, que van desde tratamientos superficiales (riego pulverizado, sellado con arena, lechadas, etc.), reciclado (frío in-situ, full depth, caliente in-situ, etc.), y otras aplicaciones (estabilizaciones de suelos, riegos de liga, bacheos, sellado de fisuras, imprimación y paliativos de polvo).

Los morteros asfálticos y los micropavimentos (que cumplen objetivos similares) sirven para los siguientes aplicaciones:

Protección: Provee una nueva superficie de desgaste, protegiendo las capas inferiores del pavimento. Aplicado oportunamente en la superficie del pavimento permite retardar el deterioro de la carpeta asfáltica sellando grietas superficiales mayores, rejuveneciendo e impermeabilizando la superficie.

Posponer aplicaciones de rehabilitación (de mayor costo).

Fácil aplicación y rápida apertura al tráfico.

Seguridad: Permite corregir la textura superficial del pavimento cuando éste presenta baja resistencia al deslizamiento. Aunque dentro de la categoría de sellos existen aplicaciones comerciales específicamente diseñadas para mejorar la resistencia al patinaje en superficies críticas de pavimentos.

Apariencia y calidad de la superficie: Corrige deterioros superficiales como pérdida de áridos gruesos y finos, cubre irregularidades y provee una superficie uniforme, aportando valor estético al pavimento.

Corrección de deformaciones: En el caso particular del micropavimento puede también ser aplicado para corregir ahuellamiento de hasta 50 mm.

Tanto los morteros convencionales como los modificados pueden ser clasificados por el tamaño máximo del agregado. Según las especificaciones de la ISSA tenemos tres tipos de morteros siguientes:

Tipo I: Se aplica en áreas de bajo tráfico, donde el objetivo principal es el óptimo sellado de la superficie. También se puede aplicar como tratamiento previo a un recabado asfáltico o sello de agregados.

Tipo II: Es el tipo de lechada más usado, protege la superficie subyacente del envejecimiento y daño por efecto del agua, y mejora la fricción superficial. Además puede corregir desintegración de la superficie. Se usa principalmente en pavimentos que soportan tráfico moderado.

Tipo III: Este tipo de lechada se usa para conseguir altas tasas de aplicación y elevados valores de fricción superficial. Se aplica en vías con elevados niveles de tráfico.

Anexo N° 02

Limites de la rugosidad para el control de calidad de pavimentos

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:

$$IRI_c = IRI_p + 1.645s \quad (5)$$

Donde,

IRI_c : IRI característico

IRI_p : IRI promedio

s : Desviación estándar

De acuerdo al factor de correlación empleado (K=1.645), se cumplirá que el 95% del pavimento experimentará una rugosidad igual o menor al IRI característico.

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

Para pavimentos asfálticos nuevos, el IRI_c deberá ser menor o igual a 2.0 m/km.

Para pavimentos con recapado asfáltico, el IRI_c deberá ser menor o igual a 2.5 m/km

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.

Anexo N° 03

Datos de la visita de campo

IRI Promedio obtenido con equipos de bajo costo para evaluación de rugosidad (MERLIN)
Curso de Titulación 2010-2

Prog. Inicial		Prog. Final	Tratamiento	Fecha	IRI MERLIN autom. carril der	IRI MERLIN manual carril izq	IRI prom
74+000	-	74+400	Slurry Seal	27/11/2010	4.16	3.70	3.93
74+400	-	74+800	Slurry Seal	27/11/2010	3.27	3.29	3.28
74+800	-	75+200	Slurry Seal	27/11/2010	3.76	3.30	3.53
75+200	-	75+600	Slurry Seal	27/11/2010	3.15	2.85	3.00
75+600	-	76+000	Slurry Seal	27/11/2010	3.76	3.30	3.53
76+000	-	76+400	Slurry Seal	27/11/2010	3.53	3.67	3.60
76+400	-	76+800	Slurry Seal	27/11/2010	3.65	3.28	3.46
76+800	-	77+200	Slurry Seal	27/11/2010	3.22	3.08	3.15
77+200	-	77+600	Slurry Seal	27/11/2010	3.06	3.20	3.13
77+600	-	78+000	Slurry Seal	27/11/2010	-	3.46	3.46
78+000	-	78+400	Slurry Seal	27/11/2010	-	3.10	3.10
78+400	-	79+000	Slurry Seal	27/11/2010	-	3.72	3.72
79+000	-	79+400	Slurry Seal	27/11/2010	4.36	4.28	4.32
79+400	-	79+800	Slurry Seal	27/11/2010	3.70	3.27	3.48
79+800	-	80+200	Slurry Seal	27/11/2010	3.88	3.72	3.80
80+200	-	80+600	Slurry Seal	27/11/2010	4.31	3.65	3.98
80+600	-	81+000	Slurry Seal	27/11/2010	3.62	4.13	3.88

Fuente: Grupo 3 - Curso de Titulación 2010-2

IRI promedio	3.5500
Desviación estándar	0.3589
IRI característico(IRIp + 1.645 σ)	4.14