

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL



**EVALUACION DE LA RUGOSIDAD DE
PAVIMENTOS CON USO DEL BUMP
INTEGRATOR**

TESIS

Para Optar el Título Profesional de:

INGENIERO CIVIL

JOSE DEMETRIO SOLOGORRE HUAYTA

LIMA – PERU

2005

Digitalizado por:

**Consortio Digital del
Conocimiento MebLatam,
Hemisferio y Dalse**

A mis padres:

Demetrio y Berta

INDICE

	Página
PROLOGO	001
ABREVIATURAS	003
CAPITULO 1: INTRODUCCION	
1.1 La evaluación de pavimentos.	004
1.1.1 La evaluación superficial.	005
1.1.2 La evaluación estructural.	006
1.2 La evaluación como parte de un Sistema de Gestión de Pavimentos.	008
CAPITULO 2: SERVICIABILIDAD DE PAVIMENTOS	
2.1 El camino de pruebas AASHO.	012
2.2 El concepto de Serviciabilidad.	013
2.3 Calificación de la Serviciabilidad.	014
2.4 Definición del PSI.	017
2.5 Determinación del Índice de Serviciabilidad en la prueba AASHO.	019
2.6 Serviciabilidad y Curva de Comportamiento de un pavimento.	024
2.7 Efectos de las solicitaciones del tránsito y medio ambiente.	026
CAPITULO 3: RUGOSIDAD DE PAVIMENTOS	
3.1 El Experimento Internacional de Rugosidad de Caminos.	030
3.2 Clasificación de los métodos de medición.	032
3.3 Rugosidad de los pavimentos.	036
3.4 Definición del IRI.	037
3.5 El modelo del Cuarto de Carro.	041
3.6 Equipos para evaluar la rugosidad.	042
3.6.1 Medición del IRI por métodos perfilométricos.	044
3.6.2 Determinación del IRI mediante Sistemas Tipo-Respuesta de Medida de Rugosidad de Caminos.	047
3.7 Factores que afectan la precisión de los sistemas.	051
3.7.1 Errores sistemáticos y de calibración.	052
3.7.2 Repetibilidad.	053
3.7.3 Reproducibilidad.	055
3.7.4 Portabilidad.	056
CAPITULO 4: EL EQUIPO BUMP INTEGRATOR	
4.1 Descripción del Bump Integrator.	058
4.2 El vehículo.	060
4.3 Instalación del equipo en el vehículo.	060
4.4 Velocidad de operación.	066

4.5	Consideraciones sobre el mantenimiento del vehículo-equipo y los factores que afectan su operación.	067
4.6	Procedimientos de operación.	072
4.7	Lecturas del Bump Integrator.	076

CAPITULO 5: CALIBRACION DEL BUMP INTEGRATOR

5.1	El método de calibración.	077
5.1.1	Análisis de correlación.	081
5.1.2	Ecuación de calibración.	083
5.1.3	Cálculo de la ecuación de calibración.	084
5.2	Selección de sitios de calibración.	086
5.3	Procedimientos para la calibración.	091
5.4	Mantenimiento de la calibración.	093
5.5	Pruebas de control para el sistema.	094
5.5.1	Objetivos de las pruebas de control.	095
5.5.2	Niveles de aceptación.	096

CAPITULO 6: CALCULO DEL IRI A PARTIR DEL PERFIL LONGITUDINAL CON FINES DE CALIBRACION

6.1	Descripción del método.	098
6.2	Requisitos de precisión.	100
6.3	El intervalo de muestra.	102
6.4	Levantamiento con Nivel y Mira.	103
6.4.1	Consideraciones previas al trabajo de campo.	103
6.4.2	Organización del trabajo de campo.	104
6.4.3	Secuencia general de tareas de campo.	105
6.4.4	Inspección del sitio y preparación.	106
6.4.5	Medidas del perfil longitudinal.	108
6.4.6	Factores que deben ser considerados.	111
6.4.7	Cálculo del perfil longitudinal.	112
6.4.8	Control de calidad.	113
6.4.9	Hoja de registro.	114
6.5	Cálculo del IRI.	114
6.5.1	Ecuaciones.	116
6.5.2	Programa de ejemplo para el cómputo del IRI.	118
6.5.3	Tablas de coeficientes para las ecuaciones del IRI.	121
6.5.4	Programa para computar los coeficientes para las ecuaciones del IRI.	121

CAPITULO 7: APLICACIÓN A UN PROYECTO DE REHABILITACION DE CARRETERAS.

7.1	Proyecto de rehabilitación de la carretera Panamericana Norte tramo: Casma - Trujillo.	128
7.1.1	Antecedentes.	128
7.1.2	Objetivos del Proyecto.	129
7.1.3	Ubicación del Proyecto.	130

7.1.4	Descripción de la vía.	131
7.2	Consideraciones iniciales sobre la medida de la rugosidad.	133
7.2.1	Elección del método.	133
7.2.2	Recorrido previo o inspección del tramo a evaluar.	134
7.2.3	Anotaciones básicas del tramo a evaluar.	135
7.2.4	Preparación del vehículo.	136
7.3	Registros y protocolos para el sistema.	137
7.3.1	Registros sobre el funcionamiento del sistema.	137
7.3.2	Registros sobre la calibración del sistema.	138
7.3.3	Registros sobre la inspección del sistema.	139
7.3.4	Documentación de las instrucciones de trabajo.	140
7.4	La calibración.	141
7.5	Determinación del IRI en las secciones de calibración.	142
7.6	Procedimiento para las operaciones de calibración.	144
7.7	Procesamiento de las medidas de calibración.	146
7.8	La ecuación de correlación para la calibración del Bump Integrator.	148
7.9	Operación del Bump Integrator sobre el pavimento a evaluar.	155
7.10	Procesamiento de las lecturas del Bump Integrator.	164
7.11	Selección de secciones de rugosidad homogénea.	167
7.12	Análisis y resultados de la evaluación.	170
7.13	Estructura de costos relacionados a la medición de rugosidad.	219
7.14	Normativa y límites de aceptación.	229
	CONCLUSIONES	231
	BIBLIOGRAFIA	235
ANEXO 1	Descripción de la escala del IRI.	238
ANEXO 2	Fotografías del sistema Bump Integrator.	242
ANEXO 3	Registros y protocolos del sistema.	246
ANEXO 4	Modelo de cálculo del IRI para datos perfilométricos.	256
ANEXO 5	Modelo de calibración del Bump Integrator.	301
ANEXO 6	Cotización de equipos Bump Integrator.	318

PROLOGO

La literatura existente en nuestro país sobre el tema de la serviciabilidad o rugosidad de los pavimentos, por ahora, es bastante escasa, además casi no se encuentra en idioma español, y sobre todo es difícil encontrar literatura básica que nos pueda iniciar en este campo de los estudios del pavimento. La idea de realizar esta Tesis se debió a mi propia necesidad de conocer sobre este tema, para el mejor desarrollo de los trabajos que me fueron designados.

Como parte de mis actividades laborales, durante la ejecución del proyecto del Sistema de Gestión de Carreteras en el año 2000, me designaron para el manejo del Bump Integrator, en aquel momento desconocía el tema, y me puse a investigar de manera instantánea, desde luego operar el equipo es cosa simple, pero saber que se hace correctamente implica saber como detectar datos erróneos, conocer los defectos que producen errores en el sistema, o distinguir los elementos externos que influyen en los datos que registra el sistema, como algunos defectos singulares del pavimento, y ellos solo se detectan cuando se conocen los procedimientos y el proceso que siguen los datos, en resumen, si uno quiere hacer un buen trabajo debe conocer el tema íntegramente; entonces, con mucho interés fui conociendo el sistema tipo-respuesta o RTRRMS, que es el Bump Integrator.

El desarrollo de esta Tesis se divide en siete capítulos, el primer capítulo corresponde a una introducción, en donde explico en forma resumida, los diferentes estudios que intervienen en un proyecto de carreteras y la importancia de los datos sobre rugosidad para los estudios de gestión de carreteras; en el segundo y tercer capítulos, se encuentra la parte teórica y un tanto histórica, y que es el fundamento de este tipo de estudios, sobre la serviciabilidad y la rugosidad respectivamente; el cuarto capítulo corresponde a la descripción del Bump Integrator y de todos los componentes del sistema; el quinto y el sexto capítulo trata sobre un tema muy importante, la calibración del sistema con el método de

Clase 1, se ha tratado particularmente del uso del equipo Nivel y Mira, porque es un equipo bastante conocido en nuestro medio; el séptimo capítulo corresponde a la aplicación de la metodología expuesta en esta Tesis, se ha tomado como ejemplo de aplicación al estudio de rugosidad de la carretera Casma – Trujillo de 187 Km, por ser un estudio típico para un proyecto de rehabilitación, adicionalmente se exponen temas complementarios tomados del proyecto del Sistema de Gestión de Carreteras; finalmente en anexos van algunos temas de interés que ilustran más esta Tesis.

Lo aprendido sobre esta materia se debe gracias a los ingenieros de las empresas BCEOM y OIST que estuvieron a cargo del proyecto del Sistema de Gestión de Carreteras implementado para el MTC en el año 2000, quienes además me brindaron la oportunidad de participar en el proyecto.

Jose Sologorre Huayta
jsologorre@hotmail.com

ABREVIATURAS (En idioma inglés).

AASHTO – American Association of State Highway and Transportation Officials

ARS - Average Rectified Slope

ARV - Average Rectified Velocity

ARAN – Automatic Road Analyzer

BI - Bump Integrator

FHWA – Federal Highway Administration

FWD – Falling Weight Deflectometer

IBRD - The World Bank

IRRE - International Road Roughness Experiment

IRI - International Roughness Index

MERLIN - Machine for Evaluating Roughness using Low-cost INstrumentation

NCHRP - National Cooperative Highway Research Program, United States

PCI – Pavement Condition Index

PSI – Present Serviceability Index

PSR - Present Serviceability Rating

QCS - Quarter-car Simulation

RARS - Reference Average Rectified Slope

RARV - Reference Average Rectified Velocity

RTRRMS - Response-type Road Roughness Measuring System

SR - Subjective Rating

SV – Slope Variance

TRRL - Transport and Road Research Laboratory, Great Britain

UMTRI - University of Michigan Transportation Research Institute

CAPITULO 1

INTRODUCCION

Para empezar el desarrollo del tema, es importante entender los propósitos de una evaluación de pavimentos en general, creo que de esta manera será más fácil entender la evaluación de la rugosidad de pavimentos (aunque ya es un tema bastante conocido), si se conoce para que nos va a servir o por que se necesita evaluar la rugosidad de un pavimento. En este capítulo definiremos algunos conceptos generales que se relacionan al tema.

1.1 La evaluación de pavimentos.

La evaluación de pavimentos comprende a las actividades necesarias (por métodos o procedimientos) para el conocimiento de la condición de un pavimento. Estas actividades implican una investigación de la condición, ya sea, en el ámbito superficial como en el ámbito de su estructura mediante la utilización de métodos subjetivos, visuales o instrumentales.

Con lo anterior hemos definido el concepto, ahora definamos los objetivos; estos pueden ser, desde su aplicación como un control de calidad, durante su etapa de construcción y post-construcción, hasta su aplicación como un monitoreo de la evolución del deterioro debido a las sollicitaciones del tránsito o el medio ambiente, durante el tiempo de servicio del pavimento. En conclusión, el principal objetivo de un proceso de evaluación es llegar a un juicio sobre la capacidad estructural y de servicio, en el que se sintetizan todos los estudios, con el cual se eligen los parámetros necesarios, para adoptar un sistema y llevar a cabo un proceso de rehabilitación o mantenimiento.

Se puede clasificar a la evaluación de pavimentos en dos grupos representativos: la evaluación superficial y la evaluación estructural.

1.1.1 La evaluación superficial.

Comprende principalmente los aspectos vinculados a la función y a la condición o estado de la superficie de un pavimento. Abarca tres aspectos importantes:

- La evaluación de fallas observadas en su superficie, mostrando la severidad y extensión del deterioro. La metodología aplicada para su determinación es variada y desarrollada por distintos organismos en el mundo, entre los mas conocidos y aplicados en el Perú son: el publicado por el Consorcio de Rehabilitación Vial (CONREVIAL), y el método (PCI) publicado por el Cuerpo de Ingenieros de la Armada de los EE.UU. Para la recolección de los datos de fallas existen procedimientos visuales, automatizados y una combinación de ambos, los procedimientos visuales son aquellos obtenidos mediante registros en forma manual, los automatizados realizan una recolección de fallas a través de cámaras de video o fotografía digital, que son analizadas posteriormente; uno de los equipos que aplica esa tecnología y es conocido en el Perú es el ARAN que es un vehículo multifunción, es decir, que no solo registra fallas, realiza todos los registros necesarios para la evaluación integral de un pavimento. Los sistemas semi-automatizados como el VIZIROAD realizan la recolección de datos mediante un registro visual a través de un teclado conectado a una computadora.
- La evaluación funcional o de la serviciabilidad del pavimento, está relacionado a la comodidad y transitabilidad que percibe un pasajero durante el recorrido en un vehículo. Esta evaluación es el tema central de la presente Tesis, se trata de conocer la serviciabilidad o rugosidad,

determinando el PSI o el IRI a través de medios subjetivos o instrumentales. Actualmente el medio más empleado es con instrumentos denominados perfilómetros, que realizan la medición del perfil o rugosidad del pavimento, o con rugosímetros, que miden las rugosidades del pavimento por correlación con las medidas de equipos de precisión, de este tipo de instrumentos, uno de los más conocidos en la actualidad es el BUMP INTEGRATOR.

- La evaluación de la seguridad, se relaciona a la capacidad de la vía para brindar seguridad a los usuarios durante su recorrido, mediante, la geometría, textura de su superficie, señalizaciones viales , dispositivos de seguridad, etc.

De manera similar que en los puntos anteriores existen métodos y procedimientos para conocer los indicadores de seguridad de los pavimentos, existen en la actualidad equipos muy sofisticados como los equipos multifunciones, ya mencionados, que incorporan sistemas de medición y recolección de datos, uno de ellos como se mencionó es el ARAN.

Los objetivos de los tres aspectos mencionados son diferentes, aunque existe una gran interrelación entre los mismos. Como ejemplo, a medida que el deterioro o las fallas del pavimento se incrementen con el tiempo, estará vinculada a una respuesta en el confort de los usuarios durante su recorrido, sin embargo, dicha medición de las fallas del pavimento no constituyen en sí una representación de la medida de la comodidad para los usuarios, que será evaluada a través de estudios de serviciabilidad.

1.1.2 La evaluación estructural.

Una evaluación estructural consiste, en la determinación de la capacidad portante del sistema pavimento-subrasante en un sistema vial existente, a lo largo de su

vida de servicio. Para la determinación de dicha capacidad, existen diversos métodos, abarcados en dos grupos, los métodos destructivos y los métodos no-destructivos. Los métodos de evaluaciones destructivas consisten en tomas de muestras o de medidas directas “in situ”, a través de perforaciones en la estructura del pavimento, conocidas como “calicatas”. Actualmente los métodos no-destructivos tienen mayor aplicación por ser métodos más rápidos, simples y por lo general económicos, además no altera la integridad de la estructura del pavimento.

En el Perú, para el conocimiento de la condición estructural se aplican básicamente procedimientos deflectométricos. La deflectometría es el estudio de las deformaciones verticales de la superficie de un pavimento a consecuencia de la acción de una determinada carga. Las fallas estructurales fundamentalmente dependen de la magnitud y frecuencia de las deformaciones recuperables y de la acumulación de las deformaciones permanentes en las estructuras, bajo la acción de las cargas móviles y/o estáticas. En consecuencia, es lógico que el criterio dominante para valorar la capacidad estructural se base en la deformabilidad de las calzadas bajo cargas normalizadas. De esta manera, la deflexión es una medida de la respuesta del conjunto pavimento-subrasante frente a una determinada sollicitación. La existencia de una correlación entre deflexiones y la presencia o rápido desarrollo de fallas por fatiga y la posibilidad de establecer un orden de valores tolerables con relación al tránsito, constituyen la base de su difundida utilización.

El campo de aplicación de estas mediciones es muy amplio empleándose principalmente para:

- Determinar la vida útil remanente de un pavimento.
- Determinar la condición de un pavimento con miras a su conservación.
- Evaluar los métodos de diseño de pavimentos mediante un control durante la ejecución de obras.

- Evaluar estructuralmente pavimentos (tiene la ventaja de evaluar todas las condiciones localizadas, como drenaje, calidad pobre de la base, etc.) con miras a su rehabilitación.
- En determinadas regiones, seleccionar la carga por rueda permitida en periodos críticos (generalmente durante los deshielos).

Existe una gran variedad de equipos destinados a medir las deflexiones de un pavimento, encontrándose desde los más simples y bien conocidos como la VIGA BENKELMAN, hasta los más sofisticados y costosos, pero de gran rendimiento operacional como el FWD (Deflectómetro de Impacto de Carga).

1.2 La evaluación como parte de un Sistema de Gestión de Pavimentos.

Este es un tema global, aunque no se va a profundizar mucho en el asunto, ya que el tema a tratarse corresponde únicamente a la evaluación de la rugosidad en pavimentos, servirá solo para tener un panorama muy general, del objetivo final de la evaluación de un pavimento.

Cuando se programan planes para la evaluación de pavimentos debemos tener presente el propósito que se quiere alcanzar, por lo general ha estado muy relacionado a los proyectos de rehabilitación de tramos de carreteras, pero ¿cómo es que se determina la necesidad de una rehabilitación?, evidentemente a través de una evaluación de pavimentos, pero ¿cómo se determinan los tramos que deben ser evaluados?, fácilmente se podría responder que –ante la evidencia de los daños-, pero ante la evidencia de los daños ya no habría muchos requerimientos de evaluación, sino de una rehabilitación inmediata, es por ello que la importancia de una evaluación periódica, influye en la prolongación de la vida de servicio de un pavimento, a través del mantenimiento constante que resulta de un seguimiento controlado de las condiciones superficiales y estructurales.

Con el análisis de una evaluación periódica se pueden planificar los gastos económicos, que para la red vial nacional resultan millones de dólares al año, destinando la inversión en forma racional y programada, a los tramos que requieran un mantenimiento o rehabilitación. Lo mencionado anteriormente corresponde a un proceso de gestión o administración, que es el tema de este subtítulo.

Un Sistema de Gestión de Pavimentos (siglas en inglés: PMS - Pavement Management System) se relaciona con todas las actividades involucradas en el planeamiento, diseño, construcción, evaluación, mantenimiento y rehabilitación de tramos de pavimentos de un programa público de trabajo. Es un conjunto de herramientas o métodos que asisten a las personas encargadas de la toma de decisiones, en hallar las estrategias óptimas para proporcionar, evaluar y mantener a los pavimentos de una red vial, a una condición útil durante un periodo de tiempo estimado.

Actualmente el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC), tiene implementado recientemente un sistema denominado: Sistema de Gestión de Carreteras (SGC) cuyo objetivo principal es seleccionar de manera racional y programada los tramos que requieran obras de mantenimiento y optimizar el uso de los recursos humanos y financieros disponibles. Para lograr esta meta, el SGC del MTC cuenta con tres subsistemas:

- Subsistema de Inventario Calificado (SIC).

Tiene la misión de organizar el inventario de la recolección de datos existentes (históricos) y los procedentes de evaluaciones de campo.

Esta base de datos está constituida por la siguiente información:

- Clasificación e identificación de las carreteras de la red vial nacional.
- Datos geográficos y climatológicos.
- Inventario visual de accesorios, obras de arte y drenaje.
- Inventario visual de daños en la superficie.

- Medidas de la rugosidad.
 - Medidas de deflexiones.
 - Conteos de tránsito y pesaje de vehículos pesados.
 - Medidas de la textura.
 - Investigaciones geotécnicas.
-
- Subsistema de Planeamiento (SPL).

Necesita los datos elaborados por el SIC, y a su vez proporciona resultados al SAM para la programación anual y el seguimiento de las actividades de mantenimiento. Los objetivos son los siguientes:

 - Analizar varias estrategias de mantenimiento periódico y/o rehabilitación de las carreteras asfaltadas y elegir la mas adecuada desde el punto de vista técnico y económico (SPL-P).
 - Analizar varias estrategias de mantenimiento de las carreteras afirmadas y elegir la mas adecuada desde el punto de vista técnico y económico (SPL-NP).
 - Analizar varias estrategias de mantenimiento rutinario de las carreteras asfaltadas y elegir la mas adecuada desde el punto de vista técnico y económico (SPL-R).

 - Subsistema de Administración del Mantenimiento (SAM).

Encargada del proceso de programación y seguimiento detallado de las operaciones de mantenimiento rutinario y de los recursos asociados a cada tarea. Mediante un sistema informático se permite la actualización regular y permanente de los datos almacenados, elaborando los informes del avance y de la observación técnica-financiera de las obras. Así, se podrá actualizar también el programa de trabajo, las necesidades de hombres y de equipo, y también de actualizar de nuevo el presupuesto que queda disponible, todo eso rápidamente y en cualquier momento.

Hasta aquí, se ha descrito en forma general, a manera de introducción, los objetivos de una evaluación de pavimentos, como se vio, se ha descrito el

concepto, los tipos de evaluación y su aplicación como parte importante de una planificación racional para optimizar el uso de los recursos (humanos y financieros) disponibles para la prolongación de la vida útil de un pavimento.

Aunque el tema de la presente Tesis no abarca a la evaluación de pavimentos en forma integral, se trata específicamente y en mayor detalle, sobre la evaluación de la rugosidad y muy particularmente con el uso del Bump Integrator, que es un equipo RTRRMS Clase 3 de gran rendimiento y que actualmente se está utilizando con mayor frecuencia, como se verá en los capítulos siguientes.

CAPITULO 2

SERVICIABILIDAD DE PAVIMENTOS

En este capítulo se hace referencia al concepto que fundamenta la interpretación del usuario sobre la condición funcional de la superficie de un pavimento, primero como una evaluación subjetiva (es decir a juicio personal de un panel de evaluadores), luego como un indicador que procede de la medición de la serviciabilidad por medios mecánicos, conceptos desarrollados por el AASHO (American Association of State Highway Officials) y su comité de investigadores, durante los experimentos realizados en el Camino de Pruebas AASHO.

2.1 El camino de pruebas AASHO.

En un esfuerzo por reducir costos, los departamentos estatales de carreteras y transportes y el gobierno federal de los Estados Unidos, desarrollaron un programa continuo de investigación en pavimentos, en términos de dimensionamiento de capas, practicas de construcción y serviciabilidad de pavimentos, éste fue llamado el Camino de Pruebas AASHO (AASHO Road Test), llevado a cabo en Ottawa (Illinois, USA) desde 1957 a 1960.

Uno de los principales objetivos del Camino de Pruebas, fue proporcionar información que podría ser utilizada para desarrollar criterios y procedimientos de diseño de pavimentos. Según esto, después de completar el Camino de Pruebas AASHO, el Comité de Diseño, a través de su Subcomité sobre Practicas para el Diseño de Pavimentos, desarrolló y circuló en 1961 la guía provisional de diseño AASHO (AASHO Interim Design Guide).

La guía estaba basada en los resultados del Camino de Prueba, suplida por los procedimientos de diseño existentes y en el caso de los pavimentos rígidos, por la teoría disponible.

Basados en la evaluación general de los datos de ingreso por las agencias usuarias, el Comité AASHTO (siglas actuales) determinó que las revisiones de la guía deberían retener las ecuaciones de predicción del comportamiento del Camino de Pruebas AASHTO, como modelo básico para el diseño de pavimentos. Esta determinación también estableció al Índice de Serviciabilidad Presente (PSI) como la variable de comportamiento en la que debería basarse el diseño. Este concepto fue desarrollado durante la prueba AASHTO Road Test.

2.2 El concepto de Serviciabilidad.

La medición de la calidad de un pavimento presenta una dificultad conceptual porque depende de los fines para los que se está evaluando, si lo que interesa es la situación estructural, o bien la condición funcional de su superficie. Aunque esto se tenga resuelto, si no se utilizan herramientas o metodologías estandarizadas de evaluación, los resultados no serán comparables con las mediciones hechas por otra persona, ni entre un pavimento y otro.

Para resolver esta dificultad, los investigadores Carey e Irick desarrollaron para la prueba AASHTO, en el año 59, un procedimiento cuyas suposiciones básicas son las siguientes:

- El pavimento debe proporcionar confort y seguridad al usuario.
- El confort y la calidad de rodado es un aspecto subjetivo o de opinión del usuario.
- La serviciabilidad puede determinarse a partir del promedio de las evaluaciones de todos los usuarios. Este promedio da origen al índice

Present Serviciability Rating (PSR), el cual por naturaleza, tiene carácter subjetivo.

- Hay algunas características físicas del pavimento que pueden medirse objetivamente y pueden relacionarse con las evaluaciones subjetivas. Este procedimiento permite obtener un índice objetivo denominado Present Serviciability Index (PSI).
- El comportamiento del pavimento puede ser representado por la historia de la serviciabilidad de dicho pavimento.

El procedimiento de medición de la serviciabilidad que se utiliza actualmente en gran parte del mundo fue derivado precisamente de los resultados de la prueba AASHO, más otras incorporaciones y modificaciones que se han ido agregando en los últimos 40 años.

Como se dijo, la serviciabilidad es entonces la percepción que tienen los usuarios del nivel de servicio del pavimento. Es por esta razón que la opinión de ellos es la que debe ser medida para calificar la serviciabilidad.

Se definió una escala de evaluación de 0 a 5 (ver tabla 2.1). En ella una evaluación con nota 5 (Muy Buena) significa una superficie perfecta, mientras que una nota 0 (Muy mala) significa intransitable.

2.3 Calificación de la Serviciabilidad.

La metodología consiste en que se selecciona un grupo de personas para formar un panel evaluador, este panel entonces evalúa un conjunto preseleccionado de tramos de acuerdo a las instrucciones que se les da. Cada miembro de este panel expresa su opinión propia y subjetiva acerca de la calidad de rodado de cada tramo y la expresa en una cartilla especialmente diseñada (ver figura 2.1).

Tabla 2.1

Escala de calificación de la serviciabilidad según AASHO (1962)

CALIFICACION		DESCRIPCION
Numérica	Verbal	
0 ~ 1	Muy Malo	Los pavimentos en esta categoría se encuentran en una situación de extremo deterioro. Los caminos se pueden pasar a velocidades reducidas y con considerables problemas de transitabilidad. Existen grandes baches y grietas profundas. El deterioro ocurre en un 75% o más de la superficie.
1 ~ 2	Malo	Los pavimentos en esta categoría se han deteriorado hasta un punto donde pueden afectar la velocidad de tránsito de flujo libre. Los pavimentos flexibles pueden tener grandes baches y grietas profundas; el deterioro incluye pérdida de áridos, agrietamiento y ahuellamiento y ocurre en un 50% o más de la superficie. El deterioro en pavimentos rígidos incluye desconche de juntas, escalonamiento, parches, agrietamiento y bombeo.
2 ~ 3	Regular	En esta categoría la calidad de manejo es notablemente inferior a la de los pavimentos nuevos y puede presentar problemas para altas velocidades de tránsito, se hace mas notorio la presencia del deterioro superficial. Los defectos superficiales en pavimentos flexibles pueden incluir ahuellamientos, parches y agrietamientos. Los pavimentos rígidos en este grupo pueden presentar fallas en las juntas, agrietamiento y escalonamiento.
3 ~ 4	Bueno	Los pavimentos de esta categoría muestran una transitabilidad confortable, con muy poco o ningún signo de deterioro superficial. Los pavimentos flexibles pueden estar comenzando a mostrar signos de ahuellamiento y figuración aleatoria. Los pavimentos rígidos pueden estar empezando a mostrar evidencias de un leve deterioro superficial, como desconches y fisuras menores.
4 ~ 5	Muy Bueno	Sólo los pavimentos nuevos (o casi nuevos) son lo suficientemente confortables y sin deterioro para clasificar en esta categoría. La mayor parte de los pavimentos construidos o rehabilitados durante el año de inspección normalmente obtendrían esta calificación.

Figura 2.1

Formulario de calificación AASHO (1962)

Acceptable?		5		Very Good
Yes	<input type="checkbox"/>	4		Good
No	<input type="checkbox"/>	3		Fair
Undecided	<input type="checkbox"/>	2		Poor
		1		Very Poor
		0		
Section Identification _____		Rating		
Rater _____	Date _____	Time _____	Vehicle	

En la prueba AASHO cada evaluación personal es llamada IPSR (Individual Present Serviciability Rating) y con el promedio de estos IPSR se obtiene el PSR (Present Serviciability Rating) de cada tramo. Adicionalmente se estima de interés el que los miembros del cuerpo calificador den su opinión global en el sentido de encontrar aceptable o no el estado del pavimento, siempre desde el punto de vista de usuario del camino, porque así es posible determinar el umbral de serviciabilidad final.

2.4 Definición del PSI.

Con el fin de establecer una variable de diseño, que relacione el comportamiento confortable de un pavimento, en opinión de los usuarios durante su recorrido, ingenieros del Camino de Pruebas AASHO (AASHO Road Test) desarrollaron un sistema para calificar la condición de la superficie del pavimento empleando lo que llamaron el “Concepto de Serviciabilidad Presente”. Este concepto lo describe como la capacidad de una sección específica del pavimento, para proveer, en opinión del usuario un paseo suave y confortable en un tiempo particular. Esta capacidad puede ser cuantificada por un valor llamado Calificación de la Serviciabilidad Presente (PSR - Present Serviciability Rating).

Usualmente, calificaciones de uno (1.0) a cinco (5.0) son asignadas a cada sección, con números altos indicando condiciones más satisfactorias. Calificaciones bajas indican pobre condición del pavimento y sugieren que un examen más detallado sea requerido sobre la superficie.

La medición de serviciabilidad por medios mecánicos se conoce como el Índice de Serviciabilidad Presente (PSI - Present Serviciability Index). El ingeniero puede usar el PSR o PSI para decidir si procede o no, o aplaza una investigación mas detallada.

La Serviciabilidad Presente puede ser usada como el primer paso en evaluar la suficiencia de un pavimento. Si un historial del PSR o PSI es plotado para secciones de carretera que parece deteriorarse, algunas predicciones pueden ser hechas cuando una medida correctiva sea necesaria.

Refinando el método PSR propuesto, los ingenieros del Camino de Pruebas AASHO, establecieron el método mecánico de medición de la serviciabilidad. Usando el análisis de regresión lineal múltiple, los estadísticos derivaron una ecuación que cuando fueron correlacionados con las opiniones de los paneles calificadores, podía ser usada con los resultados de las medidas de rugosidad superficial y del deterioro superficial para medir la serviciabilidad. Los métodos para medir el PSI se discuten en el Programa Cooperativo Nacional de Investigación de Carreteras (NCHRP) Síntesis 76 y otras publicaciones.

El promedio de la Calificación de la Serviciabilidad Presente (PSR), ha sido correlacionado con medidas de rugosidad superficial por medio del análisis de regresión para establecer una ecuación que define el Índice de Serviciabilidad Presente (PSI).

La rugosidad superficial puede medirse de diferentes maneras con diferentes dispositivos disponibles, los que pueden agruparse en las siguientes categorías:

- 1) Indicadores de la rugosidad del camino, que miden y registran acumulativamente las irregularidades en la superficie del camino.
- 2) Dispositivos remolcados, que miden el perfil longitudinal, que plotan las variaciones en la pendiente de la superficie del pavimento con respecto a la línea de movimiento vehicular.
- 3) Dispositivos montados sobre vehículos, que usan acelerómetros, los que responden a fuerzas impartidas al vehículo por irregularidades de la superficie del camino. La magnitud de la aceleración medida se traduce en términos de efecto acumulativo sobre el pasajero o la carga.

Las respuestas de todos estos dispositivos han sido correlacionadas con los valores de PSR o PSI obtenidos por otros medios.

Se recomienda que donde sea posible, se conviertan las salidas de los dispositivos medidores de rugosidad a valores de PSI. Cuando el PSI se ha reducido a algún nivel terminal o crítico, se indica la necesidad de una acción correctiva, usualmente una sobrecapa.

Los niveles iniciales del PSI variarán de 3.5 a 4.5, dependiendo de la construcción. Después que el tránsito ha usado el camino por un periodo de tiempo, se miden los valores del PSI. Los valores del PSI por debajo de 2.0 indican que el pavimento está en una condición pobre y poco satisfactorio para la mayoría del tránsito rápido. La condición superficial de los pavimentos asfálticos con valores del PSI por debajo de 1.5 es sumamente pobre, exhibiendo depresiones, una transitabilidad mala, agrietamiento extendido y en muchos casos, baches. Los pavimentos de concreto de cemento Portland con valores similares del PSI, exhibirán una mala transitabilidad, agrietamiento severo, desprendimiento, bombeo e imperfecciones.

2.5 Determinación del Índice de Serviciabilidad en la prueba AASHO.

En forma simultánea a la calificación de la serviciabilidad de tramos característicos realizada por la prueba AASHO, se buscó establecer una relación entre esta calidad de servicio y otros indicadores del deterioro de la superficie de rodado. Desde el punto de vista de los usuarios, quedó en evidencia que las causas determinantes en la calificación de la serviciabilidad eran las deformaciones del perfil longitudinal (pavimentos de hormigón y asfalto), las variaciones del perfil transversal (pavimentos de asfalto) y las pérdidas de material en los bordes de juntas y grietas (pavimentos de hormigón). Se realizaron, en consecuencia, medidas de los diferentes parámetros que caracterizan el estado físico del pavimento para los tramos calificados con la serviciabilidad PSR.

Medida de los indicadores de deterioro. En primer término y como indicador de la deformación longitudinal, se midió la irregularidad superficial del pavimento, es decir, las desviaciones del perfil longitudinal. En un tramo homogéneo, la dispersión de esta distribución es constante en todo el tramo. Sin embargo el valor de la distribución en un punto no es independiente de los valores en los puntos próximos.

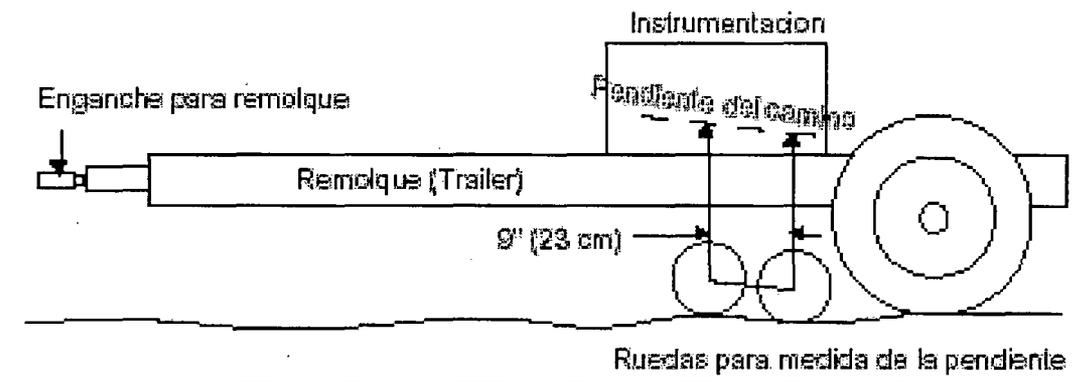
El instrumento usado para medir las variaciones del perfil longitudinal en la prueba AASHO fue el perfilómetro longitudinal CHLOE (ver figura 2.2). Se trata de un perfilómetro remolcado por un vehículo a una velocidad de 8 km/h. La irregularidad del pavimento es medida mediante el cambio de ángulo entre dos líneas de referencia, una de las cuales está determinada por la línea CD que une los centros de dos pequeñas ruedas, separadas a 23 cm y la otra línea GH que une el punto de apoyo del eje de ruedas trasero del vehículo de arrastre. Por tratarse de ángulos pequeños, la tangente del ángulo A es interpretada como la pendiente del pavimento sobre una distancia entre ejes de 23 cm. Un mecanismo de funcionamiento permanente permitió obtener el registro continuo de la pendiente a intervalos de 30 cm, a medida que el perfilómetro recorría el tramo de pavimento a medir.

De entre las múltiples variables con que se midió la irregularidad o rugosidad del pavimento, el promedio de las varianzas de la pendiente en ambas huellas, demostró la mejor correlación estadística con la calificación de serviciabilidad, por lo que se adoptó como una de las variables claves en el deterioro de un pavimento. La varianza de la pendiente longitudinal (SV – slope variance) es un parámetro que representa la rugosidad de la sección de pavimento y corresponde a la varianza de la distribución de irregularidades.

En cuanto a las deformaciones transversales, para los pavimentos de asfalto, se midieron las diferencias de cota existentes entre el centro de cada huella y una línea que conecta a dos puntos ubicados (transversalmente) a 61 cm de su eje.

Figura 2.2

Perfilómetro longitudinal CHLOE (AASHO 1962)



Estas medidas se repitieron para ambas huellas cada 6 m, calculándose finalmente el promedio de la profundidad del ahuellamiento Rd, parámetro que demostró una buena correlación de la serviciabilidad.

En el caso de pavimentos de hormigón, se midió el desnivel entre ambos lados de una junta o grieta, sobre el eje de cada huella. Esta medida no demostró, sin embargo, una relación significativa con la serviciabilidad.

En cuanto al deterioro de la superficie en los pavimentos de asfalto, se midió la superficie afectada por agrietamiento (C) tipo piel de cocodrilo en pie² por cada 1,000 pie² de pavimento. Se encontró que la grieta aislada y fina no influye en la calificación de la serviciabilidad. Por último, se consideró la superficie parchada (P), en pie² por cada 1,000 pie² de pavimento.

En los pavimentos de hormigón, se consideraron las grietas selladas o aquellas abiertas y con desconche superior a 3 pulgadas, estas se midieron considerando el total acumulado de agrietamiento (C) transversal y longitudinal en pie por cada 1,000 pie² de pavimento. Análogamente al caso del asfalto, se computó además el total del área parchada (P), en pie² por cada 1,000 pie² de pavimento. Se midió también la superficie desconchada (considerando sólo los baches de diámetro superior a 3 pulgadas), aunque esta variable no resultó relevante.

Expresión analítica del índice de serviciabilidad. Una vez medidos los diferentes indicadores de deterioro señalados anteriormente, en los tramos de pavimentos seleccionados en la prueba AASHO para diferentes localidades de modo de cubrir todo el espectro de posibilidades de formas y grados de deterioro, tanto en asfalto como en hormigón, se procedió a buscar una posible correlación entre la calificación de la serviciabilidad y los valores numéricos de los mencionados indicadores de deterioro medidos sobre el pavimento de cada tramo de prueba.

Fue hecho entonces un análisis de regresión estadístico que relacionó el PSR con los deterioros medidos. Como resultado de éste se obtuvieron las ecuaciones del

Índice de Serviciabilidad Presente (PSI), el cual es una estimación del PSR basado en la rugosidad y el deterioro.

Así, el índice obtenido por la ecuación de regresión incluye los términos de rugosidad y deterioro, los cuales se correlacionan bien con la estimación subjetiva (PSR) de un panel de evaluadores. Las ecuaciones originales del PSI para pavimentos de asfalto y hormigón desarrolladas en la prueba AASHO se muestran en las siguientes ecuaciones:

- Asfalto: $PSI = 5.03 - 1.91 * \text{Log}(1 + SV) - 1.38 * Rd^2 - 0.01 * \sqrt{C + P}$
- Hormigón: $PSI = 5.41 - 1.78 * \text{Log}(1 + SV) - 0.09 * \sqrt{C + P}$

Donde:

SV = Varianza de la pendiente longitudinal (slope variance), medida con un perfilómetro CHLOE, rad x 10⁶ (pulg²/pie²).

Rd = Ahuellamiento promedio en pavimentos de asfalto, (pulg).

C (asfalto) = Superficie agrietada, pie²/1,000 pie².

C (hormigón) = Longitud total (transversales y longitudinales) de grietas, selladas o abiertas, pie/1,000 pie².

P = Superficie bacheada, pie²/1,000 pie².

Considerando el alto grado de correlación existente entre la calificación de la serviciabilidad por parte del usuario y ciertas variables que miden cuantitativamente el deterioro físico de un pavimento, el concepto inicial de serviciabilidad (en términos de una opinión del usuario) calculado según la relación anterior, a partir de ciertos parámetros medidos con absoluta objetividad.

Una vez encontrada la forma de establecer la calificación de la serviciabilidad sobre bases claras y precisas, y al aplicar una cierta escala de valoración de los usuarios a sectores con pavimentos en muy diversos estados de deterioro, es posible establecer una relación cuantitativa entre esta calificación de la serviciabilidad y ciertos parámetros que miden el deterioro físico de la carpeta de rodado. Entonces es posible reemplazar la calificación subjetiva de serviciabilidad

por un índice numérico calculado a partir de variables físicas mensurables. Este índice de serviciabilidad, determinado sobre bases estrictamente objetivas, reemplaza con ventajas apreciables la calificación original de la calidad de servicio, en especial cuando se trata de evaluar un número apreciable de sectores de carretera en forma permanente o al menos, con relativa frecuencia.

2.6 Serviciabilidad y Curva de Comportamiento de un pavimento.

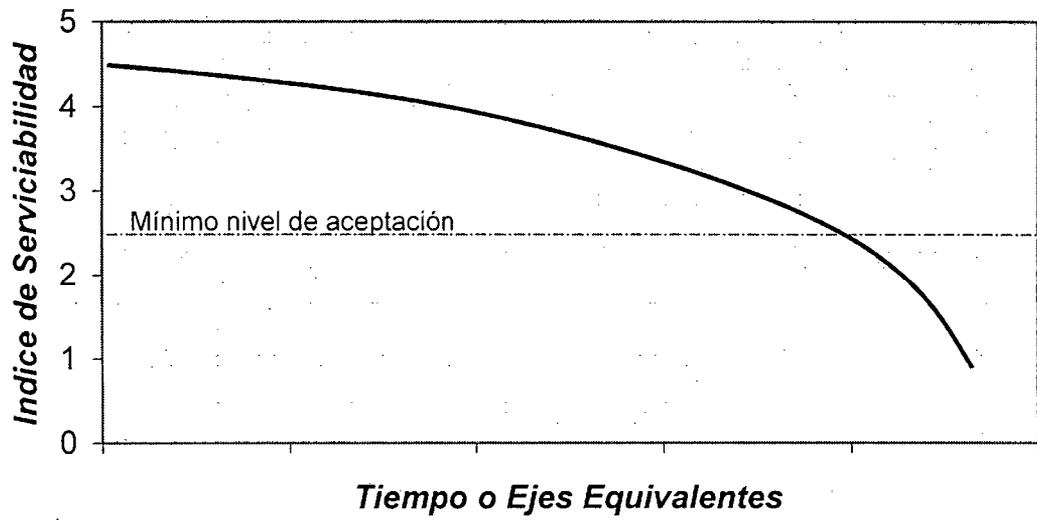
La evaluación del comportamiento o performance del pavimento implica ineludiblemente estudiar la respuesta funcional de un tramo o sección de camino. Para analizar este comportamiento funcional del pavimento se necesita información de la calidad de rodadura durante el periodo en estudio y de los datos históricos del tránsito que ha estado solicitando al pavimento durante ese periodo. La historia del deterioro de la calidad de rodadura o nivel de servicio es lo que se define como curva de comportamiento del pavimento (ver figura 2.3).

El índice de serviciabilidad se registró periódicamente para cada uno de los circuitos de prueba de la experiencia AASHO, durante todo el tiempo en que esta se realizó. Este registro constituyó la historia del comportamiento del pavimento desde su puesta en servicio hasta el fin de la prueba, reflejada en un indicador único, que incluyendo parámetros del deterioro físico, estima el nivel de servicio al usuario en cada momento de la prueba.

Como puede apreciarse, si bien el concepto original de serviciabilidad y su calificación por parte del usuario son claramente subjetivos, es posible pasar luego a la idea de un índice de serviciabilidad, que medido en términos cuantitativos, representa esa misma capacidad de servir del pavimento al usuario. Finalmente, es posible determinar una relación que explica la evolución del índice de serviciabilidad en función de las características de diseño de un pavimento y las cargas solicitantes. Esta información empírica forma la base de las ecuaciones de diseño estructural desarrolladas a partir de la prueba AASHO.

Figura 2.3

Curva de Comportamiento del Pavimento



2.7 Efectos de las solicitaciones del tránsito y medio ambiente.

La evolución del deterioro del pavimento debido al tránsito y clima es muy distinta y rara vez se dan por separado, por lo cual es conveniente analizarlas en conjunto. Para ello la AASHO Road Test en 1957 desarrolló el concepto de la serviciabilidad.

La serviciabilidad de un pavimento está expresada en términos del PSI. Este término se obtiene de las medidas de rugosidad y el deterioro en un periodo determinado de tiempo. De estos dos aspectos el más importante en la obtención del PSI es la rugosidad, por lo que se han desarrollado una gran cantidad de métodos que relacionan esta característica con el índice mencionado.

Las ecuaciones específicas desarrolladas en el Road Test para calcular el PSI deben ser modificadas por los usuarios, ya que éstas fueron obtenidas en condiciones muy particulares y por lo general no representan la realidad de la región que se está estudiando, dentro de estas características podemos mencionar tipo y calidad de pavimentos, condiciones climáticas, tipo de vehículos, materiales utilizados en la construcción, etc.

Una vez que las ecuaciones han sido calibradas para la región, se definen índices de serviciabilidad inicial (P_i) y final (P_f), los cuales son usados para diseñar los pavimentos. Cabe destacar que un pavimento diseñado con un $P_i = 4.5$ tendrá una vida útil mucho mayor que uno diseñado con un $P_i = 4.0$. El rango de variación del PSI va de 5.0 (muy bueno) al 0.0 (muy malo), siendo necesario para el diseño estructural seleccionar un índice inicial y final dentro de estos rangos y que se ajusten a las características propias de construcción del área en la cual se emplazará el proyecto. Los índices utilizados generalmente para pavimentos rígidos y flexibles son mostrados en la tabla 2.2.

Tabla 2.2

Indices de serviciabilidad inicial y final para pavimentos según AASHTO (1993)

Tipo de Pavimento	Indice de Serviciabilidad Inicial (P_i)	Indice de Serviciabilidad Final (P_f)
Flexible	4.2	2.5
Rígido	4.5	2.5

Los índices de serviciabilidad final pueden ser modificados, dependiendo del tipo de uso que se le da al pavimento, esto quiere decir que el índice puede ser menor que 2 por ejemplo, en el caso de que la carretera tenga una baja sollicitación de tránsito, o bien que el camino no sea de gran importancia para la conectividad de la red. En definitiva el índice de serviciabilidad final elegido quedará a criterio del diseñador.

En resumen los factores más influyentes en la pérdida de serviciabilidad del pavimento son el tránsito, la edad y el medio ambiente, sin embargo, los efectos producidos por separado y en conjunto son muy distintos. Es claro que las propiedades del pavimento cambian a medida que pasan los años, por lo que el índice de serviciabilidad tiende a bajar progresivamente. La variación total en el PSI en cualquier momento (periodo de análisis), puede ser obtenido sumando los efectos dañinos del tráfico y del medio ambiente, como se muestra en la siguiente ecuación:

$$\Delta PSI = \Delta PSI_{Tr\acute{a}nsito} + \Delta PSI_{MedioAmbiente}$$

Donde:

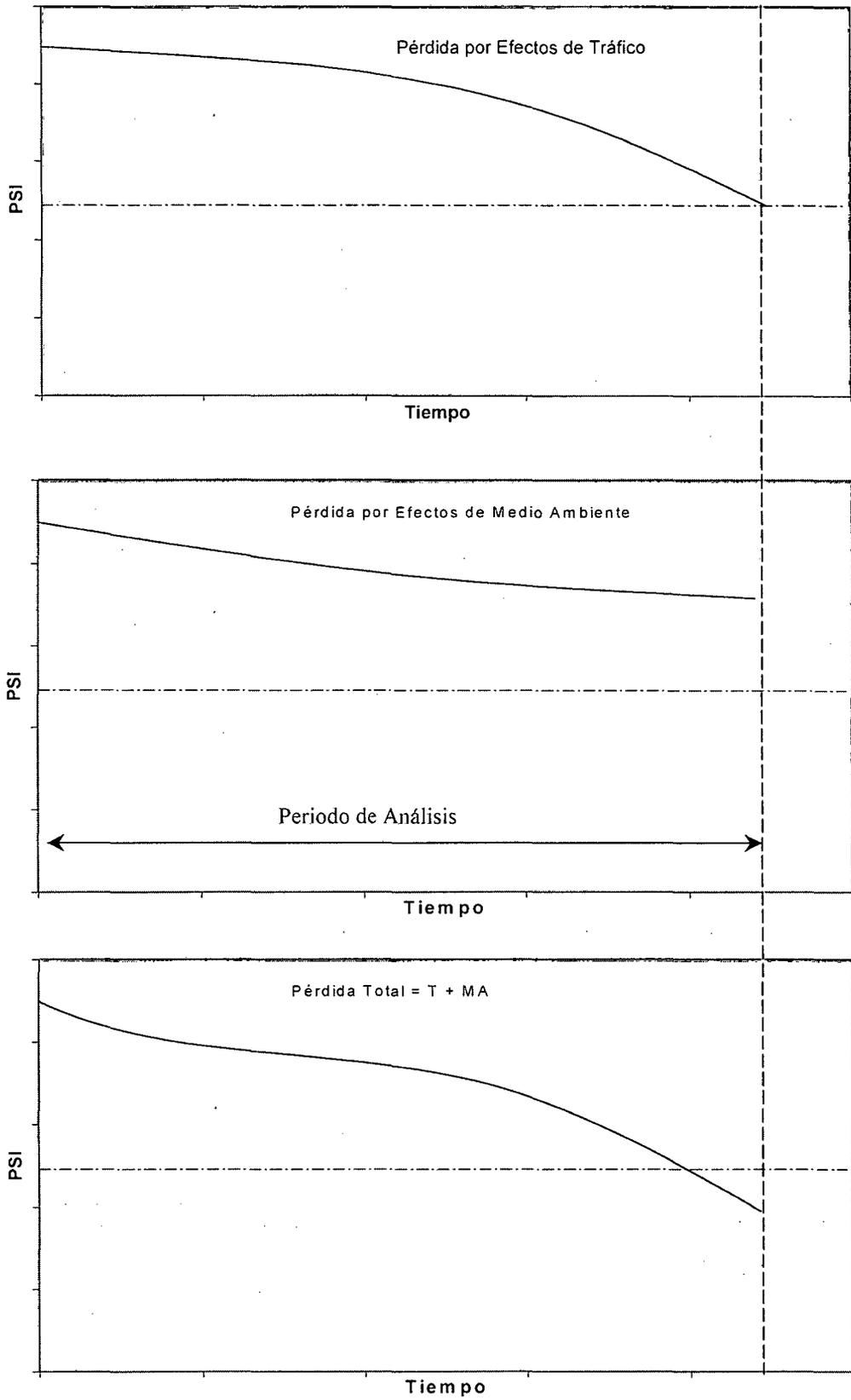
ΔPSI = Pérdida de serviciabilidad total.

$\Delta PSI_{Tr\acute{a}nsito}$ = Pérdida de serviciabilidad por efectos de tráfico (ESAL).

$\Delta PSI_{MedioAmbiente}$ = Pérdida de serviciabilidad por efectos del medio ambiente.

En la figura 2.4 se muestra gráficamente los efectos sobre el comportamiento del pavimento, en situaciones donde se encuentran arcillas expansivas o efectos por acción de las heladas, reflejándose en una reducción de la vida de servicio prevista del pavimento. Para finalizar, se debe destacar que dentro del desarrollo del concepto del PSI y las ecuaciones entregadas en la Guía AASHTO 93, se han tomado en cuenta la sollicitación de tránsito y de medio ambiente en conjunto, por lo que es importante tener en cuenta que estas formulas son utilizadas en condiciones específicas y validadas dentro de la región donde se utilizarán.

Figura 2.4
Efectos de tránsito y medio ambiente



CAPITULO 3

RUGOSIDAD DE PAVIMENTOS

En el capítulo anterior se trató sobre el concepto de serviciabilidad, que como se ha visto, tiene un origen subjetivo, sin embargo algunas características físicas del pavimento pueden medirse objetivamente y pueden relacionarse con las evaluaciones subjetivas. Este procedimiento permite obtener un índice objetivo por medio de equipos o instrumentos de medición.

En este capítulo se trata el tema relacionado a la medida de la rugosidad (también conocida como irregularidad superficial) principalmente por métodos mecánicos, basado en el experimento dirigido por equipos de investigación de varios países, realizado en el Brasil y con el fin de encontrar una correlación (medio de comparación) de los datos obtenidos por los diferentes equipos que para entonces habían en el mundo.

3.1 El Experimento Internacional de Rugosidad de Caminos.

El Experimento Internacional de Rugosidad de Caminos (International Road Roughness Experiment - IRRE) fue propuesto para encontrar, las prácticas más apropiadas para los tipos de rugosidad que miden la variedad de equipos que se utilizan en el mundo. Al mismo tiempo, el IRRE fue planeado para mantener un medio de comparación de los datos de rugosidad obtenidos por los diferentes procedimientos e instrumentos. Esta investigación fue necesaria porque los diferentes métodos usados para caracterizar la rugosidad de un camino generalmente no son equivalentes. En algunos casos, las medidas no son consistentes ni estables con el tiempo. Así, la utilización de datos de rugosidad

puede ser difícil, particularmente cuando se consideran datos de rugosidad obtenidos por más de un método.

El IRRE se sostuvo en Brasilia, Brasil en 1982, y fue dirigido por los equipos de investigación de Brasil, Inglaterra, Francia, Estados Unidos, y Bélgica. Cuarenta y nueve (49) sitios de prueba fueron medidos usando una variedad de equipos de ensayos y condiciones de medición. Los sitios incluyeron un rango de rugosidad en pavimentos con concreto asfáltico, tratamiento superficial, afirmado, y caminos de tierra.

El informe del Experimento Internacional de Rugosidad de Caminos (siglas inglesas: IRRE) se patrocinó por varias instituciones: la Agencia de Planeamiento del Transporte de Brasil (GEIPOT), el Banco Mundial (IBRD), el Instituto de Investigación de Caminos de Brasil (IPR/DNER), el Laboratorio de Puentes y Pavimentos de Francia (LCPC), el Laboratorio de Investigación de Caminos y Transportes de Inglaterra (TRRL), y el Centro de Investigación de Caminos de Bélgica (CRR). La Junta de Investigación de Caminos de Australia (ARRB) y la Universidad Federal de Río de Janeiro Brasil (COPPE/UFRJ) fueron proveedores de los equipos de medida de rugosidad. El Instituto de Investigación del Transporte de la Universidad de Michigan EE.UU. (UMTRI) proveedor del personal y soporte de cómputo a través del contrato con el Banco Mundial.

Los equipos incluyeron dos categorías. En la primera categoría estuvieron los métodos perfilométricos, el perfil de elevación longitudinal del camino es medido y analizado para obtener uno o más índices de rugosidad. Se usaron métodos estáticos manuales y perfilómetros de gran velocidad en el IRRE. En la segunda categoría los Sistemas Tipo-Respuesta de Medida de Rugosidad de Caminos (siglas inglesas: RTRRMS), un vehículo se instrumenta con un dispositivo roadmeter (rugosímetro). El roadmeter detecta la rugosidad como el resultado de los movimientos del vehículo que ocurren mientras se recorre el camino. Siete RTRRMSs participaron en el experimento, incluyendo cinco que consistieron en roadmeters instalados en los automóviles ordinarios de pasajeros, y dos que son

las unidades roadmeter-trailer autónomas. Cada RTRRMS hizo las medidas repetidas en todos los sitios a varias velocidades.

Los análisis de los datos reunidos, mostraron que todos los RTRRMSs dan las medidas favorablemente puestas en correlación cuando estos se operan a la misma velocidad de prueba, y que todos pudieran calibrarse a una sola escala de rugosidad sin comprometer su exactitud. Los análisis de los datos del perfil demostraron que los diferentes métodos perfilométricos pueden rendir algunos índices de rugosidad común (pero no todos), cuando un análisis apropiado se aplica al perfil medido.

Algunos de los índices de rugosidad mostraron una correlación excelente con las medidas del RTRRMSs. Así, un solo índice fue propuesto, llamado el Índice de Rugosidad Internacional (IRI). El IRI es mensurable por toda la rugosidad que mide el equipo incluida en el IRRE, y también es compatible con casi todos los equipos usados en el mundo.

El IRI está basado en la medida del roadmeter (rugosímetro), llamado por su nombre técnico de Pendiente Rectificada Promedio (siglas inglesas: ARS), o más típicamente por las unidades usadas (m/km, in/mi, etc.). Por razones técnicas y prácticas, se propuso una velocidad normal de 80 km/h. La referencia de la calibración es un modelo matemático de un RTRRMS que proporciona una referencia ARS (RARS) el índice computado de un perfil longitudinal.

3.2 Clasificación de los métodos de medición.

Muchos métodos para medir la rugosidad de los caminos se usan a lo largo del mundo, pueden agruparse en cuatro clases genéricas sobre la base de cómo sus medidas correspondan directamente al IRI, que a su vez afecta los requisitos de calibración y a la precisión asociada con su uso.

Clase 1: Instrumentos de precisión. Esta clase representa las normas más altas de precisión para la medida del IRI. Un método Clase 1 requiere que se mida el perfil longitudinal de una huella de rodadura como una base para calcular el valor del IRI (como una serie de puntos de elevación exactos, estrechamente espaciada a lo largo de la trayectoria recorrida por la rueda). Para los métodos perfilométricos estáticos, la distancia entre las muestras no debe ser mayor que 250 mm (4 medidas / metro) y la precisión en las medidas de elevación deben ser 0.5 mm para los pavimentos muy lisos. (Las medidas menos precisas son aceptables para las superficies más ásperas). Los perfilómetros de gran velocidad ofrecen medios potenciales por medir el IRI rápidamente; sin embargo, los perfilómetros deben validarse en algún momento contra un procedimiento establecido como el equipo del Nivel y Mira para demostrar su precisión.

Los métodos en esta clase son aquellos que producen medidas de tan alta calidad que la reproducibilidad del valor IRI no podría mejorarse.

Mientras esta definición podría parecer implicar un ideal inalcanzable al principio, hay normalmente un límite práctico para la repetibilidad que puede obtenerse midiendo la rugosidad del camino, incluso con un “método perfecto” y/o instrumento. Los resultados del límite prácticos de la incapacidad para medir la rugosidad repetidamente en exactamente la misma huella de rodadura. Por consiguiente, un método califica como Clase 1 si el error de la medida es despreciable comparado con la incertidumbre asociada con intentar localizar exactamente dos veces la misma huella de rodadura.

En muchos casos, un método que rinde este nivel de precisión tendrá una desventaja asociada por exigir con mucho esfuerzo hacer la medida de rugosidad (por ejemplo, por el método del Nivel y Mira). La precisión obtenida usando un método Clase 1, por definición, empareja o excede los requisitos de una aplicación dada, y así el método Clase 1 es visto como la utilidad primaria para validar otros métodos, o cuando se requieren los datos especiales de alta-precisión.

Clase 2: Otros métodos perfilométricos. Esta clase incluye los demás métodos en que el perfil es medido como la base para el cómputo directo del IRI, pero que no es capaz de la precisión requerida para una medida de Clase 1. Aunque el equipo y métodos usados para la medida del perfil se verifican funcionalmente por un proceso de calibración independiente, ellos se limitan a una precisión de rango menor que aquellos que necesitan calificar como un método Clase 1. Por consiguiente, el valor IRI obtenido de una medida del perfil por un método Clase 2 no puede ser exacta al límite práctico debido al azar o tendencia de errores sobre algún rango de condiciones. Esta clase incluye valores del IRI obtenidos de perfiles medidos con perfilómetros de gran velocidad y con métodos estáticos que no satisfacen la precisión y/o los requisitos de intervalo de medida especificados.

Los perfilómetros Clase 1 y 2 de gran velocidad tienen la desventaja de ser los sistemas de instrumentación más caros y complejos usados para medir la rugosidad del camino, y generalmente requieren de operadores con entrenamiento de ingeniería.

Estos instrumentos todavía ofrecen una gran ventaja, pudiendo obtener medidas rápidas de calidad superior, sin requerir que ese gran esfuerzo se gaste manteniendo la calibración. Los procedimientos detallados para operar un perfilómetro para medir IRI son muy específicos al diseño del perfilómetro; por consiguiente, debe consultarse al fabricante.

Clase 3: Estimación del IRI por ecuaciones de correlación. No ha transcurrido mucho tiempo, desde que la mayoría de datos de rugosidad de caminos a lo largo del mundo se obtenían con los RTRRMS. La medida de un RTRRMS depende de la dinámica de un vehículo, por lo que es necesario transformar la escala de las medidas para interpretar las propiedades de rugosidad comparables al IRI. Las propiedades dinámicas son únicas para cada vehículo, sin embargo, cambian con el tiempo. Así, las “medidas brutas” de ARS, obtenidas del RTRRMS, deben corregirse a la escala del IRI usando una ecuación de calibración que se obtiene

experimentalmente para ese RTRRMS específico. Como la dinámica de un vehículo cambia fácilmente, deben efectuarse procedimientos de operación y mantenimientos muy rigurosos para los vehículos empleados, y deben hacerse pruebas de control como una parte rutinaria del normal funcionamiento. Cuando ocurren cambios en el sistema, las correcciones simples no pueden aplicarse, el sistema entero (vehículo-rugosímetro) deberá recalibrarse.

Esta clase también incluye otros instrumentos de medición de rugosidad capaz de generar valores de rugosidad razonablemente correlacionada al IRI. Pueden usarse las medidas obtenidas para estimar el IRI a través de las ecuaciones de regresión si un experimento de correlación se ha realizado.

Un método para medir la rugosidad califica como Clase 3 si este usa la “calibración por correlación”, sin tener en cuenta qué tipo de instrumentación o vehículo se usa para obtener la medida de rugosidad no corregida. Mientras los métodos Clase 3 emplean un rugosímetro que acumula el movimiento de la suspensión para medir ARS, otros sistemas en uso son los que emplean acelerómetros u otros tipos de instrumentación. Sin embargo, el RTRRMS roadmeter-base que mide ARS es el que más estrechamente corresponde al concepto del IRI, y estas pautas se concentran sobre los RTRRMS calibrados como fundamento del método Clase3.

A menos que un RTRRMS se calibre por correlación, no califica como un método Clase 3. Sin la calibración, no hay ningún vínculo comprobable entre las medidas obtenidas con cualquier RTRRMS, y la escala del IRI.

La reproducibilidad asociada con un RTRRMS calibrado es aproximadamente 0.5 m/km (14%) para los caminos pavimentados para las secciones 320 m de largo, y aproximadamente 1.0 m/km (18%) para las superficies sin pavimentar de esa longitud. Éstas figuras de precisión son sólo promedios aproximados, como los errores generalmente varían con la rugosidad y tipo de la superficie. La buena precisión es posible usando secciones de prueba más largas.

Clase 4: Evaluaciones subjetivas y medidas no-calibrables. Hay situaciones en que una base de datos de rugosidad se necesita, pero la alta precisión no es esencial, o no se puede proporcionar. Aún así, es deseable relacionar las medidas a la escala del IRI. En estos casos, una evaluación subjetiva involucra, una experiencia del recorrido sobre el camino o una inspección visual, cualquiera podría usarse. Otra posibilidad es usar las medidas de un instrumento no-calibrable. La conversión de estas observaciones a la escala del IRI se limita a una equivalencia aproximada, que puede establecerse mejor por comparación a las descripciones verbales y/o pictóricas de caminos, identificada con sus valores del IRI asociados. Esencialmente, las estimaciones de equivalencia son la calibración, sin embargo aproximada, y puede considerarse que ellos son “la calibración por la descripción”.

Cuando se convierten estas estimaciones subjetivas de rugosidad a la escala del IRI, la resolución se limita a aproximadamente seis niveles de rugosidad, con precisión que va de 2 - 6 m/km (aproximadamente 35%) en la escala del IRI. La precisión de rugosidad, expresada en las unidades absolutas de m/km o como un porcentaje, generalmente variará con el nivel de rugosidad y tipo de la superficie. Note que, a menos que una calibración válida por correlación se use con un RTRRMS, no hay manera de unir la medida a la escala normal. Así, un RTRRMS no-calibrable queda dentro de una Clase 4.

3.3 Rugosidad de los pavimentos.

La rugosidad se define como las irregularidades en la superficie del pavimento que afectan adversamente a la calidad de rodado, seguridad y costos de operación del vehículo. En las ecuaciones para el PSI, la medida de rugosidad indicada por la variación de la pendiente (Slope Variance – SV), domina los valores estimados de serviciabilidad. En la práctica, esto significa que la rugosidad tiene el mayor efecto en la evaluación de los usuarios que califican la calidad de rodado. Por eso,

aún cuando las ecuaciones contienen términos relacionados con el deterioro visual, muchas investigaciones y agencias viales relacionan directamente la clasificación de serviciabilidad presente (PSI) con mediciones de rugosidad.

Uno de los problemas con los que se encuentran los técnicos a la hora de valorar la calidad y comodidad de la rodadura de los vehículos y de comparar experiencias entre países, es la gran diversidad de técnicas, equipos e indicadores existentes en cada país. Como consecuencia de ello se planteó a nivel internacional el interés de desarrollar un índice único y común al cual referirse, que fuera independiente del equipo o técnica de obtención de la geometría del perfil y que además representara significativamente el conjunto de las percepciones de los usuarios circulando en un vehículo medio a una velocidad media.

Estas necesidades dieron lugar a la celebración del experimento internacional denominado IRRE, uno de cuyos frutos fue el desarrollo del concepto, definición y método de cálculo del IRI.

3.4 Definición del IRI.

En el interés de emplear una medida estándar de rugosidad para los proyectos de carreteras a lo largo del mundo, fue ideado el Índice de Rugosidad Internacional (IRI). El IRI se nombra así porque era un producto del Experimento Internacional de Rugosidad de Caminos (International Road Roughness Experiment – IRRE), dirigido por los equipos de investigación de Brasil, Inglaterra, Francia, Estados Unidos, y Bélgica con el propósito de identificar un índice, que involucra a la medida controlada de rugosidad del camino, para varios caminos bajo una variedad de condiciones y por una variedad de instrumentos y métodos. La escala de rugosidad seleccionada como el IRI fue el que mejor satisfizo el criterio de ser estable en el tiempo, transportable, y pertinente.

El IRI es una medida de rugosidad estandarizada relacionada a aquellos obtenidos por los Sistemas Tipo-Respuesta de Medida de Rugosidad de Caminos (RTRRMS), con las unidades recomendadas: metros por kilómetro (m/km) = milímetros por metro (mm/m) = la pendiente x 1000. La medida obtenida de un RTRRMS o se llama por su nombre técnico de Promedio de Pendiente Rectificada (ARS), o más normalmente, por las unidades usadas (mm/km, in/mi, etc.). La medida de ARS es una proporción del movimiento acumulado de la suspensión de un vehículo (in, mm, etc.), dividido por la distancia viajada por el vehículo durante la prueba (mi, km, etc.). La referencia que los RTRRMSs usaron para el IRI es un modelo matemático, en lugar de un sistema mecánico, y existe como un procedimiento del cómputo aplicado a un perfil longitudinal. El procedimiento del cómputo se llama una simulación del cuarto de carro (Quarter-Car Simulation – QCS), porque el modelo matemático representa a un RTRRMS que tiene una sola rueda como el Remolque del BI y el rugosímetro BPR. Cuando se obtiene de la simulación de la referencia (modelo), la medida se llama la Referencia ARS (RARS). Este tipo de medida varía con la velocidad del vehículo, y por consiguiente, una velocidad normal de 80 km/h es especificada en la definición del IRI. Así, el nombre más técnico para el IRI es RARS80, indicando el instrumento una medida del promedio de pendiente rectificada (ARS) de una referencia (R) a una velocidad de 80 km/h.

El IRI está definido como una característica del perfil longitudinal de una huella de rodadura. Así, la medida directa del IRI requiere que se obtenga el perfil de la huella de rodadura.

La característica del perfil particular que define el IRI fue demostrada para ser directamente mensurable por la mayoría de los métodos perfilométricos (más que cualquier otro valor de rugosidad que fue considerado en el IRRE). Al mismo tiempo, los perfiles característicos IRI son muy compatibles con las medidas obtenidas por RTRRMSs y que estos instrumentos pueden calibrarse a la escala del IRI para lograr la mejor (o cercana a la mejor) precisión que es posible con este tipo de instrumentos. El IRI también se relaciona fuertemente a las opiniones

subjetivas sobre rugosidad del camino que puede obtenerse del público. Porque el IRI es (1) mensurable por muchos métodos perfilométricos, (2) favorablemente puesto en correlación con las medidas de RTRRMSs, y (3) favorablemente puesto en correlación con la opinión subjetiva, es una escala muy transportable.

Debe reconocerse que el IRI es un valor que resume las calidades de rugosidad que impactan en la contestación del vehículo, pero que no puede ser el más apropiado para otras aplicaciones. Más específicamente, el IRI es apropiado cuando una medida de rugosidad se desea que se relacione a:

- * El costo de operación del vehículo global.
- * La calidad del recorrido global.
- * La carga dinámica de la rueda (los daños al camino por los camiones pesados; recortan los límites de seguridad disponibles para los automóviles de pasajeros).
- * La condición de la superficie global.

El IRI también se recomienda siempre que las medidas sean obtenidas usando un RTRRMS en carreteras rápidas (50 - 100 km/h), independientemente del uso de los datos. Sin embargo, cuando se usan los métodos perfilométricos para medir la rugosidad de la huella de rodadura, entonces otras medidas pueden servir como buenos indicadores para algunas calidades de la condición del pavimento, o para los componentes específicos de contestación del vehículo abarcados por el IRI.

El IRI es un indicador estadístico de la irregularidad superficial del pavimento, al igual que otros indicadores, representa la diferencia entre el perfil longitudinal teórico (recta o parábola continua perfecta, $IRI=0$) y el perfil longitudinal real existente en el instante de la medida.

El perfil real de una carretera recién construida tiene un estado cero, definido por su IRI inicial > 0 , debido a condicionantes constructivos. Una vez puesta en servicio, la geometría del pavimento se modifica lentamente en función del paso

del tránsito, evolucionando hacia valores más elevados del IRI (mayores irregularidades).

El IRI se determina mediante un cálculo matemático realizado con las ordenadas o cotas de una línea del perfil longitudinal. Las consideraciones más importantes sobre el IRI son:

- Su principal ventaja reside en que el IRI es un modelo matemático cuyo resultado es independiente de la técnica o equipo con el que se haya obtenido el perfil.
- Para el cálculo del IRI es importante considerar la representatividad de las coordenadas que se introducen, es decir, la confiabilidad de la técnica o equipo con que se obtiene el perfil y la frecuencia de muestreo del mismo.
- La precisión de los equipos de medida de la irregularidad superficial es uno de los temas más delicados y complejos de decidir y valorar.

En la actualidad, como resultado de las investigaciones del Experimento Internacional de Rugosidad de Caminos (IRRE), se ha reemplazado el uso de la varianza de la pendiente longitudinal (Slope Variance – SV) como medida de la rugosidad, por el IRI que es ampliamente aceptado y utilizado en todo el mundo.[JSH13]

Paterson, en 1986, define el IRI de la siguiente manera: “El IRI resume matemáticamente el perfil longitudinal de la superficie del 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 (Reference Average Rectified Slope – RARS), razón entre el movimiento acumulado de la suspensión y la distancia recorrida, producto de la simulación del modelo del cuarto de carro (Reference Quarter-Car Simulation – RQCS), para una velocidad de desplazamiento de 80 km/h. Es calculado a partir de las elevaciones de la superficie medidas mediante un levantamiento topográfico o perfilometría.”

El IRI es la acumulación del movimiento entre la masa amortiguada y la no amortiguada, cuando se simula el paso del modelo del cuarto de carro, o técnicamente llamado RTRRMS, normalizado por el largo del perfil. El IRI, también llamado por su nombre técnico RARS80, definido en forma más completa por Sayers en 1995 debe cumplir con las siguientes condiciones:

- El IRI se calcula de un solo perfil longitudinal. Para sistemas que miden varios perfiles simultáneamente, el IRI es independientemente calculado para cada uno. La recomendación general es que los perfiles deben medirse en las dos huellas, con los valores del IRI para cada uno, estos se promedian para obtener un valor para el carril.
- El intervalo de la muestra no debe ser mayor que 11.8 pulg (300 mm) para los cálculos exactos. La resolución requerida dependerá del nivel de rugosidad, una resolución de mayor precisión se necesitará para los caminos lisos. Una resolución de 0.020 pulg (0.5 mm) es conveniente para casi todas las condiciones.
- Se asume que el perfil tiene una pendiente constante entre los puntos de elevación de la muestra.
- El perfil es suavizado con una media móvil cuya longitud base es 9.8 pulg (250 mm).
- El perfil suavizado es filtrado usando una simulación del modelo del cuarto de carro, con valores de parámetros específicos, a una velocidad simulada de 49.7 mi/h (80 km/h).
- El movimiento de la suspensión simulado es linealmente acumulado y dividido por la longitud del perfil para producir el IRI. Así, el IRI tiene unidades de pendiente, como pulg/mi o m/km.

3.5 El modelo del Cuarto de Carro.

La definición del IRI se establece a partir de conceptos asociados a la mecánica vibratoria de sistemas dinámicos; en base a ella, un vehículo se puede modelar

simplificadamente, por 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. Todo el sistema queda regido por la primera ley de Newton: fuerza = masa x aceleración.

El modelo del vehículo que se utiliza para filtrar el perfil longitudinal y luego calcular el IRI es el modelo del cuarto de carro o también llamado Quarter-Car Simulation (QCS). El modelo del cuarto de carro utilizado en el algoritmo para el cálculo del IRI es sólo lo que su nombre indica: un modelo de una sola rueda, para la cual sus condiciones de amortiguación se han pre-establecido, y no representa ningún vehículo en particular.

El modelo es mostrado esquemáticamente en la figura 3.1, incluye una rueda, representada por un resorte (k_t), la masa del eje soportado por la rueda (m_u), un resorte (k_s), un amortiguador (c_s) y la masa (m_s) soportada por la suspensión de la rueda.

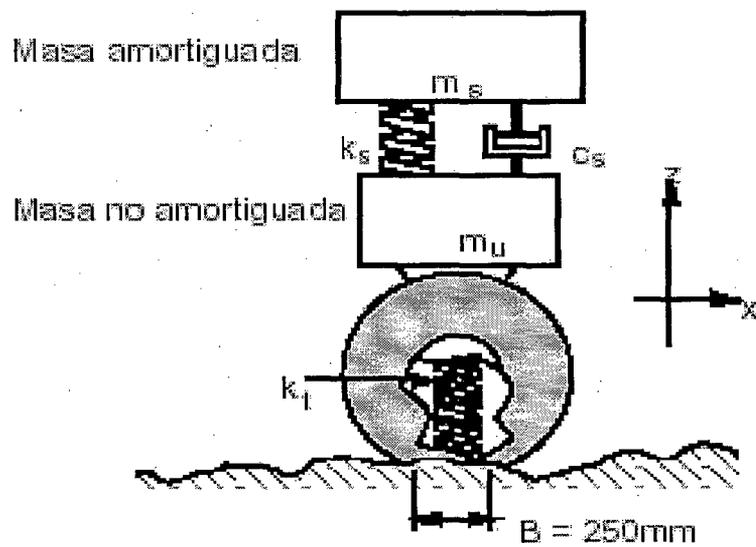
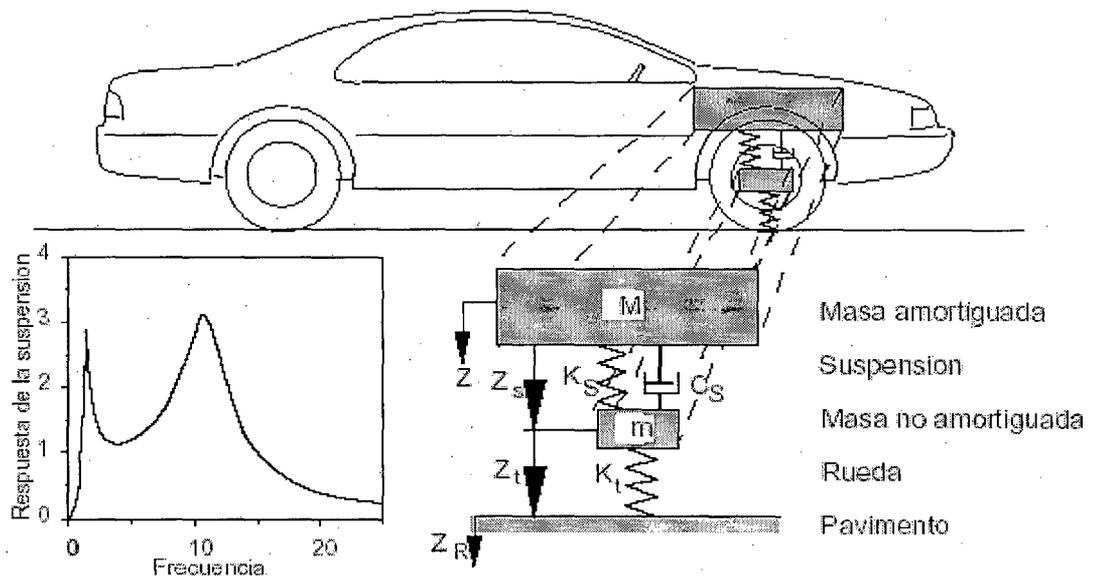
3.6 Equipos para evaluar la rugosidad.

Se usan instrumentos y métodos de prueba para producir una sucesión de números relacionada al “verdadero perfil” para una línea imaginaria del camino.

Las mediciones del IRI de las Clases 1 y 2 (explicadas en la sección 3.2) sólo pueden obtenerse a partir del perfil longitudinal del camino. El perfil está descrito por la serie de valores de las cotas de altura de la superficie, espaciados a cortos intervalos a lo largo de la huella de rodadura. Para resumir los miles de números que componen el perfil se aplica un procedimiento de análisis que calcula el IRI como un parámetro estadístico único que cuantifica la rugosidad. Cualquier microcomputador es apto para esta tarea de calcular el IRI.

Figura 3.1

Modelo del Cuarto de Carro



Los instrumentos Clase 3 no miden directamente el perfil longitudinal del camino, por esta razón no son llamados perfilómetros, estos obtienen registros que deben ser corregidos y convertidos a la escala del IRI mediante ecuaciones de correlación que se consiguen calibrando experimentalmente los instrumentos con algún sistema Clase 1 ó Clase 2.

3.6.1 Medición del IRI por métodos perfilométricos.

Un perfilómetro es un instrumento que produce una serie de números, relacionada de manera bien definida, a un verdadero perfil. Veremos que los números obtenidos de algún perfilómetro no son necesariamente iguales a la verdadera elevación. Un perfilómetro no mide el verdadero perfil, exactamente. Mide los componentes del verdadero perfil, que se necesitan para un propósito específico. Sin embargo, la relación entre el verdadero perfil y los números producidos por un perfilómetro deben reunir algunas condiciones, que se dará brevemente a continuación.

Un perfilómetro trabaja combinando tres ingredientes:

1. Una elevación de referencia,
2. una altura relativa a la referencia, y
3. la distancia longitudinal.

Estos tres ingredientes se combinan de maneras diferentes, basados en el diseño del perfilómetro.

Hay cuatro categorías amplias de aplicaciones del perfilómetro.

1. Para supervisar la condición de una red de caminos, para los sistemas de gestión de pavimentos (Pavement Management Systems – PMS).
2. Para evaluar la calidad de las secciones que se construyeron o repararon recientemente. Principalmente para los controles de supervisión en pavimentos nuevos o rehabilitados.

3. Para diagnosticar la condición de sitios específicos y determinar los remedios apropiados. Cuando se realizan estudios para la rehabilitación de pavimentos.
4. Para estudiar la condición de sitios específicos para la investigación. Es el caso de las secciones de prueba, donde por lo general se realizan controles periódicos para obtener registros de la evolución del IRI durante el periodo de vida del pavimento.

Debido a que el IRI corresponde a un recorrido determinado a lo largo del camino, los responsables de la medición del perfil con estos equipos, deben tener una clara idea de por donde pasa la rueda dentro del carril de tráfico. Las dos huellas de rodadura de los neumáticos de vehículos que circulan habitualmente proporcionarán medidas que son las más representativas de la rugosidad y en consecuencia se recomienda que las medidas se hagan sobre esas huellas.

Exactitud necesaria.

-Precisión: La precisión necesaria es función de la rugosidad. Aunque la rugosidad no se conoce hasta haber medido el perfil y calculado el IRI, con la experiencia del profesional se podrá juzgar cuándo la rugosidad es suficientemente elevada como para reducir las exigencias de precisión. Los requisitos de exactitud de las cotas de altura para las mediciones perfilométricas Clase 1 y Clase 2, se han calculado utilizando estas relaciones obtenidas experimentalmente:

Precisión de Clase 1 (en mm) menor o igual a $0.25 \cdot \text{IRI}$ (m/km).

Precisión de Clase 2 (en mm) menor o igual a $0.50 \cdot \text{IRI}$ (m/km).

-Intervalo de la muestra: El espaciado máximo de las muestras que se utilizan en las mediciones perfilométricas es de 250 mm y 500 mm para las Clases 1 y 2 respectivamente, y es válido para todos los tipos de pavimentos, salvo en los casos en que la rugosidad está sumamente localizada y se “pasaría por alto” si se utilizaran los intervalos de muestreo indicados. Ejemplos de rugosidad localizada

son las juntas de alquitrán, los baches y los parches pequeños. Puesto que el análisis para el cálculo del IRI no puede proporcionar información que no figure en la medición del perfil, es absolutamente esencial que la cota de altura del perfil se mida a intervalos suficientemente cortos como para captar las fuentes de rugosidad más importantes.

-Longitud de onda: Un perfil de camino completo incluye rasgos que van sobre un ancho espectro (desde las lomas y valles en la escala grande, hasta los rasgos pequeños de textura de la superficie). Ningún instrumento presenta en sus medidas, un perfil completo. Por razones técnicas, los instrumentos perfilométricos abarcan sólo una gama limitada del espectro de longitudes de onda que, se espera, incluirán los espectros cualitativos del camino que revisten interés. Al hacer el cálculo del IRI ocurre una reducción adicional del contenido informativo del perfil. El análisis del IRI actúa como un filtro al eliminar toda la información sobre el perfil que no está contenida en la banda de 1.3 a 30 m (grandes longitudes de onda como lomas y valles o pequeñas longitudes como las estudiadas para la textura del pavimento). Las longitudes de onda que no estén situadas dentro de esta banda no contribuyen a la rugosidad percibida por vehículos que recorren el camino a velocidades cercanas a los 80 km/h.

Medición del Perfil.

Existen dos grupos principales de perfilómetros: los estáticos y los dinámicos. Los sistemas estáticos de precisión consiguen las medidas más exactas del perfil longitudinal. Sin embargo, su bajo rendimiento los hace inadecuados para estudios que no sean muy especiales, como los de investigación, o en países en que la mano de obra sea muy barata. Los métodos pseudo-estáticos no suelen ser mucho más rápidos que los anteriores y además producen medidas que no son muy indicativas del perfil longitudinal. Los perfilómetros dinámicos proporcionan perfiles a gran velocidad, que aunque no son réplica exacta del perfil longitudinal del camino (filtran los componentes del perfil con longitudes de onda inferiores y superiores a ciertos valores), son exactos en las zonas de longitudes de onda que influyen en la regularidad superficial.

A continuación se nombran algunos equipos que se utilizan en la medición de perfiles, separados en dos categorías, como ya fueron mencionados, perfilómetros estáticos y perfilómetros dinámicos.

Equipos de medición estáticos:

- Levantamiento con Nivel y Mira.
- Perfilómetro de barra TRRL.
- Face Dipstick.

Equipos de medición dinámicos:

- Perfilómetro inercial APL.
- Perfilómetro láser.

3.6.2 Determinación del IRI mediante Sistemas Tipo-Respuesta de Medida de Rugosidad de Caminos.

Los sistemas tipo-respuesta de medida de rugosidad de caminos, conocidos por sus siglas inglesas de RTRRMS (Response-Type Road Roughness Measuring System), son aptos para la obtención rápida y económica de datos de rugosidad en carreteras, mediante el levantamiento continuo en tramos de 200 a 300 km diarios, en muchos casos se mejora este rendimiento y está en función a las velocidades de trabajo de los equipos.

Los resultados obtenidos por los RTRRMS sólo serán coherentes si las propiedades mecánicas del vehículo (y el dispositivo de medida) se mantienen constantes respetando prácticas adecuadas de mantenimiento y operación.

Un posible problema de los RTRRMS se debe a que cada aparato reacciona diferente ante la rugosidad de un pavimento. Es necesario por lo tanto llevar las

medidas a una escala normalizada (la del IRI) utilizando relaciones obtenidas mediante una calibración.

Un RTRRMS consta de tres componentes: el vehículo, el transductor que detecta movimientos relativos de la suspensión y una pantalla o visualizador conectado con el transductor. El transductor, en unión con la pantalla o visualizador constituye lo que se llama un roadmeter (rugosímetro) y se adquiere como una unidad. El rugosímetro mide en realidad la reacción o respuesta del vehículo ante la superficie del camino a medida que lo recorre a cierta velocidad. De esta forma la medida es función del rugosímetro, del procedimiento de operación del vehículo y de todas las variables que afectan a su respuesta.

El roadmeter: Los rugosímetros se conocen por diferentes nombres, como los medidores de marcha, medidores Mays (de Rainhart Company U.S.A.), Bump Integrator (del TRRL Inglaterra), medidores NAASRA (del ARRB, Australia), medidores Cox (de James Cox Company U.S.A.) y medidores PCA (de la Portland Cement Association). Aunque los numerosos rugosímetros tengan diferentes nombres y vengan con recomendaciones de uso incompatibles entre sí, la mayoría son funcionalmente equivalentes cuando son puestos en operación dentro de los límites previstos en su diseño. Los únicos diseños válidos en toda la gama de rugosidad abarcada en el IRRE han sido perfeccionados por los organismos de estudios de carreteras para su propio uso: el Bump Integrator o remolque BI, la unidad NAASRA y el medidor Mays modificado.

El vehículo: Son tres los tipos de vehículos que pueden utilizarse junto con el rugosímetro para constituir un RTRRMS:

- Un automóvil de pasajeros o camión liviano con eje trasero simple.
- Un remolque de dos ruedas.
- Un remolque de una sola rueda.

En un rugosímetro de dos ruedas, el transductor debe montarse verticalmente entre la carrocería y el centro del eje. Cuando se trata de un remolque de una sola rueda, el rugosímetro suele ser parte integral del remolque.

Velocidad de operación: El valor numérico del IRI se ha proyectado para la operación típica de un RTRRMS que funcione a 80 km/h, y la reproducibilidad de estas medidas es mejor a esta velocidad. Las medidas de la pendiente media rectificadas (ARS - Average Rectified Slope) obtenidas por un RTRRMS dependen de la velocidad y en consecuencia, los operadores deben tener clara conciencia de la importancia de hacer todas las mediciones a una misma velocidad. Sin embargo, hay situaciones, cuando una velocidad más baja pueda necesitarse. Estos incluyen los casos dónde:

- 1) una velocidad de 80 km/h no es conveniente por condiciones de seguridad, por razones de tráfico, peatones, geometría restrictiva, etc.,
- 2) el rugosímetro produce medidas erróneas e incoherentes en los caminos más rugosos a la velocidad de 80 km/h,
- 3) el proyecto cubrirá secciones de prueba de corta longitud principalmente, y la repetibilidad para los sitios individuales tienen una alta prioridad. La brevedad del sitio (de corta longitud) es en alguna magnitud compensada por el mayor tiempo necesario para cubrir aquella longitud a una velocidad reducida,
- 4) el vehículo, el rugosímetro y/o partes del RTRRMS son demasiado frágiles para el funcionamiento continuo a esa velocidad, y deben operarse con menor velocidad si estos serán utilizados definitivamente.

Además de la velocidad, el correcto funcionamiento de un RTRRMS depende de muchos factores, estos se detallan en los manuales de cada equipo y deben ser considerados para no incurrir en mayores errores de precisión. Algunos de estos factores son:

- Forma de instalación del rugosímetro en el vehículo.
- Carga del vehículo.

- Selección de los amortiguadores.
- Los vínculos mecánicos entre el rugosímetro y el vehículo.
- Presión de los neumáticos.
- Balance de los neumáticos.
- Efectos de la temperatura.
- Efectos del agua y la humedad.

Para obtener resultados correctos al hacerse una serie de mediciones, se debe seguir un procedimiento establecido, que asegure que exista una calibración válida y que su funcionamiento pueda verificarse mediante pruebas de control. Los detalles de los procedimientos aplicados en un proyecto deben formularse teniendo presentes la exactitud y la eficiencia requeridas por el proyecto.

Calibración de un RTRRMS.

Debido a que la reacción de cada RTRRMS en particular, es única y varía con el tiempo, el sistema debe calibrarse inicialmente, cuando se pone en servicio, y periódicamente, cuando su reacción esté fuera de los límites de control.

La calibración se efectúa verificando medidas “brutas” de la pendiente media rectificadora (ARS) en tramos especiales de calibración. Estos tramos son secciones en que se conocen los valores de rugosidad, por haberse determinado los IRI con métodos de Clase 1 o de Clase 2. Periódicamente se recorre con el RTRRMS los tramos de calibración a la velocidad normal, después de haber transcurrido un tiempo adecuado de precalentamiento del sistema. A los datos de la pendiente media rectificadora, se adapta una curva que se usa para estimar el IRI.

Cuando por cualquier motivo sea necesario tomar medidas a velocidades distintas a la normal, no puede aplicarse la ecuación de calibración de rutina y deberán establecerse por separado las relaciones entre estas medidas y el IRI. Se recomienda utilizar en estos casos velocidades de 50 km/h o bien 32 km/h.

Los datos de los tramos de calibración se utilizan para hacer una regresión del IRI respecto de las mediciones brutas del RTRRMS, minimizando el error cuadrático entre los valores del IRI de referencia y los valores estimados a partir del RTRRMS, mediante una ecuación lineal, cuadrática o logarítmica.

3.7 Factores que afectan la precisión de los sistemas.

Normalmente, los datos de rugosidad se utilizan en aplicaciones que representan dos extremos:

- 1) Análisis estadísticos que involucran a las medidas de rugosidad en los segmentos mayores de una red de caminos.
- 2) Estudios individuales relacionados a la rugosidad de sitios específicos del camino.

Los datos de rugosidad necesariamente incluirán algunos errores que se levantan del azar y de los efectos sistemáticos. La importancia de estos errores depende de la naturaleza de la aplicación que se piensa dar a los datos.

Un ejemplo del primer tipo de aplicación es un estudio del costo “camino-usuario” en que la base de datos de costos de operación para una flota de vehículos se relaciona contra la base de datos de rugosidad para los caminos en que esos vehículos fueron operados. En ese caso, la necesidad es determinar niveles de rugosidad para la comparación con las tendencias de costos, usando los métodos de regresión. Los errores aleatorios en las medidas individuales de rugosidad, causado por una pobre precisión o una característica peculiar del camino, tenderá a promediar fuera si el estudio incluye un gran número de sitios de la red de caminos. Así, el error aleatorio no es de gran preocupación para este tipo de estudio. Por otro lado, los errores sistemáticos torcerán las relaciones de costo obtenidas. Por consiguiente, deben tomarse medidas para mantener los errores sistemáticos a los niveles mínimos.

Estudios que involucran monitoreos de deterioro de la carretera o efectos de mantenimiento son ejemplos del segundo tipo de aplicación. En estos casos, es de interés mantener un registro continuo de pequeños cambios en la rugosidad condicionados a los sitios específicos del camino. Los errores aleatorios en la medida, reducirán la certeza con que pueden distinguirse las tendencias de interés. Así, el encargado del estudio debe emplear para las medidas, procedimientos que minimizarán los errores aleatorios. Esto normalmente se traduce en usar el mismo equipo y personal para la inspección regular de un sitio del camino, también cuando se repiten las pruebas para mejorar la repetibilidad, y manteniendo la calibración del equipo cuidadosamente.

El acto de medir un perfil involucra: (1) un operador, (2) un instrumento de medida, y (3) un camino. Entonces los errores se causan por: (1) el operador, (2) el instrumento de medida, y (3) el camino.

Cada aplicación tendrá una sensibilidad particular a fuentes de error diferentes. Para tomar las decisiones racionales sobre la calidad de las medidas a ser obtenidas, es útil comprender que la exactitud o imprecisión en las medidas de rugosidad está definida por el error, cuando el error es menor entonces la precisión es mayor.

3.7.1 Errores sistemáticos y de calibración.

Los errores sistemáticos existen en todos los instrumentos. Estos causan que las medidas de uno, sean consistentemente diferentes de otros, o causa que un instrumento varíe con el tiempo. Esto puede corregirse por la calibración, para que las medidas de rugosidad puedan cancelar diferencias sistemáticas, serán re-graduadas (por procedimientos de calibración) para que transformen las medidas a una escala común (el IRI). Sin embargo, si la calibración no cubre todas las variables que afectan la medida, entonces los valores re-graduados no pueden ser correctos, y un error de calibración queda.

En los métodos perfilométricos (Clases 1 y 2): el error de calibración es mínimo cuando se usan medidas directas del perfil longitudinal para obtener el IRI. Los instrumentos que miden el perfil (perfilómetros) son calibrados en la fábrica de donde proceden, y no cambian mucho cuando se les da el cuidado razonable. No obstante, los errores sistemáticos pueden aparecer en las medidas del perfil-base cuando: (1) las lecturas de elevación del perfil contienen errores (normalmente haciendo parecer el perfil más rugoso de lo que es), (2) cuando se espacian demasiado las medidas del perfil tal que algunos de los rasgos de rugosidad se pierden (haciendo parecer más liso el perfil), y (3) cuando se sujetan las medidas del perfil a un control o una limitación de la banda de ondas como ocurre con un perfilómetro dinámico (haciendo parecer más liso el perfil). Es recomendable cumplir las especificaciones y procedimientos de los fabricantes, para reducir estos errores a niveles despreciables.

Las fuentes de errores sistemáticos en un RTRRMS actúan recíprocamente. Su efecto puede cambiar con la rugosidad, tipo de la superficie, temperatura y otros factores medioambientales. La única manera de corregirlos es efectuando la correlación con las medidas del IRI obtenidas con un método de precisión (Clases 1 ó 2). Este procedimiento es esencialmente una “calibración por correlación”. El procedimiento descrito en el Capítulo 5 ha sido diseñado para eliminar el error de calibración de las medidas de los RTRRMS.

3.7.2 Repetibilidad.

La repetibilidad es la habilidad de obtener medidas repetidas con el mismo instrumento a casi el mismo tiempo.

Cuando las medidas repetidas son hechas con un instrumento, la coincidencia exacta no puede esperarse porque el proceso de la medida incluye efectos aleatorios que varían de medida en medida. El nivel de repetibilidad no siempre

puede ser evidente, porque los instrumentos enmascaran los efectos de variaciones pequeñas.

Al medir la rugosidad del camino, inspeccionando cuidadosamente el perfil longitudinal, la precisión estará limitada por: (1) la instrumentación usada para medir el perfil, (2) la posición aleatoria de los puntos específicos a lo largo de la huella de rodadura, donde se toman las medidas de elevación, y (3) la selección de la posición lateral de la huella de rodadura durante el recorrido (esta selección en parte es aleatoria). Los primeros dos errores estarán reducidos especificando medidas del perfil de alta precisión (es decir, medidas de elevación más exactas y puntos menos espaciados). Cuando éstas fuentes de error son controladas, entonces la imprecisión asociada con identificar la situación de la huella de rodadura se vuelve el factor más significativo, por ejemplo se han contabilizado variaciones sobre el 5% cuando la longitud de la huella de rodadura es 320 m.

Así como la repetibilidad es afectada por la variación (en parte aleatoria) de la posición lateral del RTRRMS en el camino, es también afectada por otros factores aleatorios como las variaciones en su velocidad de operación y pequeños cambios en la dinámica del vehículo que incluso ocurren durante un corto tiempo. Pueden evitarse estas fuentes de variabilidad con un procedimiento de funcionamiento cuidadoso.

Los errores de la repetibilidad son básicamente aleatorios en la naturaleza, y puede controlarse así extendiendo el proceso de la medida para que los errores aleatorios se cancelen al promediarse. Esto puede lograrse simplemente, usando secciones de prueba de longitud suficiente.

Una segunda forma se obtiene haciendo las medidas repetidas en el mismo sitio de la prueba. De esta manera, el error de la repetibilidad puede reducirse en secciones más cortas que no son suficientes para el promedio. En general, el error de la repetibilidad es inversamente proporcional a la raíz cuadrada de la longitud total

cubierta, dónde la longitud total es la longitud del sitio por el número de repeticiones medidas.

Así, el error esperado en un sitio de prueba de 1.6 km es aproximadamente igual al que se obtendría en un sitio de prueba de 320 m después de cinco repeticiones ($5 \times 320 \text{ m} = 1.6 \text{ km}$). Entonces, una longitud total de 1.6 km (1.0 milla) de largo se recomienda para minimizar el error de la repetibilidad para los instrumentos usados en vías rápidas.

3.7.3 Reproducibilidad.

La reproducibilidad es la habilidad de repetir las medidas con un instrumento diferente del mismo diseño básico.

Al medir una calidad compleja como la rugosidad del camino, con un método distinto que la medida del perfil directa, es posible (y común) para dos instrumentos diferentes alinear un camino en un orden distinto al medir la rugosidad sobre un mismo pavimento. Entonces el error existe con la selección de la línea de prueba del camino y es aleatorio, pero es sistemático para el instrumento. Cuando las medidas se obtienen con un solo instrumento pueden ser favorablemente repetibles, pero no se tiene el mismo resultado cuando se obtienen las medidas usando un instrumento diferente (del mismo diseño básico). El problema es que los dos métodos de medición tienen diferencias que son más complejas que los factores de escala simples. Mientras pueden controlarse los errores de la repetibilidad usando las pruebas repetidas y promediando, y los errores de calibración pueden ser controlados por los métodos de calibración válidos, los errores de reproducibilidad siempre existirán cuando el instrumento de medición difiere de la referencia (línea de referencia o perfil-base, es el perfil longitudinal del camino sobre el cual se realizan las mediciones).

Cuando se obtienen las medidas de Clase 1 (medida directa del perfil), el error de reproducibilidad del instrumento es esencialmente inexistente, y la incertidumbre sólo existe debido a los límites de la repetibilidad. Por consiguiente, pueden usarse los controles para la repetibilidad, para mejorar la precisión global.

Pero cuando se obtienen las medidas de un RTRRMS, no hay ningún diseño, método de prueba o procesamiento de datos que puedan resolver las diferencias entre instrumentos. Lo que puede hacerse, sin embargo, es adoptar un procedimiento que coincida las características del RTRRMS al perfil-base de referencia al grado más íntimo posible.

Otro paso que puede tomarse para cualquier método de medida es medir la rugosidad por los sitios del camino más largos. Desde que el error de reproducibilidad es aleatorio para cada sección del camino, puede reducirse un poco a través del promedio estadístico, que es lo que ocurre cuando se usan sitios más largos.

Al contrario del error de la repetibilidad, este error necesariamente no disminuye con la raíz cuadrada de longitud. La reproducibilidad no se mejora repitiendo las medidas en el mismo sitio, desde que el efecto es sistemático para ese sitio.

3.7.4 Portabilidad.

La portabilidad es la habilidad de repetir las medidas con perfilómetros de diseños completamente diferentes.

El patrón estándar para la portabilidad es el verdadero perfil. Un perfilómetro es considerado válido si las estadísticas de sus medidas obtenidas, no son superiores ni inferiores al promedio, en comparación con los valores estadísticos obtenidos del verdadero perfil. Porque cualquier perfilómetro válido obtiene valores vinculados al perfil verdadero, sus medidas son portátiles por definición, y es

capaz de producir las mismas estadísticas que se calcularían del verdadero perfil. Las estadísticas de dos perfilómetros válidos son directamente comparables, sin requerimientos de conversión. Por otro lado, si las medidas no son portátiles, entonces el perfil no es válido.

En general, para los perfilómetros, la portabilidad es de mayor interés que la reproducibilidad.

CAPITULO 4

EL EQUIPO BUMP INTEGRATOR

En este capítulo se tratara sobre todo lo relacionado al instrumento, cabe señalar que cuando nos referimos al equipo BI se habla del conjunto unidad BI (BI Unit) mas la unidad contadora (Counter Unit), que a su vez se les conoce como rugosímetro, pero cuando nos referimos al sistema BI, hablamos del conjunto total; el vehículo mas el rugosímetro, para ser mas explícitos, conformado por, el vehículo, la unidad BI, la unidad contadora y adicionalmente un odómetro, finalmente el sistema BI es un sistema tipo-respuesta o RTRRMS.

4.1 Descripción del Bump Integrator.

En palabras inglesas se le conoce como BI Roadmeter o simplemente Bump Integrator, que en una traducción aproximada en español seria “Integrador de Resaltos” o “Acumulador de Saltos”. El Bump Integrator (BI) es un instrumento que fue desarrollado por el UK Transport Research Laboratory (TRL) que se monta entre el eje y cuerpo de un vehículo y produce cuentas que son proporcionales al movimiento de la suspensión.

La unidad consiste en un cuerpo-transductor que irá montado sobre un vehículo, que contiene una polea sobre un eje que se ajusta para mantener un cable en tensión que conecta el cuerpo y eje del vehículo. Así, la polea gira proporcionalmente al movimiento de la suspensión. Un dispositivo mecánico en el interior del instrumento es usado para transmitir la rotación sólo en una dirección, a un componente generador de pulso. El efecto global es que el instrumento sigue la desviación de la suspensión en una dirección, mientras permanece insensible al

movimiento en la otra dirección, acumulando el desplazamiento por esa razón. Cuando el movimiento acumulado alcanza 25.4 mm (1.0 pulgada), un pulso es enviado a un contador electrónico. Por consiguiente, cada cuenta corresponde a una pulgada de desviación en una dirección, o 50.8 mm al considerar ambas direcciones.

En la práctica sin embargo, el transductor tiene limitaciones debido a sus propiedades mecánicas. En ocurrencia de vibraciones muy pequeñas estas no producen ninguna contestación, debido a las pequeñas cantidades de juego libre entre varias partes del sistema (los rodajes, las uniones, etc.).

Los Sistemas Tipo-Respuesta de Medida de Rugosidad de Caminos (en siglas inglesas: RTRRMS), como ya se dijo, graban el desplazamiento acumulativo de un eje relativo al cuerpo del vehículo inducido por la rugosidad del camino.

Un sistema completo consiste en un vehículo, con un sólido y transverso eje trasero, acondicionado con:

- Una Unidad Bump Integrator, instrumento capaz de sumar el movimiento del eje trasero cuando viaje a lo largo del camino.
- Una Unidad Contadora, para grabar las cuentas en unidades discretas de medida.
- Un Odómetro de precisión, para grabar la distancia recorrida.
- Equipo de instalación, que proporciona protección y fácil adaptación del Bump Integrator.

La calibración de este sistema de RTRRMS puede realizarse de varias maneras. Los métodos recomendados para el BI son usando el equipo del Nivel y Mira (Clase 1) o al equipo también desarrollado por el UK Transport Research Laboratory (TRL) conocido como Merlin.

4.2 El vehículo.

Pueden usarse tres tipos de vehículo junto con un rugosímetro (Bump Integrator) para constituir un RTRRMS:

1) Un automóvil de pasajeros o camión ligero con un eje trasero sólido. Un vehículo con la suspensión trasera independiente no debe usarse, porque se registrarán movimientos de la suspensión del vehículo como la rugosidad. Se recomienda un vehículo de tracción en el eje trasero porque la masa del eje coincide con la norma, más estrechamente.

2) Un remolque de dos ruedas. El remolque debe tener un eje sólido. La configuración real del vehículo del remolque no es crítica, pero el mismo vehículo del remolque siempre debe usarse en las calibraciones, porque sus características influirán en las medidas de ARS. Si el vehículo del remolque se reemplazara, el RTRRMS debe re-calibrarse.

3) Un remolque de una rueda. Como con un remolque de dos ruedas, la recalibración será necesaria si el vehículo del remolque se cambia. El ajuste del enganche debe estar provisto para sostener al remolque derecho durante el uso.

4.3 Instalación del equipo en el vehículo.

El Bump Integrator

El Bump Integrator debe montarse sobre la línea del centro del vehículo y del eje, como es mostrado en la figura 4.1 y 4.2. La conexión entre el eje y el BI es por un cordón de acero (cable de acero). El cordón debe atravesar un agujero cuidadosamente posicionado en el suelo, directamente sobre "A" como en la figura 4.2. La conexión del cordón al eje es complicada por la variación de tipos de vehículos, cada uno requiere una forma diferente, permanente y completamente rígido en su forma de fijar.

Figura 4.1

Montaje de la Unidad Bump Integrator
Instalación del cable sobre el diferencial

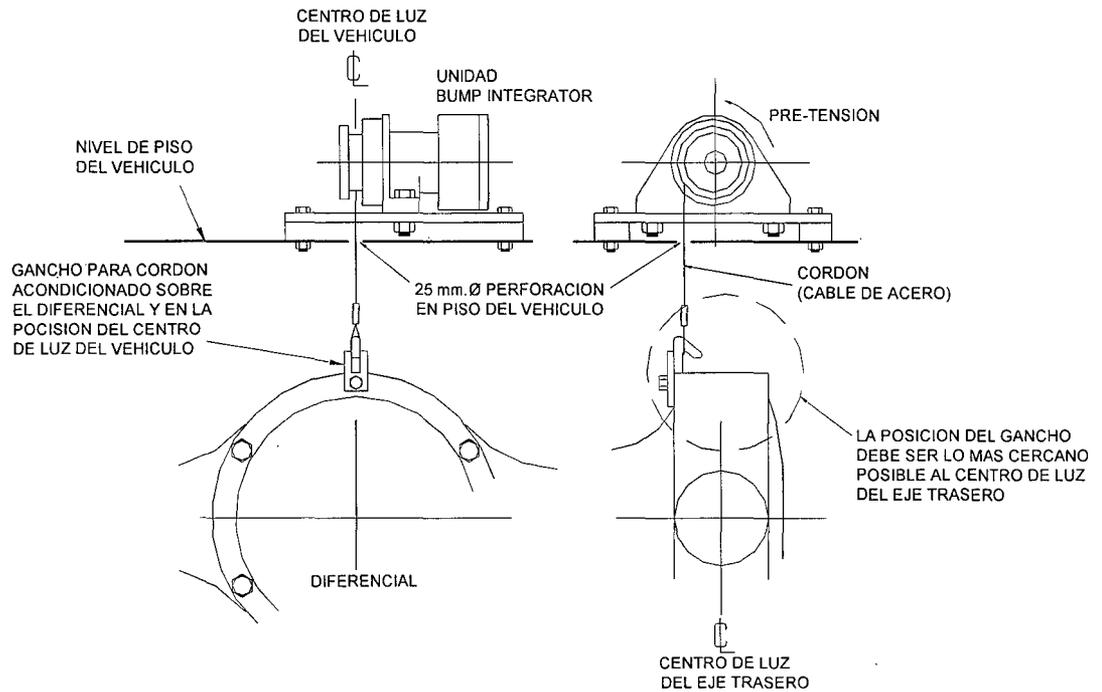
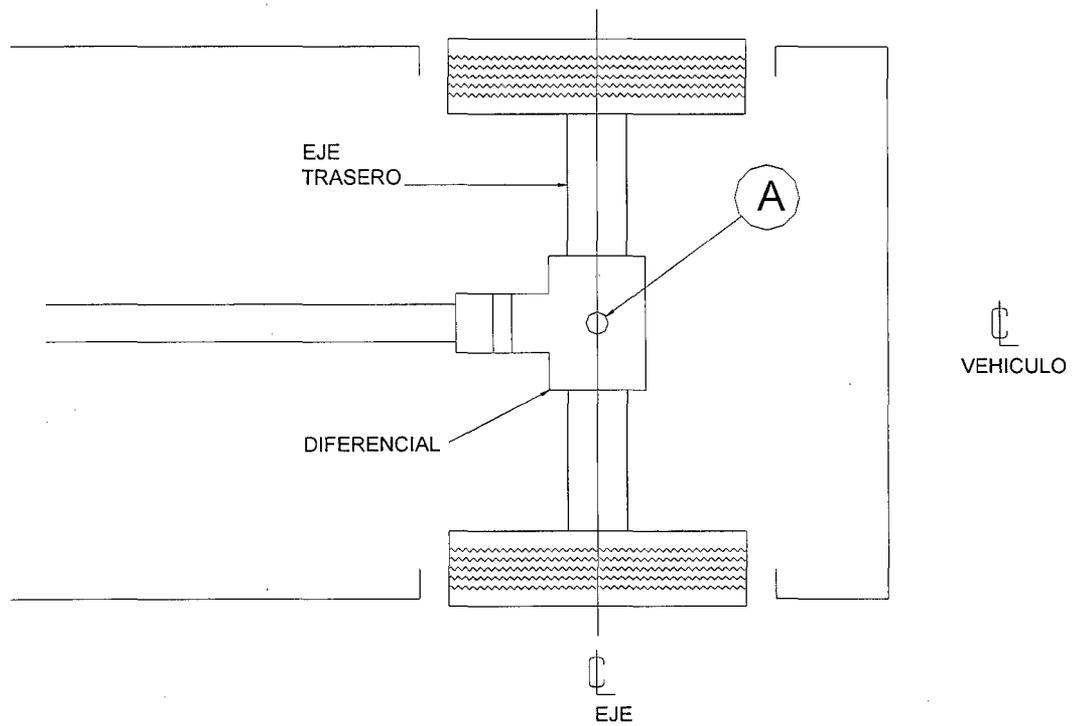


Figura 4.2
Montaje de la Unidad Bump Integrator
Posicion de la Unidad Bump Integrator sobre el vehiculo



El posicionamiento cuidadoso del agujero de 25mm de diámetro en el suelo del vehículo es muy importante. Habiendo hecho el agujero, se posiciona el BI y/o la montura base de tal manera que la polea y el gancho esté alineado verticalmente. Es muy importante que el cordón, cuando esté finalmente conectado, no toque el borde del agujero, si ocurriera, esto distorsionará los resultados y el cordón fallará.

Después de instalar el BI, se pasa el cordón a través del agujero en el suelo. Entonces se ajusta el lazo del cordón y engancha en posición sobre el eje trasero. La “pre-tensión” del tambor del BI es muy importante, debe ser 2.5 giros en el sentido antihorario. Se hace este ajuste a mano y entonces se enrolla sobre el tambor 2 - 2.5 giros del cordón de acero, en el sentido antihorario. Entonces con el gancho adaptado al eje, se ajusta la longitud de cordón para mantener la pre-tensión. Todo debe ser firme y seguro. Es muy importante que la pre-tensión en la unidad del BI no se suelte de repente en algún momento, esto puede producir daño al mecanismo del BI.

El último ajuste del cordón debe proporcionar 2.5 giros de pre-tensión del tambor, cuando el vehículo esté en reposo. No debe enrollarse la polea del BI en el sentido de las agujas del reloj, y sobre todo no debe permitirse que la polea del BI se suelte de repente.

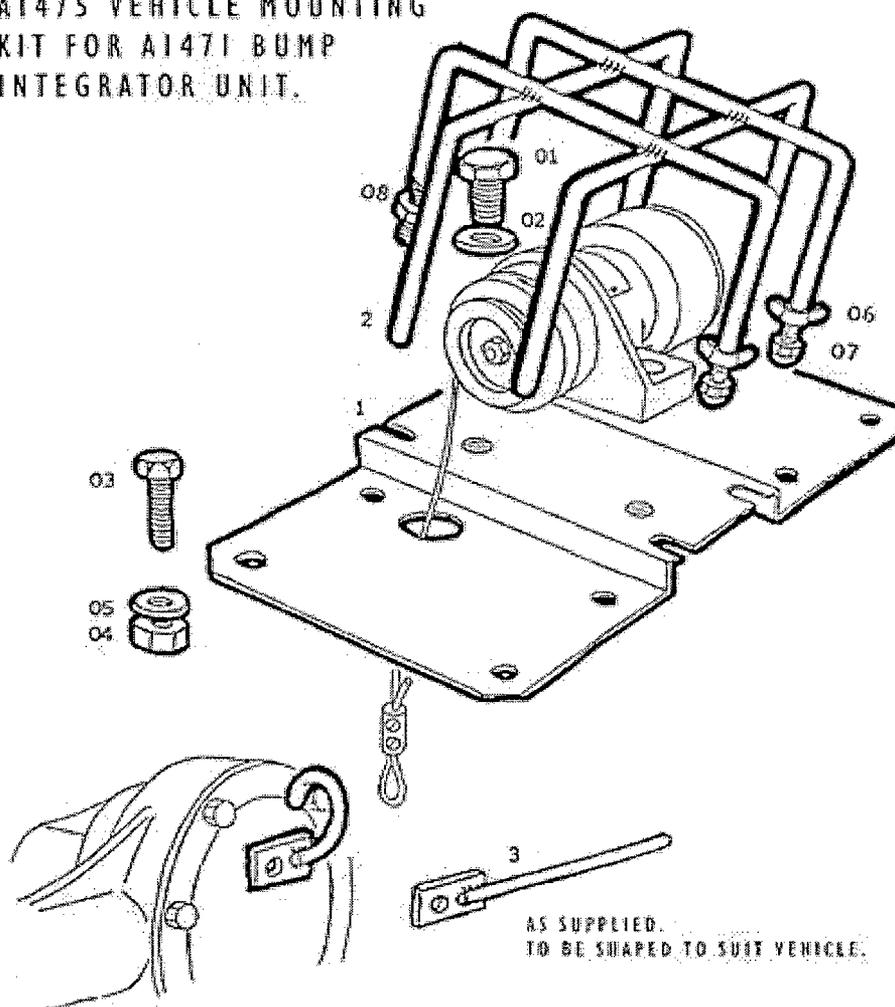
El equipo incluye un plato de montura, una canastilla de protección, un gancho y todas las piezas requeridas, pernos y arandelas como es mostrado en la figura 4.3. Para encajar el plato de la montura, se posiciona el plato encima del agujero de 25mm taladrado en el suelo del vehículo, entonces se marca y taladra los agujeros para fijar el plato. Usando los tornillos proporcionados, se fija el plato al piso del vehículo. Se encaja el BI al plato de la montura y entonces se coloca la canastilla de protección.

Se recomienda que el BI se quite de su posición de funcionamiento en cuanto las operaciones de medida se hayan completado.

Figura 4.3

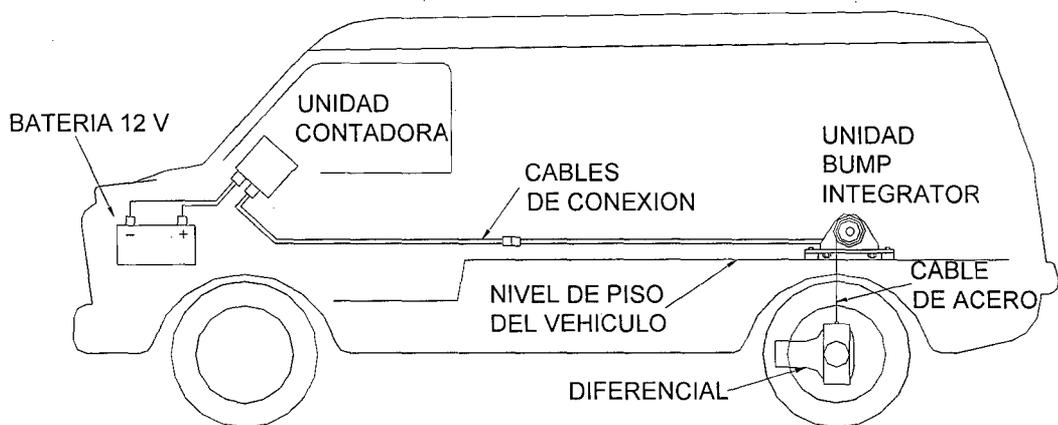
Montaje de la Unidad Bump Integrator

AI475 VEHICLE MOUNTING
KIT FOR AI471 BUMP
INTEGRATOR UNIT.



1. Plato de montura.
 2. Canastilla de protección.
 3. Gancho para fijación del cordón.
-
- 01 y 02. Pernos, arandelas y tuercas para fijación de la unidad BI a la montura.
 - 03, 04 y 05. Pernos, arandelas y tuercas para fijación de la montura al piso del vehículo.
 - 06, 07 y 08. Sistema de fijación de la canastilla protectora.

Figura 4.4
Montaje del Sistema Bump Integrator



El Contador Digital.

El Contador debe montarse hacia el lado delantero del vehículo, su posicionamiento está a la disposición del ingeniero a cargo de la instalación. Preferentemente debe montarse delante del co-piloto y en una localización rígida y permanente o sujeta con seguridad, dentro del compartimiento de la guantera o encima del tablero, para la facilidad de vista y funcionamiento.

El Contador tiene un interruptor de on/off con una lámpara de indicador de poder. Tiene dos pantallas digitales cambiables de uno a otro. La conexión del BI al Contador es por cable, sale del BI y llega al enchufe DIN en el tablero delantero del Contador. La conexión eléctrica debe tomarse directa de la batería del vehículo usando el cable proporcionado, como se muestra en la figura 4.4.

4.4 Velocidad de operación.

El valor numérico del IRI ha sido diseñado para que refleje el funcionamiento típico de un RTRRMS cuando opera a la velocidad normal de 80 km/h; de esta manera, la reproducibilidad asociada con un RTRRMS es generalmente mejor cuando se usa esta velocidad. Las medidas de ARS obtenidas por un RTRRMS son dependientes de la velocidad, y por consiguiente los operadores de los instrumentos deben apreciar la importancia de hacer todas las medidas a la misma velocidad.

Sin embargo, hay situaciones, cuando una velocidad más baja puede necesitarse. Éstos incluyen los casos dónde:

- 1) una velocidad de 80 km/h no es segura, por razones de tráfico, peatones, geometría restrictiva, etc.,

- 2) el rugosímetro produce medidas erróneas e incoherentes a 80 km/h en los caminos más rugosos,
- 3) el proyecto cubrirá secciones de prueba de corta longitud principalmente, y la repetibilidad para los sitios individuales tienen una alta prioridad. La brevedad del sitio (de corta longitud) es en alguna magnitud compensada por el mayor tiempo necesario para cubrir aquella longitud a una velocidad reducida,
- 4) el vehículo, rugosímetro y/o partes del RTRRMS son demasiado frágiles para el funcionamiento continuo a esa velocidad, y deben operarse a menor velocidad si ellos serán utilizados definitivamente.

La solución recomendada para problemas asociados con los mecanismos frágiles o inconsistentes es reemplazar el vehículo y/o rugosímetro con algo más robusto. Si cualquiera de estas condiciones son inevitables para la mayoría de sitios de prueba, entonces una velocidad menor debe adoptarse para todas las medidas del RTRRMS (se recomiendan 50 o 32 km/h cuando se necesitan velocidades más bajas). Cuando sólo unas secciones necesitan ser medidas a una velocidad menor, entonces podrá usarse algún método de corrección de velocidad.

4.5 Consideraciones sobre el mantenimiento del vehículo-equipo y los factores que afectan su operación.

Las variaciones en el vehículo causarán también, como corresponde, variaciones en las medidas de rugosidad. Seleccionando y manteniendo el vehículo para su uso con un RTRRMS, el profesional debe ser consciente de que muchas variables afectan la performance de un vehículo.

A continuación se describirá los principales elementos que influyen en las lecturas de los equipos tipo respuesta para medidas de rugosidad.

La selección del amortiguador.

El componente del vehículo más importante que afecta la contestación de un RTRRMS a la rugosidad, es el amortiguador. Para obtener una reproducibilidad mejor (y así, la precisión global), el vehículo debe equiparse con los amortiguadores “mas tiesos”, a cambio de los amortiguadores “más suaves” (a menudo seleccionado por el fabricante del vehículo para mejorar la calidad del recorrido). El uso de “amortiguadores tiesos” tiene una ventaja, en que los efectos de otras fuentes de error se reducen, y por consiguiente, menos esfuerzo se necesita para mantener el RTRRMS en calibración.

Los amortiguadores son un elemento crítico de la performance del RTRRMS, y que una nueva calibración se requiere siempre que ellos se reemplazan, aun cuando los amortiguadores de reemplazo sean del mismo diseño y fabricante, como los anteriores. Las características primarias que se buscan en un amortiguador son: robustez, insensibilidad a la temperatura, y alto amortiguamiento (los amortiguadores deben estar “tiesos”). Si los amortiguadores instalados proporcionan el amortiguamiento suficiente puede deducirse por comparación directa del valor ARS (en m/km) del RTRRMS al valor IRI en las superficies de calibración. Si las medidas del vehículo son mayores del 20% en el promedio del IRI en los sitios ligeramente rugosos, se recomienda el amortiguamiento más eficaz en la suspensión del vehículo.

Carga del vehículo.

El peso del cuerpo del vehículo afecta la medida de rugosidad, tal que aumentando la carga usual, aumenta el ARS medido. Este efecto casi se elimina, cuando el rugosímetro está montado en un remolque. Pero cuando el rugosímetro está montado en un automóvil o en un camión ligero, debe tenerse el cuidado para mantener siempre el mismo peso en el vehículo, durante la calibración y medida de rugosidad, aunque un efecto inevitable es la variación del peso por el consumo de combustible. El vehículo no debe contener una carga extra u ocupantes adicionales durante la prueba.

Presión del neumático.

Las medidas de rugosidad aumentan con la presión del neumático (cualquiera sea el vehículo empleado, automóvil o remolque). Por consiguiente, la presión debe verificarse antes que el vehículo sea puesto en marcha, la presión seleccionada deberá ser la recomendada por el fabricante de acuerdo al tipo de neumático empleado (por supuesto, los neumáticos deben ser del mismo tipo en cada eje del vehículo).

Uniones mecánicas en el equipo.

El transductor del equipo (rugosímetro) se conecta al eje del vehículo por algún tipo de unión. Si el transductor del rugosímetro posee algún resorte o elemento elástico, a veces puede oscilar independientemente si el elemento no es bastante rígido, produciendo así, cuentas incrementadas. Si las uniones entre el eje, transductor, y cuerpo del vehículo (o marco del remolque) están totalmente sueltas, se perderán las cuentas. Los cables de las poleas pueden resbalarse, produciendo también cuentas perdidas. La inspección frecuente y mantenimiento de estas uniones deben ser incluidos en los procedimientos de operación establecidos.

Desbalance del neumático y pérdida de redondez.

La oscilación como resultado del desequilibrio y/o irregularidad de los neumáticos, causa un incremento en las cuentas del rugosímetro. El aumento en las cuentas debido a las vibraciones extras, es muy importante en caminos más lisos donde las vibraciones inducidas son menores. Este efecto puede reducirse usando ruedas balanceadas o compensadas. Deben reemplazarse ruedas dañadas, como también neumáticos que tengan “cocadas llanas” o desgastadas por el patinamiento que ocurren durante los frenados de emergencia, por que estos ya han perdido su redondez original (los neumáticos muy desgastados tienden a

ovalarse). Deben realizarse los chequeos de calibración cuando se quiera cambiar uno de estos componentes.

Efecto de temperatura.

La conducta mecánica más crítica del vehículo del RTRRMS es su habilidad de amortiguar las vibraciones de la suspensión. Amortiguamientos bajos dan como resultados un gran número de cuentas, mientras que de los amortiguamientos altos resultan pocas cuentas. El amortiguamiento deriva de las propiedades mecánicas de los amortiguadores, los neumáticos, y las uniones en la suspensión. Desgraciadamente el amortiguamiento cambia significativamente con la temperatura de los varios componentes que contribuyen al amortiguamiento global. Si la temperatura aérea es mayor que 0 °C, los cambios en el amortiguamiento debido a los cambios en la temperatura aérea no son significantes, sobre un rango de 10 °C o menos. (Por ejemplo, variaciones entre 20-30 °C no debe tener un efecto notable en las medidas de rugosidad.) Las variaciones mayores generalmente tienen un efecto notable, con las temperaturas superiores se producen un aumento en las cuentas. Cuando la temperatura cae a 0 °C y baja, las medidas de RTRRMS se vuelven mucho más sensibles a la temperatura del aire.

Bajo la mayoría de las condiciones de operación, la más lejana influencia en la temperatura del componente es la rugosidad; los amortiguadores del vehículo calientan mucho más en los caminos rugosos que en los lisos. Por esta razón, debe prestarse la atención especial para asegurar el precalentamiento “adecuado” previo a registrar los datos de rugosidad, en trabajos de investigación rutinarios y durante la calibración. La cantidad de tiempo necesitada para el precalentamiento depende del vehículo y el nivel de rugosidad. Tiempos típicos necesitados son 10-30 minutos, y debe determinarse experimentalmente para cada RTRRMS. El tiempo de precalentamiento del RTRRMS será a la velocidad de prueba en caminos que tienen aproximadamente el mismo nivel de rugosidad (dentro del rango de 20%). Por consiguiente, si el RTRRMS debe viajar a un sitio de prueba sobre caminos

buenos (lisos), y el propio sitio de prueba es un camino rugoso, se necesitará un tiempo de precalentamiento adicional sobre el sitio de prueba.

Agua y efectos de humedad.

Las propiedades mecánicas de las partes del vehículo del RTRRMS normalmente no se influyen directamente por la presencia de agua. Indirectamente, sin embargo, la lluvia y agua de la superficie pueden afectar las medidas de rugosidad al “refrescar” los componentes (efecto refrigerante), llevándolas a temperaturas más bajas que las normales, con el resultado de menos cuentas acumuladas. El problema común es el agua que salpica en los neumáticos y amortiguadores, de esta manera se “refrescan” en el proceso. Si el clima está tan húmedo que los días lluviosos son la norma en lugar de la excepción, una “calibración húmeda” debe realizarse para convertir medidas brutas tomadas en días lluviosos a la escala de rugosidad IRI. Otro problema relacionado al agua es la acumulación de barro, nieve o hielo en las ruedas, causando su desequilibrio o desbalance. Hielo o nieve en el cuerpo del vehículo puede cambiar su peso global, afectando las lecturas del rugosímetro por eso.

Entrenamiento.

Deben seleccionarse chóferes y operadores cuidadosamente y deberán recibir entrenamiento. Ellos deberán ser condicionados a aceptar que son parte del equipo experimental y no sólo conductores del vehículo. La importancia de su papel en la colección de los datos exactos debe enfatizarse, la maniobra del vehículo-instrumento debe ser cuidadosa, teniendo presente las condiciones de velocidad indicadas durante el entrenamiento, sobre todo cuando ellos controlan el paso del vehículo-instrumento sobre el carril deseado y son requeridos a propulsar el vehículo fácilmente en la sección de prueba sin crear los signos de falsa entrada al instrumento a través de la aceleración, desaceleración y frenado. Ellos también deberán entrenarse para entrar y terminar correctamente en las secciones de prueba a la velocidad correcta, en el cambio adecuado antes de la entrada en la

sección, a través de la sección y un rato corto después de terminar la sección. La contestación del vehículo-instrumento es afectado por todas estas maniobras.

4.6 Procedimientos de operación.

Existen diversos factores que alteran el normal funcionamiento de un sistema tipo RTRRMS, que por consiguiente se reflejan en la consistencia de los resultados de la medida de rugosidad, por esto, para asegurar que se obtienen resultados significativos de un rugosímetro, se requiere que un procedimiento de operación estandarizado deba ser seguido y que una serie de acciones sean ejecutadas, sólo de esta manera se podrían obtener medidas reproducibles.

Es recomendable que estos procedimientos de operación estén documentados y su contenido debe ayudar a que se logren resultados válidos con el menor esfuerzo e inversión, y tiene que involucrar tres objetivos importantes: el funcionamiento del sistema, la calibración del sistema, y la inspección constante del sistema, para detectar daños o cambios en su funcionamiento. En la figura 4.5 se muestra un ejemplo de procedimiento de operación, expresado en forma de diagrama lógico, no existen restricciones en cuanto a la forma de presentación de los procedimientos, lo importante es que sean fácilmente comprensibles.

El procedimiento involucra, como ya se mencionó, al funcionamiento, la calibración y la inspección del sistema, entonces el procedimiento del ejemplo (figura 4.5) muestra una secuencia lógica de estos puntos importantes, que debe asegurar que una calibración válida esté en vigencia y que esa función apropiada pueda verificarse por vía de las pruebas de control. Similarmente se podrían documentar procedimientos para cada uno de los objetivos básicos mencionados, o sea, un procedimiento para el funcionamiento del sistema, un procedimiento para la calibración del sistema y un procedimiento para la inspección del sistema. La necesidad de documentar mas de un procedimiento está sujeto a la complejidad

del estudio, sin embargo estos procedimientos deben complementarse con instrucciones de trabajo y registros, como se verá mas adelante en el Capítulo 7.

Consideraciones en los procedimientos de operación.

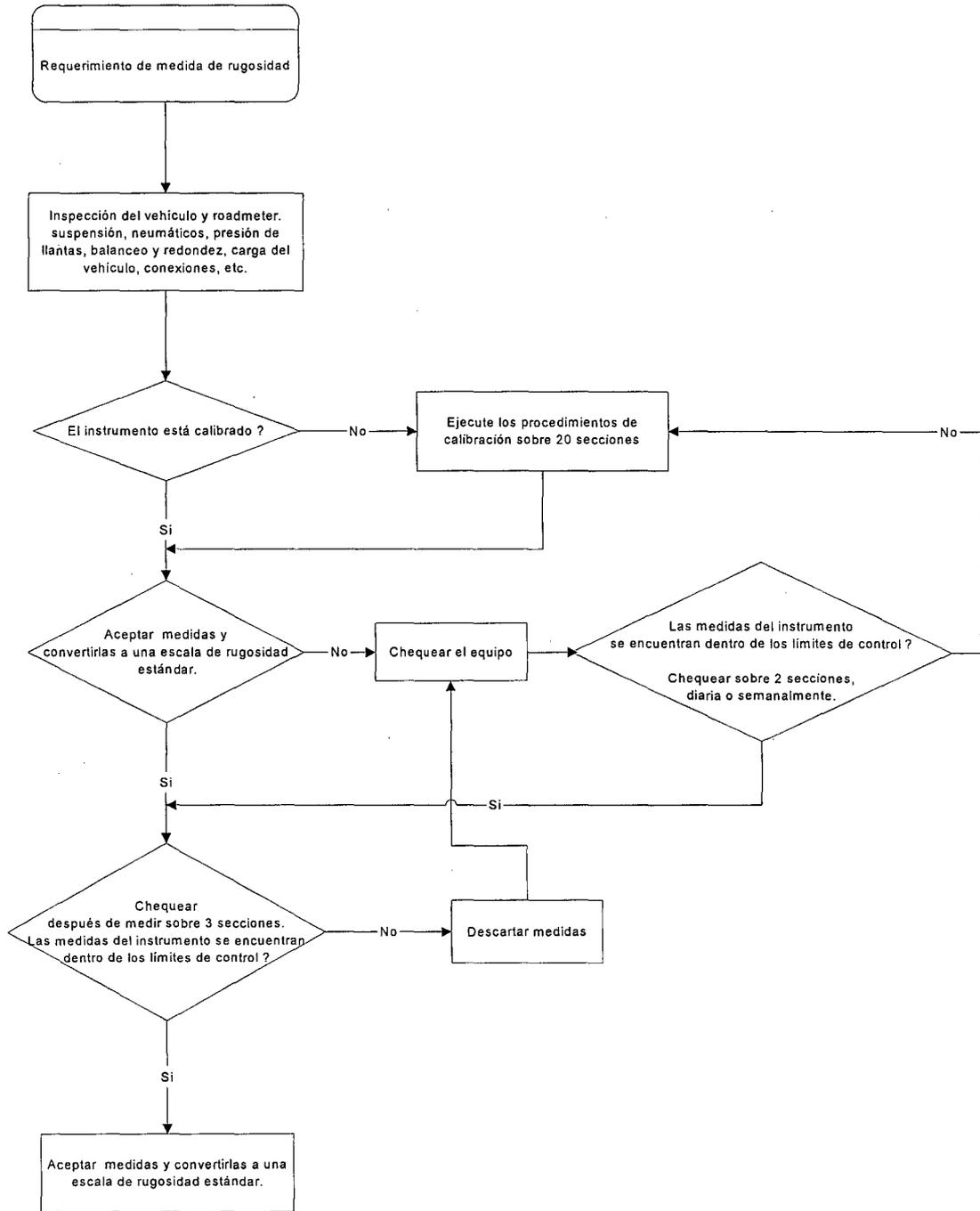
Esta sección describe algunos factores y recomendaciones que deben ser considerados en todo procedimiento de operación rutinario.

a) *El Personal.* Todo personal asignado al equipo de medida de rugosidad debe haber pasado por un periodo de capacitación y entrenamiento, la confiabilidad en los resultados significantes depende en buena parte de que se cumplan los procedimientos, cuanto mayor sea la experiencia de los operadores en la practica de estos procedimientos se logran resultados mas representativos. Se recomiendan dos operadores. El operador del vehículo (chofer) es responsable de mantener la velocidad de prueba y la alineación del vehículo sobre la huella de rodadura del carril en estudio. El segundo operador (técnico, bachiller o ingeniero) pone el inicio del rugosímetro al principio de una sección de prueba, así mismo configura el registro de las lecturas del rugosímetro a los intervalos pre-determinados, y la situación de los archivos y marcadores de evento a la velocidad de la prueba. La grabación de datos y/o notas adicionales de campo a cargo del segundo operador son importantes durante el recorrido del estudio.

El peso combinado de los dos operadores debe estar dentro del rango de ± 10 kg de aquellos que calibraron el vehículo.

b) *La Inspección.* Antes de la medida, los equipos deben inspeccionarse para asegurar visualmente que está funcionando correctamente. Las uniones del rugosímetro, presión de los neumáticos y la limpieza de las ruedas necesitan ser revisadas en reposo la comprobación se realizará en los tiempos de parada o por lo menos diariamente.

Figura 4.5
Procedimiento de operación



En regiones de climas fríos, la acumulación de hielo y nieve en el vehículo debe eliminarse. Al operar en las condiciones barroas, la acumulación de barro en las ruedas puede ser un problema.

c) *El Tiempo*. No es recomendable hacer las medidas en un día con clima desfavorable, muy lluvioso, con mucha nieve, con fuerte granizada o en algunos casos con vientos muy fuertes. En los caminos afirmados, no deben hacerse las medidas si la superficie está muy mojada o resbaladiza, debido al efecto del barro en las ruedas y al efecto refrigerante del agua sobre los amortiguadores.

d) *El Pre calentamiento*. Deben evitarse o reducirse las paradas entre las medidas a un mínimo, y el tiempo de pre calentamiento adecuado de 5 a 10 minutos de recorrido del vehículo a la velocidad de la prueba debe efectuarse previamente. Los períodos más largos de 15 a 20 minutos son necesarios en rugosidades que exceden los 8 m/km o durante climas fríos o tiempos lluviosos.

e) *La Velocidad*. Es importante que la prueba se corra con una velocidad constante, pero en la práctica esto es casi imposible, es por ello que se tiene que considerar un margen de variación dentro del 5% de la velocidad constante (velocidad predeterminada: 32, 50, 80 km/h), ya que los resultados de rugosidad son dependientes de la velocidad. El vehículo debe acelerarse varios segundos, por lo menos (100 m) para alcanzar la velocidad constante antes del inicio de la sección de la prueba.

f) *El Posicionamiento Lateral*. El vehículo debe viajar de forma consistente sobre la huella de rodadura. Hasta donde sea factible, deben evitarse los hoyos (baches) subsecuentemente, éstos pueden dañar el rugosímetro y pueden invalidar la calibración. Cuando los hoyos (baches) son incluidos en la medida del camino, debe anotarse su presencia y hacer una breve descripción visual de su característica, posicionamiento, tamaño, frecuencia, cercanía a zonas urbanas o industriales, etc.

En los casos de que haya un cambio de la estructura de la calzada, como por ejemplo, un puente, un pontón, un badén, etc., que como consecuencia, producirá un cambio en el registro normal del rugosímetro, esta ocurrencia deberá ser anotada, para que durante el procesamiento de los datos pueda ser considerada.

4.7 Lecturas del Bump Integrator.

Los instrumentos Bump Integrator acumulan los movimientos verticales de la suspensión a través de pulsos eléctricos, estos desplazamientos verticales son transmitidos en una sola dirección, mediante dispositivos integrados en el instrumento, estos movimientos son acumulados de manera que cuando un desplazamiento alcanza 25.4 mm (1 pulg.), un pulso eléctrico es enviado a un contador electrónico.

Durante el funcionamiento del Bump Integrator, las lecturas mostradas en el display (pantalla) del contador digital son centímetros acumulados de movimiento uni-direccional del eje trasero y se convierten a un valor de unidad de rugosidad por la fórmula siguiente:

$$RUGOSIDAD (mm/m) = \frac{CUENTA ACTUAL \times 10}{LONGITUD DE SECCION (m)}$$

Por ejemplo: Si una cuenta de 54 se obtiene, encima de una sección de 200 m:

$$\frac{54 \times 10}{200} = \frac{540}{200} = 2.7 \text{ mm/m}$$

Nota: Este valor de unidad de rugosidad es una medida relativa, no representa necesariamente el valor en IRI.

CAPITULO 5

CALIBRACION DEL BUMP INTEGRATOR

Como se ha visto en capítulos anteriores el Bump Integrator junto con el vehículo donde se encuentra instalado conforman un sistema denominado RTRRMS (en siglas inglesas) o simplemente como sistema tipo-respuesta, como sabemos pertenecientes a la Clase 3, pero no todos los equipos Clase 3 son RTRRMS, por ejemplo el Merlin, lo que los vincula a la Clase 3 es que ambos dependen de una ecuación de calibración.

Debido a que la conducta de la respuesta de un RTRRMS particular, es única e inconstante con el tiempo, el sistema debe calibrarse cuando se pone inicialmente en servicio, y periódicamente a lo largo de su uso. Esta es una etapa muy importante del procedimiento de un estudio de rugosidad, sin una calibración adecuada, no habría seguridad de la calidad de los resultados.

5.1 El método de calibración.

Muchas medidas en la ingeniería involucran la conversión entre variables físicas diferentes (voltaje, pulgadas, etc.) y conversión entre escalas de unidades diferentes aplicadas al mismo tipo de medida (pulgadas, metros, etc).

La calibración es un proceso de corregir la escala de un dispositivo de medición. Para instrumentos que miden propiedades de estado-condición, la calibración involucra, determinar un factor de escala por comparación de resultados del instrumento, a valores de medidas conocidos. Por ejemplo, la calibración de un sensor de altura de láser en un perfilómetro, podría verificarse poniendo la distancia entre el láser y su blanco a un valor conocido y luego leyendo los

resultados del sensor. Si la comparación de ambas medidas tuviera un error, entonces, se hace un ajuste electrónico para calibrar el sensor. La prueba normalmente se realizaría para varias distancias diferentes, para asegurar que la lectura del sensor, es linealmente proporcional a la altura sobre la tierra. Entonces, de manera similar, antes de informar el valor de la rugosidad en términos del IRI, el RTRRMS (Bump Integrator) debe calibrarse. Esto se hace comparando la medida de rugosidad de varias secciones del camino, que abarque el rango de rugosidad de la red del camino en estudio, entre el Bump Integrator y otro dispositivo de calibración, que por lo general es un equipo de precisión de Clase 1.

Porque la conducta de contestación de un RTRRMS particular es única e inconstante en el tiempo, el sistema debe calibrarse cuando se pone inicialmente en servicio, y periódicamente a lo largo de su uso, cuando su contestación cae fuera de los límites de control (vea la Sección 5.5 sobre las pruebas de control).

La calibración se logra obteniendo “medidas brutas” de ARS (cuentas/km u otro número similar producido por el instrumento) sobre los sitios de calibración. Estos sitios son secciones de camino donde se conoce la rugosidad en valores IRI, determinado con un método Clase 1 ó Clase 2 (mira y nivel, o perfilómetro). El RTRRMS se corre periódicamente encima de los sitios de calibración de 3 a 5 veces, a la velocidad normal, después del precalentamiento conveniente (pueden usarse sitios de calibración más largos para reducir la necesidad de repetir las medidas). Las “medidas brutas” de ARS del RTRRMS se trazan en una gráfica contra los valores IRI, con los valores del RTRRMS en el eje X y los valores de IRI en el eje Y. Una línea se traza como ajuste a los puntos generados por los datos, la cual estima el valor del IRI de las medidas del RTRRMS tomadas en el campo. La precisión de las medidas calibradas puede verse aproximadamente como la dispersión de los puntos sobre la línea de ajuste, cuanto menor sea la dispersión, mayor es la precisión.

La calibración para casos especiales.

a) *Calibración para una flota de vehículos.* Cada RTRRMS requiere de su propia calibración. Incluso cuando dos RTRRMS usan el mismo modelo de vehículo y rugosímetro, sus contestaciones pueden diferir por más de 25% aún cuando sean nuevos. Diferencias mucho más grandes pueden existir después de que ellos han experimentado el desgaste. Así, una “calibración rápida” no debe intentarse.

b) *Calibración para velocidades diferentes.* Cuando sea necesario, por cualquier razón, dirigir pruebas con velocidades diferentes a la velocidad normal (80 km/h), la ecuación de calibración rutinaria no se aplica. Las relaciones separadas entre las “medidas brutas” de ARS y el IRI deben desarrollarse para cada una de las velocidades adoptadas.

c) *Calibración para tipos de superficie diferentes.* Dependiendo de la precisión requerida, de los datos de rugosidad calibrados y de las prácticas constructivas del camino, relaciones de calibración por separado, pueden efectuarse para tipos de superficie diferentes (pavimentado y no pavimentado, por ejemplo). Esta sección presenta las pautas para una simple calibración, para todos los tipos de superficie de camino a ser cubiertos en el proyecto. Experiencias anteriores indican que esto es adecuado para pavimentos de concreto asfáltico, concreto de cemento, tratamiento superficial, caminos de tierra y caminos de grava.

Los datos de la calibración deben examinarse para determinar si existe algún valor inaceptable, que puede atribuirse al tipo de superficie. Si tal valor existe, entonces pueden realizarse calibraciones por separado para los subconjuntos de tipos de superficie existentes.

Compensación para la velocidad no estándar.

Puede haber ocasiones en un proyecto de estudio de rugosidad, dónde no es posible obtener las medidas de rugosidad a la velocidad normal de 80 km/h. Una velocidad más baja puede requerirse, debido a la alta densidad de tráfico local, geometría restrictiva, o los altos niveles de rugosidad que están más allá del rango

de operación de un RTRRMS particular. En esos casos, una velocidad alternativa de 50 km/h se recomienda. Una velocidad de 32 km/h también puede usarse, pero deben evitarse las velocidades más bajas porque la rugosidad se vuelve fuertemente afectada por las propiedades de amortiguamiento de los neumáticos usados en el vehículo del RTRRMS.

El profesional se enfrenta entonces con la tarea de desarrollar un procedimiento de conversión de velocidad para traducir las medidas del RTRRMS, hechas a una velocidad más baja, en IRI. La velocidad del vehículo tiene un efecto complejo en la rugosidad observada de un camino, que muy sutilmente influye en la manera cómo un RTRRMS debe calibrarse y usarse. Puede notarse que en los rangos de velocidad de 50-80 km/h, la rugosidad de ARS es a veces insensible a la velocidad, que es favorable en el sentido que minimiza los errores en medidas normales que provienen de las variaciones de velocidad menores durante la prueba. Sin embargo, medidas de rugosidad hechas intencionalmente a diferentes velocidades de pruebas, que los 80 km/h normales, hacen necesario que se use una calibración diferente. Dos métodos básicos están disponibles para el proceso de calibración-conversión.

a) Calibración directa para la velocidad no estándar (32 o 50 km/h).

Este es el método preferido. La calibración, como se describió antes, se realiza con la única diferencia en el procedimiento, la cual es, que el RTRRMS se opera a la velocidad no estándar en los sitios de prueba y es correlacionado directamente contra el IRI. Ésta es una calibración “por velocidad”.

Cuando una velocidad muy baja como 32 km/h se usa, la reproducibilidad asociada con el RTRRMS puede sufrir ligeramente, y la calibración obtenida puede ser específica al tipo de superficie. Es decir, mientras una sola calibración puede rendir la precisión suficiente sobre varios tipos de superficie, cuando las medidas son hechas a 80 km/h, un error de calibración sistemático puede introducirse para algunos tipos de superficie, cuando las medidas están hechas en

la velocidad reducida. Esto es debido a las diferentes bandas de ondas percibidas por el RTRRMS a las dos velocidades.

b) Correlación de medidas de ARS hechas a diferentes velocidades.

Éste es un método alternativo que involucra una conversión de dos pasos. Este tiene más potencial para el error, y debe usarse por consiguiente sólo cuando el método anterior no es posible.

Primero, una relación de la correlación entre las medidas del RTRRMS a la velocidad no estándar y a la velocidad de 80 km/h. Se obtiene ejecutando las pruebas con el RTRRMS a las dos velocidades en varios sitios. Los mismos sitios de calibración pueden usarse, aunque deben ser incluidos otros sitios representativos. Esto no involucra una cantidad importante de esfuerzo adicional porque la medida del perfil no es requerida.

Entonces se usan las medidas a la velocidad no estándar para estimar el valor que se habría obtenido a 80 km/h. Esa estimación de la medida de 80 km/h se usa entonces con la ecuación de calibración, para ese RTRRMS particular, para producir el IRI.

Note que el rango de rugosidad cubierto por este segundo método no necesita cubrir el rango de rugosidad del proyecto entero, pero sólo el rango de rugosidad sobre el que se necesitan las conversiones de velocidad. Este segundo método es menos exacto que el primero, y puede producir un error de calibración debido al uso combinado de dos ecuaciones de regresión.

5.1.1 Análisis de correlación.

La correlación es una relación mutua o conexión entre variables diferentes. Estadísticamente, es el grado de correspondencia entre dos conjuntos de datos.

El análisis de la correlación describe cuánto de la variación en la variable Y se relaciona a la variación en la variable X. Entonces, un coeficiente de correlación describe la relación entre dos variables.

El análisis de la regresión encaja una función para predecir la variable Y como una función de la variable X. La función, $f(X)$, normalmente es una ecuación lineal con una variable y una constante. Las constantes en la ecuación son calculadas en el análisis, para minimizar las diferencias cuadradas entre los valores de Y y los valores de $f(X)$.

La ecuación de regresión que se muestra, se expresa como un coeficiente de correlación al cuadrado:

$$R^2 = \frac{\text{Variación de } f(x)}{\text{Variación de } Y}$$

El valor de R^2 se normaliza para quedarse en el rango entre 0 y 1. Si la ecuación es buena predice el valor de Y perfectamente, entonces todos los puntos de datos, en una gráfica, estarían en la línea de la regresión, y R^2 sería igual a 1. Si R^2 es cero, significa que, en la fórmula asumida de la ecuación, los valores de X no pueden usarse para mejorar la estimación de Y.

El análisis de la correlación se usa para cuantificar el error de la medida, de esta manera se usa para calibrar los instrumentos tipo-respuesta como el Bump Integrator. Los usuarios de sistemas tipo-respuesta deben calibrarlos a una referencia que es reproducible y estable con el tiempo. Esto significa que la referencia debe ser una estadística definida por el perfil verdadero. Normalmente, se usan los valores del IRI calculados del perfil longitudinal, para esto como se explicó en secciones anteriores, se aplican métodos e instrumentos de precisión como el Nivel y Mira.

Para esta aplicación, se establecen sitios de prueba. Los valores del IRI son determinados analizando perfiles tomados de estos sitios. El instrumento a ser calibrado es llevado sobre los sitios de prueba, y con los registros obtenidos por

éste, se realiza un análisis de regresión. La ecuación de regresión se desarrolla con los valores de precisión en el eje Y, y con los valores del instrumento a calibrarse en el eje X. La línea de la regresión se usa como una curva de la calibración, para convertir las medidas en la escala arbitraria del instrumento a las estimaciones con referencia al perfil-base (por ejemplo, el IRI).

Este método de convertir las medidas brutas del instrumento a una escala estándar, se llama calibración por correlación. Es necesario porque un instrumento tipo-respuesta no puede calibrarse de ninguna otra manera. El sistema de la medición depende de las propiedades dinámicas de respuesta del vehículo en que el instrumento se instala. Las propiedades globales son complejas, depende de muchos factores, fuera del control de los usuarios, y no todos pueden ser ajustados. Aunque el instrumento se calibra por los medios convencionales en la fábrica, la respuesta del vehículo es desconocida.

5.1.2 Ecuación de calibración.

Las estimaciones subsecuentes del IRI, hechas de los datos provenientes del RTRRMS, usando la ecuación de la calibración, son de hecho las medidas de rugosidad calibradas del RTRRMS, y se designa en esta sección como $E[IRI]$. Se resumen los detalles matemáticos necesitados para calcular la ecuación de la calibración en la sección 5.1.3. La precisión asociada con el RTRRMS también puede calcularse, y se cuantifica por el Error Estándar (SE) de la estimación del IRI, usando las ecuaciones de la sección antes mencionada.

Debe mencionarse que la ecuación de la calibración y el Error Estándar son calculadas en una convención opuesta a la normalmente usada para el análisis estadístico (es decir, se revierten las definiciones de x e y , de lo que sería en un análisis clásico de variaciones), porque la calibración sirve para un propósito diferente. En lugar de describir las estadísticas de las medidas brutas de ARS, el encargado del análisis se interesa por la precisión de la medida final de rugosidad.

Por consiguiente, debe tenerse cuidado al usar los paquetes (software) de análisis estadístico, para asegurar que las variables x e y están correctamente asociadas con las medidas del RTRRMS y del IRI.

5.1.3 Cálculo de la ecuación de calibración.

La ecuación de la calibración para un RTRRMS es:

$$E[\text{IRI}] = A + B \cdot (\text{ARS}) + C \cdot (\text{ARS})^2$$

ARS es la “medida bruta” del RTRRMS con unidades: cuentas/km o un equivalente (inch/mile, mm/km, etc.), y $E[\text{IRI}]$ es el valor estimado del IRI, teniendo las mismas unidades usadas para RARS_{80} (m/km es recomendado). Los coeficientes A , B y C son calculados como se indica abajo, donde N = número de sitios de calibración, x_i = medidas de ARS sobre el i -ésimo sitio, y_i = rugosidad RARS_{80} del i -ésimo sitio (computado desde un perfil longitudinal). La precisión de la medida de $E[\text{IRI}]$ es el Error Estándar (SE), el cual será calculado como se indica a continuación.

$$\begin{aligned}\bar{x} &= \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i = (x_1 + x_2 + \dots + x_N)/N \\ \bar{x^2} &= \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i^2 = (x_1^2 + x_2^2 + \dots + x_N^2)/N\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\bar{x^3} &= \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i^3 = (x_1^3 + x_2^3 + \dots + x_N^3)/N \\ \bar{x^4} &= \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i^4 = (x_1^4 + x_2^4 + \dots + x_N^4)/N\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\bar{y} &= \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N y_i = (y_1 + y_2 + \dots + y_N)/N \\ \bar{y^2} &= \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N y_i^2 = (y_1^2 + y_2^2 + \dots + y_N^2)/N\end{aligned}$$

$$\bar{xy} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i y_i = (x_1 y_1 + x_2 y_2 + \dots + x_N y_N) / N$$

$$\overline{x^2 y} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i^2 y_i = (x_1^2 y_1 + x_2^2 y_2 + \dots + x_N^2 y_N) / N$$

$$C = \frac{(\overline{x^2 y} - \bar{x}^2 \cdot \bar{y}) \cdot (\overline{x^2} - \bar{x} \cdot \bar{x}) + (\bar{x} \cdot \overline{x^2} - \bar{x}^3) \cdot (\overline{xy} - \bar{x} \cdot \bar{y})}{(\overline{x^4} - \bar{x}^2 \cdot \bar{x}^2) \cdot (\overline{x^2} - \bar{x} \cdot \bar{x}) - (\bar{x}^3 - \bar{x} \cdot \bar{x}^2)^2}$$

$$B = \frac{[\overline{xy} - \bar{x} \cdot \bar{y} + C \cdot (\bar{x} \cdot \overline{x^2} - \bar{x}^3)]}{\overline{x^2} - \bar{x} \cdot \bar{x}}$$

$$A = \bar{y} - B \cdot \bar{x} - C \cdot \bar{x}^2$$

$$SE = \bar{y}^2 + A^2 + (B^2 + 2 \cdot A \cdot C) \cdot \overline{x^2} + C^2 \cdot \overline{x^4} - 2 \cdot A \cdot \bar{y} - 2 \cdot B \cdot \overline{xy} - 2 \cdot C \cdot \overline{x^2 y} + 2 \cdot A \cdot B \cdot \bar{x} + 2 \cdot C \cdot \bar{x}^3$$

Como se puede apreciar, las formulas expuestas corresponden a una ecuación de calibración del tipo cuadrática, aunque la relación puede ser lineal, cuadrática o logarítmica, dependiendo principalmente de las características de la suspensión del vehículo. Sin embargo, como se ha mencionado en secciones anteriores, en la practica profesional suelen emplearse ecuaciones de calibración del tipo lineal, debido principalmente a experiencias probadas, que en muchos casos, con los resultados de RTRRMS empleados en el cálculo de la ecuación de calibración, producen un valor de C muy pequeño (cercano a cero). Lo que se recomienda es comprobar esta tendencia para asegurar que la ecuación de calibración que se emplea responde a una relación lineal, con suficiente aproximación.

5.2 Selección de sitios de calibración.

Para que una calibración sea válida, los sitios de calibración deben ser representativos de los caminos a inspeccionarse en el proyecto. Cuando sea posible, los sitios deben localizarse en tangentes o caminos de baja-curvatura, y cada uno debe tener la propiedad de rugosidad que sea uniforme sobre toda la longitud del sitio, incluso unos 50 m más del sitio por razones de “acercamiento” como se verá más adelante. Cuando sean usados para proyectos a largo plazo, los sitios de calibración deben localizarse en caminos pequeños en uso, cuyas propiedades de rugosidad no cambiarán rápidamente con el tiempo.

Hay ciertos requisitos para que una calibración pueda considerarse aceptable, que conciernen a los sitios de prueba y a las características de éstos, en la tabla 5.2, se muestra los requisitos de calibración y en los párrafos siguientes algunas características adicionales, que son importantes y que deben tomarse en cuenta para la selección de sitios de calibración.

a) Rango de Rugosidad. Es esencial que las secciones sean “naturalmente ásperas”, exhibiendo rugosidad que es el resultado de la construcción, mantenimiento o uso, normales del historial del camino (la rugosidad inducida artificialmente en los sitios de calibración, no calibrará al RTRRMS para los caminos del mundo real.). La calibración es técnicamente válida, sólo en el rango de rugosidad cubierto por los sitios de calibración, la extrapolación debe evitarse en todo lo posible. En cualquier caso, la extrapolación más allá del rango de la calibración por más de 30% en cada dirección (30% menos rugoso que el sitio de calibración más liso y 30% más rugoso que el sitio de calibración más rugoso) no debe ser considerado. Si un rango adicional se necesita, entonces deben encontrarse los sitios de calibración apropiados.

b) Uniformidad. Los sitios de calibración deben ser uniformemente rugosos encima de sus longitudes, tal que la proporción de las cuentas que aumentan en el

instrumento (rugosímetro) del RTRRMS, sea bastante constante mientras esté atravesando la sección.

Un RTRRMS responde diferente a un camino con rugosidad uniforme y moderada, que a un camino que es liso sobre la mitad de su longitud y rugoso sobre la otra mitad. Si el RTRRMS está calibrándose sobre las dos huellas, entonces la rugosidad también debe ser bastante uniforme por ambas huellas de rodadura.

c) Distancia de acercamiento. Recuerde que los vehículos siempre responden al camino después de que ellos han pasado encima de él, y que la medida en un sitio es en parte el resultado de la superficie que precede al sitio inmediatamente. Por consiguiente, evite sitios que tienen una característica de rugosidad diferente en 50 m de acercamiento al sitio.

d) Geometría. Los sitios de la calibración deben estar preferentemente en las secciones tangentes del camino. Sólo en circunstancias excepcionales se podría aceptar una curvatura ligera. El camino no necesita estar nivelado, pero no debe haber ningún cambio notable en la pendiente del camino, en el sitio o inmediatamente antes del sitio, la transición en la pendiente puede afectar la medida de un RTRRMS. Una pendiente casi nula, facilita además el mantenimiento de una velocidad constante por el vehículo de prueba, y reduce el esfuerzo necesario para medir el perfil manualmente con el Nivel y la Mira.

e) La distribución de rugosidad entre los sitios. Para minimizar el error de la calibración, cada nivel de rugosidad de interés debe representarse aproximadamente igual en la calibración. La tabla 5.1 que muestra los requisitos de precisión, lista siete rangos de rugosidad (solo se muestran cinco rangos, los dos faltantes son para valores del $IRI < 1.0$ e $IRI > 20$). Cada uno de estos rangos debe representarse igualmente para los sitios de calibración, si estos serán incluidos en el proyecto. La tabla 5.2 lista los requisitos para la distribución de rugosidad: un mínimo de dos sitios por cada rango que se cubrirá en el proyecto.

Tabla 5.1

Requisitos de precisión para los perfilómetros Clase 1 y 2 en la medida del IRI

Rango de rugosidad IRI (m/km)	Intervalo conveniente máximo entre los puntos de la muestra (mm) ₁		Precisión de medidas de elevación (mm) ₂	
	Clase 1	Clase 2	Clase 1	Clase 2
1.0 – 3.0	250	500	0.5	1.0
3.0 – 5.0	250	500	1.0	1.5
5.0 – 7.0	250	500	1.5	2.5
7.0 - 10.0	250	500	2.0	4.0
10.0 – 20.0	250	500	3.0	6.0

1. Para cintas marcadas en pies (ft), los intervalos convenientes máximos son respectivamente:
 Class 1: 1 ft.
 Class 2: 2 ft.
2. La precisión Clase 1 menor que 1.5% produce influencia en el IRI.
 La precisión Clase 2 menor que 5% produce influencia en el IRI.

Nota: la Precisión Clase 2 también es adecuada para la calibración de sistemas tipo-respuesta (RTRRMS).

Cuando se usan más de dos sitios de cada nivel de rugosidad, deben seleccionarse sitios adicionales para mantener una distribución uniforme entre los niveles de rugosidad. En ningún momento, el número de sitios para el nivel de rugosidad “más representativo” y el “menos representativo” deben diferir por más de uno.

f) Número de sitios y la longitud del sitio. Para que la ecuación de la calibración sea representativa, debe estar basado en una cantidad suficiente de datos de prueba. La tabla 5.2 lista también los requisitos mínimos acerca del número de sitios y sus longitudes. Note que es imposible diseñar una calibración válida que es “mínima” respecto a cada punto cubierto por la tabla (apenas reúne lo justo en cada requisito). Por ejemplo, si el proyecto cubre seis de los siete niveles de rugosidad, entonces se requiere un mínimo de 12 sitios (dos por cada nivel de rugosidad). Y si se usan sólo 12 sitios, estos deben tener, por lo menos, 375 m de largo ($4500\text{m} / 12 \text{ sitios} = 375 \text{ m/sitio}$). Alternativamente podrían usarse 23 secciones, cada uno con 200 m de largo.

Una mejor precisión puede obtenerse aumentando la longitud total sobre lo mostrado en la tabla 5.2. Esto puede hacerse, usando sitios más largos o usando más sitios de una longitud dada. En la actualidad, sin embargo, la precisión global está principalmente limitada por la reproducibilidad del RTRRMS, tal que los requisitos de calibración de la tabla 5.2 llevan a un error de calibración, que en la mayoría de los casos, es despreciable. La ventaja principal de sitios más largos estaría en que se reduce la necesidad de repetir las medidas con el RTRRMS durante la calibración. Esto se recomienda si un perfilómetro de gran velocidad está disponible para establecer la referencia de los valores del IRI.

Una longitud constante de sitios de prueba se necesita durante una calibración, pero esta restricción no se aplica a la medida rutinaria de rugosidad del camino. Cuando el IRI del sitio de la calibración es medido con un Nivel y Mira, es natural seleccionar los sitios cortos para minimizar el esfuerzo manual. La calibración es válida, sin embargo, para cualquier longitud de camino que tiene una homogeneidad razonable.

Tabla 5.2

Resumen de Requisitos para la calibración de los RTRRMS

Item	Descripción	Dos huellas	Una huella
1	Número mínimo de sitios de calibración	8	12
2	Número recomendado de sitios para cada nivel de rugosidad cubierto por la calibración. (Ver tabla 5.1 para las definiciones de los niveles de rugosidad)	2	3
3	Variación máxima en el número de sitios que representan cada nivel de rugosidad. (deben distribuirse los sitios uniformemente entre los niveles de rugosidad diferentes)	1	1
4	Longitud mínima del sitio	200 m	200 m
5	Variación aceptable en la longitud del sitio (todos los sitios deben tener la misma longitud)	0	0
6	Longitud total recomendada (longitud del sitio x número de sitios)	4.5 km	6.0 km
7	Número recomendado de medidas del RTRRMS que se deben repetir por cada sitio (L = longitud en metros)	1000/L	1000/L
8	Distancia de acercamiento mínima hacia el sitio. (El RTRRMS debe acelerarse hasta alcanzar la velocidad de prueba antes de entrar en el área de acercamiento.)	50 m	50 m

En la práctica, puede ser a veces difícil de encontrar sitios homogéneos sobre los caminos no pavimentados muy rugosos. Es preferible incluir sitios homogéneos más cortos que omitir los sitios de alta rugosidad de la calibración.

g) La identificación de la huella de las ruedas. Para la calibración de un RTRRMS, la huella de la(s) rueda(s) debe identificarse para asegurar que las mismas líneas trazadas a lo largo de la carretera sean cruzadas por la(s) rueda(s) del RTRRMS, así como, cuando fue medido por el Nivel y la Mira.

Para RTRRMS de una sola rueda, sólo la huella de rodadura necesaria para el recorrido del RTRRMS serán marcadas. Para un RTRRMS de dos huellas, deben marcarse ambas huellas de rodadura recorridas por el vehículo, y el espacio marcado entre las huellas de rodadura debe coincidir con el espacio entre el eje de los neumáticos del vehículo-instrumento (vehículo del Bump Integrator). Una huella de rodadura seleccionada para la calibración de un RTRRMS no debe tener distinción alguna de los rasgos de rugosidad en los 40 m que preceden a la huella de rodadura, esto afectará la medida del RTRRMS, pero no se reflejará en la medida del IRI. El punto de partida, el punto del fin y la situación lateral de la huella de rodadura, deben marcarse claramente, para asegurar que la cuadrilla del estudio, realice medidas correctas del perfil, y para que el chofer del vehículo-instrumento pueda orientar el RTRRMS correctamente.

5.3 Procedimientos para la calibración.

En esta sección describiremos en forma general los pasos que se realizan para un procedimiento de calibración del Bump Integrator que también puede ser aplicado de manera similar para otro RTRRMS.

1) Seleccionar los sitios de calibración. En la sección anterior se describió en detalle las características de los sitios de calibración, que deben seleccionarse. Las secciones de prueba deben abarcar el rango de rugosidad de la red del camino, para facilitar esta selección se puede emplear el Bump Integrator sin calibrar, realizando previamente una inspección visual rápida, y así poder distinguir las secciones con los niveles de rugosidad requeridos para la calibración. Las

secciones deben ser rectas, llanas y no deben tener riesgos como cruces de vías, que pueden causar efectos en el RTRRMS, como reducir la velocidad o desviarlo del curso recto.

2) Determinar el IRI de los sitios de calibración. El IRI para los sitios de calibración se determina obteniendo una medida del perfil (perfil-base) por métodos de Clase 1 o Clase 2 sobre los sitios de prueba y luego procesando los valores para el cálculo del IRI. En el Capítulo 6 se describe la aplicación del método con uso del Nivel y la Mira, que es un instrumento Clase 1, también los cálculos y un programa de cómputo para obtener el valor del IRI.

3) Realizar las medidas con el Bump Integrator. La rugosidad de cada sección debe ser medida por el RTRRMS (Bump Integrator) a la velocidad adoptada para el estudio general. La rugosidad obtenida (lecturas del Bump Integrator) debe ser el valor promedio de las repeticiones del recorrido de prueba, para cada sitio. Este valor debe transformarse en el equivalente de rugosidad en términos de mm/km. Es importante que el equipo tenga un precalentamiento antes de iniciar el recorrido sobre las secciones de control, vea la Sección 4.6 correspondiente a las pautas específicas para seleccionar el tiempo de precalentamiento apropiado.

4) Análisis de datos obtenidos. Algo que se debe considerar, previamente al cálculo de la ecuación de calibración, es analizar los datos provenientes de los equipos utilizados en la prueba de calibración, descartando valores poco razonables o en aquellas secciones que existe duda en haber cumplido correctamente con los procedimientos, ya que estos valores pueden causar distorsión a la curva de correlación, de ser así no obtendríamos un coeficiente de correlación cercano a la unidad (valor óptimo). La experiencia continua en trabajos de calibración nos dará una idea de los rangos de aceptación de los datos por repetibilidad.

5) Determinar la ecuación de calibración. Con los datos del IRI obtenidos por el instrumento de Clase 1 (el Nivel y la Mira) y los valores del RTRRMS (Bump

Integrator), de todas las secciones de calibración, se procede a determinar la ecuación que correlaciona estos valores, aplicando el método de regresión. La ecuación de regresión se desarrolla con los valores de precisión en el eje Y, y con los valores del instrumento a calibrarse en el eje X. La línea de la regresión se usa como una curva de la calibración, para convertir las medidas de la escala arbitraria del instrumento, a las estimaciones con referencia al perfil-base. La ecuación de calibración del RTRRMS es entonces calculada por ajuste de la mejor línea entre los valores del RTRRMS y los valores IRI (promedio de ambas huellas), de las secciones de prueba. La relación puede ser lineal, cuadrática o logarítmica, dependiendo de las características de la suspensión del vehículo.

5.4 Mantenimiento de la calibración.

Asegurar que un equipo se mantiene calibrado durante el tiempo de ejecución del estudio, requiere realizar algunas acciones que garanticen la validez de los resultados de medidas con el RTRRMS (Bump Integrator), y que aseguren que las medidas son estables en el tiempo.

a) Frecuencia de las medidas. La medida del IRI en las superficies pavimentadas de las secciones de calibración, pueden necesitar ser repetidas periódicamente, particularmente si el proyecto cubre un período largo de tiempo. La frecuencia necesitada para repetir las medidas con un método Clase 1 o Clase 2 depende de las condiciones locales y los requisitos de precisión del proyecto.

Para caminos pavimentados que no se sujetan a tráfico pesado o cambios estacionales bruscos, el IRI puede cambiar tan despacio que sólo necesita que las medidas se repitan cada año.

Para los caminos afirmados, la rugosidad es sensible a tantas condiciones medioambientales que el IRI cambia en un tiempo mucho más corto. Si hay lluvia, cambio significativo en humedad o temperatura, o tráfico en el sitio, su rugosidad

puede cambiar en semanas, días, o incluso horas. Por consiguiente, deben planearse calibraciones que involucren a los caminos afirmados, para que el RTRRMSs pueda correrse sobre los sitios de prueba, en aproximadamente el mismo momento que ellos sean medidos con un método perfilométrico (Clase 1 o Clase 2). Naturalmente, cuando se exponen los sitios de la calibración a cualquier mantenimiento, los valores del IRI son afectados, y las medidas antiguas no serán válidas para futuras calibraciones.

b) Reemplazo de sitios de la calibración. Cuando el valor de rugosidad IRI para un sitio de prueba ha cambiado, ese sitio no puede usarse para las calibraciones futuras hasta que el nuevo IRI se establezca. Técnicamente, no importa si el sitio antiguo está re-medido, o un nuevo sitio es seleccionado.

Dado que la práctica normal es reparar los caminos “más dañados”, es probable que el camino que contiene algunos de los sitios de calibración “más rugosos” se programen para el mantenimiento, durante la ejecución de un largo estudio. Con tal de que se puedan encontrar sitios alternativos que tengan una rugosidad similar, la calibración rutinaria de un RTRRMS puede continuar.

Siempre que deba hacerse una medida del IRI para calibración, debe seleccionarse “el mejor sitio” (del punto de vista de longitud, geometría, rugosidad, situación, y probabilidad de permanecer inalterado durante un largo tiempo). A menos que se deseara monitorear los cambios en la rugosidad de un cierto sitio de calibración, como parte del proyecto, no hay ventaja técnica en re-seleccionar los mismos sitios de calibración.

5.5 Pruebas de control para el sistema.

Los sitios de control son secciones del camino que son medidos diariamente o semanalmente para determinar si el RTRRMS (Bump Integrator) ha cambiado desde el último chequeo. Ellos también pueden usarse para determinar y/o

supervisar la repetibilidad del sistema, y su sensibilidad a las condiciones medioambientales. Un ejemplo de cómo las pruebas de control pueden integrarse en el procedimiento de operación establecido para un proyecto se muestra en el Capítulo 4 (figura 4.5). Si las medidas en las secciones de control no caen dentro de los límites establecidos para el proyecto, entonces el sistema debe verificarse para hallar los defectos y ser corregidos. Si se determina que el vehículo (o el rugosímetro) ha cambiado, entonces todos los datos recogidos por ese RTRRMS, desde el último chequeo de control, deben desecharse.

5.5.1 Objetivos de las pruebas de control.

Se han usado las pruebas de control principalmente para tres propósitos:

- 1) Para descubrir los cambios graduales en el RTRRMS que causan errores en los datos.
- 2) Para descubrir el cambio en la repetibilidad del RTRRMS que produce el mayor error en las medidas individuales.
- 3) Para determinar si las condiciones medioambientales (la lluvia, temperatura, el viento, etc.) tienen un impacto en las medidas.

Las pruebas de control son mucho más simples que las pruebas de calibración descritas anteriormente, para que puedan aplicarse con más frecuencia. Ellas se usan solamente para determinar si el RTRRMS ha cambiado, y no deben usarse para intentar compensar o calibrar el RTRRMS. Así, una prueba de control para el RTRRMS, puede proporcionarse inmediatamente después de una calibración, para que la medida del perfil no sea requerida.

Los sitios de control largos son preferibles, de 1.5 – 5 km, debido a que los cambios graduales en la sensibilidad del RTRRMS son mas perceptibles. Las secciones cortas podrán ser usadas (por ejemplo, secciones de control de 320 m de largo) pero se hace mas difícil percibir los cambios en el comportamiento del

RTRRMS debido a que la repetición del RTRRMS sufre sobre las secciones cortas.

5.5.2 Niveles de aceptación.

Las medidas del sitio de control obtenidas con un RTRRMS, deben caer siempre dentro de un rango aceptable, donde ese rango es determinado por una mayor experiencia con la unidad y por los objetivos del proyecto. Debe tenerse presente que el control límite, tolerado sobre el control de secciones de prueba, tiene un impacto en el nivel de precisión que puede asociarse con el sistema RTRRMS. El rango aceptable para un RTRRMS particular debe estar basado en las medidas iniciales del sitio de control, hechas con ese RTRRMS específico. Por lo menos pueden tomarse tres acercamientos para especificar el nivel máximo y mínimo de ARS que es aceptable para un RTRRMS dado (considérese ARS como las “medidas brutas” del RTRRMS). Usando la anotación que sigue: ARS es el valor actual, y ARS_{ini} es el valor inicial obtenido en la primera medida del sitio de control, estos métodos son:

- 1) el rango del porcentaje, por ejemplo, $ARS = ARS_{ini} \pm 5\%$
- 2) el rango del decibelio (o incremento del logaritmo), por ejemplo, $ARS = ARS_{ini} \pm 1 \text{ dB}$, ó $\log(ARS) = \log(ARS_{ini}) \pm 0.05 \log(ARS)$
- 3) el rango de ARS lineales, por ejemplo $ARS = ARS_{ini} \pm 5$ “cuentas/km”

Los primeros dos son aproximadamente equivalentes, y es apropiado cuando el error de la medida es aproximadamente proporcional a la rugosidad. El tercero es el más apropiado cuando el error de la medida es bastante constante para el rango entero de rugosidad cubierto en el proyecto. Cuando el rango de interés cubre principalmente caminos pavimentados, y en particular, caminos pavimentados de baja rugosidad como en las carreteras principales, entonces se recomienda la tercera fórmula. Cuando el rango cubre los caminos afirmados, o los caminos pavimentados sumamente rugosos, entonces se recomienda una de las dos primeras fórmulas.

El rango exacto seleccionado, debe determinarse de la experiencia con el RTRRMS actual (El 5% usado anteriormente en las formulas de ejemplo, puede o no puede, ser apropiado).

CAPITULO 6

CALCULO DEL IRI A PARTIR DEL PERFIL LONGITUDINAL CON FINES DE CALIBRACION

Para el cálculo del IRI se aplica el método recomendado por el Banco Mundial en el Technical Paper N° 46, el tema tratado en este capítulo se refiere a su aplicación para datos perfilométricos obtenidos con equipos de precisión Clase 1, Nivel y Mira. La elección de este equipo como tema específico, se debe a que es bastante conocido y accesible en nuestro país. Sin embargo su aplicación para la medida de rugosidad en tramos extensos, se encuentra limitada por la inversión en costo y tiempo, por ello el tema está relacionado a su uso con fines de calibración para equipos Clase 3 como el Bump Integrator, adicionalmente se hacen algunas menciones de las ventajas de usar perfilómetros dinámicos.

6.1 Descripción del método.

Medidas del IRI desde el perfil longitudinal de un camino sólo pueden obtenerse por el método Clase 1. Un perfil longitudinal es una sección vertical a lo largo de la huella de rodadura que indica la elevación de la superficie como una función de la distancia longitudinal. El perfil se describe por el juego de valores de elevación, espaciado a intervalos cercanos a lo largo de la huella de rodadura. Para resumir los centenares o miles de números que constituyen un perfil, se ha realizado un procedimiento de análisis que calcula el IRI como una sola estadística que cuantifica la rugosidad.

Como el IRI se aplica a la trayectoria de una rueda particular, a lo largo del camino, las personas responsables de medir el perfil, deben tener una idea clara

de, dónde se localiza la trayectoria de la rueda sobre el pavimento. Siempre que fueran hechas medidas repetidas, sobre todo cuando se hacen con métodos estáticos, la trayectoria de la rueda deben marcarse claramente en la superficie del camino para que todas las medidas estén sobre el mismo trayecto.

Cuando un perfilómetro de gran velocidad se usa en el trabajo del estudio, los operadores deben seguir una práctica consistente en localizar el perfilómetro, lateralmente en la senda viajada. La mayoría de las medidas realizadas con perfilómetros de gran velocidad son hechas en el centro de la senda, o recorridos en las dos trayectorias de las ruedas. Generalmente, los resultados no son equivalentes, excepto en los caminos nuevos y en algunos casos en los caminos de Concreto de Cemento Portland. Para que los resultados sean comparables cuando operadores diferentes realicen las medidas, el criterio para seleccionar las huellas de rodadura, deben ser bien establecidas.

Las dos trayectorias de las ruedas seguidas por los neumáticos de los vehículos en el flujo normal de tráfico proporcionarán medidas que son muy representativas de la rugosidad del camino, por consiguiente se recomienda que las medidas se hagan en las huellas de rodadura marcadas por el tráfico. En la Sección 6.4.4 se verá en mayor detalle la manera de ubicar las huellas de rodadura.

Como se ha descrito un método de medición Clase 1, representa los mas altos niveles de precisión para medir el IRI, proporcionan medidas de tan alta calidad que la reproducibilidad del valor numérico del IRI no podría mejorarse. Aunque esta definición parezca a primera vista referirse a un ideal inalcanzable, normalmente hay límites prácticos para la repetibilidad que se puede obtener, que se deben a la imposibilidad de medir repetidamente la rugosidad siguiendo exactamente la misma huella de rodadura.

Por sus bajos rendimientos y excesiva exactitud, comparada con la incertidumbre de la trayectoria recorrida, los métodos estáticos no se aconsejan como adecuados para grandes auscultaciones, sino mas bien para calibración de otros equipos.

Ahora en cuanto a los perfilómetros dinámicos Clase 1, son capaces de obtener medidas de gran calidad y a alta velocidad, sin requerir esfuerzos considerables de calibración y mantenimiento, pero tienen la desventaja de ser los sistemas de instrumentos más costosos y complejos, en general, requieren operadores que hayan tenido formación técnica apropiada.

6.2 Requisitos de precisión.

El Nivel y la Mira usados en la topografía de rutina y construcción de caminos generalmente no tendrán la resolución necesitada para las medidas de perfil de pavimento. Para las medidas del perfil del pavimento, se requiere precisión de los instrumentos niveladores. El instrumento usado para la medida del perfil debe satisfacer escalas de resolución que son indicados en la tabla 6.1 que se obtuvo del ASTM Standard on Measuring Road Roughness by Static Level.

Según el informe técnico del Banco Mundial WTP46 Guidelines for Conducting and Calibrating Road Roughness Measurement se recomienda para instrumentos Clase 1, una precisión (en mm) $< 0.25 * IRI$ (en m/km). En el capítulo 5 se hizo referencia a la tabla 5.1, similar a la anterior con los requisitos de precisión para perfilómetros Clase 1 y 2, extraído del informe del Banco Mundial.

La Mira empleada debe equiparse con un nivel de burbuja para que pueda sostenerse verticalmente con precisión. Una base conveniente debe seleccionarse para la Mira, para reducir la sensibilidad a las pequeñas variaciones en la colocación de la Mira. Para los pavimentos de textura lisos, cualquier tipo de base es conveniente. Para las superficies de textura rugosa una base redonda con un diámetro de por lo menos 20 mm se recomienda, como sólo se requiere elevaciones relativas para computar los índices de rugosidad, ninguna corrección se requiere por adaptar una base a la Mira.

Tabla 6.1

Requisitos de precisión para el Nivel estático

Rango del IRI (m/km)	Resolución (mm)
$0 \leq \text{IRI} < 0.5$	0.125
$0.5 \leq \text{IRI} < 1.0$	0.25
$1.0 \leq \text{IRI} < 3.0$	0.50
$3.0 \leq \text{IRI} < 5.0$	1.0
$5.0 \leq \text{IRI} < 7.0$	1.5
$7.0 \leq \text{IRI}$	2.0

Fuente: Standard on Measuring Road Roughness by Static Level.
American Society for Testing Materials – ASTM.

6.3 El intervalo de muestra.

El intervalo de muestra es la frecuencia con que la elevación del perfil es medida. Hay un concepto erróneo común, que el intervalo de muestra se relaciona simplemente a la precisión de la información requerida; y que el intervalo de muestra más alto, es el más exacto; y el intervalo de muestra más bajo, es el menos exacto. Si la frecuencia de datos de muestra no es la adecuada para el espacio muestral del perfil longitudinal, puede producirse una alteración o pérdida de las particularidades de la medida del perfil, entonces la información derivada es ficticia y conlleva a ninguna relación con la realidad.

El perfil del camino comprende un rango de longitudes de onda. El intervalo máximo para caracterizar una longitud de onda es el llamado "Intervalo de Nyquist". Este define que el máximo intervalo de muestra debe ser menor que la mitad de la longitud de onda mínima, es decir:

$$I_{\max} < 0.5 \lambda$$

Donde:

I_{\max} es el intervalo de muestra máximo.

λ es la longitud de onda mínima.

Si el intervalo de muestra excede al Intervalo de Nyquist, una información equivocada será introducida en la gráfica del perfil longitudinal, en que las amplitudes de longitud de onda cortas ($< 2 I_{\max}$) aparecerán como longitudes de onda más largas. Así, un intervalo de muestra inadecuado no sólo fallará al identificar los cambios frecuentes en el perfil, contrariamente introducirá aparentes amplitudes de onda que no existen.

La estadística del IRI está basada en las longitudes de onda de 1.3 - 30 m (Sayers, 1986). Así, basado en el Intervalo de Nyquist, el intervalo de muestra máximo para caracterizar el IRI es 0.65 m. Sin embargo, en la definición de las normas para perfilar, Sayers (1986), recomienda un menor rango para el intervalo de muestra, de 0.25 m a 0.50 m.

6.4 Levantamiento con Nivel y Mira.

Puede usarse el Nivel y la Mira para medir el perfil de un pavimento con precisión. Estos datos pueden usarse para evaluar la rugosidad del pavimento computando un índice de rugosidad como el Índice de Rugosidad Internacional (IRI). Para el cómputo de los índices de rugosidad, sólo son necesarias las elevaciones relativas y no se necesitan las elevaciones absolutas. Pueden aplicarse las pautas de esta sección a los equipos de estudio convencional como un nivel óptico y una mira (regla graduada), que exigen registrar las lecturas a mano, así como un equipo automatizado como un nivel electrónico, que es capaz de guardar los datos moderados automáticamente.

6.4.1 Consideraciones previas al trabajo de campo.

Una planificación detallada y de prevención contra accidentes de tránsito sobre los sitios de prueba deben ser coordinados con la entidades correspondientes, responsables del mantenimiento y la seguridad de las vías en estudio; en el caso de efectuarse los trabajos en vías nacionales o departamentales las coordinaciones se realizan con la policía de carreteras y el MTC, mientras que en el caso de autopistas o vías urbanas se coordinará con la policía de tránsito local, EMAPE (en Lima) o la entidad municipal correspondiente. Sin embargo, todas las actividades de prevención sobre los sitios de la prueba serán realizadas por personal propio o contratado para tales efectos, siempre bajo el apoyo y la supervisión del personal de la policía de carreteras o del MTC.

Los trabajos sobre los sitios de la prueba no deben emprenderse hasta que los dispositivos de seguridad y el personal designado a estas tareas estén en el lugar.

6.4.2 Organización del trabajo de campo.

Para organizar las actividades de campo se debe tener en consideración tres factores predominantes:

- los recursos con que se cuenta (disponibilidad de instrumentos, personal y dispositivos de seguridad),
- el tiempo destinado para ejecutar estas actividades,
- y el número de secciones de prueba que se tiene que levantar para obtener los datos.

Según estos factores, se realiza una programación que optimice la ejecución de los trabajos de campo, dependiendo principalmente del personal elegido, el logro de las metas que se programen, por ello es importante seleccionar el personal y capacitarlo adecuadamente, designando tareas o funciones en los cuales ya han sido instruidos.

Para la designación de tareas o funciones a desempeñar en el desarrollo de las labores de campo, sería recomendable elegir personal con experiencia en las actividades que serán designados, sin embargo, no es inconveniente trabajar con personal nuevo en esas labores, salvo el operador del nivel, que necesariamente tiene que ser un topógrafo con estudios técnicos como mínimo, el personal que lo acompaña solo necesita nociones de medición con cinta métrica y nociones de unidades de medidas, que pueden ser superadas con algunas cesiones de capacitación previas a la etapa de campo. De manera similar, el personal designado a la seguridad o prevención de accidentes de tránsito tiene que ser adiestrado sobre la manera como debe emplear las señales e implementos de seguridad en el momento de las labores de campo.

Cabe resaltar la importancia que desempeñan todos los integrantes de la cuadrilla de campo, la confiabilidad en los resultados significantes depende en buena parte de que se cumplan los procedimientos, todo el personal deberá ser condicionado a

aceptar que son parte de un equipo y la importancia de su papel en la colección de los datos exactos debe enfatizarse, puesto que, de cada uno de ellos dependerá que todo el trabajo tenga buenos resultados.

El jefe de cuadrilla es responsable de remitir todos los datos coleccionados durante los trabajos de campo, el personal integrante de una cuadrilla dependerá de la disponibilidad de personal, sin embargo este número no podría ser menor a dos (operador y porta-mira), siendo lo mas conveniente que sean tres personas (operador, anotador y porta-mira) para el manejo del equipo y dos personas a cargo de la prevención de accidentes de transito, de esta cuadrilla uno de los integrantes deberá asumir el cargo de jefe de cuadrilla, por lo general se elige al operador o al anotador para esa función adicional (al anotador tambien se le denomina “libretista”, ya que todas sus anotaciones las realiza en una libreta de campo).

6.4.3 Secuencia general de tareas de campo.

Tarea 1: Coordinación con el personal de campo.

- a) Personal a cargo del manejo del Nivel y la Mira (operador, anotador y porta-mira).
- b) Personal designado para la seguridad y prevención de accidentes de transito.
- c) Otros, según sea el caso, designados por la entidad contratante o a cargo de la supervisión de los trabajos.

Tarea 2: Inspección del Sitio de Pruebas.

- a) La condición general del pavimento (dentro de la sección de prueba).
- b) Identificación de las huellas de rodadura.

Tarea 3: Medidas con el Nivel y Mira.

- a) Marcar los puntos sobre la huella de rodadura (intervalo de muestra).
- b) Obtener las lecturas niveladas

Como ya se mencionó, para medir el perfil del pavimento con uso del Nivel y la Mira, se necesitan dos personas como mínimo. Una persona se necesita para sostener la mira (el porta-mira) y otro para operar el nivel y tomar las lecturas (el operador del instrumento). Si el nivel no es capaz de registrar automáticamente las lecturas, es recomendable tener una persona adicional (anotador) para registrar las lecturas en una libreta de campo de esta manera harán el proceso más rápidamente.

Según el ASTM Standard on Measuring Road Roughness by Static Level, una cuadrilla experimentada de tres requiere menos de 10 segundos para obtener una lectura. Esto involucra posicionamiento de la mira por el porta-mira, la lectura nivelada por el operador del instrumento y el registro de las medidas por el anotador.

6.4.4 Inspección del sitio y preparación.

Para la preparación del sitio de prueba se debe tener conocimiento de la ubicación de la huella de rodadura sobre el carril donde se realizarán las pruebas y el ancho o separación entre éstas, normalmente un vehículo estándar (automóvil) en el Perú tiene un ancho entre ejes de ruedas de 1.40m, sin embargo existen muchos otros con una mayor dimensión alcanzando hasta 1.60m, el ancho con el cual debemos trazar la sección de prueba, dependerá básicamente del ancho que tiene el vehículo de pruebas a ser utilizado, para que exista una reproducción bastante aproximada de los valores del IRI, cuando el vehículo realice su paso exactamente sobre los puntos tomados durante la medida del perfil con el Nivel y la Mira.

Muchas veces, determinar la ubicación a simple vista, de la huella de rodadura sobre el carril en estudio no es tan fácil como parece, si pensamos que debemos ser exactos, pero lo que se quiere con esto es obtener una mayor representatividad de los valores obtenidos en el cálculo del IRI. Si analizamos la probabilidad de

que los vehículos circulen sobre una misma trayectoria a lo largo del carril en estudio, es decir, si un vehículo circula normalmente sobre el tramo de pruebas dejando marcada a lo largo de su recorrido la huella de sus ruedas, otro vehículo cualquiera, es poco probable que realice su recorrido con la misma normalidad sobre estas mismas huellas, siempre existirá un rango de diferencia, aunque pequeño, entre la ubicación de éstas, pero como ya se dijo, lo que se quiere es representatividad.

A continuación se dan las pautas de cómo deben marcarse las dos huellas de la rueda en el carril de pruebas usando el procedimiento siguiente:

1. El área debe ser limpiada en ambas huellas de la rueda, libre de tierra o piedras y elementos sueltos para prevenir lecturas no representativas durante las medidas.
2. Use la línea de tiza para marcar la línea recta en cada huella de rodadura que debe ser a 0.70 o 0.80 m, según sea el caso, del centro del carril. El centro del carril que se usa según estas pautas debe localizarse de la manera siguiente:

Caso I: Donde se identifican las huellas de la rueda fácilmente, a la mitad del sendero entre las dos huellas de la rueda, debe usarse como el centro del carril.

Caso II: Si las huellas de la rueda no son claramente identificables, pero se definen bien dos bordes del camino, se considera que el centro es la mitad del camino entre los dos bordes de la senda, en calzadas de un solo carril, una deducción similar se realiza para calzadas de dos carriles o más.

Caso III: Donde las huellas de la rueda no están claros y sólo un borde de la senda puede distinguirse claramente, el centro del carril

debe establecerse a 1.50 m de ese borde, otra alternativa en este caso es considerar que el centro es la mitad del ancho estimado del carril, este caso generalmente ocurre en pavimentos afirmados.

El método con el que se localizaron las huellas de la rueda deberán anotarse en el formulario de campo respectivo. Esto ayudará a localizar las huellas de la rueda usadas para las medidas del perfil en una fecha futura.

Las medidas tienen que ser tomadas a lo largo de las huellas de la rueda a intervalos previamente definidos que pueden ser de 0.25 m a 0.50m (ver sección 6.3). La posición de los puntos para las lecturas que serán tomadas con el equipo, pueden ser determinadas por los métodos siguientes:

- 1) Medición con cinta métrica a lo largo de una línea de tiza y marcado de las distancias en el pavimento a los intervalos de muestra determinados, usando un marcador conveniente, pintura de secado rápido y de alto tráfico. Las señales tienen que ser hechas a lo largo de la longitud entera de la sección de pruebas y en ambas huellas de la rueda.

- 2) Medición con cinta métrica colocada directamente sobre la huella de rodadura con la marca cero de la cinta en el inicio de la sección. Afiance ambos extremos de la cinta métrica con cinta adhesiva. Las distancias a lo largo de la sección pueden ser tomadas directamente de las lecturas de la cinta.

6.4.5 Medidas del perfil longitudinal.

El procedimiento a ser seguido para medir el perfil longitudinal se describe a continuación.

1. La información completa requerida deberá registrarse en los formularios de colección de datos, se muestra un modelo en la figura 6.1.
2. Instale el nivel en una situación conveniente (estación) que cubra el rango de lectura de la mira. En el mejor de los casos, podría ser posible cubrir la longitud entera de la prueba, con un instrumento estacionado cerca del centro de la sección de la prueba. El nivel debe estar en una posición dónde no se perturbará debido al tráfico. Además, debe estar en un lugar estable, que no ocurran asentamientos en las patas del trípode. Al poner el trípode, póngalo tan bajo como sea posible, para reducir el error causado por la mira cuando no se sostiene precisamente vertical.
3. El porta-mira debe poner la mira en la posición cero de la sección, usando el nivel de la burbuja atada a la mira como una referencia, del sostenimiento vertical de la mira. Una vez que la mira se sostiene verticalmente, el portamira debe señalar al operador para tomar una lectura. Si las lecturas son registradas a mano por un tercer miembro de la cuadrilla (anotador), el operador del instrumento debe dictar las lecturas a éste. Las lecturas deben registrarse en el formulario modelo mostrado en la figura 6.1. Si está usándose un sistema automatizado, el operador del instrumento debe asegurarse que esa lectura se grabe.
4. A continuación, el portamira debe poner la mira en el siguiente punto a 0.50 m (al intervalo definido) de la lectura inicial, y una nueva lectura debe grabarse. Este proceso debe continuarse hasta que la sección entera de la prueba se ejecute o el rango horizontal o el rango vertical de alcance de la visual del nivel se excedan.

El rango horizontal de nivel se excede si la distancia entre el Nivel y la Mira es demasiado corta o demasiado larga para enfocar apropiadamente. El rango vertical de nivel se excede si la mira no puede leerse debido a la pendiente del camino. Cuando dicho rango se excede, el nivel tiene que ser reubicado.

5. En esta fase del procedimiento puede ocurrir uno de dos casos:

(a) El rango del nivel se excede: Si el rango se excede, el instrumento tiene que ser reubicado. Registre la situación en que la mira es sostenida en el lugar de la última lectura. Esta posición se llama un punto de cambio.

Después de esto, antes de proceder al cambio de estación, coloque la mira al lugar dónde primera lectura se tomó desde la posición actual de nivel, y tome una lectura. Compare esta lectura con la primera lectura tomada en el inicio. Si la diferencia no está dentro de la resolución del instrumento, es decir, el error de cierre no se encuentra menor al valor de la resolución vista en la tabla 5.1, todas las lecturas tomadas desde la posición actual del nivel tienen que ser repetidas. Si las lecturas están de acuerdo, la mira debe volver al lugar del punto de cambio. Entonces se puede proceder al cambio de estación del instrumento a una nueva ubicación. Una vez realizado el cambio de estación, visualice la mira en el punto de cambio y tome una nueva lectura. Continúe el proceso nivelador como antes, tomando las lecturas a los intervalos de 0.50m (intervalo definido). Si el instrumento tiene que ser recalibrado de nuevo, siga el procedimiento descrito antes.

(b) El fin de la sección de prueba es alcanzado: Los dos casos siguientes son posibles:

1. El estudio entero se realizó desde un sola estación: Ubique la mira en la posición cero (punto donde el estudio fue empezado inicialmente) y tome una lectura. Esta lectura debe estar de acuerdo con la primera lectura tomada en el inicio del estudio, dentro de la resolución de instrumento. Si las lecturas no cumplen esta resolución, la medida del perfil tiene que ser repetida.

2. El instrumento cambió de estación durante el estudio: Ubique la mira en el punto de cambio (inicio de la actual estación y final de la estación anterior) y tome una lectura. Esta lectura se compara con la lectura tomada al inicio de la actual estación, tiene que estar dentro de la resolución del instrumento. Si las lecturas no cumplen esta resolución, el perfil tiene que ser medido de nuevo desde el último punto de cambio para acabar la sección.

La medida del perfil del pavimento donde se usan el Nivel y la Mira es de labor intensa y mucho consumo de tiempo. Por consiguiente, es aconsejable verificar la exactitud de datos moderados a intervalos regulares. Esto puede realizarse estableciendo un juego de puntos de control a lo largo de la huella de rodadura, por ejemplo a intervalos de 30m debe ser reiniciada otra sección. Después de nivelar una distancia de 30 m, la mira tiene que ser puesta al punto de control anterior (inicio de la sección) y otra lectura tomada. Esta lectura tiene que estar de acuerdo con la lectura antes tomada a este punto de control, dentro de la resolución del instrumento. Si las lecturas no están de acuerdo, la distancia entre los puntos de control tienen que ser medidas de nuevo. Este procedimiento puede usarse si el instrumento no cambiara de estación entre dos puntos de control. Si el instrumento cambia de estación entre dos puntos de control, el procedimiento todavía puede aplicarse tratando el punto de cambio como un punto de control.

6.4.6 Factores que deben ser considerados.

Los siguientes factores tienen que ser considerados al dirigir las medidas del perfil con el Nivel y la Mira.

1. Si el nivel es sensible a las variaciones de temperatura, podría necesitar ser cubierto con una sombrilla para protegerlo de la luz del sol directa.

2. Si durante las medidas de perfil se presentan condiciones ventosas, debe evitarse que incidan directamente en el equipo, podría ocurrir el movimiento del nivel y distorsionar las lecturas.
3. Si el nivel tiene que ser puesto a más de una posición durante las medidas del perfil, haga la longitud de la vista atrás igual a la vista adelante. Esto eliminará los errores debido a la curvatura y refracción al volver a los puntos.
4. Prepare el nivel tan bajo como sea posible, esto reduce el error causado cuando la posición de la mira no es precisamente vertical.

6.4.7 Cálculo del perfil longitudinal.

Sólo se espera que la cuadrilla grabe las lecturas del nivel, empleando los procedimientos descritos en la Sección 6.4.5, durante las medidas del perfil en el campo. El cómputo del perfil de elevación de estos datos se hará en la oficina.

Esta sección describe brevemente, cómo se usan los datos grabados en el campo, para obtener el perfil longitudinal del pavimento.

Para los cálculos del perfil, será necesaria la primera lectura de elevación (la primera vista atrás). Sin embargo, como sólo se necesitan elevaciones relativas para computar los índices de rugosidad (como el IRI), puede seleccionarse un valor arbitrario para la elevación de este punto. Puede obtenerse la elevación relativa de cualquier punto, medida por el instrumento mediante las ecuaciones siguientes:

$$\text{Altura del instrumento (HI)} = \text{BM} + \text{VAT} \dots\dots\dots (01)$$

$$\text{Elevación relativa de un Punto} = \text{HI} - \text{VAD} \dots\dots\dots (02)$$

donde,

HI = Altura Inicial del Instrumento.

BM = Elevación del punto dónde la primera vista atrás fue tomada (asuma algún valor por ejemplo 30 m)

VAT = Lectura del nivel en la primera vista atrás.

VAD = Lectura del nivel a cualquier punto desde la posición inicial del instrumento.

Una vez que la posición del nivel cambia, la altura del instrumento también cambiará. La nueva altura del instrumento puede obtenerse de la ecuación siguiente.

$$Nhi = Ahi + VAT1 - VAD1 \dots \dots \dots (03)$$

donde,

Nhi = Nueva altura del instrumento

Ahi = Anterior altura del instrumento

VAT1 = Vista atrás al punto de cambio

VAD1 = Vista adelante al punto de cambio

La elevación relativa de puntos de medida en esta nueva situación del instrumento puede ser determinada usando la Ecuación 02 y usando la nueva altura del instrumento.

6.4.8 Control de calidad.

El Control de Calidad de campo: Este chequeo asegura que ningún movimiento involuntario (desbalance) del nivel tenga lugar durante su posición actual. Esto tiene que ser verificado cada vez, antes de que el instrumento se mueva a otra estación y cuando se llega al final de la sección de prueba. Este chequeo se realiza manteniendo la mira en el punto donde se tomó la primera lectura y desde la posición actual del instrumento se toma una lectura de nuevo. Ambas lecturas

tienen que estar dentro de la resolución del instrumento. Este chequeo también puede realizarse a intervalos regulares estableciendo un juego de puntos de control como fue descrito en la Sección 6.4.5.

6.4.9 Hoja de registro.

Un formulario de colección de datos (vea la figura 6.1) debe usarse para grabar las lecturas, cuando se realizan medidas de un perfil, usando Nivel y Mira. Además, debe hacerse un comentario en este formulario, acerca de cómo se localizaron las huellas de rodadura. Este formulario debe ser llenado por el encargado del registro de campo (anotador). Incluso cuando se usa un instrumento automatizado que es capaz de grabar los datos, la información adicional de algunas observaciones deben completarse en este formulario.

6.5 Cálculo del IRI.

Los sitios de prueba utilizados en el desarrollo del concepto del IRI contaban con un largo de 320m, sin embargo el IRI puede ser calculado sobre cualquier longitud del camino. El perfil está definido como una propiedad de un solo perfil longitudinal, por lo tanto si se desea establecer un valor por pista o carril se deben establecer criterios de cuantos perfiles tomar, generalmente se toman los perfiles sobre las dos huellas de cada carril para así derivar un valor por carril. En la Sección 3.4 se definió las condiciones sobre la cual se basa el concepto para el cálculo del IRI.

- El IRI se calcula de un solo perfil longitudinal. Para sistemas que miden varios perfiles simultáneamente, el IRI es independientemente calculado para cada uno. La recomendación general es que los perfiles deben medirse en las dos huellas de la rueda, con los valores del IRI para cada uno, estos se promedian para obtener un valor para el carril.

- El intervalo de la muestra no debe ser mayor que 11.8 pulg (300 mm) para los cálculos exactos. La resolución requerida dependerá del nivel de rugosidad, una resolución de mayor precisión se necesitará para los caminos lisos. Una resolución de 0.020 pulg (0.5 mm) es conveniente para casi todas las condiciones.
- Se asume que el perfil tiene una pendiente constante entre los puntos de elevación de la muestra.
- El perfil es suavizado con una media móvil cuya longitud base es 9.8 pulg (250 mm).
- El perfil suavizado es filtrado usando una simulación del modelo del cuarto de carro, con valores de parámetros específicos, a una velocidad simulada de 49.7 mi/h (80 km/h).
- El movimiento de la suspensión simulado es linealmente acumulado y dividido por la longitud del perfil para producir el IRI. Así, el IRI tiene unidades de pendiente, como pulg/mi o m/km.

6.5.1 Ecuaciones.

El cálculo del IRI se realiza computando cuatro variables como las funciones del perfil longitudinal. (Estas cuatro variables simulan la respuesta dinámica de un vehículo durante el recorrido sobre el perfil medido). Se resuelven las ecuaciones para las cuatro variables y para cada punto de elevación medido, salvo el primer punto. La pendiente media encima de los primeros 11 m (0.5 sec a 80 km/h) se usa para inicializar las variables asignando los valores siguientes:

$$Z_1 = Z_3 = (Y_a - Y_1) / 11 \quad (1)$$

$$Z_2 = Z_4 = 0 \quad (2)$$

$$a = 11 / dx + 1 \quad (3)$$

donde Y_a representa el punto de posición "a" del perfil de elevación, Y_1 es el primer punto y dx es el intervalo de la muestra. (Así, para un intervalo de la

muestra de $dx = 0.25$ m, la Ecuación 1 usaría la diferencia entre el 45^{avo} punto de elevación y el primer punto de elevación, estableciendo una pendiente inicial para el cómputo del IRI). En seguida, se resuelven las cuatro ecuaciones recursivas para cada punto de elevación, de 2 a n (n = número de medidas de elevación).

$$Z_1 = s_{11} * Z'_1 + s_{12} * Z'_2 + s_{13} * Z'_3 + s_{14} * Z'_4 + P_1 * Y' \quad (4)$$

$$Z_2 = s_{21} * Z'_1 + s_{22} * Z'_2 + s_{23} * Z'_3 + s_{24} * Z'_4 + P_2 * Y' \quad (5)$$

$$Z_3 = s_{31} * Z'_1 + s_{32} * Z'_2 + s_{33} * Z'_3 + s_{34} * Z'_4 + P_3 * Y' \quad (6)$$

$$Z_4 = s_{41} * Z'_1 + s_{42} * Z'_2 + s_{43} * Z'_3 + s_{44} * Z'_4 + P_4 * Y' \quad (7)$$

donde

$$Y' = (Y_i - Y_{i-1}) / dx = \text{la pendiente de entrada} \quad (8)$$

además

$$Z'_j = Z_j \text{ de la posición anterior, } j = 1,4 \quad (9)$$

s_{ij} y p_{ij} son coeficientes que son fijos para un intervalo de muestra dado, dx . Así, las Ecuaciones 4 – 7 se resuelven para cada posición a lo largo de la huella de rodadura. Después de que ellos se resuelven para una posición, la Ec.9 se usa para restablecer los valores de Z'_1 , Z'_2 , Z'_3 , y Z'_4 para la próxima posición.

También para cada posición, la pendiente rectificadora (RS) del perfil filtrado se computa como:

$$RS_i = |Z_3 - Z_1| \quad (10)$$

La estadística del IRI es el promedio de la variable RS sobre la longitud del sitio. Así después de que las ecuaciones anteriores se han resuelto para todos los puntos del perfil, el IRI es calculado como:

$$IRI = \frac{1}{(n-1)} \sum_{i=2}^n RS_i \quad (11)$$

El procedimiento anterior es válido para cualquier intervalo de la muestra entre $dx = 0.25\text{m}$ y $dx = 0.61\text{m}$ (2.0 pies). Para los intervalos de muestra más cortos, el paso adicional es “suavisar” el perfil con un valor medio, se recomienda para representar bien la manera en que el neumático de un vehículo envuelve la tierra. La longitud base del intervalo es de 0.25 m de largo. El IRI puede calcularse entonces de dos maneras:

1) Los puntos de elevación que caen dentro de cada 0.25 m de longitud pueden promediarse para obtener un punto equivalente del perfil para el intervalo de 0.25 m. Entonces el IRI es calculado de las ecuaciones anteriores basadas en un intervalo de 0.25 m que usa los coeficientes para el intervalo de 0.25 m.

2) Un “promedio móvil” se obtiene como el promedio de todos los puntos que caen dentro de un intervalo centrado de 0.25 m en el punto de elevación del perfil. Entonces el IRI es calculado resolviendo las ecuaciones para cada punto promedio usando los coeficientes en las ecuaciones correspondientes al intervalo menor.

El algoritmo usado en el programa de computación listado en la figura 6.2 es válido para cualquier longitud base sobre el rango de 10 - 610 mm. Cuando dx es menor que 0.25 m, entonces se aplica el promedio móvil apropiado para la entrada. El IRI computado tendrá las unidades consistentes con aquellos usados para las medidas de elevación y para el intervalo de la muestra. Por ejemplo, si la elevación es medida en mm, y dx tiene unidades en m, entonces el IRI tendrá las unidades preferidas: $\text{mm/m} = \text{m/km} = \text{la pendiente} \times 10^3$.

6.5.2 Programa de ejemplo para el cómputo del IRI.

Una demostración del programa de computación para realizar los cálculos del IRI por el método anterior se lista en figura 6.2. El programa es escrito en lenguaje BASIC, y puede ejecutarse en casi cualquier microcomputador. Sin embargo, las órdenes específicas en lenguaje BASIC varían ligeramente para diferentes

computadoras y puede ser necesario modificar ligeramente algunas declaraciones para su funcionamiento. El algoritmo usado en el programa incluye un ajuste para los intervalos cortos, y es válido para cualquier intervalo entre 10 y 610 mm.

El programa fue desarrollado en lenguaje BASIC porque está más ampliamente disponible en las computadoras pequeñas (programables), y porque puede ser entendido por personas con poco o ningún conocimiento de programación. No es muy rápido o eficaz para el cómputo del IRI, sin embargo, podría merecer traducirlo a un lenguaje más eficiente, para manejar grandes volúmenes de datos, que con este programa de ejemplo, se invertiría mucho tiempo computando el IRI.

El programa empieza poniendo valores de constantes, en las líneas 1040 - 1140. DX es el intervalo de la muestra y debe tener unidades en metros. La serie de ST es la matriz de declaración que contiene los coeficientes de s_{ij} de las Ec. 4 - 7, y PR contiene los coeficientes de p_j usados en esas ecuaciones. El valor para DX y los 20 coeficientes de ST y PR, son contenidas en las declaraciones DATA al final del programa, en las líneas 1510 - 1550, K es el número de puntos del perfil usado para computar la entrada de la pendiente, y BL es la longitud base. Cuando DX es más grande que 0.25 m, entonces se usan sólo 2 puntos de elevación para computar la pendiente (Ec. 8), y la longitud base es necesariamente igual a DX. Para los valores menores de DX, K puede ser mayor que 2, y el promedio móvil "suavizado" es incorporado en el cálculo de la pendiente. Si se usa un intervalo de muestra diferente se usa, entonces las líneas 1510 - 1550 deben reemplazarse con el intervalo de la muestra correcto y los coeficientes correspondientes. (Los coeficientes pueden copiarse de la tabla 6.2 o pueden obtenerse con el programa de computación listado en la figura 6.3).

Las variables usadas en el programa son las cuatro variables del vehículo guardadas en la matriz Z (Z_1 , Z_2 , Z_3 y Z_4 en las Ec. 1 - 7), los valores anteriores se guardaron en la matriz Zl (Z'_1 , Z'_2 , Z'_3 , y Z'_4 en las Ec. 1 - 7), la pendiente acumulada RS, y los contadores IX y I. Cuando DX es mayor que 0.25 m, entonces IX y I son iguales, y son proporcionales a la distancia recorrida.

Figura 6.2

```

1000 REM Programa para el cómputo del IRI.
1010 REM Programa es escrito en lenguaje BASIC.
1020 REM Ejecutable en computadoras o calculadoras programables.
1030 REM -----Se inicializa las constantes.
1040 DIM Y(26),Z(4),Z1(4),ST(4,4),PR(4)
1050 READ DX
1060 K = INT (.25 / DX + .5) + 1
1070 IF K < 2 THEN K = 2
1080 BL = (K - 1) * DX
1090 FOR I = 1 TO 4
1100 FOR J = 1 TO 4
1110 READ ST(I,J)
1120 NEXT J
1130 READ PR(I)
1140 NEXT I
1150 REM -----Se inicializa las variables.
1160 INPUT "Elevación del perfil a 11 m del inicio:", Y(K)
1170 INPUT "X = 0. Elevación = ",Y(1)
1180 Z1(1) = (Y(K) - Y(1)) / 11
1190 Z1(2) = 0
1200 Z1(3) = Z1(1)
1210 Z1(4) = 0
1220 RS = 0
1230 IX = 1
1240 I = 0
1250 REM ----Bucle para entrada del perfil y Cálculo de Rugosidad.
1260 I = I + 1
1270 PRINT "X = ";IX * DX,
1280 IX = IX + 1
1290 INPUT "Elevación = "; Y(K)
1300 REM -----Cómputo de la pendiente de entrada.
1310 IF IX < K THEN Y(IX) = Y(K)
1320 IF IX < K THEN GOTO 1270
1330 YP = (Y(K) - Y(1)) / BL
1340 FOR J = 2 TO K
1350 Y(J-1) = Y(J)
1360 NEXT J
1370 REM -----Simulación de la contestación del vehículo.
1380 FOR J = I TO 4
1390 Z(J) = PR(J) * YP
1400 FOR JJ = 1 TO 4
1410 Z(J) = Z(J) + ST(J,JJ) * Z1(JJ)
1420 NEXT JJ
1430 NEXT J
1440 FOR J = 1 TO 4
1450 Zi(J) = z(J)
1460 NEXT J
1470 RS = RS + ABS (Z(1) - Z(3))
1480 PRINT "desp = ";RS * DX, "IRI = ";RS / I
1490 GOTO 1260
1500 END
1510 DATA .25
1520 DATA .9966071, .01091514,-.002083274, .0003190145, .005476107
1530 DATA -.5563044, .9438768, -.8324718, .05064701, 1.388776
1540 DATA .02153176, .002126763, .7508714, .008221888, .2275968
1550 DATA 3.335013, .3376467, -39.12762, .4347564, 35.79262

```

Las líneas 1260 - 1360 computan la pendiente de entrada de los puntos de elevación entrados. La serie Y es un buffer usado para el almacenamiento temporal de 26 puntos del perfil. Sólo los primeros elementos K se usan siempre, sin embargo. Así, cuando DX es 0.25 m o mayor, el cual será el caso para la mayoría de las aplicaciones dónde el perfil es medido manualmente, $K=2$ y sólo los primeros dos elementos en la serie de Y serán necesarios. Para los intervalos de muestra muy cortos, sin embargo, el buffer Y se necesita para el promedio móvil. Cuando $DX = 0.01$ m, entonces se usan los 26 elementos en el buffer Y.

Las líneas 1380 - 1490 son traducciones directas de las Ec. 4 - 10. Un cambio que se recomienda, para hacer al programa más práctico, es extraer los datos del perfil longitudinal desde disquete o CD, el programa ejemplo no hace esto, además se requiere que el usuario entre cada elevación del perfil en secuencia.

6.5.3 Tablas de coeficientes para las ecuaciones del IRI.

Los coeficientes a ser usados en las Ec. 4 - 7 y en el ejemplo de programa de cómputo del IRI dependen del intervalo con el cual se han obtenido las medidas de elevación. La tabla 6.2 contiene los valores de los coeficientes a los intervalos normalmente usados, que son convenientes para la medida manual del perfil. Cuando se use un intervalo y este no se encuentre en la tabla, entonces los coeficientes pueden calcularse usando el algoritmo listado en la figura 6.3.

6.5.4 Programa para computar los coeficientes para las ecuaciones del IRI.

Los coeficientes para el uso en las Ec. 4 - 7 pueden determinarse para cualquier intervalo del perfil usando el programa de cómputo listado en la figura 6.3. El lenguaje es BASIC por motivos descritos en secciones anteriores.

Tabla 6.2

Coeficientes para las ecuaciones del IRI

dx (mm)	dt (seg)	ST				PR
50	0.00225	0.9998452	0.002235208	0.000106255	1.4764E-05	4.85889E-05
		-0.1352583	0.9870245	0.07098568	0.01292695	0.06427258
		0.001030173	9.84266E-05	0.9882941	0.002143501	0.01067582
		0.8983268	0.08617964	-10.2297	0.9031446	9.331372
100	0.0045	0.9994014	0.004442351	0.000218885	5.72179E-05	0.000379399
		-0.2570548	0.975036	0.007966216	0.02458427	0.2490886
		0.003960378	0.000381453	0.9548048	0.004055587	0.04123478
		1.687312	0.1638951	-19.34264	0.7948701	17.65532
152.4 (0.50 ft)	0.006858	0.9986576	0.006727609	3.30789E-05	0.000128112	0.001309621
		-0.3717946	0.9634164	-0.1859178	0.03527427	0.5577123
		0.008791381	0.000854077	0.8992078	0.005787373	0.09200091
		2.388208	0.2351618	-27.58257	0.6728373	25.19436
166.7	0.0075015	0.9984089	0.007346592	-0.000109699	0.000151663	0.00170055
		-0.4010374	0.9603959	-0.2592032	0.03790333	0.6602406
		0.01038282	0.001011088	0.8808076	0.006209313	0.1088096
		2.556328	0.2526888	-29.58754	0.6385015	27.03121
200	0.009	0.9977588	0.008780606	-0.000643609	0.000212764	0.002885245
		-0.4660258	0.9535856	-0.4602074	0.04352945	0.9262331
		0.01448438	0.001418428	0.8332105	0.007105564	0.1523053
		2.908761	0.2901964	-33.84164	0.5574984	30.93289
250	0.01125	0.9966071	0.01091514	-0.002083274	0.000319015	0.005476107
		-0.5563044	0.9438768	-0.8324718	0.05064701	1.388776
		0.02153176	0.002126763	0.7508714	0.008221888	0.2275968
		3.335013	0.3376467	-39.12762	0.4347564	35.79262
304.8 (1.00ft)	0.013716	0.9951219	0.01323022	-0.004721649	0.000451641	0.009599989
		-0.6468806	0.9338062	-1.319262	0.05659404	1.966143
		0.03018876	0.003010939	0.6487856	0.009129263	0.3210257
		3.661957	0.3772937	-43.40468	0.3016807	39.74273
333.3	0.0149985	0.9942636	0.01442457	-0.006590556	0.000525773	0.01232715
		-0.6911992	0.9287472	-1.597666	0.05892596	2.288865
		0.03496214	0.003505154	0.5920432	0.009472713	0.3729946
		3.775608	0.3928397	-45.01348	0.2341656	41.23787
500	0.0225	0.9881727	0.02128394	-0.02520931	0.000992317	0.03703847
		-0.928516	0.9001616	-3.391369	0.06280167	4.319885
		0.06386326	0.006615445	0.2402896	0.009862685	0.6958473
		3.743294	0.4186779	-46.67883	-0.1145251	42.93555
609.6 (2.00ft)	0.027432	0.9832207	0.02567633	-0.0448194	0.001291335	0.06159972
		-1.080368	0.8808161	-4.541246	0.05758515	5.621614
		0.08111078	0.008608906	0.02055522	0.008861093	0.898334
		3.194438	0.3839011	-41.76972	-0.2822351	38.57529

Los coeficientes usados en las Ec. 4 – 7 se derivan de las propiedades dinámicas del modelo del vehículo de referencia. Estas propiedades dinámicas se describen por cuatro ecuaciones diferenciales que tienen la forma de la matriz:

$$dz(t)/dt = A * z(t) + B * y(t) \quad (12)$$

Donde z es un vector que contiene las cuatro variables de Z de las Ec. 1 – 7; A es una matriz 4×4 que describe la dinámica del modelo; B es un vector 4×1 que describe cómo el perfil actúa recíprocamente con el vehículo; e $y(t)$ es el perfil entrado, como es percibido por un vehículo en movimiento. Estas matrices están definidas como:

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ -K2 & -C & K2 & C \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ K2/u & C/u & -(K1+K2)/u & C/u \end{bmatrix} \quad B = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ K1/u \end{bmatrix} \quad (13)$$

Las cuatro constantes $K1$, $K2$, C , y u son los parámetros del vehículo con los valores de $K1=653.0$, $K2=63.3$, $C=6.0$, y $u=0.15$. Los coeficientes de s de las Ec. 4 - 7 constituyen una matriz de declaración de la transición, el cual se computa desde la matriz A como:

$$ST = e^{A * dt} \quad (14)$$

El programa en Figura 4 resuelve para la matriz de s (llamado ST en el programa) usando una serie Taylor de expansión Ec. 13:

$$ST = I + A * dt + A * A * dt^2 / 2! + A^3 * dt^3 / 3! + \dots \quad (15)$$

El programa mantiene términos añadidos para la Ec. 15 hasta todos los 16 elementos en la matriz ST son precisos a los límites de la computadora.

Los cuatro coeficientes remanentes de p constituyen la matriz de la contestación parcial, el cual está definida como:

$$PR = A^{-1} (ST - I) * B \quad (16)$$

El programa de computación usa el método de eliminación Gauss para invertir la matriz A resolviendo la Ec. 16 para los cuatro elementos de la matriz PR.

Figura 6.3

```
1000 REM Programa para el cálculo de los coeficientes necesarios
1010 REM para la simulación del vehículo de referencia que es la
1020 REM base del IRI.
1030 REM
1040 REM Se inicializa las constantes del vehículo.
1050 N = 4
1060 K1 = 653
1070 K2 = 63.3
1080 MU = .15
1090 C = 6
1100 DIM A(4,4),ST(4,4),PR(4),A1(4,4),A2(4;4),IC(4),JC(4),Y(4)
1110 REM
1120 REM Se ingresa el intervalo de muestra y se convierte en el
1125 REM tiempo transcurrido a la velocidad de 80 km/h.
1130 REM
1140 PRINT
1150 INPUT "Intervalo de muestra (mm) = ";MM
1160 V = 80
1170 T = MM / V * 0.0036
1180 PRINT
1190 PRINT "Tiempo = ";T;"seg"
1200 REM
1210 REM Se construye la matriz 'A' de los parámetros del
1215 REM vehículo y se inicializa la matriz 'ST'.
1220 REM
1230 FOR I = 1 TO 4
1240 FOR J = 1 TO 4
1250 A(J,I) = 0
1260 A1(J,I) = 0
1270 ST(I,J) = 0
1280 NEXT J
1290 A1(I,I) = 1
1300 ST(I,I) = 1
1310 NEXT I
1320 A(1,2) = 1
1330 A(3,4) = 1
1340 A(2,1) = - K2
1350 A(2,2) = - C
1360 A(2,3) = K2
1370 A(2,4) = C
1380 A(4,1) = K2 / MU
1390 A(4,2) = C / MU
1400 A(4,3) = - (K1 + K2) / MU
1410 A(4,4) = - C / MU
1420 REM
1430 REM Se calcula la matriz de declaración de la transición 'ST'
1440 REM usando una serie Taylor de expansión. La variable 'IT'
1450 REM cuenta las iteraciones en la serie. La variable 'IS' se
1460 REM usa para indicar cuando la serie ha convergido.
1470 REM (IS=1 significa que ningún cambio en 'ST' ha ocurrido en
1475 REM la iteración actual).
1480 IT = 0
1490 IT = IT + 1
1500 IS = 1
1510 FOR J = 1 TO N
1520 FOR I = 1 TO N
```

Figura 6.3 (Continuación)

```
1530 A2(I,J) = 0
1540 FOR K = 1 TO N
1550 A2(I,J) = A2(I,J) + A1(I,K) * A(K,J)
1560 NEXT K
1570 NEXT I
1580 NEXT J
1590 FOR J = 1 TO N
1600 FOR I = 1 TO N
1610 A1(I,J) = A2(I,J) * T / IT
1620 IF ST(I,J) = ST(I,J) + A1(I,J) THEN GOTO 1650
1630 ST(I,J) = ST(I,J) + A1(I,J)
1640 IS = 0
1650 NEXT I
1660 NEXT J
1670 IF IS = 0 THEN GOTO 1490
1680 PRINT
1690 PRINT "DECLARACION DE MATRIZ DE TRANSICION:"
1700 PRINT
1710 FOR J = 1 TO N
1720 FOR I = I TO N
1730 PRINT ST(J,I),
1740 NEXT I
1750 PRINT
1760 NEXT J
1770 REM
1780 REM El siguiente código es una rutina de inversión de matriz.
1790 REM ER es un error umbral que puede usarse para indicar
1800 REM singularidad.
1805 REM
1810 ER = 0
1820 FOR KK = I TO N
1830 KD = KK - 1
1840 PV = 0
1850 FOR I = 1 TO N
1860 FOR J = 1 TO N
1870 IF KK= 1 THEN 1930
1880 FOR II = 1 TO KD
1890 FOR JJ = 1 TO KD
1900 IF I = IC(II) OR J = JC(JJ) THEN GOTO 1970
1910 NEXT JJ
1920 NEXT II
1930 IF ABS (A(I,J)) <= ABS (PV) THEN GOTO 1970
1940 PV = A(I,J)
1950 IC(KK) = I
1960 JC(KK) = J
1970 NEXT J
1980 NEXT I
1990 IF ABS (PV) > ER THEN 2020
2000 PRINT "PIVOT < ";ER
2010 STOP
2020 II = IC(KK)
2030 JJ = JC(KK)
2040 FOR J = 1 TO N
2050 A(II,J) = A(II,J) / PV
2060 NEXT J
2070 A(II,JJ) = 1 / PV
```

Figura 6.3 (Continuación)

```
2080 FOR I = 1 TO N
2090 AA = A(I, JJ)
2100 IF I = II THEN 2150
2110 A(I, JJ) = - AA / PV
2120 FOR J = 1 TO N
2130 IF J < > JJ THEN A(I, J) = A(I, J) - AA * A(II, J)
2140 NEXT J
2150 NEXT I
2160 NEXT KK
2170 FOR J = I TO N
2180 FOR I = 1 TO N
2190 Y(JC(I)) = A(IC(I), J)
2200 NEXT I
2210 FOR I = 1 TO N
2220 A(I, J) = Y(I)
2230 NEXT I
2240 NEXT J
2250 FOR I = 1 TO N
2260 FOR J = 1 TO N
2270 Y(IC(J)) = A(I, JC(J))
2280 NEXT J
2290 FOR J = I TO N
2300 A(I, J) = Y(J)
2310 NEXT J
2320 NEXT I
2330 REM
2340 REM Cálculo de la Matriz de Respuesta Particular.
2350 REM
2360 PRINT
2370 PRINT " MATRIZ PR:"
2380 PRINT
2390 FOR I = 1 TO N
2400 PR(I) = - A(I, 4)
2410 FOR J = 1 TO N
2420 PR(I) = PR(I) + A(I, J) * ST(J, 4)
2430 NEXT J
2440 PR(I) = PR(I) * K1 / MU
2450 PRINT PR(I)
2460 NEXT I
2470 END
```

CAPITULO 7

APLICACIÓN A UN PROYECTO DE REHABILITACION DE CARRETERAS.

En este capítulo aplicaremos la metodología explicada en los capítulos anteriores, detallando los procedimientos paso a paso, utilizando como ejemplo un estudio definitivo para un tramo de la Carretera Panamericana Norte, y como complemento sobre algunos temas importantes, un estudio de gestión de carreteras ambos realizados en el año 2000.

7.1 Proyecto de rehabilitación de la carretera Panamericana Norte tramo: Casma - Trujillo.

El Proyecto en mención es un Estudio Definitivo realizado por encargo del Ministerio de Transportes, Comunicaciones, Vivienda y Construcción otorgada por licitación a la empresa Spea Ingeniería Europea – S.p.A. Sucursal Perú. Contrato de Estudios N° 208-2000-MTC/15.02.PRT-PERT.05 Ejecución de Estudios Definitivos de Rehabilitación de Carreteras Afectadas por el Fenómeno El Niño. Paquete N° 08: Casma – Trujillo.

7.1.1 Antecedentes.

El Ministerio de Transportes estableció el Programa de Emergencia que permita lograr de manera provisional la transitabilidad en la Carretera Panamericana Norte en los sectores afectados. Para su realización se utilizó recursos del Estado y del préstamo del Banco Interamericano de Desarrollo BID.

Entre Marzo y Abril de 1998, se realizó una Evaluación Integral de los daños causados por el fenómeno El Niño, recomendándose la ejecución de trabajos consistentes en la construcción de desvíos provisionales con obras de drenaje para precipitaciones normales.

Se repararon cunetas, zanjas de drenaje, taludes de relleno, construcción de alcantarillas nuevas o adicionales, reparación de tramos del pavimento deteriorado, tratamiento asfáltico en los desvíos, etc.

Con la ejecución del Proyecto en mención, la rehabilitación y/o mejoramiento de la carretera Casma – Trujillo, permitirá soluciones definitivas para el pavimento asfáltico, obras de defensa y drenaje, alcantarillas, pontones y recomendaciones para los puentes existentes.

7.1.2 Objetivos del Proyecto.

Es objetivo del estudio, elaborar el proyecto definitivo para la rehabilitación de la carretera Casma – Trujillo, a nivel de Expediente Técnico para encargar su ejecución por licitación pública.

Como se sabe el Expediente Técnico contendrá todos los análisis, especificaciones, evaluaciones, conclusiones y recomendaciones que guiaran al encargado de la ejecución de las obras de rehabilitación, necesarias para mejorar las condiciones de servicio de la vía.

El Expediente Técnico contiene en líneas generales los siguientes estudios básicos:

- Memoria descriptiva.
- Estudio de topografía, trazo y diseño geométrico.

- Estudio de tráfico.
- Estudio de geotecnia.
- Estudio de pavimento.
- Estudio de señalización y seguridad vial.
- Estudio de hidrología y drenaje.
- Estudio de impacto ambiental.
- Metrados, análisis de costos y presupuestos.

Nuestro interés se aboca al Estudio de Pavimento, ya que dentro de este estudio se realiza la evaluación integral del pavimento y por consiguiente la evaluación de la rugosidad del pavimento.

7.1.3 Ubicación del Proyecto.

El proyecto descrito se desarrolla para una longitud de 187.020 Km, se encuentra ubicado en el norte del Perú, sobre una faja costera que atraviesa los departamentos de Ancash y La Libertad, empieza en la progresiva Km 371+500 y termina en el Km 558+520.

Físicamente se inicia en el puente El Carrizal, en Casma, departamento de Ancash, coordenadas 09°28'25" de latitud sur y 78°18'15" de longitud oeste, terminando en la Av. Moche antes de llegar al Ovalo Industrial de la ciudad de Trujillo en el departamento de La Libertad, coordenadas 08°05'00" de latitud sur y 79°02'00" de longitud oeste.

Esta carretera se desarrolla por terreno de topografía plana a ondulada y accidentada con presencia de colinas muy bajas en algunos sectores, cuya altitud varía entre los 39 m.s.n.m. en la ciudad de Casma (Km 371+500) y los 16 m.s.n.m. en el Ovalo Industrial de la ciudad de Trujillo (Km 558+520).

El área se caracteriza por una topografía de relieve plano a ondulado en las zonas del valle agrícola, fuertemente accidentadas en la zona de cerros y pampas erizadas en las zonas desérticas.

El clima es de tipo sub-tropical húmedo, con precipitación escasa y esporádica, intensa en los periodos del fenómeno El Niño.

7.1.4 Descripción de la vía.

Trazado horizontal.

La carretera Casma – Trujillo hace parte de la denominada Panamericana Norte ruta 001N, la cual pertenece a la Red Vial Nacional o Red Vial Primaria. Su trazado discurre a lo largo de la costa sobre un terreno desértico, presentando ligeras sinuosidades con curvas de radios bastante amplios, salvo en los puntos críticos las cuales permiten desarrollar de manera segura altas velocidades. Se observa que la carretera fue trazada siguiendo el criterio de vía conectante entre las principales ciudades por las que pasa, lo cual justifica la ausencia de variantes en Casma y en Chimbote. La orografía de la zona permite que la carretera mantenga su dirección sin llevar a cabo desarrollos por efecto de la pendiente.

La carretera actual consta de una calzada de dos carriles de 3.60m y bermas variables oscilando entre 1.40m a 1.80m. Existen zonas muy puntuales en las cuales se han llevado a cabo ampliaciones de la berma con el fin de solventar problemas de circulación debido a las condiciones del sector. Aún cuando el trazado está compuesto por alineamientos bastante largos, estos se encuentran unidos por medio de curvas de radios relativamente pequeños, lo cual ocasiona reducciones innecesarias de velocidad, razón por la cual, algunas de ellas serán rectificadas con el fin de ajustarlas a las normas vigentes en el Perú.

De las visitas a la zona del proyecto se concluye que la carretera posee un porcentaje adecuado de tramos de adelantamiento (75%) en los cuales se garantiza

la distancia mínima para llevar a cabo esta operación de manera segura. Análogamente, fueron identificadas algunas curvas en las que se requerirá un tratamiento especial en los taludes de corte con el fin de mejorar distancia de visibilidad de parada. Se prevé mediante el mejoramiento de las especificaciones geométricas, que la carretera podrá mejorar el nivel de servicio y la velocidad de operación actual garantizando completamente el confort y la seguridad para el usuario.

Trazado vertical.

La rasante actual de la carretera Casma – Trujillo transcurre prácticamente sobre la rasante natural del terreno. Con contadas excepciones, la presencia de terraplenes es nula. Debido a esto la vía presenta ondulaciones que ocasionan una gran cantidad de curvas verticales de poca longitud disminuyendo la posibilidad de adelantamiento en tramos rectos, a la vez que producen pérdida de visibilidad al conductor. Por esta razón se propone rectificar algunas de las curvas cuya longitud esté por debajo del mínimo permitido en el Manual de Diseño Geométrico, conservando aquellas que ayuden a disminuir el efecto de deslumbramiento por los faros de los vehículos que circulan en sentido contrario, mientras que se ajusten a los parámetros mínimos consignados en el manual.

En los sitios denominados como Tortugas (Km 390+000) y Coscomba (Km 470+000) la ocurrencia de pendientes cercanas al 8% obliga el diseño de variantes que permitan el paso por estos tramos con pendientes menos fuertes, evitando de esta manera reducciones en la velocidad de operación y fatiga por parte de vehículos de carga, al mismo tiempo que se mejoran las condiciones de seguridad al eliminar los descensos pronunciados.

Con base en el Estudio de Pavimentos, el cual determinará los sectores en los que se requiere reemplazar la estructura existente o simplemente hacer un recapeo, se establecerán los sitios en los que se conservará la rasante actual o dado el caso, se modificará de acuerdo a las recomendaciones del Estudio.

7.2 Consideraciones iniciales sobre la medida de la rugosidad.

Ahora se describirán los pasos a seguir para el desarrollo de un proyecto de medición de rugosidad de pavimentos, en los puntos siguientes se aplican los temas descritos en capítulos anteriores, todos ellos basados en las recomendaciones del Banco Mundial.

7.2.1 Elección del método.

Antes de comenzar se debe tener presente que primero se deberá elegir el método con el cual se realizará la medición de la rugosidad, como se describió en la sección 3.2 existen cuatro métodos con los cuales podemos desarrollar la medición de la rugosidad en función a la precisión requerida y a la celeridad con que se quiera obtener los datos de rugosidad, este último factor influye mucho económicamente. Además podemos agregar otro factor importante, que es la disponibilidad de equipos de medición. El equipo Clase 1 que conocemos y disponemos es el Nivel y Mira, otros equipos de precisión, como los perfilómetros dinámicos de alto rendimiento, no se disponen en nuestro país por ser demasiado costosos y por ser equipos de alta tecnología. Los equipos Clase 2, no se disponen; aun no se utilizan con frecuencia en nuestro medio los equipos de alto rendimiento; por lo general se traen estos equipos, cuando las empresas consultoras internacionales desarrollan algún proyecto en nuestro país. Los equipos Clase 3, que actualmente se pueden disponer y se conocen en nuestro medio, son el MERLIN y el BUMP INTEGRATOR; el equipo quizás más difundido y que fue utilizado en muchos estudios de carreteras de nuestro país, es el MERLIN, y debido a su precisión es recomendada por algunos fabricantes de equipos dinámicos, para efectos de calibración de sus equipos; pero, como se sabe el MERLIN es un equipo estático, por lo que es largamente superada por equipos dinámicos cuando se trata de evaluar carreteras de grandes longitudes; el BUMP INTEGRATOR es un equipo dinámico, que por su facilidad de operación y su

velocidad en la obtención de los datos, lo convierte en un equipo de buen rendimiento como se verá mas adelante. Finalmente los métodos de Clase 4, solo son aplicables en casos que no se requiera precisión en la medida de rugosidad o simplemente se requiera una estimación del valor de la rugosidad, posibles mediante una evaluación subjetiva o mediante el empleo de equipos no calibrados.

Para efectos del Proyecto en mención fue elegido el BUMP INTEGRATOR principalmente por sus características de facilidad de operación, su rendimiento y por su actual disponibilidad en nuestro medio.

7.2.2 Recorrido previo o inspección del tramo a evaluar.

Antes de iniciar cualquier trabajo de medición de la rugosidad debemos tener pleno conocimiento del tramo a ser evaluado para poder determinar los procedimientos que serán aplicados, relacionados a la velocidad de operación y a la calibración del equipo.

Con un recorrido previo se puede conocer la cantidad de curvas y pendientes que posee el tramo en estudio, y determinar la velocidad de operación del vehículo de prueba con el Bump Integrator, con la que se puede trabajar sin riesgo de accidentes, ya sea al momento de tomar las curvas o pendientes, como ya se vio en capítulos anteriores las velocidades estandarizadas de operación del Bump Integrator son de 32, 50 y 80 km/h.

Igualmente, como se ha visto en capítulos anteriores, se recomienda seleccionar solo una de las velocidades de operación para el sistema, aunque podríamos determinar secciones dentro del mismo tramo con diferentes velocidades de operación, que aparentemente en algunos casos podría facilitar y acelerar los trabajos de campo, por ejemplo podemos utilizar secciones con una velocidad de 32 km/h, en el caso encontramos dentro de zonas urbanas, mientras que en las demás secciones podríamos desarrollar velocidades de operación de 50 km/h, por

supuesto si las condiciones de geometría de la vía y del tránsito lo permitieran, pero esto a la larga complicaría más el desarrollo de los trabajos, debido a que necesitaríamos calibrar el sistema a las velocidades a emplear en el proyecto (aumentando el trabajo de calibración), y complicaría la repetibilidad de las medidas en futuros controles de rutina, estos son algunos de los factores por lo que no se recomienda el uso de más de una velocidad de prueba en un proyecto, y aunque este no es un impedimento, dependerá del criterio de los especialistas a cargo del proyecto, que en casos excepcionales se puedan aplicar.

En cuanto a la elección de la velocidad de prueba, en una opinión particular, si nos basamos en la realidad de las carreteras de nuestro país, una velocidad uniforme mayor a los 32 km/h, sería muy difícil de mantener y sobre todo muy arriesgado para la seguridad de los operadores y de los usuarios en general, las carreteras de nuestro territorio poseen una geometría con curvas y pendientes pronunciadas, y por parte de los usuarios una cultura incipiente de respeto a los reglamentos y señales de tránsito. Por lo que considero que una velocidad de 32 km/h es suficiente y adecuada para proyectos en nuestro territorio.

Para efectos del presente proyecto se empleó una velocidad uniforme de 32 km/h, y ya se ha hecho costumbre emplear esta velocidad en el Perú, por las razones expuestas. Aunque en algunos casos una velocidad mayor pudiera ser conveniente, se debe considerar con mucha importancia el factor de la seguridad, a la hora de la decisión.

7.2.3 Anotaciones básicas del tramo a evaluar.

Como datos necesarios para el buen desarrollo de un estudio de evaluación de la rugosidad son: identificar la ruta, la clasificación de la vía, el tipo de pavimento, fecha y hora de trabajo (importante cuando, por algún motivo, se tiene que evaluar secciones de un mismo tramo en diferentes días u horas), temperatura ambiente y condiciones climáticas (también importantes cuando se trabaja en climas muy

variables, como se explico en la sección 2.7, los efectos del medio ambiente son considerables), dependiendo del tipo de superficie, el perfil cambia con la temperatura, por lo cual es recomendable especificar claramente las condiciones en que se efectúan las medidas e informarlas junto con el valor del IRI, estos últimos datos son importantes cuando se quiera elaborar un registro de la evolución de la pérdida de serviciabilidad (IRI vs. Tiempo).

El sistema de referencia (progresivas) que se emplea en una evaluación es de gran importancia cuando se realizan diferentes estudios a un tramo de carretera. Se crea confusión y problemas de compatibilidad de datos, cuando no se emplea un método de referencia común para identificar las secciones de un tramo, que permita administrar la información proveniente de las diferentes evaluaciones que se realizan en un estudio de pavimento y que conllevan al análisis y a la toma de decisiones. En este proyecto se empleó las progresivas establecidas durante la etapa del Estudio Topográfico, no necesariamente coincidentes con los hitos kilométricos de la carretera.

7.2.4 Preparación del vehículo.

La preparación del vehículo de pruebas es muy importante antes del inicio de los trabajos de evaluación, dependiendo del tipo de vehículo que se dispone (debe cumplir ciertas condiciones, véase la sección 4.2), este debe recibir un mantenimiento adecuado con los cambios respectivos en sus partes mecánicas defectuosas (sobre todo lo que involucra a la suspensión del vehículo), para su funcionamiento sin contratiempos durante el desarrollo del estudio. En la sección 4.5 se tienen las pautas sobre los factores que afectan la operación del vehículo y las consideraciones sobre su mantenimiento. Dentro de estos factores se encuentran la selección del tipo de amortiguador, la carga sobre el vehículo, balanceo de las ruedas, la presión de los neumáticos, y todo lo que pueda afectar directamente al normal funcionamiento del vehículo.

7.3 Registros y protocolos para el sistema

Como se sabe, existen factores que pueden afectar el normal funcionamiento del sistema, que amerita, se ejecuten una serie de acciones para asegurar que se obtienen resultados significativos, a esta serie de acciones se le conoce como procedimientos.

Estos procedimientos deberán ayudar a que se logren resultados válidos con el menor esfuerzo e inversión, es decir, deben evitar que se tengan que repetir medidas por alguna operación inapropiada del equipo o por fallas en el sistema no detectadas a tiempo, que implica una inversión de tiempo y presupuesto adicional. Además estos procedimientos deben involucrar a tres objetivos importantes: el funcionamiento del sistema, la calibración del sistema, y la inspección constante del sistema. Pero para cubrir estos objetivos, es importante garantizar el cumplimiento de estos procedimientos, entonces estos se documentan para sustentar el seguimiento de dichos procedimientos, estos documentos son conocidos como protocolos y registros.

7.3.1 Registros sobre el funcionamiento del sistema.

Los registros sobre el funcionamiento del sistema son una prueba documentada que el sistema (vehículo-rugosímetro) haya recibido un mantenimiento, que el equipo haya sido correctamente instalado, se haya efectuado el control de presión de neumáticos, controlado el peso sobre el vehículo, etc., que son acciones previas al inicio de los trabajos de medición de rugosidad y que disminuyen la influencia de los factores que puedan afectar el normal funcionamiento del sistema.

Registro de mantenimiento del vehículo de pruebas.

Es un documento donde se describe los cambios realizados sobre las partes mecánicas relacionadas a la suspensión del vehículo de pruebas, la fecha y

periodo de cambio de amortiguadores, resortes, neumáticos, engrase de los rodajes, balanceo de ruedas, etc. Estos datos servirán al operador, para alertar sobre posibles cambios en el funcionamiento del vehículo en cualquier campaña de medida de rugosidad.

Protocolo de inicio de mediciones.

Antes de iniciar cualquier campaña de medida de rugosidad con un RTRRMS (Bump Integrator), se efectúa una verificación de la instalación y del funcionamiento del sistema mediante un documento denominado protocolo de inicio de mediciones, que es una descripción muy resumida del manual del BI, acerca de la instalación y previsiones necesarias antes del inicio de las medidas, relacionados a la suspensión del vehículo, como la presión de los neumáticos, peso sobre el vehículo, etc.

Cuando se inicie una nueva campaña de medidas, se debe tener la certeza que la condición del vehículo sea la misma que cuando se realizó la etapa de calibración, ya que cualquier cambio en el sistema de la suspensión, los neumáticos, el peso del vehículo, etc., afectarán directamente a las lecturas del BI, para ello se debe dejar un registro en cada campaña, de las condiciones iniciales del sistema vehículo-rugosímetro, como el peso del vehículo que incluye la carga y el peso de los tripulantes (conductor y operador), las condiciones climáticas que incluirá la temperatura ambiente, etc., este documento se denomina ***registro de inicio de mediciones*** y debe ir acompañado del protocolo de inicio de mediciones.

7.3.2 Registros sobre la calibración del sistema.

Los registros sobre la calibración del sistema son documentos que guardan información sobre las condiciones iniciales con las que se efectúa los trabajos de calibración con el BI y el sistema de precisión Clase 1, en ellas además se hace referencia a las hojas de datos de nivelación de las secciones de prueba, las hojas de cálculo del IRI, etc., o cualquier otro antecedente de importancia. Estos

registros son documentos que guardan la información de los procedimientos aplicados y aseguran su correcto cumplimiento.

Registro de la medida del IRI.

Es el documento donde se guarda información relacionada a las medidas de campo con equipos de precisión para la determinación del IRI sobre las secciones de prueba. En ella se describe los equipos utilizados, la ubicación de las secciones de prueba, longitud de cada sección de prueba, las características de las marcas sobre el pavimento, número de medidas, etc. además, deberá ir adjunta las hojas de datos que resulten de la medición con el equipo de precisión, y los cálculos realizados para la obtención del IRI de cada sección de prueba.

Registro de la calibración del RTRRMS.

Este documento es similar al registro de inicio de mediciones, donde también se describirá las condiciones iniciales del vehículo de pruebas como el peso sobre el vehículo que incluye la carga y el peso de los tripulantes (conductor y operador), las condiciones climáticas que incluirá la temperatura ambiente, adicionalmente se incluye datos referentes a la calibración como son, el número de sitios de pruebas, velocidad de trabajo, número de repeticiones, etc. Este documento también deberá ir acompañado del protocolo de inicio de mediciones, que es una descripción muy resumida acerca de la instalación del rugosímetro y algunas previsiones necesarias antes del inicio de las pruebas. Además a este registro se le adjuntarán las hojas de datos que resulten de la medición con el rugosímetro y las hojas de cálculo de la ecuación de calibración.

7.3.3 Registros sobre la inspección del sistema.

La inspección constante del sistema, se constituye como una parte importante de los procedimientos, con el fin de detectar daños o cambios en su funcionamiento. Las condiciones iniciales del vehículo deben mantenerse en lo posible durante todas las etapas del estudio, sin embargo en estudios largos esto no es posible y las

pruebas de control se hacen necesarias, para detectar cambios que afecten el sistema, que pongan en duda la validez de las lecturas del RTRRMS, de ser así se tendrá que recalibrar el sistema. Como se vio en la sección 5.5.1 se realizan pruebas de control para descubrir cambios graduales en el RTRRMS, descubrir cambios en la repetibilidad y para determinar si las condiciones medioambientales tienen un impacto en las medidas.

Registro de pruebas de control.

En cualquier campaña de medida de rugosidad con el Bump Integrator, se debe tener la certeza que las condiciones del vehículo se mantengan igual, que cuando se realizó la etapa de calibración, ya que cualquier cambio en el sistema (vehículo-rugosímetro), afectará directamente a las lecturas del BI, y los cambios son inminentes, lo que implica realizar una prueba de control para confirmar la validez de la calibración.

Posterior al registro de las condiciones iniciales del sistema vehículo-rugosímetro (protocolo y registro de inicio de mediciones), se deberán realizar pruebas de control y estas deberán ser documentadas. Este documento se denomina registro de pruebas de control, y dependiendo de la extensión del proyecto, se realizará periódicamente. En este registro se indicara los sitios de control, el numero de repeticiones y se registrara las lecturas obtenidas de cada prueba de control, de esta manera se obtendrá un registro periódico (semanalmente, diariamente, etc.), y las lecturas podrían ser comparadas, con el fin de determinar cambios graduales, y descubrir la causa de estos cambios, como se sabe pueden ser por efectos mecánicos o de las condiciones del medioambiente, se evalúan estos efectos y se determina si será necesaria la recalibración del sistema.

7.3.4 Documentación de las instrucciones de trabajo.

La documentación de las instrucciones de trabajo, es una parte importante de los procedimientos para la medida de rugosidad y para esto, se tiene que (se recomienda) entregar instrucciones escritas al operador, en cualquier campaña de

medida o calibración que se tenga que realizar. El contenido de estas instrucciones de trabajo, deben explicar las actividades programadas, la ubicación de la zona de trabajo y especificar los procedimientos de operación que serán realizados.

En la sección de Anexos se muestra un modelo del documento de instrucciones de trabajo, entregado a los operadores del Bump Integrator del Proyecto del Sistema de Gestión de Carreteras, del MTC realizado en el año 1,999-2,000.

7.4 La calibración.

Como ya se mencionó la calibración es el proceso de corregir la escala relativa de un dispositivo (equipo) en relación a una escala base (patrón de medida), por lo tanto las lecturas que emite el BUMP INTEGRATOR son lecturas relativas, que no son comparables con lecturas de otros equipos de su misma clase, es decir si tenemos dos equipos Clase 3 y medimos con ambos una misma sección de prueba, estos producirán lecturas diferentes, entonces se hace necesario “traducir” las lecturas de cada equipo para poder compararlas, esta “traducción” se realiza mediante el proceso de calibración, y para esto se necesita una escala de referencia, como ya se ha visto es el IRI, la definición de este índice ya fue descrita en capítulos anteriores, entonces lo que se necesita es determinar el IRI de varias secciones de prueba que servirán como un patrón de medida, luego para determinar los valores del IRI sobre estas secciones se debe emplear equipos de alta precisión (Clase 1), estos valores IRI determinados y las medidas brutas (lecturas del BI) que resultan del proceso de calibración, hacen posible hallar una ecuación de calibración que “traducirá” finalmente las lecturas para cada equipo, entonces podemos resumir que lo que se quiere obtener con la calibración es una ecuación que sirva para convertir las lecturas del equipo a su equivalente en IRI, de esta manera, poder hacerla comparable con otros equipos.

Como se empleará el BUMP INTEGRATOR (BI), entonces se necesitará calibrarlo con algún método Clase 1 (de preferencia), por lo que se aplicará el

procedimiento estandarizado de calibración con Nivel y Mira, detallado en el capítulo 6. Otro método muy aplicado para la calibración del BI es empleando el equipo MERLIN, principalmente por dos motivos, por la buena precisión de sus resultados y por ser más rápido de operar que el equipo del Nivel y Mira.

Dependiendo de la velocidad de prueba elegida para el proyecto, ya sea de 32 km/h, 50 km/h o incluso de 80 km/h, entonces se debe considerar que la calibración del sistema, se deberá realizar con esta misma velocidad, en las secciones de calibración elegidas, para tener una ecuación de calibración relacionada con la velocidad de operación.

El criterio para elegir la velocidad de operación fue explicado en la sección 7.2.2. Como en este proyecto se eligió la velocidad de operación de 32 km/h, por lo tanto, la calibración en las secciones de prueba se realizarán con esta misma velocidad.

7.5 Determinación del IRI en las secciones de calibración.

En este proyecto se seleccionaron 3 secciones de prueba para la calibración, con una longitud de 1000m cada uno, como se sabe lo recomendado es seleccionar 8 secciones como mínimo o una longitud total de secciones de calibración de 4.5 Km, que abarque el rango de rugosidad del tramo a evaluar, pero en algunos casos la continuidad en este tipo de trabajos hace que por experiencia se puedan obtener con menos secciones que lo recomendado una buena aproximación a los valores que se podrían obtener siguiendo las recomendaciones y procedimientos normales. Aunque esto es posible, en mi opinión no debería ser una practica aceptable, porque reduce la posibilidad de descubrir errores, y como se ha explicado la etapa de calibración es sumamente importante, ya que una correcta calibración garantiza la calidad de los resultados del sistema. Dado que la información de algunas características generales de las secciones de calibración de este proyecto, no pudieron ser obtenidas, como son: ubicación de las secciones,

datos del perfil longitudinal; sin embargo, para ilustrar mejor el ejemplo en este aspecto, en la sección de Anexos, se muestran los datos de otras secciones de calibración empleadas por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones, para el desarrollo de sus proyectos.

Definidas las secciones de prueba, se procede a la determinación de los IRI en cada sección, de preferencia mediante algún método perfilométrico (Clase 1), en este proyecto se empleó el equipo MERLIN (equipo estático Clase 3), pero como se dijo en párrafos anteriores, se desconocen los datos originales, por ello no es posible mostrar los datos de campo procedente de las medidas con este equipo. Este equipo determina la rugosidad, de manera simplificada, su metodología se basa en argumentos estadísticos, usando la dispersión de las desviaciones de la superficie respecto de una cuerda promedio, de la cual se obtiene un valor D (rugosidad) que se correlaciona con el IRI, mediante ecuaciones ya definidas. Como el propósito de la presente Tesis es aplicar la metodología para el rugosímetro Bump Integrator y su calibración con equipos Clase 1 (Nivel y Mira). Se evitará dar mayores detalles de los métodos aplicados para otros equipos.

Todo equipo Clase 3, debe correlacionar sus medidas con el IRI, mediante ecuaciones de calibración, pero la determinación del IRI solo se realizan por métodos Clase 1, a partir de medidas directas del perfil longitudinal.

Con los datos del perfil longitudinal se efectúan los cálculos para la determinación del IRI, mediante un software, que es lo mas usual, para mas detalle véase el Capitulo 6 donde se muestra un programa de ejemplo para la determinación del IRI, que funciona en cualquier calculadora programable que maneje el lenguaje BASIC. En la seccion de anexos se muestra un modelo de cálculo del IRI (de otro proyecto) utilizando el software IRICALC, con algunas de sus funciones gráficas y su correspondiente reporte de resultados.

En el cuadro 7.5.1 se muestran los resultados obtenidos en cada una de las tres secciones.

Cuadro 7.5.1

Sección*	IRI** (m/km)
1	2.03
2	3.08
3	4.01

* La longitud de cada sección es de 1000 m.

** Valor obtenido de la medida de la sección, con el equipo MERLIN.

7.6 Procedimiento para las operaciones de calibración.

Antes de iniciar las medidas de calibración, se debe realizar los procedimientos relacionados a la inspección del equipo.

- Verificar que el Bump Integrator esté funcionando y que las conexiones estén correctas.
- Verificar que el odómetro esté operativo y que haya sido calibrado recientemente.
- Verificar que el vehículo de medida haya recibido su mantenimiento respectivo y que está en condiciones de uso en el campo, esto implica además que el sistema de suspensión haya sido inspeccionado, los resortes, los amortiguadores, el balanceo de ruedas y la presión de llantas estén correctas.
- Conectar el cable de tensión del Bump Integrator al eje posterior y recorrer por lo menos unos 10 kilómetros con el Bump conectado y bajo tensión para calentar el equipo.
- La carga en el vehículo debe ser constante, es preferible que solo lleve al conductor y operador, y que el peso de ellos inclusive la carga adicional sobre el vehículo queden anotados en una hoja de registro.

Para cada sección de calibración se debe realizar el número de recorridos válidos recomendados según la tabla 5.2 (numero mínimo de repeticiones = $1000/L$), para mayor precisión. Es aconsejable hacer por lo menos 3 recorridos válidos para cada velocidad de calibración. Cada recorrido se hace de la manera siguiente:

- Alinear el vehículo con la marca de pintura (pintada previamente) que se encuentra ubicada a una longitud de integración antes de la sección de calibración. Situar la rueda derecha sobre la huella derecha (sobre las marcas pintadas durante la nivelación topográfica).
- Si se utiliza un sistema BI con software, el procedimiento exige que cada sección de calibración esté precedida de una zona de puesta en velocidad, de la misma longitud que la longitud de integración utilizada para las medidas de calibración. Para ello se debe crear o activar una sección de medidas Bump con la longitud de integración igual a la longitud de calibración utilizada. Entrar la identificación de la sección, el número de la sección, el número del recorrido, la velocidad del recorrido, y dar nombre al archivo.
- Iniciar la medida y acelerar el vehículo para estabilizar su velocidad, a la velocidad de medida (32, 50, 80 km) y asegurarse de estar estabilizado antes de llegar al inicio de la sección de calibración. Para estabilizar la velocidad, es mejor proceder con una aceleración progresiva, sin sobrepasar nunca la velocidad de medida, una aceleración brusca dará como resultado variaciones de velocidad alrededor de la velocidad de medida.
- Recorrer toda la sección de calibración, manteniendo el vehículo con la llanta derecha en la huella derecha, con una velocidad constante. La velocidad debe mantenerse con una mínima variación, dentro de una tolerancia de 5%.
- Después de salir de la sección de calibración, detener la medida.
- Anotar la medida de unidades BI. En los sistemas BI con software se debe visualizar la velocidad de medida, y el conteo del Bump y asegurarse que

la velocidad dentro de la sección de calibración está dentro de la tolerancia. Si no es así, se debe descartar la medida.

7.7 Procesamiento de las medidas de calibración.

Conocido los valores del IRI de cada sección, es factible encontrar una correlación con las medidas del Bump Integrator mediante una ecuación que traduzca las lecturas brutas del equipo a los valores del IRI. Para esto se ha realizado cuatro repeticiones por cada sección de prueba, se debe recordar que estas repeticiones deben realizarse cumpliendo los procedimientos recomendados en los capítulos anteriores a fin de que se obtengan medidas representativas de rugosidad de la sección de prueba.

Todos los datos obtenidos, se presentan ordenadamente en un cuadro a fin de realizar los análisis correspondientes a la validación de las medidas preliminares del Bump Integrator. A continuación se muestra un modelo del cuadro de datos obtenidos durante el proceso de calibración del sistema, para el presente proyecto:

Cuadro 7.7.1

Sección	IRI (m/km)	Medidas Bump Integrator			
		1	2	3	4
1	2.03	32	37	38	37
2	3.08	85	78	83	86
3	4.01	121	126	129	116

Como se puede apreciar en el cuadro anterior, se tiene tres columnas principales, la primera columna corresponde a los números o códigos de las secciones de prueba, la segunda columna corresponde a los valores calculados del IRI de cada sección de prueba, y la tercera columna corresponde a las repeticiones de las medidas con el Bump Integrator (4 repeticiones) sobre cada sección de prueba, las subcolumnas corresponden a las lecturas del Bump Integrator por cada repetición.

Antes de proceder al análisis de correlación, se debe realizar un análisis de los datos para descartar algún(os) dato(s) que no representen los valores de repetibilidad del sistema, para esto debemos emplear herramientas estadísticas como la desviación estándar y el coeficiente de variación, pero principalmente debemos aplicar la experiencia en los resultados de las medidas brutas del Bump Integrator (la experiencia nos indica el rango que se espera obtener en las medidas). Cuando uno se inicia en el uso del equipo Bump Integrator o cualquier RTRRMS en general, es mejor realizar un mayor número de repeticiones (mayor al mínimo recomendado) en las secciones de prueba, así nos daremos cuenta fácilmente, cual es el rango de variación de las lecturas del Bump Integrator, de esta forma se puede cubrir esa falta de experiencia.

Con los datos obtenidos se realizan algunos cálculos estadísticos, para esto se adiciona tres columnas al cuadro 7.7.1 presentado anteriormente, correspondientes a la media, la desviación estándar de la media y al coeficiente de variación, tal como se presenta en el siguiente cuadro, adicionalmente se presenta la gráfica de los puntos IRI vs. BI, que nos será de utilidad en el análisis de correlación, mas adelante.

Cuadro 7.7.2

Sección	IRI (m/km)	Medidas Bump Integrator (BI)				BI Promedio	Desviación Estándar	Coeficiente de Variación
		1	2	3	4			
1	2.03	32	37	38	37	36	2.708	0.075
2	3.08	85	78	83	86	83	3.559	0.043
3	4.01	121	126	129	116	123	5.715	0.046

Analicemos los datos, de la sección de prueba 1, como se puede observar en el cuadro 7.7.2, se tiene una desviación estándar de 2.708, que nos indica el rango de concentración de los datos (repeticiones) mas cercanos al valor de la media, es

decir que el valor más probable de la medida del BI se encuentra en el rango de 36 ± 2.708 ($34.708 < BI < 38.708$), además el coeficiente de variación de 0.075 nos indica que la variación con respecto a la media es pequeña, por lo que se podría afirmar que todos los valores de las medidas repetidas son aceptables para esta sección. En esta sección de prueba no se descartó ninguna lectura, sin embargo, si por anteriores experiencias con el equipo empleado nos percatamos de que el valor de la primera repetición ($BI_1 = 32$) no representa una lectura normal, o que se pusiera en duda por un mal procedimiento (por ejemplo, lo más frecuente es que no se logre mantener una velocidad uniforme de 32 km/h durante la prueba), entonces sería una razón importante para descartar esa medida y realizar una nueva o emplear solo las medidas restantes para realizar nuevos cálculos.

El mismo análisis se realiza para las dos secciones restantes, pero como se pudo apreciar, estos primeros análisis son exclusivos para datos de cada sección, ahora hagamos una comparación en grupo con ayuda del coeficiente de variación, pero haciendo la comparación entre los coeficientes de todas las secciones, aunque no requiere que sean idénticos, por lo general debe existir una variación razonablemente cercana entre estos valores. De los tres coeficientes observamos que el coeficiente de la primera sección está ligeramente distante de los otros dos (dependiendo del punto de vista), si quisiéramos ser estrictos con esta variación, tendríamos que revisar los datos de la sección 1 y eliminar el valor que produce dicho alejamiento (probablemente haya que eliminar el valor $BI_1 = 32$), dependerá del criterio con que se quiera discriminar los datos. Una vez realizado este análisis preliminar de validación de datos, se puede proceder con el análisis de correlación.

7.8 La ecuación de correlación para la calibración del Bump Integrator.

El análisis de la correlación se realiza en base a una ecuación de regresión con los valores del IRI y los valores de las lecturas del Bump Integrator (promedio de cada sección). Como se vio en capítulos anteriores el método de regresión

aplicado es por los mínimos cuadrados, donde la ecuación puede ser una función lineal, cuadrática o logarítmica, dependiendo principalmente de las características de respuesta de la suspensión del vehículo, definir a que tipo de función corresponde con mayor aproximación el sistema RTRRMS (Bump Integrator) empleado, lo revelará la practica, por lo general el BI responde a una función del tipo cuadrática, pero si los datos mostrados son llevados a una gráfica y si observamos el rango de valores con que se trabaja en dicha curva, se podría decir que se acerca a una función lineal, dependiendo de que tanta exigencia se requiera en la precisión de los resultados, una función lineal traduce muy bien las lecturas del RTRRMS a los valores del IRI, sin embargo es necesario comprobar esta proposición en la practica con el equipo RTRRMS a utilizarse.

Ahora veamos como se aplica el método de regresión a los datos del proyecto, los datos se graficarán sobre un eje coordenado (ver figura 7.1), sobre el eje Y van los valores del IRI y sobre el eje X van los valores de las lecturas del Bump Integrator (promedios BI). Entonces para cada valor del IRI existe su correspondiente en el valor BI, y cada punto debe ser graficado, en este caso, tenemos tres puntos graficados, en seguida debemos determinar la curva que mas se ajuste a estos puntos, con ayuda del método de regresión, generamos la ecuación de correlación que finalmente denominaremos ecuación de calibración, para determinar dicha ecuación nos valemos de algún programa de regresión, o si se quiere algo mas sencillo, empleamos una hoja de cálculo (Excel por ejemplo), y con las formulas descritas en capítulos anteriores, se procede al cálculo de los parámetros de la ecuación.

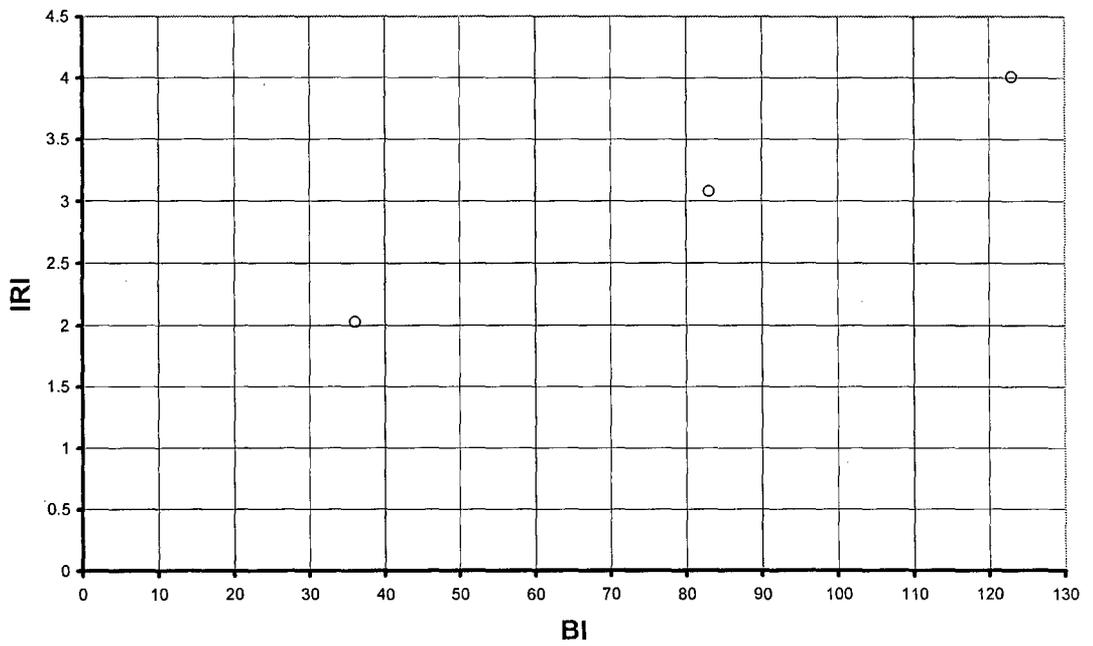
$$E[IRI] = A + B \cdot (BI) + C \cdot (BI)^2$$

Cuadro 7.8.1

N	X (BI)	Y (IRI)	XY	X ² Y	X ²	X ³	X ⁴	Y ²
1	36.000	2.030	73.080	2630.880	1296.000	46656.000	1679616.000	4.121
2	83.000	3.080	255.640	21218.120	6889.000	571787.000	47458321.000	9.486
3	123.000	4.010	493.230	60667.290	15129.000	1860867.000	228886641.000	16.080
SUMA	242.000	9.120	821.950	84516.290	23314.000	2479310.000	278024578.000	29.687
MEDIA	80.667	3.040	273.983	28172.097	7771.333	826436.667	92674859.333	9.896

Figura 7.1

GRAFICO IRI vs. BI



$$C = \frac{(\overline{x^2 y} - \overline{x^2} \cdot \overline{y}) \cdot (\overline{x^2} - \overline{x} \cdot \overline{x}) + (\overline{x \cdot x^2} - \overline{x^3}) \cdot (\overline{xy} - \overline{x} \cdot \overline{y})}{(\overline{x^4} - \overline{x^2} \cdot \overline{x^2}) \cdot (\overline{x^2} - \overline{x} \cdot \overline{x}) - (\overline{x^3} - \overline{x} \cdot \overline{x^2})^2} = 1.04549E-05$$

$$B = \frac{[\overline{xy} - \overline{x} \cdot \overline{y} + C \cdot (\overline{x \cdot x^2} - \overline{x^3})]}{\overline{x^2} - \overline{x} \cdot \overline{x}} = 0.021096295$$

$$A = \overline{y} - B \cdot \overline{x} - C \cdot \overline{x^2} = 1.256983859$$

Entonces la ecuación de correlación será: $IRI = 1.26 + 0.02 \cdot BI + 1.05E-05 \cdot BI^2$

Cálculo del error estándar de estimación:

$$SE = \overline{y^2} + A^2 + (B^2 + 2 \cdot A \cdot C) \cdot \overline{x^2} + C^2 \cdot \overline{x^4} - 2 \cdot A \cdot \overline{y} - 2 \cdot B \cdot \overline{xy} - 2 \cdot C \cdot \overline{x^2 y} + 2 \cdot A \cdot B \cdot \overline{x} + 2 \cdot C \cdot \overline{x^3}$$

$$SE = 16.916$$

El error estándar de estimación, tiene el mismo concepto que la desviación estándar, aunque ésta mide la dispersión alrededor de la media y el error estándar mide la dispersión alrededor de la línea de regresión. Cuando el valor del error estándar es cero nos indica que los puntos pertenecen a la curva, entonces no habría dispersión, en cambio, si obtenemos errores estándar mayores a cero (en valor absoluto), el grado de dispersión estará en una relación directa a la magnitud del error estándar.

Pero veamos que hubiera sucedido si empleáramos una ecuación de correlación lineal, empleamos entonces las mismas ecuaciones de regresión, pero considerando el parámetro $C = 0$, luego la forma de la ecuación será $E[IRI] = A + B \cdot (BI)$, reemplazando los datos correspondientes obtendremos los siguientes resultados:

$$B = \frac{[\overline{xy} - \overline{x} \cdot \overline{y}]}{\overline{x^2} - \overline{x} \cdot \overline{x}} = 0.022746528$$

$$A = \overline{y} - B \cdot \overline{x} = 1.205113377$$

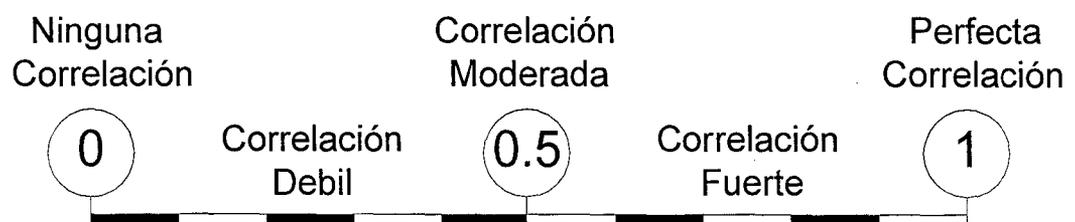
Entonces la ecuación de correlación será: $E[IRI] = 1.21 + 0.02*BI$

Ahora se debe probar con ayuda de herramientas estadísticas que los datos tienen realmente una relación lineal, para esto empleamos al coeficiente de correlación al cuadrado (R^2), llamado también coeficiente de determinación, la característica fundamental de este índice es que mide la existencia de una relación lineal entre dos variables.

Una forma de observar la linealidad de la relación entre dos variables, así como la intensidad de esta relación, es por medio del gráfico de dispersión (de la nube de puntos). Así pues, la relación perfecta entre dos variables viene determinada por una recta como figura geométrica (los puntos se encontrarán perfectamente alineados), mientras que la independencia total viene determinada por una circunferencia (la dispersión de los puntos adquiere esa forma). Entre estos dos extremos tenemos todas las posibles relaciones que vienen determinadas por la elipse como figura geométrica de la relación. Cuanto menor sea la amplitud del eje secundario de la elipse, mayor será la relación lineal. El gráfico de la nube de puntos permite observar asimismo la posible existencia de valores alejados que pueden ser determinantes en el valor del coeficiente de correlación.

Como se ha visto en capítulos anteriores, el valor de R^2 se encontrará en el rango entre 0 y 1, y si R^2 es igual a 1 entonces la ecuación predecirá el valor del IRI perfectamente, entonces todos los puntos de datos, en una gráfica, estarían sobre la línea de regresión, y si R^2 es cero, significa que, en la fórmula asumida de la ecuación, los valores del BI no pueden usarse para estimar los IRI, ya que no poseen ninguna relación lineal, sin embargo, esto no descarta que pueda tener alguna correlación de otro tipo. Cuando realicemos un análisis de correlación lineal, mediremos la relación en función al valor de R^2 , entonces se debe descartar una correlación con un valor de R^2 cercano a cero (correlación débil), en la figura 7.2 podemos apreciar una escala y en base a ella calificaremos la correlación que se está analizando.

Figura 7.2



Para el cálculo del coeficiente de correlación lineal emplearemos la siguiente fórmula estadística:

$$R = \frac{\overline{xy} - \bar{x} \cdot \bar{y}}{\sqrt{\overline{x^2} - (\bar{x})^2} \cdot \sqrt{\overline{y^2} - (\bar{y})^2}}$$

Recordemos que se prefiere trabajar con el coeficiente de correlación al cuadrado (R^2), que como se mencionó se le denomina *coeficiente de determinación*.

Reemplazando los valores correspondientes (del cuadro 7.8.1), obtendremos lo siguiente:

$$R = 0.999934525$$

Entonces,

$$R^2 = 0.999869053$$

Observamos que el valor obtenido nos indica una fuerte correlación (muy cercano a 1), por lo tanto podemos afirmar que la ecuación traducirá muy bien los valores BI a los valores IRI.

Si se quisiera hacer una comparación entre las ecuaciones cuadrática y lineal, para determinar cuál es la que más se ajusta a los puntos de la gráfica (figura 7.1), entonces calcularemos el valor del error estándar de estimación, para la ecuación lineal, que como se explicó anteriormente, mide la dispersión alrededor de la línea de regresión.

$$SE = \sqrt{\overline{y^2} + A^2 + B^2 \cdot \overline{x^2} - 2 \cdot A \cdot \bar{y} - 2 \cdot B \cdot \overline{xy} + 2 \cdot A \cdot B \cdot \bar{x}}$$

$$SE = 8.567E-05$$

Entonces tenemos que el error estándar de estimación de la ecuación cuadrática es 16.916 y el de la ecuación lineal es 8.567E-05, por lo tanto podemos afirmar que la ecuación lineal representará mejor a la ecuación de calibración.

Como se puede apreciar, el desarrollo de los cálculos con apoyo de las herramientas estadísticas, nos da indicadores que nos ayudan a decidir o a elegir, sin embargo pueden existir diferentes criterios, pero los resultados serán similares. Con los cálculos anteriores hemos demostrado que la ecuación lineal tiene un mejor ajuste a los datos, en comparación con la ecuación cuadrática, pero esto no quiere decir que la ecuación cuadrática no sea apropiada para la calibración, ambas son válidas y se ajustan muy bien a los puntos de la gráfica (figura 7.1).

Para el proyecto de la carretera Casma – Trujillo fue elegida la ecuación cuadrática como ecuación de calibración, aunque como se ha visto la ecuación lineal se ajusta mejor a los datos, la ecuación cuadrática no deja de ser una opción válida.

Entonces esta ecuación de calibración desarrollada nos servirá para la transformación de los valores del Bump Integrator durante las operaciones sobre el pavimento a evaluar en este proyecto.

7.9 Operación del Bump Integrator sobre el pavimento a evaluar.

En esta sección se hará una descripción resumida del procedimiento para la toma de medidas de rugosidad sobre el pavimento, aplicando lo descrito en el Capítulo 4, secciones 4.5 y 4.6, aunque el procedimiento de operación a ejecutarse es básicamente para operar el sistema, es muy simple, pero es importante conocer como debe hacerse correctamente, y para ello, se necesita complementar los procedimientos de operación, con algunos medios que racionalizan las acciones que debe ejecutar el operador, que fue mencionado en secciones anteriores, los registros y protocolos del sistema.

Manejo del Sistema.

Actualmente existen distintos modelos del sistema Bump Integrator y de distintos fabricantes. El sistema Bump Integrator consta de dos partes principales, una

unidad Bump Integrator (Integrator Unit), que es el mecanismo que contiene una polea sobre un eje adaptado a un componente generador de pulsos, que se ajusta para mantener un cable en tensión que conecta el cuerpo y eje del vehículo, y que emite pulsaciones producto del desplazamiento de la suspensión. El otro dispositivo es una unidad contadora (Counter Unit), que es un procesador con pantalla digital, el contador de la marca Farnell posee dos pantallas digitales que muestran las lecturas en unidades relativas BI, adicionalmente requiere dos dispositivos, un odómetro y un velocímetro; el contador de la marca Romdas posee 5 pantallas digitales, dos para las unidades BI, dos para el odómetro, y una para el velocímetro, todos incorporados en la unidad contadora. En ambos casos, los registros se deben realizar manualmente, anotando las lecturas del contador al formulario de campo. También existe la alternativa de usar una computadora tipo Lap-Top y mediante un software se puede registrar automáticamente las lecturas de las unidades BI, la distancia recorrida, y la velocidad en el momento del registro, y todos estos datos serán grabados a un archivo de texto. La ventaja de esta última no solo es que se obtienen los datos en un archivo de texto, desde el cual los datos pueden ser transferidos a una hoja de cálculo para ser procesados de inmediato; sino que su mayor ventaja se encuentra en que se evitan los errores por parte del operador al copiar los datos manualmente.

La operación de cualquiera de estos equipos es simple, solo requiere un poco de atención por parte del operador, sobre todo cuando inicia el sistema, el odómetro deberá estar iniciado en cero, y muy importante, la velocidad de trabajo deberá ser constante durante todo el recorrido, por esto el conductor del vehículo deberá haber practicado mucho, antes de emprender un recorrido de trabajo, caso contrario, no logrará mantener la velocidad requerida en pendientes cuesta arriba, cuesta abajo o en zona de curvas. Como se puede apreciar un procedimiento de operación eficiente, del sistema, depende mucho del conjunto conductor-operador, pero el control para que se cumplan estos procedimientos está a cargo del operador del equipo, por ello debe estar atento a las maniobras del conductor para mantener la velocidad constante durante todo el recorrido, aunque esto se

convierta en una tarea adicional, se debe ayudar al conductor, indicándole cuando la velocidad muestra alguna variación, a través del velocímetro.

Es importante que el operador tenga que recordar plenamente los procedimientos, pero lo más probable es que ocurra un error por omisión a algunos de los procedimientos, por ello, deberá darse importancia a los documentos de instrucción de trabajo y los registros para cada campaña de medida, de esta manera se ayuda al operador a no olvidar los procedimientos.

Inicio de los trabajos de campo.

Concluida la etapa de calibración, el equipo está preparado para iniciar los trabajos de levantamiento de información de las medidas de rugosidad sobre el pavimento, para ello primero debemos determinar la longitud de integración, que es el intervalo de distancia, con el cual, el BI deberá acumular los pulsos electrónicos en unidades BI, dichas unidades son las que grabamos o transcribimos a la hoja de datos de campo. La elección de la longitud de integración, está en función a la longitud de la sección de calibración y al requerimiento del análisis descriptivo de la variación de la rugosidad a lo largo del pavimento, si se requiere conocer en mayor detalle dicha variación entonces necesitaremos obtener lecturas en longitudes cortas, pero si lo que se requiere es realizar una evaluación rápida o menos exigente, como por ejemplo, evaluaciones periódicas de la evolución de la rugosidad en el tiempo, se pueden tomar longitudes de integración más largas, entonces es usual seleccionar longitudes de integración de 200 m, 300 m, 500 m, 1 km, etc., pero se recomienda que la longitud no sea mayor a 1 km, ni sea menor a 200 m, esto último por motivos de calibración (ver tabla 5.2), sin embargo se pueden emplear longitudes de integración menores, empleando valores de calibración equivalentes. Lo más recomendable es emplear una longitud de integración igual a la longitud de calibración, pero pueden suceder casos en que se tenga que efectuar trabajos con una longitud de integración diferente a la longitud de calibración, en este caso

habrá que realizar reajustes a la ecuación de calibración, como se verá mas adelante.

El proceso de medición es similar al ejecutado durante las medidas de calibración con algunas variaciones, sin embargo los procedimientos relacionados a la inspección son los mismos y de igual importancia.

- Verificar que el Bump Integrator esté funcionando y que las conexiones estén correctas.
- Verificar que el odómetro esté operativo y que haya sido calibrado recientemente.
- El vehículo de medida debe mantener en lo posible las mismas condiciones mecánicas que tenía durante la etapa de calibración, además se debe verificar el sistema de suspensión, los resortes, los amortiguadores, el balanceo de ruedas y la presión de llantas. De haber cualquier cambio sobre el vehículo que pueda afectar el comportamiento de la suspensión, deberá realizarse una prueba de control, para verificar la validez de la calibración. En adelante las pruebas de control se realizarán periódicamente.
- Conectar el cable de tensión del Bump Integrator al eje posterior y recorrer por lo menos unos 10 kilómetros con el Bump conectado y bajo tensión para calentar el equipo y la suspensión del vehículo.
- La carga en el vehículo debe ser constante, es preferible que solo lleve al conductor y operador, y que el peso de ellos inclusive la carga adicional sobre el vehículo queden anotados en una hoja de registro. No es aceptable variaciones de la carga sobre el vehículo, de lo contrario esto invalidaría la calibración.

Para cada sección de calibración se debe realizar el número de recorridos válidos recomendados según la tabla 5.2 (numero mínimo de repeticiones recomendado = 1000/L), para mayor precisión. Es aconsejable hacer por lo menos 3 recorridos

válidos para cada velocidad de calibración. Cada recorrido se hace de la manera siguiente:

- Alinear el vehículo con la marca de pintura (pintada previamente) que se encuentra ubicada a una longitud de integración antes del inicio del tramo del pavimento a evaluar. Situar la rueda derecha sobre la huella derecha (aproximadamente entre 50 – 80 cm del borde externo del carril).
- Si se utiliza un sistema BI con software, el procedimiento exige que el inicio del tramo de pavimento a evaluar este precedida de una zona de puesta en velocidad, de la misma longitud que la longitud de integración utilizada. Para ello se debe crear o activar una sección de medidas Bump con una longitud de integración igual a la longitud de calibración utilizada. Entrar la identificación de la sección, el número de la sección, el número del recorrido, la velocidad del recorrido, y dar nombre al archivo. En los sistemas convencionales también es necesaria la zona de puesta en velocidad.
- Iniciar la medida y acelerar el vehículo para estabilizar su velocidad, a la velocidad de medida (32, 50, 80 km) y asegurarse de estar estabilizado antes de llegar al inicio del tramo de pavimento a evaluar. Para estabilizar la velocidad, es mejor proceder con una aceleración progresiva, sin sobrepasar nunca la velocidad de medida, una aceleración brusca dará como resultado variaciones de velocidad alrededor de la velocidad de medida.
- Para sistemas BI convencionales, anotar en las hojas de datos de campo las lecturas BI, las lecturas del odómetro y velocímetro, para cada longitud de integración alcanzada, también es importante que sean anotados algunos comentarios como presencia de badenes, cambios en el tipo de pavimento, etc. En los sistemas BI con software todo es grabado automáticamente (lecturas BI, distancia y velocidad), inclusive se pueden grabar comentarios durante el recorrido, los que serán relacionados automáticamente a sus respectivas distancias en el momento de su grabación.

- Recorrer todo el tramo, manteniendo el vehículo con la llanta derecha en la huella derecha, con una velocidad constante. La velocidad debe mantenerse con una mínima variación, dentro de una tolerancia de 5%.
- Después de llegar al fin del tramo, detener la medida.
- En los sistemas BI con software se debe verificar que el archivo de datos, se haya grabado correctamente y que contenga todos los datos de distancia, velocidad y el conteo del Bump.

Las lecturas obtenidas del BI son presentados en una hoja de datos donde se indicará en columnas, las progresivas de referencia (Km), tipo de superficie, las series de datos con las lecturas directas (BI), etc., pudiendo haber algunas variaciones en cuanto al tipo de datos requeridos, básicamente son los datos necesarios para efectos del presente proyecto, tal como se muestra en las paginas siguientes. Para el tramo del proyecto Casma-Trujillo se realizaron dos series de medidas para cada carril (sentido Sur-Norte y sentido Norte-Sur), mostrados en los cuadros 7.9.1 y 7.9.2 respectivamente.

Puede suceder que sea requerida una longitud de integración diferente a la longitud de calibración, en ese caso la ecuación de calibración deberá ser reajustada. Pero este método no se recomienda, es probable que se pierda precisión, por ello, es mejor elegir longitudes de integración iguales a la longitud de calibración.

Ejemplo de reajuste de calibración por longitud de integración diferente a la longitud de calibración.

El método aplica el reajuste sobre el valor de las lecturas del BI y se basa en las características condicionales sobre las cuales se ha seleccionado las secciones de calibración (ver la sección 5.2), una de ellas es la uniformidad de la rugosidad a lo largo de cada sección de calibración. Para una mejor comprensión, se detallará el efecto de esta característica sobre los valores del IRI y de las lecturas del BI.

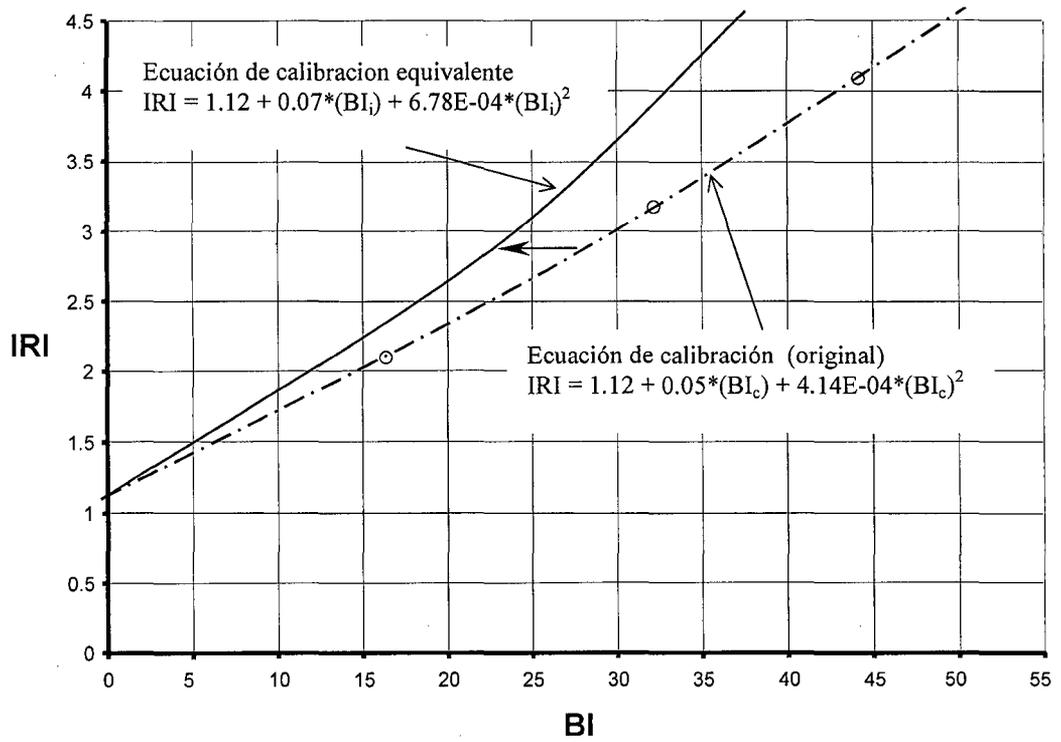
Como se ha mencionado anteriormente, el valor del IRI es el resultado de una estadística de la rugosidad, que se basa en un modelo matemático que calcula la desviación de la suspensión de un vehículo simulado. El movimiento de la suspensión simulado es acumulado y dividido por la distancia recorrida para dar un índice en unidades m/km ó mm/m. Porque el valor del IRI es el resultado de un promedio, su valor disminuirá cuando no haya entrada continua de rugosidad, por ejemplo, cuando se presenten rugosidades con amplitudes de onda homogénea, esto representaría un valor de rugosidad constante. Esta característica de rugosidad homogénea produce que las cuentas del instrumento BI aumenten proporcionalmente y que su incremento sea bastante constante mientras este atravesando la sección de calibración. Entonces se puede deducir que el número de cuentas acumuladas del BI es linealmente proporcional a la longitud de la sección de calibración. Por ejemplo, si se tiene una longitud de calibración de 320m, con 36 unidades BI en promedio y se requiere emplear una longitud de integración de 250m, entonces debemos hallar un número de cuentas equivalente para la longitud de 250m de la sección de calibración, basándonos en la condición de uniformidad de las secciones de calibración y la proporcionalidad de las medidas, obtendremos sobre la misma sección de calibración $14 \times 250 / 320 = 11$ unidades BI, el mismo cálculo se realiza para cada una de las secciones de calibración de 320m, de esta manera se obtienen los datos para una longitud de calibración equivalente, necesaria para reajustar la ecuación de calibración que transformará los datos del BI a la longitud de integración de 250m.

Cuadro 7.9.3

Sección	IRI (m/km)	BI calibración Lc = 320 m	Factor Li / Lc	BI equivalente Li = 250 m
1	2.11	17	0.781	13
2	3.18	32	0.781	25
3	4.17	44	0.781	34

Figura 7.3

GRAFICO IRI vs. BI



Como hemos asumido que la variación de las unidades BI son proporcionales, entonces en la grafica IRI vs. BI la línea de la ecuación de calibración original se desplazará también proporcionalmente sobre el eje X (figura 7.3), la cual genera la nueva ecuación de calibración equivalente.

Podemos encontrar una forma de reajustar rápidamente la ecuación de calibración original.

Ecuación de calibración original: $IRI = 1.12 + 0.05*(BI_c) + 4.14E-04*(BI_c)^2$

Se sabe que las unidades BI son proporcionales a las longitudes, entonces:

$$\frac{BI_i}{BI_c} = \frac{L_i}{L_c} = \frac{250}{320} = 0.781 \Rightarrow B_c = 1.28 * B_i$$

Ecuación equivalente: $IRI = 1.12 + 0.05*(1.28*BI_i) + 4.14E-04*(1.28*BI_i)^2$
 $IRI = 1.12 + 0.07*(BI_i) + 6.78E-04*(BI_i)^2$

Con los datos del IRI y las unidades BI equivalentes se procede a efectuar nuevamente el cálculo de la nueva ecuación de calibración. De esta manera se pueden transformar directamente las lecturas del BI obtenidas a la longitud de integración de 250m.

El método expuesto, es solo un artificio, que se basa en una característica de las secciones de calibración, la cual es relativa a la calificación del observador que seleccionó dichas secciones, en la realidad la verdadera uniformidad de la rugosidad de las secciones, no se obtiene. La relación entre la rugosidad y las unidades del BI o de cualquier sistema RTRRMS no es la misma que la existente entre la rugosidad y el IRI. El cálculo del IRI está linealmente relacionado a las variaciones del perfil longitudinal esto hace que si las elevaciones del perfil aumentasen entonces el valor del IRI también aumentará en la misma proporción, pero no se puede concluir lo mismo con las unidades BI, aunque están directamente relacionadas, dicha relación no es necesariamente lineal,

principalmente porque intervienen muchos factores en el funcionamiento del BI que afectan de alguna manera a sus lecturas.

En general este procedimiento se puede aplicar para transformar una longitud de integración de una ecuación de calibración original a una longitud equivalente inferior, con relación $L_i/L_c > 0.7$ (recomendable). Para otros casos se debe analizar los resultados del IRI y calcular nuevamente la ecuación de calibración, de no ser suficiente, se debe realizar nuevos recorridos de calibración para la longitud de integración deseada.

Entonces para que este artificio se aproxime al verdadero valor uno debe estar consciente de que todo el proceso de calibración se haya hecho correctamente, en general la precisión de los resultados depende mucho de un buen proceso de calibración.

7.10 Procesamiento de las lecturas del Bump Integrator.

En los cuadros 7.9.1 y 7.9.2 se tienen los datos que resultan de la evaluación de campo, en las dos primeras columnas van las progresivas cuyo intervalo corresponde a la sección de referencia con la longitud de 1 km, las columnas correspondientes a las lecturas del BI muestran dos series de recorrido las cuales serán promediadas en la columna a continuación y la última columna corresponde al valor del IRI resultante, estas dos últimas columnas son calculadas posteriormente a la evaluación de campo, sobre las cuales trataremos a continuación.

Cálculos preliminares.

a) *Cálculo del promedio de lecturas BI.* Las dos series de lecturas BI se promedian aritméticamente, teóricamente se trata de series de lecturas tomadas de

secciones de pavimento idénticas, es decir el vehículo ha efectuado el recorrido sobre la misma huella, sin cambios (desvíos) entre uno y otro recorrido, además no debe existir un desfase entre las progresivas de las secciones de las dos series, esto implica que el odómetro inicialmente haya sido bien calibrado y las series de recorrido tengan el mismo punto de inicio, por ello es importante marcar el inicio y fin del tramo del pavimento a evaluar. Como se puede observar las dos condiciones antes mencionadas son muy importantes para que la función del promedio sea válida.

Si se tuviera que realizar un análisis mas exhaustivo, habría que proceder a comparar los valores y de ser necesario descartar aquellos que se encuentren absurdos, se sabe que puede influir en las lecturas del BI la diferencia de condiciones ambientales sobre las cuales se realizó cada serie, entonces habrá que relacionar la hora de inicio y fin del recorrido, las temperaturas y distancia registradas, presentarlos en una gráfica e investigar si existe alguna variación extrema que pudiera influir en las lecturas de cada serie de datos. Es recomendable procurar que las series de recorrido se realicen en similares condiciones de temperatura y a la misma hora del día, para evitar aquellos efectos ambientales, sobre todo si se trabaja en zonas donde el clima es muy variable.

Para cualquier estudio es recomendable realizar mas de un recorrido con el BI, adicionalmente se puede elegir la opción de realizar mas recorridos para obtener mas lecturas del BI, pero ello implicaría un mayor gasto de tiempo y dinero, en mi opinión, son suficientes dos o tres lecturas, pero con la certeza de que hayan sido ejecutadas correctamente.

b) Cálculo del IRI para cada sección. Con los valores obtenidos del promedio de las lecturas BI de cada serie, calculamos los valores del IRI en cada sección de referencia, para ello empleamos la ecuación de calibración.

De esta manera la ecuación de calibración transforma las lecturas de rugosidad de la escala del BI, a la escala de valores de rugosidad expresados en IRI (m/km).

c) *Identificación de zonas singulares.* Con los cálculos preliminares, se obtuvieron los valores de rugosidad IRI (m/km) para cada sección de referencia, en este caso a cada kilómetro, si hubiera sido el caso de un proyecto más minucioso con secciones más cortas como 200m o menos, se pudo hacer un análisis de zonas singulares (si existiesen, y por lo general existen), esto involucra la detección de algunas características superficiales del pavimento como puede ser, algún daño sobre la línea de la huella de rodadura, cambios en la estructura del pavimento tales como cruces sobre puentes, badenes, etc., que no son representativos de la regularidad del pavimento, sino más bien, son daños aislados o secciones muy particulares, pero que pueden influir en el análisis de las secciones con rugosidad homogénea, la ocurrencia de estas características singulares influye generalmente incrementando el valor de rugosidad y de presentarse de manera repetida, elevaría la rugosidad a un nivel suficiente como para ser considerable, lo que distorsionaría el valor real de la rugosidad del pavimento en estudio, entonces se hace necesario e importante aislar estos efectos para la evaluación del tramo, para ello, se debe realizar el análisis separando las zonas singulares. Estas zonas singulares en una gráfica del IRI se presentan como picos altos, que es su principal característica.

Cuando se utilizan perfilómetros (Clase 1 o 2), normalmente se trabaja en forma directa con datos que representan el perfil longitudinal, por lo que es más fácil aislar estos picos de amplitud de onda, antes de proceder al cálculo del IRI sobre la sección de referencia. Cuando se trabaja con lecturas de rugosidad como es el caso de un RTRRMS, la localización de las zonas singulares se realiza en base a las observaciones anotadas por el operador y la gráfica del IRI. Como se ha mencionado anteriormente, las singularidades se presentan en la gráfica del IRI como picos altos, pero el efecto de la zona singular alcanza una longitud mayor a la longitud física de dicha zona, esto significa que en la gráfica del IRI existirá una longitud de influencia. Si observamos la gráfica del IRI, justo en los puntos donde el perfil longitudinal presenta el inicio de una singularidad, se producirá un marcado crecimiento del IRI, y hasta que esta singularidad termina donde se genera el pico alto en la curva del IRI, entonces se producirá el decrecimiento de

la curva del IRI, con una tendencia a alcanzar el nivel de rugosidad que tenía antes de aparecer la singularidad, pero no la alcanza, la magnitud del IRI se habrá incrementado, este último tramo en la curva del IRI es la longitud de influencia y su medida está en relación directa con la magnitud de la zona singular.

Resumiendo lo anterior, como paso previo a la selección de secciones de rugosidad homogénea, se debe identificar los tramos que impliquen zonas singulares, por ejemplo en los casos que se encuentren algunos daños aislados alrededor de las huellas de rodadura, estos en la grafica del IRI se presentarán como picos altos, pero esta singularidad debe haber sido confirmada con las observaciones del operador anotadas durante el proceso de medida con el BI, entonces se separa la sección involucrada de las secciones adyacentes, de manera que no se incluya dentro de alguna sección de rugosidad homogénea, resultando entonces una sección independiente, para que posteriormente pueda ser analizada o descartada, salvo que haya un mejor criterio para el manejo de estas zonas singulares. Este procedimiento está sujeto a que la sección de referencia sea de corta longitud (200m o menos), pero como para efectos del presente proyecto se realizó el trabajo con una sección de referencia de 1,000m, no es recomendable realizar ningún descarte.

7.11 Selección de secciones de rugosidad homogénea.

Los cuadros 7.9.1 y 7.9.2 correspondieron a las hojas de campo donde se realizaron los cálculos preliminares, los cuadros 7.11.1 y 7.11.2 corresponden a los resultados donde se realizarán cálculos y agrupamientos complementarios que servirán como base para el análisis final de la evaluación.

Luego de los cálculos preliminares, se agrupan las secciones de referencia continuas que tengan valores del IRI semejantes, con el fin de agrupar las secciones con rugosidad homogénea (de valores cercanos), para ello es mejor valerse de la escala de calificación de la Serviciabilidad, como se ha visto en el

Capítulo 2 (ver tabla 2.1), esta escala califica el estado del pavimento sobre un rango de 0 a 5, cuyos valores corresponden al Índice de Serviciabilidad Presente (PSI), en nuestro medio se conoce a la calificación verbal del PSI como Transitabilidad (ver tabla 7.1).

Para determinar el valor del PSI, se utiliza la expresión aproximada establecida por M.W.Sayers, que relaciona el índice de rugosidad IRI con el índice de serviciabilidad PSI, esta ecuación de correlación fue desarrollada usando los datos obtenidos durante el Experimento Internacional sobre Rugosidad de Caminos (IRRE), realizado en Brasil (1,982), que tiene la siguiente expresión:

$$PSI = \frac{5.0}{e^{IRI/5.5}} \pm 25\% , \text{ para } IRI < 12$$

En los cuadros 7.11.1 y 7.11.2 se puede observar los valores del PSI y la calificación de la Transitabilidad, obtenidos con la formula anterior y la tabla 7.1, para cada sección de referencia.

A continuación se procede a la agrupación de las secciones con rugosidad homogénea, para ello nos valemos de la calificación de la Transitabilidad, de los valores del PSI y del IRI, de esta manera se obtendrán los subtramos con secciones homogéneas, recordando además que las secciones con zonas singulares también deberán conformar subtramos independientes.

Con los subtramos obtenidos, se realizan los cálculos del valor del IRI promedio que es el resultado del promedio aritmético de los IRI de las secciones que conforman cada subtramo, de igual manera los valores de la desviación estándar y el coeficiente de variación para cada subtramo y como una referencia adicional los valores del PSI y la Transitabilidad de los subtramos, estos se calculan con el IRI promedio, con la formula de Sayers y la tabla 7.1.

Tabla 7.1

Calificación de la Serviciabilidad

PSI	Transitabilidad
0 – 1	Muy malo
1 – 2	Malo
2 – 3	Regular
3 – 4	Bueno
4 – 5	Muy bueno

Se ha concluido entonces con el agrupamiento de secciones y los cálculos complementarios para cada subtramo obtenido, tal como se muestra en los cuadros 7.11.1 y 7.11.2, queda entonces realizar los gráficos correspondientes al IRI y al PSI, para cada carril del pavimento y la comparación de los resultados entre carriles.

En las figuras 7.4 y 7.5 se aprecian los gráficos preliminares correspondientes al IRI por secciones en cada carril (en este caso dos carriles únicamente), en la figura 7.6 se hace una comparación por superposición de gráficos de ambos carriles. Estos gráficos nos dan una visión mas amplia de la rugosidad del pavimento y facilita la localización de las secciones afectadas por zonas singulares.

De forma similar, en las figuras 7.7 y 7.8 se aprecian los gráficos correspondientes al IRI promedio, sobre los subtramos de cada carril, que es resultado del agrupamiento por secciones de rugosidad homogénea, en la figura 7.9 se puede observar la comparación de éstos por superposición gráfica de ambos carriles. En las figuras 7.10, 7.11 y 7.12, análogamente, se observa la gráfica de los valores del PSI y de la Transitabilidad, sobre los subtramos de cada carril. Estos gráficos son de mucha utilidad y nos ampliarán el panorama para un mejor análisis de la evaluación.

7.12 Análisis y resultados de la evaluación.

En la sección anterior se realizaron algunos arreglos u ordenamientos sobre las secciones del pavimento evaluado, bajo ciertos criterios; los resultados de la evaluación se fundamentan principalmente en técnicas estadísticas elementales, básicamente con el uso de la media, la desviación estándar y el coeficiente de variación, con el fin de tener parámetros que nos lleven a un mejor entendimiento de los datos originales, es decir las técnicas estadísticas nos proporcionan los métodos para analizar, interpretar y presentar una gran cantidad de datos numéricos, para que se puedan obtener conclusiones a partir de estos resultados.

Como la finalidad de la evaluación es parte de los estudios para un proyecto de rehabilitación, entonces los resultados de la evaluación de la rugosidad del pavimento, deben presentarse de forma que sirvan para otras etapas del estudio, por ejemplo, para la toma de decisiones en la etapa de diseño del pavimento, se requiere la información de los valores de la rugosidad o los niveles de serviciabilidad, según sea el método de diseño que se esté empleando, entonces los resultados deben estar dirigidos a dar toda la información necesaria en cuadros y gráficos, con la finalidad de que a partir de estos resultados se puedan obtener conclusiones. Entonces, para presentar una información mas relevante sobre los valores de rugosidad a lo largo del pavimento, se utilizan algunos métodos estadísticos, como las medidas de tendencia central y de dispersión.

Una información importante es la medida de tendencia central mas conocida, la media, y las medidas de dispersión, la desviación estándar y el coeficiente de variación, que anteriormente fueron aplicados para determinar los valores de rugosidad media de los subtramos conformados, que a su vez fueron aplicados a nivel general, para los datos de rugosidad de todo el pavimento evaluado. La utilidad de su uso se explica a continuación.

Primero se realizó el cálculo de la media para ambos carriles del pavimento, la desviación estándar y el coeficiente de variación confirman que los datos se encuentran con relativa dispersión, pero estos valores obtenidos, como se podrá observar, no dicen mucho de las condiciones de la rugosidad a lo largo de cada carril, se recomienda entonces, el agrupamiento de las secciones en subtramos, con este procedimiento se podrán obtener medidas con parámetros de dispersión reducidos, además, este agrupamiento nos dará una idea mas clara de la condición de la rugosidad del pavimento.

La estadística nos ayuda a diseñar estos subtramos, en la sección anterior se vio que para la agrupación de las secciones con rugosidad homogénea, hacemos uso de los valores del PSI y de la calificación de la Transitabilidad, sin embargo,

cómo confirmamos que el diseño final de los subtramos es correcto; para ello, a estos subtramos se les calcula el IRI promedio y con el cálculo de la desviación estándar medimos la dispersión, y con el coeficiente de variación observamos la variación con respecto a la media, de esta manera se verifica que cada subtramo tenga una dispersión pequeña, o por lo menos, poder reducir los subtramos con dispersión alta, para que sea posible también la reducción de la dispersión.

Con el diseño de los subtramos, se marcan las diferencias sobre la variación de la rugosidad a lo largo del pavimento, con ello obtenemos una información mas condensada y sobre todo manejable; si hacemos una comparación con el manejo de los datos originales, lo que generamos es una síntesis de los datos, que será mas importante aún, cuando se realicen las siguientes etapas del estudio, donde se requiera información sobre la rugosidad.

Los cuadros 7.11.1 y 7.11.2 corresponden al detalle del agrupamiento de las secciones en subtramos para cada carril del pavimento, los cuadros 7.12.1 y 7.12.2 son los resúmenes de los cuadros anteriores, a la cual se ha adicionado una síntesis de la Transitabilidad, que representa la longitud acumulada por cada nivel de serviciabilidad en porcentajes, respectivamente para cada carril. Otra alternativa para observar la distribución de datos de rugosidad a lo largo del pavimento es aplicando una distribución cuantílica, como el percentil, que permite un análisis de la distribución de frecuencias, y es el valor, bajo el cual se encuentra una proporción determinada de la población de datos; la distribución de frecuencias es una forma de sintetizar los datos y consiste en valerse de una tabla para clasificarlos según su magnitud, en ella se señala el número de veces que aparecen cada uno de los valores.

En la figura 7.13 y 7.14 observamos la distribución de frecuencias de los valores IRI y en los cuadros 7.12.3 y 7.12.4 los datos clasificados que generan dichas gráficas. Con ellos se puede conocer la proporción de valores en porcentaje que son inferiores a un determinado valor en IRI. Calcularemos entonces, para cada carril, los percentiles 25, 50, 80, 90 y 95, se pueden calcular más parámetros, pero

se puede decir que estos son los de mayor utilidad. El cálculo es muy simple por lo que sólo se hará el cálculo de los percentiles del carril con sentido norte-sur.

$$P_{25} = 2.0 + \frac{(25.00 - 7.45)}{(32.45 - 7.45)} \times 0.2 = 2.14 \quad P_{50} = 2.2 + \frac{(50.00 - 32.45)}{(54.79 - 32.45)} \times 0.2 = 2.36$$

$$P_{80} = 2.6 + \frac{(80.00 - 70.21)}{(85.64 - 70.21)} \times 0.2 = 2.72 \quad P_{90} = 2.8 + \frac{(90.00 - 85.64)}{(91.49 - 85.64)} \times 0.2 = 2.95$$

$$P_{95} = 3.2 + \frac{(95.00 - 94.68)}{(97.34 - 94.68)} \times 0.2 = 3.22$$

Ahora, conocemos que el 25% de los valores de rugosidad en IRI de todo el carril con sentido norte-sur son inferiores a 2.14 m/Km, el 50% son inferiores a 2.36 m/Km, el 80% es inferior a 2.72 m/Km, el 90% es inferior a 2.95 m/Km y el 95% es inferior a 3.22 m/Km. Todos los resultados se presentan en los cuadros 7.12.5 y 7.12.6, para cada carril respectivamente.

Conclusiones finales sobre la evaluación.

Sentido Norte-Sur: El análisis estadístico del percentil 95 indica que el 95% de los valores de rugosidad IRI de este carril son inferiores a 3.22, además el 88% de la longitud del carril, que equivale a 165 km, posee una transitabilidad calificada como Buena, el 11% calificado como Regular y 1% calificado como Malo, este último corresponde al tramo que cruza la zona urbana de Chimbote.

Sentido Sur-Norte: El análisis estadístico del percentil 95 indica que el 95% de los valores de rugosidad IRI de este carril son inferiores a 3.31, además el 87% de la longitud del carril, que equivale a 163 km, posee una transitabilidad calificada como Buena, el 12% calificado como Regular y 1% calificado como Malo, este último corresponde al tramo que cruza la zona urbana de Chimbote.

En general las condiciones funcionales del pavimento son buenas, a excepción de algunas secciones que se encuentran localizadas en zonas urbanas o singulares, que deberán ser analizadas en conjunto con evaluaciones de la estructura del pavimento.

HOJA DE DATOS

CARRIL N-S

Cuadro 7.9.1
HOJA DE DATOS

PROYECTO: Estudio Definitivo de Rehabilitación de Carreteras Afectadas por el Fenómeno El Niño
TRAMO: CASMA (km 371+500) - TRUJILLO (km 558+520)
RUTA: 001N Carretera Panamericana Norte
FECHA : Junio del 2000
PRESION DE NEUMATICO: 30 Lb/Pulg²
VELOCIDAD DEL VEHICULO: 32 Km/h **CARRIL:** NORTE - SUR

SECCION		SUPERFICIE DE RODADURA					LECTURAS BUMP INTEGRATOR (BI)			IRI m/Km
DEL (Km)	AL (Km)	AFIRM	TS	BG	BA	CA	serie1	serie2	Promedio	
371.5	372					X	58	55	56.5	2.48
372	373					X	57	63	60.0	2.56
373	374					X	66	61	63.5	2.64
374	375					X	94	92	93.0	3.31
375	376					X	86	81	83.5	3.09
376	377					X	85	82	83.5	3.09
377	378					X	74	70	72.0	2.83
378	379					X	46	43	44.5	2.22
379	380					X	66	66	66.0	2.69
380	381					X	63	58	60.5	2.57
381	382					X	58	59	58.5	2.53
382	383					X	65	63	64.0	2.65
383	384					X	70	65	67.5	2.73
384	385					X	58	53	55.5	2.46
385	386					X	73	72	72.5	2.84
386	387					X	65	61	63.0	2.63
387	388					X	66	63	64.5	2.66
388	389					X	74	76	75.0	2.90
389	390					X	74	72	73.0	2.85
390	391					X	77	73	75.0	2.90
391	392					X	68	66	67.0	2.72
392	393					X	80	76	78.0	2.97
393	394					X	113	109	111.0	3.73
394	395					X	91	88	89.5	3.23
395	396					X	58	52	55.0	2.45
396	397					X	61	62	61.5	2.59
397	398					X	54	50	52.0	2.38
398	399					X	73	77	75.0	2.90
399	400					X	83	77	80.0	3.01
400	401					X	94	91	92.5	3.30
401	402					X	69	66	67.5	2.73
402	403					X	64	57	60.5	2.57
403	404					X	63	64	63.5	2.64
404	405					X	70	63	66.5	2.71
405	406					X	65	65	65	2.67
406	407					X	69	63	66.0	2.69
407	408					X	66	60	63.0	2.63
408	409					X	66	63	64.5	2.66
409	410					X	61	55	58.0	2.52
410	411					X	62	64	63.0	2.63
411	412					X	64	65	64.5	2.66
412	413					X	66	61	63.5	2.64
413	414					X	56	53	54.5	2.44
414	415					X	62	66	64.0	2.65
415	416					X	67	63	65.0	2.67
416	417					X	53	55	54.0	2.43
417	418					X	61	53	57.0	2.49
418	419					X	44	45	44.5	2.22

AFIRM: Afirmado TS: Tratamiento Superficial BG: Base Granular BA: Base Asfáltica CA: Carpeta Asfáltica

Cuadro 7.9.1
HOJA DE DATOS

PROYECTO: Estudio Definitivo de Rehabilitación de Carreteras Afectadas por el Fenómeno El Niño
TRAMO: CASMA (km 371+500) - TRUJILLO (km 558+520)
RUTA: 001N Carretera Panamericana Norte
FECHA : Junio del 2000
PRESION DE NEUMATICO: 30 Lb/Pulg²
VELOCIDAD DEL VEHICULO: 32 Km/h **CARRIL:** NORTE - SUR

SECCION		SUPERFICIE DE RODADURA					LECTURAS BUMP INTEGRATOR (BI)			IRI m/Km
DEL (Km)	AL (Km)	AFIRM	TS	BG	BA	CA	serie1	serie2	Promedio	
419	420					X	43	40	41.5	2.15
420	421					X	47	47	47.0	2.27
421	422					X	79	77	78.0	2.97
422	423					X	50	46	48.0	2.29
423	424					X	59	63	61.0	2.58
424	425					X	42	47	44.5	2.22
425	426					X	58	53	55.5	2.46
426	427					X	71	75	73.0	2.85
427	428					X	101	100	100.5	3.48
428	429					X	79	76	77.5	2.95
429	430					X	84	77	80.5	3.02
430	431					X	129	124	126.5	4.09
431	432.2					X	178	168	173.0	5.22
432.2	433					X	92	95	93.5	3.32
433	434					X	103	109	106.0	3.61
434	435					X	68	63	65.5	2.68
435	436					X	72	67	69.5	2.77
436	437					X	75	78	76.5	2.93
437	438					X	65	63	64.0	2.65
438	439					X	69	70	69.5	2.77
439	440					X	84	78	81.0	3.03
440	441					X	49	48	48.5	2.30
441	442					X	81	78	79.5	3.00
442	443					X	37	42	39.5	2.11
443	444					X	63	61	62.0	2.61
444	445					X	66	63	64.5	2.66
445	446					X	91	97	94.0	3.33
446	447					X	54	50	52.0	2.38
447	448					X	46	46	46.0	2.25
448	449					X	47	50	48.5	2.30
449	450					X	51	52	51.5	2.37
450	451					X	39	42	40.5	2.13
451	452					X	45	41	43.0	2.18
452	453					X	34	39	36.5	2.04
453	454					X	51	48	49.5	2.33
454	455					X	31	36	33.5	1.98
455	456					X	39	34	36.5	2.04
456	457					X	32	35	33.5	1.98
457	458					X	33	37	35.0	2.01
458	459					X	38	37	37.5	2.06
459	460					X	37	34	35.5	2.02
460	461					X	42	45	43.5	2.19
461	462					X	33	37	35.0	2.01
462	463					X	47	44	45.5	2.24
463	464					X	55	59	57.0	2.49
464	465					X	44	47	45.5	2.24
465	466					X	55	51	53.0	2.40
466	467					X	38	43	40.5	2.13

AFIRM: Afirmado TS: Tratamiento Superficial BG: Base Granular BA: Base Asfáltica CA: Carpeta Asfáltica

Cuadro 7.9.1
HOJA DE DATOS

PROYECTO: Estudio Definitivo de Rehabilitación de Carreteras Afectadas por el Fenómeno El Niño
TRAMO: CASMA (km 371+500) - TRUJILLO (km 558+520)
RUTA: 001N Carretera Panamericana Norte
FECHA : Junio del 2000
PRESION DE NEUMATICO: 30 Lb/Pulg²
VELOCIDAD DEL VEHICULO: 32 Km/h **CARRIL:** NORTE - SUR

SECCION		SUPERFICIE DE RODADURA					LECTURAS BUMP INTEGRATOR (BI)			IRI m/Km
DEL (Km)	AL (Km)	AFIRM	TS	BG	BA	CA	serie1	serie2	Promedio	
467	468					X	56	52	54.0	2.43
468	469					X	44	40	42.0	2.16
469	470					X	51	53	52.0	2.38
470	471					X	58	53	55.5	2.46
471	472					X	48	45	46.5	2.26
472	473					X	45	47	46.0	2.25
473	474					X	45	44	44.5	2.22
474	475					X	40	43	41.5	2.15
475	476					X	50	46	48.0	2.29
476	477					X	40	38	39.0	2.10
477	478					X	47	43	45.0	2.23
478	479					X	40	44	42.0	2.16
479	480					X	43	44	43.5	2.19
480	481					X	44	41	42.5	2.17
481	482					X	57	59	58.0	2.52
482	483					X	46	43	44.5	2.22
483	484					X	48	44	46.0	2.25
484	485					X	28	31	29.5	1.89
485	486					X	41	39	40.0	2.12
486	487					X	34	31	32.5	1.95
487	488					X	38	41	39.5	2.11
488	489					X	45	48	46.5	2.26
489	490					X	46	47	46.5	2.26
490	491					X	70	68	69.0	2.76
491	492					X	39	43	41.0	2.14
492	493					X	36	39	37.5	2.06
493	494					X	43	44	43.5	2.19
494	495					X	49	46	47.5	2.28
495	496					X	35	37	36.0	2.03
496	497					X	38	40	39.0	2.10
497	498					X	44	44	44.0	2.21
498	499					X	32	35	33.5	1.98
499	500					X	35	42	38.5	2.08
500	501					X	58	53	55.5	2.46
501	502					X	53	50	51.5	2.37
502	503					X	50	53	51.5	2.37
503	504					X	51	53	52.0	2.38
504	505					X	51	47	49.0	2.32
505	506					X	31	35	33.0	1.96
506	507					X	32	33	32.5	1.95
507	508					X	32	35	33.5	1.98
508	509					X	41	44	42.5	2.17
509	510					X	40	43	41.5	2.15
510	511					X	47	46	46.5	2.26
511	512					X	49	44	46.5	2.26
512	513					X	31	28	29.5	1.89
513	514					X	34	34	34.0	1.99
514	515					X	66	70	68.0	2.74

AFIRM: Afirmado TS: Tratamiento Superficial BG: Base Granular BA: Base Asfáltica CA: Carpeta Asfáltica

Cuadro 7.9.1
HOJA DE DATOS

PROYECTO: Estudio Definitivo de Rehabilitación de Carreteras Afectadas por el Fenómeno El Niño
TRAMO: CASMA (km 371+500) - TRUJILLO (km 558+520)
RUTA: 001N Carretera Panamericana Norte
FECHA : Junio del 2000
PRESION DE NEUMATICO: 30 Lb/Pulg2
VELOCIDAD DEL VEHICULO: 32 Km/h **CARRIL:** NORTE - SUR

SECCION		SUPERFICIE DE RODADURA					LECTURAS BUMP INTEGRATOR (BI)			IRI m/Km
DEL (Km)	AL (Km)	AFIRM	TS	BG	BA	CA	serie1	serie2	Promedio	
515	516					X	58	60	59.0	2.54
516	517					X	34	35	34.5	2.00
517	518					X	33	33	33.0	1.96
518	519					X	38	40	39.0	2.10
519	520					X	42	36	39.0	2.10
520	521					X	52	72	62.0	2.61
521	522					X	38	37	37.5	2.06
522	523					X	36	35	35.5	2.02
523	524					X	32	37	34.5	2.00
524	525					X	36	39	37.5	2.06
525	526					X	40	37	38.5	2.08
526	527					X	42	40	41.0	2.14
527	528					X	41	43	42.0	2.16
528	529					X	42	40	41.0	2.14
529	530					X	38	35	36.5	2.04
530	531					X	41	44	42.5	2.17
531	532					X	32	36	34.0	1.99
532	533					X	34	37	35.5	2.02
533	534					X	41	41	41.0	2.14
534	535					X	35	38	36.5	2.04
535	536					X	38	39	38.5	2.08
536	537					X	34	37	35.5	2.02
537	538					X	46	43	44.5	2.22
538	539					X	62	52	57.0	2.49
539	540					X	71	68	69.5	2.77
540	541					X	47	51	49.0	2.32
541	542					X	41	43	42.0	2.16
542	543					X	38	43	40.5	2.13
543	544					X	44	46	45.0	2.23
544	545					X	47	50	48.5	2.30
545	546					X	51	47	49.0	2.32
546	547					X	46	48	47.0	2.27
547	548					X	57	59	58.0	2.52
548	549					X	52	52	52.0	2.38
549	550					X	55	53	54.0	2.43
550	551					X	60	61	60.5	2.57
551	552					X	54	48	51.0	2.36
552	553					X	55	55	55.0	2.45
553	554					X	39	49	44.0	2.21
554	555					X	46	51	48.5	2.30
555	556					X	56	55	55.5	2.46
556	557					X	50	70	60.0	2.56
557	558					X	52	64	58.0	2.52
558	558.52					X	38	42	40.0	2.12

AFIRM: Afirmado TS: Tratamiento Superficial BG: Base Granular BA: Base Asfáltica CA: Carpeta Asfáltica

HOJA DE DATOS

CARRIL S-N

Cuadro 7.9.2
HOJA DE DATOS

PROYECTO: Estudio Definitivo de Rehabilitación de Carreteras Afectadas por el Fenómeno El Niño
TRAMO: CASMA (km 371+500) - TRUJILLO (km 558+520)
RUTA: 001N Carretera Panamericana Norte
FECHA : Junio del 2000
PRESION DE NEUMATICO: 30 Lb/Pulg²
VELOCIDAD DEL VEHICULO: 32 Km/h **CARRIL:** SUR - NORTE

SECCION		SUPERFICIE DE RODADURA					LECTURAS BUMP INTEGRATOR (BI)			IRI
DEL (Km)	AL (Km)	AFIRM	TS	BG	BA	CA	serie1	serie2	Promedio	m/Km
371.5	372					X	65	60	62.5	2.62
372	373					X	67	61	64.0	2.65
373	374					X	72	66	69.0	2.76
374	375					X	88	84	86.0	3.15
375	376					X	62	65	63.5	2.64
376	377					X	93	87	90.0	3.24
377	378					X	65	61	63.0	2.63
378	379					X	44	47	45.5	2.24
379	380					X	64	58	61.0	2.58
380	381					X	58	52	55.0	2.45
381	382					X	63	60	61.5	2.59
382	383					X	69	64	66.5	2.71
383	384					X	74	67	70.5	2.80
384	385					X	69	69	69.0	2.76
385	386					X	73	65	69.0	2.76
386	387					X	71	66	68.5	2.75
387	388					X	84	77	80.5	3.02
388	389					X	72	77	74.5	2.89
389	390					X	88	88	88.0	3.19
390	391					X	78	71	74.5	2.89
391	392					X	72	70	71.0	2.81
392	393					X	94	87	90.5	3.25
393	394					X	111	107	109.0	3.68
394	395					X	106	96	101.0	3.49
395	396					X	69	61	65.0	2.67
396	397					X	70	67	68.5	2.75
397	398					X	70	60	65.0	2.67
398	399					X	74	68	71.0	2.81
399	400					X	75	73	74.0	2.88
400	401					X	98	99	98.5	3.44
401	402					X	88	79	83.5	3.09
402	403					X	75	68	71.5	2.82
403	404					X	50	55	52.5	2.39
404	405					X	66	60	63.0	2.63
405	406					X	64	63	63.5	2.64
406	407					X	64	59	61.5	2.59
407	408					X	59	58	58.5	2.53
408	409					X	59	54	56.5	2.48
409	410					X	71	68	69.5	2.77
410	411					X	79	68	73.5	2.86
411	412					X	70	66	68.0	2.74
412	413					X	66	60	63.0	2.63
413	414					X	57	58	57.5	2.50
414	415					X	55	62	58.5	2.53
415	416					X	58	62	60.0	2.56
416	417					X	76	70	73.0	2.85
417	418					X	68	67	67.5	2.73
418	419					X	74	68	71.0	2.81

AFIRM: Afirmado TS: Tratamiento Superficial BG: Base Granular BA: Base Asfáltica CA: Carpeta Asfáltica

Cuadro 7.9.2
HOJA DE DATOS

PROYECTO: Estudio Definitivo de Rehabilitación de Carreteras Afectadas por el Fenómeno El Niño
TRAMO: CASMA (km 371+500) - TRUJILLO (km 558+520)
RUTA: 001N Carretera Panamericana Norte
FECHA : Junio del 2000
PRESION DE NEUMATICO: 30 Lb/Pulg2
VELOCIDAD DEL VEHICULO: 32 Km/h **CARRIL:** SUR - NORTE

SECCION		SUPERFICIE DE RODADURA					LECTURAS BUMP INTEGRATOR (BI)			IRI
DEL (Km)	AL (Km)	AFIRM	TS	BG	BA	CA	serie1	serie2	Promedio	m/Km
419	420					X	48	47	47.5	2.28
420	421					X	36	39	37.5	2.06
421	422					X	50	51	50.5	2.35
422	423					X	71	72	71.5	2.82
423	424					X	56	51	53.5	2.42
424	425					X	66	71	68.5	2.75
425	426					X	44	46	45.0	2.23
426	427					X	63	58	60.5	2.57
427	428					X	102	106	104.0	3.56
428	429					X	103	106	104.5	3.58
429	430					X	82	86	84.0	3.10
430	431					X	115	118	116.5	3.86
431	432.2						176	171	173.5	5.23
432.2	433						74	91	82.5	3.07
433	434						112	107	109.5	3.69
434	435						73	73	73.0	2.85
435	436						79	73	76.0	2.92
436	437						73	67	70.0	2.78
437	438						62	62	62.0	2.61
438	439						71	69	70.0	2.78
439	440					X	80	79	79.5	3.00
440	441					X	66	63	64.5	2.66
441	442					X	73	81	77.0	2.94
442	443					X	38	33	35.5	2.02
443	444					X	49	55	52.0	2.38
444	445					X	58	59	58.5	2.53
445	446					X	95	90	92.5	3.30
446	447					X	54	49	51.5	2.37
447	448					X	39	48	43.5	2.19
448	449					X	39	50	44.5	2.22
449	450					X	48	46	47.0	2.27
450	451					X	37	44	40.5	2.13
451	452					X	40	42	41.0	2.14
452	453					X	31	35	33.0	1.96
453	454					X	36	34	35.0	2.01
454	455					X	33	31	32.0	1.94
455	456					X	35	35	35.0	2.01
456	457					X	36	34	35.0	2.01
457	458					X	31	34	32.5	1.95
458	459					X	35	39	37.0	2.05
459	460					X	33	38	35.5	2.02
460	461					X	35	33	34.0	1.99
461	462					X	49	45	47.0	2.27
462	463					X	46	46	46.0	2.25
463	464					X	48	43	45.5	2.24
464	465					X	51	50	50.5	2.35
465	466					X	50	55	52.5	2.39
466	467					X	44	46	45.0	2.23

AFIRM: Afirmado TS: Tratamiento Superficial BG: Base Granular BA: Base Asfáltica CA: Carpeta Asfáltica

Cuadro 7.9.2
HOJA DE DATOS

PROYECTO: Estudio Definitivo de Rehabilitación de Carreteras Afectadas por el Fenómeno El Niño
TRAMO: CASMA (km 371+500) - TRUJILLO (km 558+520)
RUTA: 001N Carretera Panamericana Norte
FECHA : Junio del 2000
PRESION DE NEUMATICO: 30 Lb/Pulg²
VELOCIDAD DEL VEHICULO: 32 Km/h **CARRIL:** SUR - NORTE

SECCION		SUPERFICIE DE RODADURA					LECTURAS BUMP INTEGRATOR (BI)			IRI
DEL (Km)	AL (Km)	AFIRM	TS	BG	BA	CA	serie1	serie2	Promedio	m/Km
467	468					X	56	51	53.5	2.42
468	469					X	48	44	46.0	2.25
469	470					X	48	42	45.0	2.23
470	471					X	49	47	48.0	2.29
471	472					X	41	46	43.5	2.19
472	473					X	48	47	47.5	2.28
473	474					X	49	43	46.0	2.25
474	475					X	42	44	43.0	2.18
475	476					X	47	48	47.5	2.28
476	477					X	47	49	48.0	2.29
477	478					X	54	50	52.0	2.38
478	479					X	35	39	37.0	2.05
479	480					X	36	32	34.0	1.99
480	481					X	47	44	45.5	2.24
481	482					X	45	43	44.0	2.21
482	483					X	44	47	45.5	2.24
483	484					X	33	38	35.5	2.02
484	485					X	33	36	34.5	2.00
485	486					X	30	32	31.0	1.92
486	487					X	37	36	36.5	2.04
487	488					X	28	31	29.5	1.89
488	489					X	33	35	34.0	1.99
489	490					X	42	40	41.0	2.14
490	491					X	66	57	61.5	2.59
491	492					X	32	35	33.5	1.98
492	493					X	25	28	26.5	1.82
493	494					X	31	33	32.0	1.94
494	495					X	35	32	33.5	1.98
495	496					X	31	34	32.5	1.95
496	497					X	32	31	31.5	1.93
497	498					X	42	40	41.0	2.14
498	499					X	43	47	45.0	2.23
499	500					X	47	53	50.0	2.34
500	501					X	56	61	58.5	2.53
501	502					X	50	52	51.0	2.36
502	503					X	52	56	54.0	2.43
503	504					X	52	48	50.0	2.34
504	505					X	42	44	43.0	2.18
505	506					X	35	41	38.0	2.07
506	507					X	32	38	35.0	2.01
507	508					X	33	35	34.0	1.99
508	509					X	35	34	34.5	2.00
509	510					X	32	34	33.0	1.96
510	511					X	45	40	42.5	2.17
511	512					X	36	39	37.5	2.06
512	513					X	38	37	37.5	2.06
513	514					X	44	41	42.5	2.17
514	515					X	76	73	74.5	2.89

AFIRM: Afirmado TS: Tratamiento Superficial BG: Base Granular BA: Base Asfáltica CA: Carpeta Asfáltica

Cuadro 7.9.2
HOJA DE DATOS

PROYECTO: Estudio Definitivo de Rehabilitación de Carreteras Afectadas por el Fenómeno El Niño
TRAMO: CASMA (km 371+500) - TRUJILLO (km 558+520)
RUTA: 001N Carretera Panamericana Norte
FECHA : Junio del 2000
PRESION DE NEUMATICO: 30 Lb/Pulg²
VELOCIDAD DEL VEHICULO: 32 Km/h **CARRIL:** SUR - NORTE

SECCION		SUPERFICIE DE RODADURA					LECTURAS BUMP INTEGRATOR (BI)			IRI
DEL (Km)	AL (Km)	AFIRM	TS	BG	BA	CA	serie1	serie2	Promedio	m/Km
515	516					X	48	52	50.0	2.34
516	517					X	33	36	34.5	2.00
517	518					X	30	33	31.5	1.93
518	519					X	29	32	30.5	1.91
519	520					X	34	29	31.5	1.93
520	521					X	62	58	60.0	2.56
521	522					X	38	41	39.5	2.11
522	523					X	44	44	44.0	2.21
523	524					X	27	32	29.5	1.89
524	525					X	37	30	33.5	1.98
525	526					X	34	36	35.0	2.01
526	527					X	38	37	37.5	2.08
527	528					X	29	33	31.0	1.92
528	529					X	42	38	40.0	2.12
529	530					X	27	33	30.0	1.90
530	531					X	45	41	43.0	2.18
531	532					X	38	38	38.0	2.07
532	533					X	46	42	44.0	2.21
533	534					X	32	36	34.0	1.99
534	535					X	41	40	40.5	2.13
535	536					X	41	44	42.5	2.17
536	537					X	36	39	37.5	2.06
537	538					X	43	39	41.0	2.14
538	539					X	49	49	49.0	2.32
539	540					X	70	73	71.5	2.82
540	541					X	44	41	42.5	2.17
541	542					X	45	38	41.5	2.15
542	543					X	36	41	38.5	2.08
543	544					X	38	33	35.5	2.02
544	545					X	48	47	47.5	2.28
545	546					X	53	51	52.0	2.38
546	547					X	48	46	47.0	2.27
547	548					X	55	60	57.5	2.50
548	549					X	65	63	64.0	2.65
549	550					X	56	51	53.5	2.42
550	551					X	68	65	66.5	2.71
551	552					X	70	68	69.0	2.76
552	553					X	48	57	52.5	2.39
553	554					X	41	37	39.0	2.10
554	555					X	41	39	40.0	2.12
555	556					X	49	46	47.5	2.28
556	557					X	48	47	47.5	2.28
557	558					X	55	60	57.5	2.50
558	558.52					X	28	31	29.5	1.89

AFIRM: Afirmado TS: Tratamiento Superficial BG: Base Granular BA: Base Asfáltica CA: Carpeta Asfáltica

RESULTADOS DE LA EVALUACION

CARRIL N-S

Cuadro 7.11.1

RESULTADOS DE LA EVALUACION DE LA RUGOSIDAD

PROYECTO: ESTUDIO DEFINITIVO DE REHABILITACION DE CARRETERAS
AFECTADAS POR EL FENOMENO EL NIÑO
TRAMO: CASMA - TRUJILLO
PROGRESIVAS: KM. 371+600 - KM. 558+520

RUTA: 001N (CARRETERA PANAMERICANA NORTE)
FECHA: Junio del 2000

CARRIL: Sentido de Norte a Sur

SECCION		LONGITUD SUB TRAMO (Km.)	LECTURA PROM. RUGOSIMETRO (BI)	IRI m/Km	PSI SECCION	TRANSIBILIDAD SECCION	IRI PROMEDIO	DESVIACION ESTANDAR	COEFICIENTE DE VARIACION (%)	PSI SUB TRAMO	TRANSIBILIDAD SUB TRAMO
DEL (Km)	AL (Km)										
371+600	372	2.50	56.5	2.48	3.18	BUENO	2.56	0.08	3.1%	3.14	BUENO
372	373		60.0	2.58	3.14	BUENO					
373	374		63.5	2.64	3.09	BUENO					
374	375	4.00	93.0	3.31	2.74	REGULAR	3.08	0.20	6.4%	2.86	REGULAR
375	376		83.5	3.09	2.85	REGULAR					
376	377		83.5	3.09	2.85	REGULAR					
377	378		72.0	2.83	2.99	REGULAR					
378	379	10.00	44.5	2.22	3.34	BUENO	2.60	0.17	6.6%	3.12	BUENO
379	380		66.0	2.69	3.06	BUENO					
380	381		60.5	2.57	3.13	BUENO					
381	382		58.5	2.53	3.16	BUENO					
382	383		64.0	2.65	3.09	BUENO					
383	384		67.5	2.73	3.04	BUENO					
384	385		55.5	2.46	3.20	BUENO					
385	386		72.5	2.84	2.98	REGULAR					
386	387		63.0	2.63	3.10	BUENO					
387	388		64.5	2.66	3.08	BUENO					
388	389	7.00	75.0	2.90	2.95	REGULAR	3.04	0.34	11.2%	2.88	REGULAR
389	390		73.0	2.85	2.98	REGULAR					
390	391		75.0	2.90	2.95	REGULAR					
391	392		67.0	2.72	3.05	BUENO					
392	393		78.0	2.97	2.92	REGULAR					
393	394		111.0	3.73	2.54	REGULAR					
394	395	89.5	3.23	2.78	REGULAR	2.48	0.11	4.4%	3.19	BUENO	
395	396	55.0	2.45	3.20	BUENO						
396	397	61.5	2.59	3.12	BUENO						
397	398	52.0	2.38	3.24	BUENO						
398	399	3.00	75.0	2.90	2.95	REGULAR	3.07	0.21	6.7%	2.86	REGULAR
399	400		80.0	3.01	2.89	REGULAR					
400	401		92.5	3.30	2.75	REGULAR					

Cuadro 7.11.1

RESULTADOS DE LA EVALUACION DE LA RUGOSIDAD

PROYECTO: ESTUDIO DEFINITIVO DE REHABILITACION DE CARRETERAS
AFECTADAS POR EL FENOMENO EL NIÑO
TRAMO: CASMA - TRUJILLO
PROGRESIVAS: KM. 371+600 - KM. 568+620

RUTA: 001N (CARRETERA PANAMERICANA NORTE)
FECHA: Junio del 2000

CARRIL: Sentido de Norte a Sur

SECCION		LONGITUD SUB TRAMO (Km.)	LECTURA PROM. RUGOSIMETRO (BI)	IRI m/Km	PSI SECCION	TRANSITABILIDAD SECCION	IRI PROMEDIO	DESVIACION ESTANDAR	COEFICIENTE DE VARIACION (%)	PSI SUB TRAMO	TRANSITABILIDAD SUB TRAMO
DEL (Km)	AL (Km)										
401	402	25.00	67.5	2.73	3.04	BUENO	2.54	0.19	7.7%	3.15	BUENO
402	403		60.5	2.97	3.13	BUENO					
403	404		63.5	2.64	3.09	BUENO					
404	405		66.5	2.71	3.06	BUENO					
405	406		66.0	2.67	3.08	BUENO					
406	407		66.0	2.69	3.06	BUENO					
407	408		63.0	2.63	3.10	BUENO					
408	409		64.5	2.66	3.08	BUENO					
409	410		58.0	2.52	3.16	BUENO					
410	411		63.0	2.63	3.10	BUENO					
411	412		64.5	2.66	3.08	BUENO					
412	413		63.5	2.64	3.09	BUENO					
413	414		54.5	2.44	3.21	BUENO					
414	415		64.0	2.65	3.09	BUENO					
415	416		65.0	2.67	3.08	BUENO					
416	417		54.0	2.43	3.22	BUENO					
417	418		57.0	2.49	3.18	BUENO					
418	419		44.5	2.22	3.34	BUENO					
419	420		41.5	2.15	3.38	BUENO					
420	421		47.0	2.27	3.31	BUENO					
421	422		78.0	2.97	2.92	REGULAR					
422	423		48.0	2.29	3.29	BUENO					
423	424		61.0	2.58	3.13	BUENO					
424	425		44.5	2.22	3.34	BUENO					
425	426		56.5	2.46	3.20	BUENO					
426	427	73	2.85	2.96	REGULAR						
427	428	100.5	3.48	2.65	REGULAR						
428	429	77.5	2.95	2.92	REGULAR						
429	430	80.5	3.02	2.89	REGULAR						
430	431	126.5	4.09	2.38	REGULAR						
431	432+200	1.20	173.0	5.22	1.94	MALO	5.22		15.7%	1.94	MALO
432+200	433	1.80	93.5	3.32	2.73	REGULAR	3.47	0.20	5.9%	2.66	REGULAR
433	434		106.0	3.61	2.59	REGULAR					
434	435	12.00	66.5	2.68	3.07	BUENO	2.74	0.33	11.9%	3.04	BUENO
435	436		68.5	2.77	3.02	BUENO					
436	437		76.5	2.93	2.93	REGULAR					
437	438		64.0	2.65	3.09	BUENO					
438	439		69.5	2.77	3.02	BUENO					
439	440		81.0	3.03	2.88	REGULAR					
440	441		48.5	2.30	3.29	BUENO					
441	442		79.5	3.00	2.90	REGULAR					
442	443		39.5	2.11	3.41	BUENO					
443	444		62.0	2.61	3.11	BUENO					
444	445		64.5	2.68	3.08	BUENO					
445	446		94.0	3.33	2.73	REGULAR					

Cuadro 7.11.1

RESULTADOS DE LA EVALUACION DE LA RUGOSIDAD

PROYECTO: ESTUDIO DEFINITIVO DE REHABILITACION DE CARRETERAS
 AFECTADAS POR EL FENOMENO EL NIÑO
 TRAMO: CASMA - TRUJILLO
 PROGRESIVAS: KM. 371+500 - KM. 568+520

RUTA: 001N (CARRETERA PANAMERICANA NORTE)
 FECHA: Junio del 2000

CARRIL: Sentido de Norte a Sur

SECCION		LONGITUD SUB TRAMO (Km.)	LECTURA PROM. RUGOSIMETRO (BI)	IRI m/Km	PSI SECCION	TRANSITABILIDAD SECCION	IRI PROMEDIO	DESVIACION ESTANDAR	COEFICIENTE DE VARIACION (%)	PSI SUB TRAMO	TRANSITABILIDAD SUB TRAMO
DEL (Km)	AL (Km)										
446	447	112.52	52.0	2.38	3.24	BUENO	2.22	0.19	8.6%	3.34	BUENO
447	448		46.0	2.25	3.32	BUENO					
448	449		48.5	2.30	3.29	BUENO					
449	450		51.5	2.37	3.25	BUENO					
450	451		40.5	2.13	3.40	BUENO					
451	452		43.0	2.18	3.36	BUENO					
452	453		36.5	2.04	3.45	BUENO					
453	454		49.5	2.33	3.28	BUENO					
454	455		33.5	1.98	3.49	BUENO					
455	456		36.5	2.04	3.45	BUENO					
456	457		33.5	1.98	3.49	BUENO					
457	458		36.0	2.01	3.47	BUENO					
458	459		37.5	2.06	3.44	BUENO					
459	460		36.5	2.02	3.46	BUENO					
460	461		43.5	2.19	3.35	BUENO					
461	462		35.0	2.01	3.47	BUENO					
462	463		45.5	2.24	3.33	BUENO					
463	464		57.0	2.49	3.18	BUENO					
464	466		45.5	2.24	3.33	BUENO					
466	466		53.0	2.40	3.23	BUENO					
466	467		40.5	2.13	3.40	BUENO					
467	468		54.0	2.43	3.22	BUENO					
468	469		42.0	2.16	3.38	BUENO					
469	470		52.0	2.38	3.24	BUENO					
470	471		56.5	2.46	3.20	BUENO					
471	472		46.5	2.26	3.31	BUENO					
472	473		46.0	2.25	3.32	BUENO					
473	474		44.5	2.22	3.34	BUENO					
474	475		41.5	2.15	3.38	BUENO					
475	476		48.0	2.29	3.29	BUENO					
476	477		39.0	2.10	3.42	BUENO					
477	478		45.0	2.23	3.33	BUENO					
478	479	42.0	2.16	3.38	BUENO						
479	480	43.5	2.19	3.35	BUENO						

Cuadro 7.11.1

RESULTADOS DE LA EVALUACION DE LA RUGOSIDAD

PROYECTO: ESTUDIO DEFINITIVO DE REHABILITACION DE CARRETERAS
 AFECTADAS POR EL FENOMENO EL NIÑO
 TRAMO: CASMA - TRUJILLO
 PROGRESIVAS: KM. 371+600 - KM. 658+520

RUTA: 001N (CARRETERA PANAMERICANA NORTE)
 FECHA: Junio del 2000

CARRIL: Sentido de Norte a Sur

SECCION		LONGITUD SUB TRAMO (Km.)	LECTURA PROM. RUGOSIMETRO (B)	IRI m/Km	PSI SECCION	TRANSITABILIDAD SECCION	IRI PROMEDIO	DESVIACION ESTANDAR	COEFICIENTE DE VARIACION (%)	PSI SUB TRAMO	TRANSITABILIDAD SUB TRAMO
DEL (Km)	AL (Km)										
480	481	112.52	42.5	2.17	3.37	BUENO	2.22	0.19	8.6%	3.34	BUENO
481	482		58.0	2.52	3.16	BUENO					
482	483		44.5	2.22	3.34	BUENO					
483	484		46.0	2.25	3.32	BUENO					
484	485		29.5	1.89	3.55	BUENO					
485	486		40.0	2.12	3.40	BUENO					
486	487		32.5	1.95	3.51	BUENO					
487	488		38.5	2.11	3.41	BUENO					
488	489		46.5	2.26	3.31	BUENO					
489	490		46.5	2.26	3.31	BUENO					
490	491		69.0	2.76	3.03	BUENO					
491	492		41.0	2.14	3.39	BUENO					
492	493		37.5	2.06	3.44	BUENO					
493	494		43.5	2.19	3.35	BUENO					
494	495		47.5	2.28	3.30	BUENO					
495	496		36.0	2.03	3.46	BUENO					
496	497		39.0	2.10	3.42	BUENO					
497	498		44.0	2.21	3.35	BUENO					
498	499		33.5	1.98	3.49	BUENO					
499	500		38.5	2.08	3.42	BUENO					
500	501		55.5	2.46	3.20	BUENO					
501	502		51.5	2.37	3.25	BUENO					
502	503		51.5	2.37	3.25	BUENO					
503	504		52.0	2.38	3.24	BUENO					
504	505		49.0	2.32	3.28	BUENO					
505	506		33.0	1.96	3.50	BUENO					
506	507		32.5	1.95	3.51	BUENO					
507	508		33.5	1.98	3.49	BUENO					
508	509		42.5	2.17	3.37	BUENO					
509	510		41.5	2.15	3.38	BUENO					
510	511		46.5	2.26	3.31	BUENO					
511	512		46.5	2.26	3.31	BUENO					
512	513	29.5	1.89	3.55	BUENO						
513	514	34.0	1.96	3.48	BUENO						
514	515	69.0	2.74	3.04	BUENO						
515	516	59.0	2.54	3.15	BUENO						
516	517	34.5	2.00	3.48	BUENO						
517	518	33.0	1.96	3.50	BUENO						
518	519	39.0	2.10	3.42	BUENO						
519	520	39.0	2.10	3.42	BUENO						

Cuadro 7.11.1

RESULTADOS DE LA EVALUACION DE LA RUGOSIDAD

PROYECTO: ESTUDIO DEFINITIVO DE REHABILITACION DE CARRETERAS
 AFECTADAS POR EL FENOMENO EL NIÑO
 TRAMO: CASMA - TRUJILLO
 PROGRESNAS: KM. 371+500 - KM. 558+520

RUTA: 001N (CARRETERA PANAMERICANA NORTE)
 FECHA: Junio del 2000

CARRIL: Sentido de Norte a Sur

SECCION		LONGITUD SUB TRAMO (Km.)	LECTURA PROM. RUGOSIMETRO (BI)	IRI m/Km	PSI SECCION	TRANSITABILIDAD SECCION	IRI PROMEDIO	DESVIACION ESTANDAR	COEFICIENTE DE VARIACION (%)	PSI SUB TRAMO	TRANSITABILIDAD SUB TRAMO
DEL (Km)	AL (Km)										
520	521	112.52	62.0	2.61	3.11	BUENO	2.22	0.19	8.6%	3.34	BUENO
521	522		37.5	2.08	3.44	BUENO					
522	523		35.5	2.02	3.48	BUENO					
523	524		34.5	2.00	3.48	BUENO					
524	525		37.5	2.08	3.44	BUENO					
525	526		38.5	2.08	3.42	BUENO					
526	527		41.0	2.14	3.39	BUENO					
527	528		42.0	2.16	3.38	BUENO					
528	529		41.0	2.14	3.39	BUENO					
529	530		36.5	2.04	3.45	BUENO					
530	531		42.5	2.17	3.37	BUENO					
531	532		34.0	1.99	3.48	BUENO					
532	533		35.5	2.02	3.48	BUENO					
533	534		41.0	2.14	3.39	BUENO					
534	535		36.5	2.04	3.45	BUENO					
535	536		38.5	2.08	3.42	BUENO					
536	537		35.5	2.02	3.48	BUENO					
537	538		44.5	2.22	3.34	BUENO					
538	539		57.0	2.49	3.18	BUENO					
539	540		69.5	2.77	3.02	BUENO					
540	541		49.0	2.32	3.28	BUENO					
541	542		42.0	2.16	3.38	BUENO					
542	543		40.5	2.13	3.40	BUENO					
543	544		45.0	2.23	3.33	BUENO					
544	545		48.5	2.30	3.29	BUENO					
545	546		49.0	2.32	3.28	BUENO					
546	547		47.0	2.27	3.31	BUENO					
547	548		56.0	2.52	3.16	BUENO					
548	549		52.0	2.38	3.24	BUENO					
549	550		54.0	2.43	3.22	BUENO					
550	551		60.5	2.57	3.13	BUENO					
551	552		51.0	2.36	3.28	BUENO					
552	553	55.0	2.45	3.20	BUENO						
553	554	44.0	2.21	3.35	BUENO						
554	555	48.5	2.30	3.28	BUENO						
555	556	55.5	2.46	3.20	BUENO						
556	557	60.0	2.56	3.14	BUENO						
557	558	58.0	2.52	3.16	BUENO						
558	558+520	40.0	2.12	3.40	BUENO						

Cuadro 7.12.1

RESUMEN DE LA EVALUACION DE LA RUGOSIDAD DE PAVIMENTOS

PROYECTO: ESTUDIO DEFINITIVO DE REHABILITACION DE CARRETERAS
 AFECTADAS POR EL FENOMENO EL NIÑO
RUTA: 001N (CARRETERA PANAMERICANA NORTE)
TRAMO: CASMA - TRUJILLO
PROGRESIVAS: KM. 371+500 - KM. 558+520
FECHA : Junio del 2000

SUB TRAMOS		LONGITUD KM	CARRIL N-S					Transitabilidad
Del (Km)	Al (Km)		IRI PROM.	DESV. EST.	COEF. VAR.	PSI		
371.50	374.00	2.50	2.56	0.08	3.1%	3.14	BUENO	
374.00	378.00	4.00	3.08	0.20	6.4%	2.86	REGULAR	
378.00	388.00	10.00	2.60	0.17	6.6%	3.12	BUENO	
388.00	395.00	7.00	3.04	0.34	11.2%	2.88	REGULAR	
395.00	398.00	3.00	2.48	0.11	4.4%	3.19	BUENO	
398.00	401.00	3.00	3.07	0.21	6.7%	2.86	REGULAR	
401.00	426.00	25.00	2.54	0.19	7.7%	3.15	BUENO	
426.00	431.00	5.00	3.28	0.51	15.7%	2.75	REGULAR	
431.00	432.20	1.20	5.22	0.00	0.0%	1.94	MALO	
432.20	434.00	1.80	3.47	0.20	5.9%	2.66	REGULAR	
434.00	446.00	12.00	2.74	0.33	11.9%	3.04	BUENO	
446.00	558.50	112.50	2.22	0.19	8.6%	3.34	BUENO	
TRAMO TOTAL								
371.50	558.50	187.00	2.44	0.43	17.6%	3.21	BUENO	

TRANSITABILIDAD	Carril N-S	
	LONGITUD (Km)	%
MUY BUENO	0.00	0%
BUENO	165.00	88%
REGULAR	20.80	11%
MALO	1.20	1%
MUY MALO	0.00	0%

RESULTADOS DE LA EVALUACION

CARRIL S-N

Cuadro 7.11.2

RESULTADOS DE LA EVALUACION DE LA RUGOSIDAD

PROYECTO: ESTUDIO DEFINITIVO DE REHABILITACION DE CARRETERAS
 AFECTADAS POR EL FENOMENO EL NIÑO
 TRAMO: CASMA - TRUJILLO
 PROGRESIVAS: KM. 371+500 - KM. 558+520

RUTA: 001N (CARRETERA PANAMERICANA NORTE)
 FECHA: Junio del 2000

CARRIL: Sentido de Sur a Norte

SECCION		LONGITUD SUB TRAMO (Km.)	LECTURA PROM. RUGOSIMETRO (R)	IRI m/Km	PSI SECCION	TRANSIBILIDAD SECCION	IRI PROMEDIO	DESVIACION ESTANDAR	COEFICIENTE DE VARIACION (%)	PSI SUB TRAMO	TRANSIBILIDAD SUB TRAMO
DEL (Km)	AL (Km)										
371+500	372	2.50	62.5	2.82	3.11	BUENO	2.68	0.08	2.9%	3.07	BUENO
372	373		64.0	2.65	3.09	BUENO					
373	374		69.0	2.76	3.03	BUENO					
374	375	3.00	66.0	3.15	2.82	REGULAR	3.01	0.32	10.8%	2.89	REGULAR
375	376		63.5	2.64	3.09	BUENO					
376	377		90.0	3.24	2.77	REGULAR					
377	378	10.00	83.0	2.63	3.10	BUENO	2.63	0.17	6.6%	3.10	BUENO
378	379		45.5	2.24	3.33	BUENO					
379	380		61.0	2.58	3.13	BUENO					
380	381		56.0	2.45	3.20	BUENO					
381	382		61.5	2.59	3.12	BUENO					
382	383		66.5	2.71	3.06	BUENO					
383	384		70.5	2.80	3.01	BUENO					
384	385		69.0	2.76	3.03	BUENO					
385	386		69.0	2.76	3.03	BUENO					
386	387		68.5	2.75	3.03	BUENO					
387	388	80.5	3.02	2.89	REGULAR	3.15	0.31	9.9%	2.82	REGULAR	
388	389	74.5	2.89	2.96	REGULAR						
389	390	88.0	3.19	2.80	REGULAR						
390	391	8.00	74.5	2.89	2.96	REGULAR	3.15	0.31	9.9%	2.82	REGULAR
391	392		71.0	2.81	3.00	BUENO					
392	393		90.5	3.25	2.77	REGULAR					
393	394	4.00	109.0	3.68	2.56	REGULAR	3.06	0.28	9.2%	2.87	REGULAR
394	395		101.0	3.49	2.65	REGULAR					
395	396		65.0	2.67	3.08	BUENO					
396	397	4.00	68.5	2.75	3.03	BUENO	2.73	0.07	2.4%	3.05	BUENO
397	398		66.0	2.67	3.06	BUENO					
398	399		71.0	2.81	3.00	BUENO					
399	400	4.00	74.0	2.86	2.95	REGULAR	3.06	0.28	9.2%	2.87	REGULAR
400	401		98.5	3.44	2.68	REGULAR					
401	402		83.5	3.09	2.85	REGULAR					
402	403		71.5	2.82	2.99	REGULAR					

Cuadro 7.11.2

RESULTADOS DE LA EVALUACION DE LA RUGOSIDAD

PROYECTO: ESTUDIO DEFINITIVO DE REHABILITACION DE CARRETERAS
AFECTADAS POR EL FENOMENO EL NIÑO
TRAMO: CASMA - TRUJILLO
PROGRESIVAS: KM. 371+500 - KM. 558+520

RUTA: 001N (CARRETERA PANAMERICANA NORTE)
FECHA: Junio del 2000

CARRIL: Sentido de Sur a Norte

SECCION		LONGITUD SUB TRAMO (Km.)	LECTURA PROM. RUGOSIMETRO (BI)	IRI m/Km	PSI SECCION	TRANSITABILIDAD SECCION	IRI PROMEDIO	DESVIACION ESTANDAR	COEFICIENTE DE VARIACION (%)	PSI SUB TRAMO	TRANSITABILIDAD SUB TRAMO
DEL(Km)	AL (Km)										
403	404	24.00	52.5	2.39	3.24	BUENO	2.57	0.21	8.2%	3.13	BUENO
404	405		53.0	2.63	3.10	BUENO					
405	406		53.5	2.84	3.09	BUENO					
406	407		51.5	2.99	3.12	BUENO					
407	408		58.5	2.53	3.16	BUENO					
408	409		56.5	2.48	3.18	BUENO					
409	410		69.5	2.77	3.02	BUENO					
410	411		73.5	2.86	2.97	REGULAR					
411	412		68.0	2.74	3.04	BUENO					
412	413		63.0	2.63	3.10	BUENO					
413	414		57.5	2.50	3.17	BUENO					
414	415		58.5	2.53	3.16	BUENO					
415	416		60.0	2.56	3.14	BUENO					
416	417		73.0	2.85	2.98	REGULAR					
417	418		67.5	2.73	3.04	BUENO					
418	419		71.0	2.81	3.00	BUENO					
419	420		47.5	2.28	3.30	BUENO					
420	421		37.5	2.05	3.44	BUENO					
421	422		50.5	2.35	3.26	BUENO					
422	423		71.5	2.82	2.99	REGULAR					
423	424		53.5	2.42	3.22	BUENO					
424	425		68.5	2.75	3.03	BUENO					
425	426		45.0	2.23	3.33	BUENO					
426	427		60.5	2.57	3.13	BUENO					
427	428	104.0	3.58	2.82	REGULAR						
428	429	104.5	3.58	2.81	REGULAR						
429	430	84.0	3.10	2.84	REGULAR						
430	431	116.5	3.85	2.48	REGULAR						
431	432+200	1.20	173.5	5.23	1.93	MALO					
432+200	433	3.80	82.5	3.07	2.86	REGULAR	3.13	0.38	12.2%	2.83	REGULAR
433	434		109.5	3.89	2.56	REGULAR					
434	435		73	2.85	2.98	REGULAR					
435	436		76	2.92	2.94	REGULAR					
436	437		70.0	2.78	3.01	BUENO					
437	438		62.0	2.81	3.11	BUENO					
438	439		70.0	2.78	3.01	BUENO					
439	440		79.5	3.00	2.90	REGULAR					
440	441		84.5	2.86	3.08	BUENO					
441	442		77.0	2.94	2.93	REGULAR					
442	443	10.00	35.5	2.02	3.46	BUENO	2.70	0.35	13.1%	3.06	BUENO
443	444		62	2.38	3.24	BUENO					
444	445		58.5	2.53	3.16	BUENO					
445	446		92.5	3.30	2.75	REGULAR					

Cuadro 7.11.2

RESULTADOS DE LA EVALUACION DE LA RUGOSIDAD

PROYECTO: ESTUDIO DEFINITIVO DE REHABILITACION DE CARRETERAS
 AFECTADAS POR EL FENOMENO EL NIÑO
 TRAMO: CASMA - TRUJILLO
 PROGRESIVAS: KM. 371+500 - KM. 558+520

RUTA: 001N (CARRETERA PANAMERICANA NORTE)
 FECHA: Junio del 2000

CARRIL: Sentido de Sur a Norte

SECCION		LONGITUD SUB TRAMO (Km.)	LECTURA PROM. RUGOSIMETRO (SI)	IRI m/Km	PSI SECCION	TRANSITABILIDAD SECCION	IRI PROMEDIO	DESVIACION ESTANDAR	COEFICIENTE DE VARIACION (%)	PSI SUB TRAMO	TRANSITABILIDAD SUB TRAMO
DEL (Km)	AL (Km)										
446	447	112.52	51.5	2.37	3.25	BUENO	2.18	0.21	0.10	3.37	BUENO
447	448		43.5	2.19	3.35	BUENO					
448	449		44.5	2.22	3.34	BUENO					
449	450		47.0	2.27	3.31	BUENO					
450	451		40.5	2.13	3.40	BUENO					
451	452		41.0	2.14	3.39	BUENO					
452	453		33.0	1.96	3.50	BUENO					
453	454		35.0	2.01	3.47	BUENO					
454	455		32.0	1.94	3.51	BUENO					
455	456		35.0	2.01	3.47	BUENO					
456	457		35.0	2.01	3.47	BUENO					
457	458		32.5	1.96	3.51	BUENO					
458	459		37.0	2.05	3.44	BUENO					
459	460		35.5	2.02	3.46	BUENO					
460	461		34.0	1.99	3.48	BUENO					
461	462		47.0	2.27	3.31	BUENO					
462	463		48.0	2.25	3.32	BUENO					
463	464		45.5	2.24	3.33	BUENO					
464	465		30.5	2.35	3.26	BUENO					
465	466		52.5	2.39	3.24	BUENO					
466	467		45.0	2.23	3.33	BUENO					
467	468		53.5	2.42	3.22	BUENO					
468	469		46.0	2.25	3.32	BUENO					
469	470		45.0	2.23	3.33	BUENO					
470	471		48.0	2.29	3.29	BUENO					
471	472		43.5	2.19	3.35	BUENO					
472	473		47.5	2.28	3.30	BUENO					
473	474		46.0	2.25	3.32	BUENO					
474	475		43.0	2.18	3.35	BUENO					
475	476		47.5	2.28	3.30	BUENO					
476	477	48.0	2.29	3.29	BUENO						
477	478	52.0	2.38	3.24	BUENO						
478	479	37.0	2.05	3.44	BUENO						
479	480	34.0	1.99	3.48	BUENO						

Cuadro 7.11.2

RESULTADOS DE LA EVALUACION DE LA RUGOSIDAD

PROYECTO: ESTUDIO DEFINITIVO DE REHABILITACION DE CARRETERAS
 AFECTADAS POR EL FENOMENO EL NIÑO
 TRAMO: CASMA - TRUJILLO
 PROGRESIVAS: KM. 371+500 - KM. 538+520

RUTA: 001N (CARRETERA PANAMERICANA NORTE)
 FECHA: Junio del 2000

CARRIL: **Sentido de Sur a Norte**

SECCION		LONGITUD SUB TRAMO (Km.)	LECTURA PROM. RUGOSMETRO (M)	IRI m/Km	PSI SECCION	TRANSITABILIDAD SECCION	IRI PRMEDIO	DESVIACION ESTANDAR	COEFICIENTE DE VARIACION (%)	PSI SUB TRAMO	TRANSITABILIDAD SUB TRAMO
DEL (Km)	AL (Km)										
480	481	112.52	45.5	2.24	3.33	BUENO	2.18	0.21	9.7%	3.37	BUENO
481	482		44.0	2.21	3.35	BUENO					
482	483		45.5	2.24	3.33	BUENO					
483	484		35.5	2.02	3.46	BUENO					
484	485		34.5	2.00	3.48	BUENO					
485	486		31.0	1.92	3.53	BUENO					
486	487		38.5	2.04	3.45	BUENO					
487	488		29.5	1.89	3.55	BUENO					
488	489		34.0	1.89	3.46	BUENO					
489	490		41.0	2.14	3.39	BUENO					
490	491		61.5	2.59	3.12	BUENO					
491	492		33.5	1.88	3.49	BUENO					
492	493		26.5	1.82	3.59	BUENO					
493	494		32.0	1.94	3.51	BUENO					
494	495		33.5	1.98	3.49	BUENO					
495	496		32.5	1.95	3.51	BUENO					
496	497		31.5	1.93	3.52	BUENO					
497	498		41.0	2.14	3.39	BUENO					
498	499		45.0	2.23	3.33	BUENO					
499	500		50.0	2.34	3.27	BUENO					
500	501		58.5	2.53	3.16	BUENO					
501	502		51.0	2.36	3.26	BUENO					
502	503		54.0	2.43	3.22	BUENO					
503	504		50.0	2.34	3.27	BUENO					
504	505		43.0	2.18	3.36	BUENO					
505	506		38.0	2.07	3.43	BUENO					
506	507		35.0	2.01	3.47	BUENO					
507	508		34.0	1.89	3.48	BUENO					
508	509		34.5	2.00	3.46	BUENO					
509	510		33.0	1.86	3.50	BUENO					
510	511		42.5	2.17	3.37	BUENO					
511	512		37.5	2.06	3.44	BUENO					
512	513		37.5	2.06	3.44	BUENO					
513	514	42.5	2.17	3.37	BUENO						
514	515	74.5	2.89	2.96	REGULAR						
515	516	50.0	2.34	3.27	BUENO						
516	517	34.5	2.00	3.48	BUENO						
517	518	31.5	1.93	3.52	BUENO						
518	519	30.5	1.91	3.53	BUENO						
519	520	31.5	1.83	3.52	BUENO						

Cuadro 7.11.2

RESULTADOS DE LA EVALUACION DE LA RUGOSIDAD

PROYECTO: ESTUDIO DEFINITIVO DE REHABILITACION DE CARRETERAS
 AFECTADAS POR EL FENOMENO EL NIÑO
 TRAMO: CASMA - TRUJILLO
 PROGRESIVAS: KM. 371+500 - KM. 558+520

RUTA: 001N (CARRETERA PANAMERICANA NORTE)
 FECHA: Junio del 2000

CARRIL: Sentido de Sur a Norte

SECCION		LONGITUD SUB TRAMO (Km.)	LECTURA PROM. RUGOSIMETRO (B)	IRI m/Km	PSI SECCION	TRANSITABILIDAD SECCION	IRI PROMEDIO	DESVIACION ESTANDAR	COEFICIENTE DE VARIACION (%)	PSI SUB TRAMO	TRANSITABILIDAD SUB TRAMO
DEL(Km)	AL (Km)										
520	521	112.52	60.0	2.56	3.14	BUENO	2.18	0.21	0.10	3.37	BUENO
521	522		39.5	2.11	3.41	BUENO					
522	523		44.0	2.21	3.35	BUENO					
523	524		29.6	1.89	3.65	BUENO					
524	525		33.8	1.98	3.49	BUENO					
525	526		35.0	2.01	3.47	BUENO					
526	527		37.5	2.05	3.44	BUENO					
527	528		31.0	1.92	3.53	BUENO					
528	529		40.0	2.12	3.40	BUENO					
529	530		30.0	1.90	3.54	BUENO					
530	531		43.0	2.18	3.36	BUENO					
531	532		38	2.07	3.43	BUENO					
532	533		44	2.21	3.35	BUENO					
533	534		34	1.99	3.48	BUENO					
534	535		40.5	2.13	3.40	BUENO					
535	536		42.5	2.17	3.37	BUENO					
536	537		37.5	2.05	3.44	BUENO					
537	538		41	2.14	3.39	BUENO					
538	539		49.0	2.32	3.28	BUENO					
539	540		71.5	2.92	2.99	REGULAR					
540	541		42.5	2.17	3.37	BUENO					
541	542		41.5	2.15	3.38	BUENO					
542	543		38.5	2.06	3.42	BUENO					
543	544		35.5	2.02	3.46	BUENO					
544	545		47.5	2.28	3.30	BUENO					
545	546		52.0	2.38	3.24	BUENO					
546	547		47.0	2.27	3.31	BUENO					
547	548		57.5	2.50	3.17	BUENO					
548	549		64.0	2.55	3.09	BUENO					
549	550		53.5	2.42	3.22	BUENO					
550	551		66.5	2.71	3.05	BUENO					
551	552		69	2.76	3.03	BUENO					
552	553		52.5	2.39	3.24	BUENO					
553	554	39	2.10	3.42	BUENO						
554	555	40	2.12	3.40	BUENO						
555	556	47.5	2.28	3.30	BUENO						
556	557	47.5	2.28	3.30	BUENO						
557	558	57.5	2.50	3.17	BUENO						
558	558+520	29.5	1.89	3.56	BUENO						

Cuadro 7.12.2

RESUMEN DE LA EVALUACION DE LA RUGOSIDAD DE PAVIMENTOS

PROYECTO: ESTUDIO DEFINITIVO DE REHABILITACIÓN DE CARRETERAS
 AFECTADAS POR EL FENOMENO EL NIÑO 11111*
RUTA: 001N (CARRETERA PANAMERICANA NORTE)
TRAMO: CASMA - TRUJILLO
PROGRESIVAS: KM. 371+500 - KM. 558+520
FECHA : Junio del 2000

SUB TRAMOS		LONGITUD KM	CARRIL S-N				Transitabilidad
Del (Km)	Al (Km)		IRI PROM.	DESV. EST.	COEF. VAR.	PSI	
371.50	374.00	2.50	2.68	0.08	2.9%	3.07	BUENO
374.00	377.00	3.00	3.01	0.32	10.8%	2.89	REGULAR
377.00	387.00	10.00	2.63	0.17	6.6%	3.10	BUENO
387.00	395.00	8.00	3.15	0.31	9.9%	2.82	REGULAR
395.00	399.00	4.00	2.73	0.07	2.4%	3.05	BUENO
399.00	403.00	4.00	3.06	0.28	9.2%	2.87	REGULAR
403.00	427.00	24.00	2.57	0.21	8.2%	3.13	BUENO
427.00	431.00	4.00	3.52	0.31	8.9%	2.63	REGULAR
431.00	432.20	1.20	5.23	0.00	0.0%	1.93	MALO
432.20	436.00	3.80	3.13	0.38	12.2%	2.83	REGULAR
436.00	446.00	10.00	2.70	0.35	13.1%	3.06	BUENO
446.00	558.50	112.50	2.18	0.21	9.7%	3.37	BUENO
TRAMO TOTAL							
371.50	558.52	187.02	2.44	0.46	19.0%	3.21	BUENO

TRANSITABILIDAD	Carril S-N	
	LONGITUD (Km)	%
MUY BUENO	0.00	0%
BUENO	163.00	87%
REGULAR	22.80	12%
MALO	1.20	1%
MUY MALO	0.00	0%

GRAFICO DE INDICES DE RUGOSIDAD IRI

DATOS BRUTOS

- **CARRIL N-S**
- **CARRIL S-N**
- **COMPARACION DE AMBOS CARRILES**

Figura 7.4
CARRETERA PANAMERICANA NORTE RN 001N
TRAMO: CASMA - TRUJILLO
GRAFICO DE INDICES DE RUGOSIDAD IRI

CARRIL : NORTE - SUR

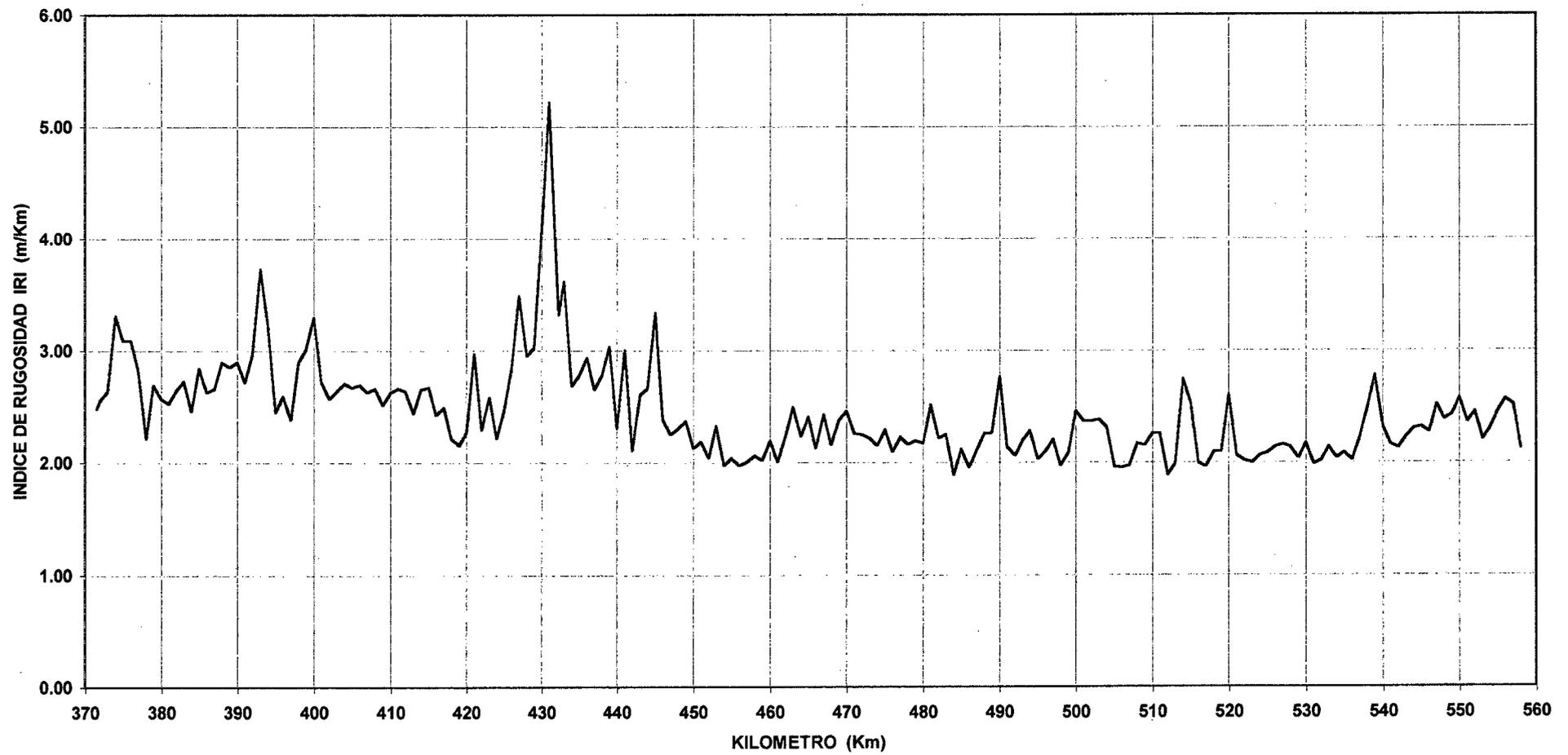


Figura 7.5
CARRETERA PANAMERICANA NORTE RN 001N
TRAMO: CASMA - TRUJILLO
GRAFICO DE INDICES DE RUGOSIDAD IRI

CARRIL : SUR - NORTE

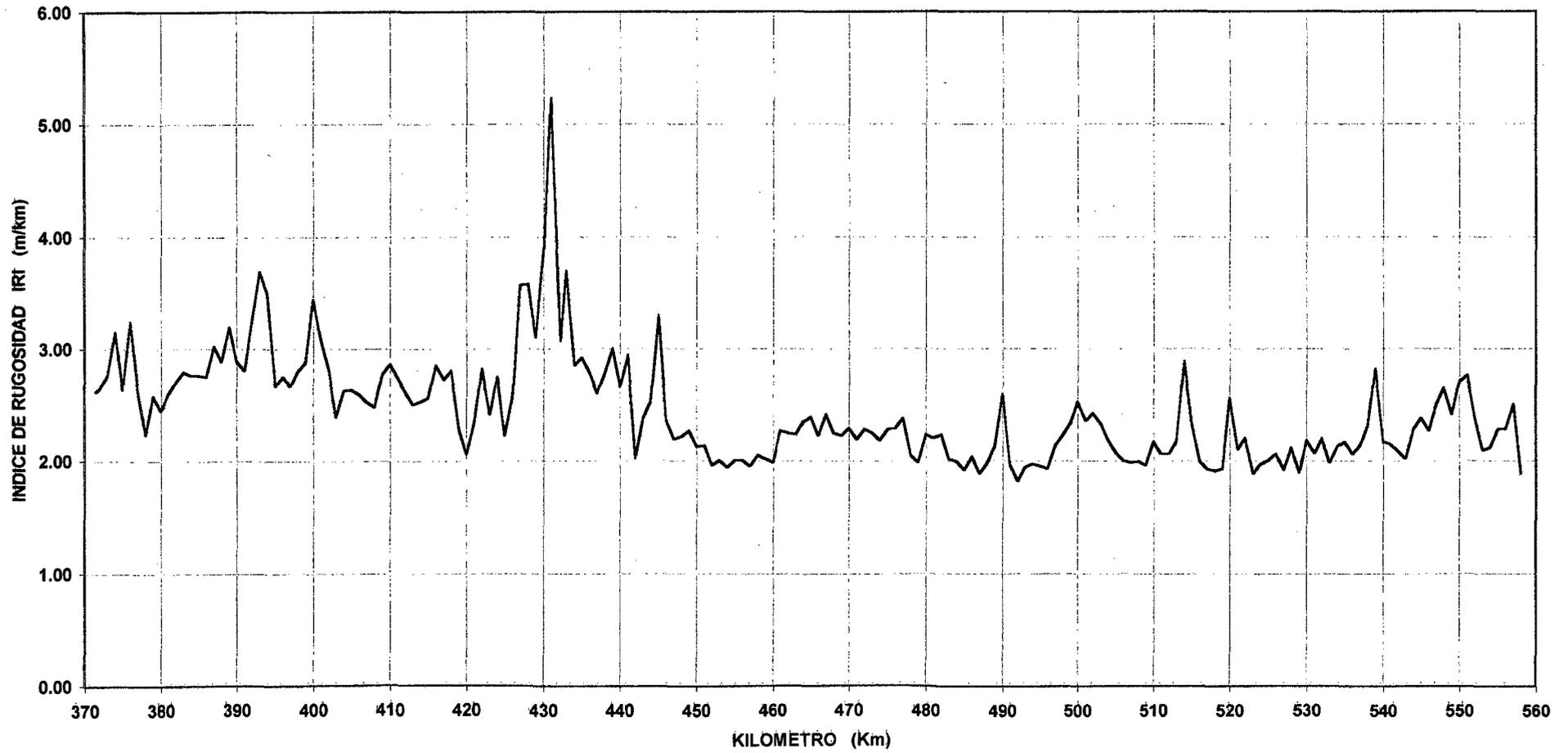


Figura 7.6
CARRETERA PANAMERICANA NORTE RN 001N
TRAMO: CASMA - TRUJILLO
GRAFICO DE INDICES DE RUGOSIDAD IRI
Ambos Carriles

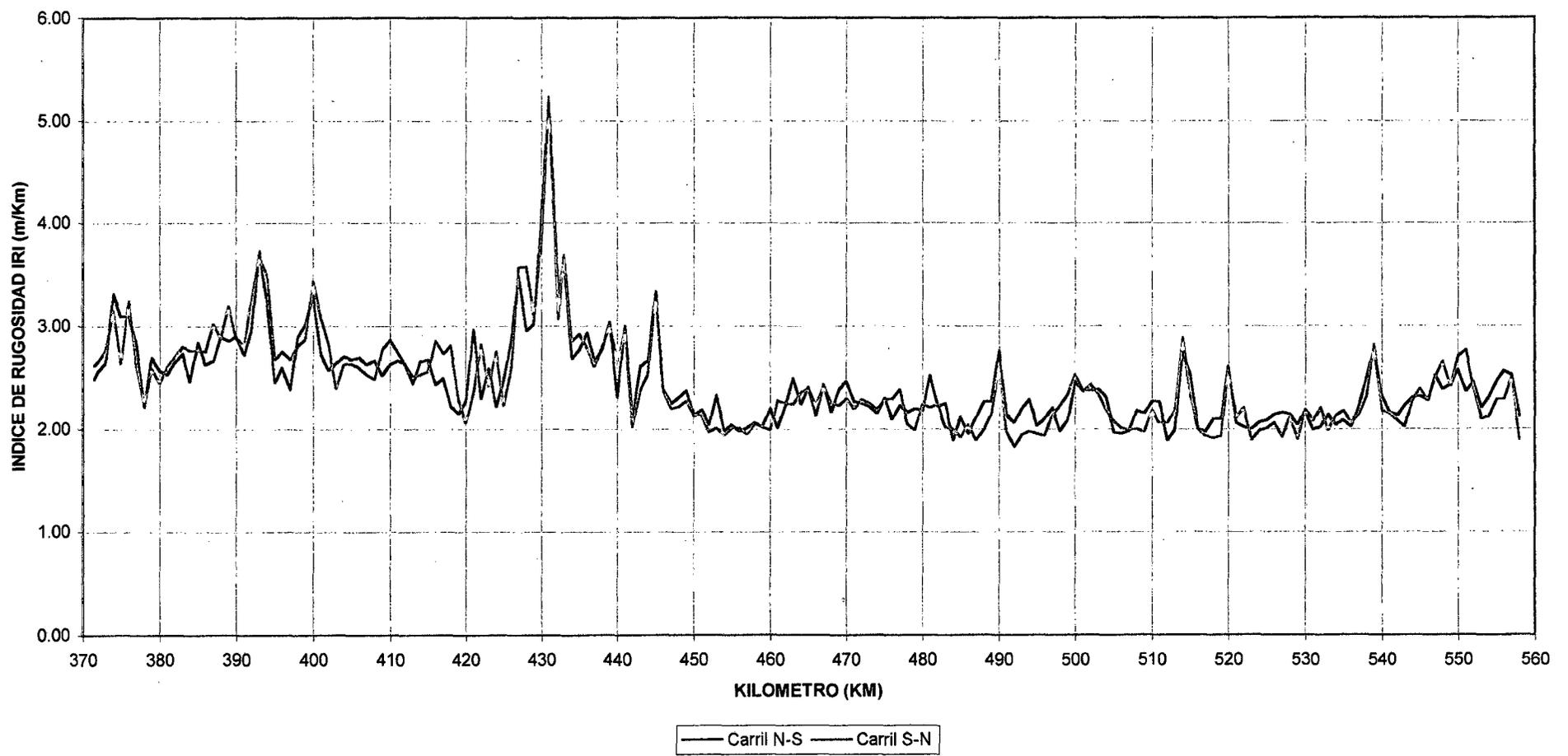


GRAFICO DE INDICES DE RUGOSIDAD IRI

POR SUB TRAMOS

- **CARRIL N-S**
- **CARRIL S-N**
- **COMPARACION DE AMBOS CARRILES**

Figura 7.7
CARRETERA PANAMERICANA NORTE RN 001N
TRAMO: CASMA - TRUJILLO
GRAFICO DE INDICES DE RUGOSIDAD IRI
Sub Tramos

CARRIL : NORTE - SUR

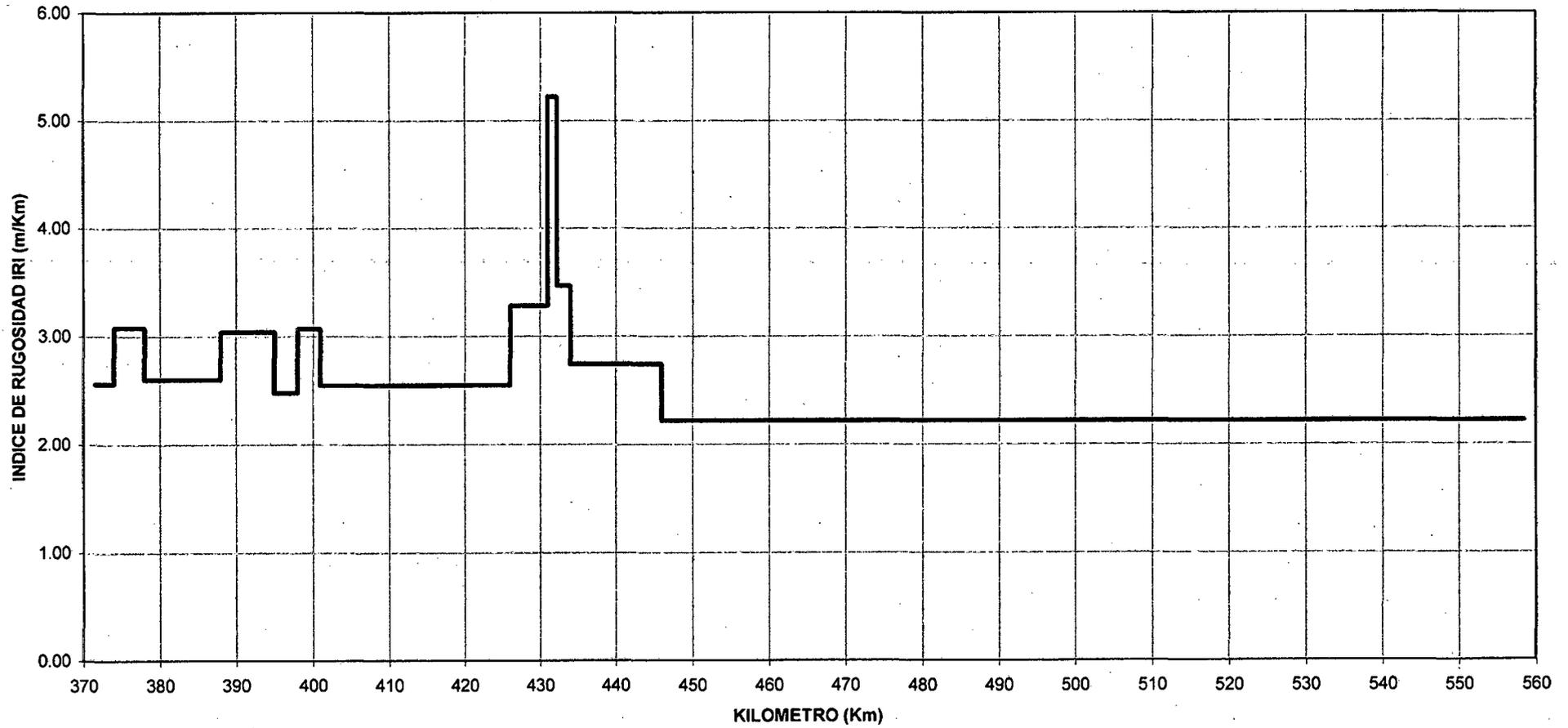


Figura 7.8
CARRETERA PANAMERICANA NORTE RN 001N
TRAMO: CASMA - TRUJILLO
GRAFICO DE INDICES DE RUGOSIDAD IRI
Sub Tramos

CARRIL: SUR - NORTE

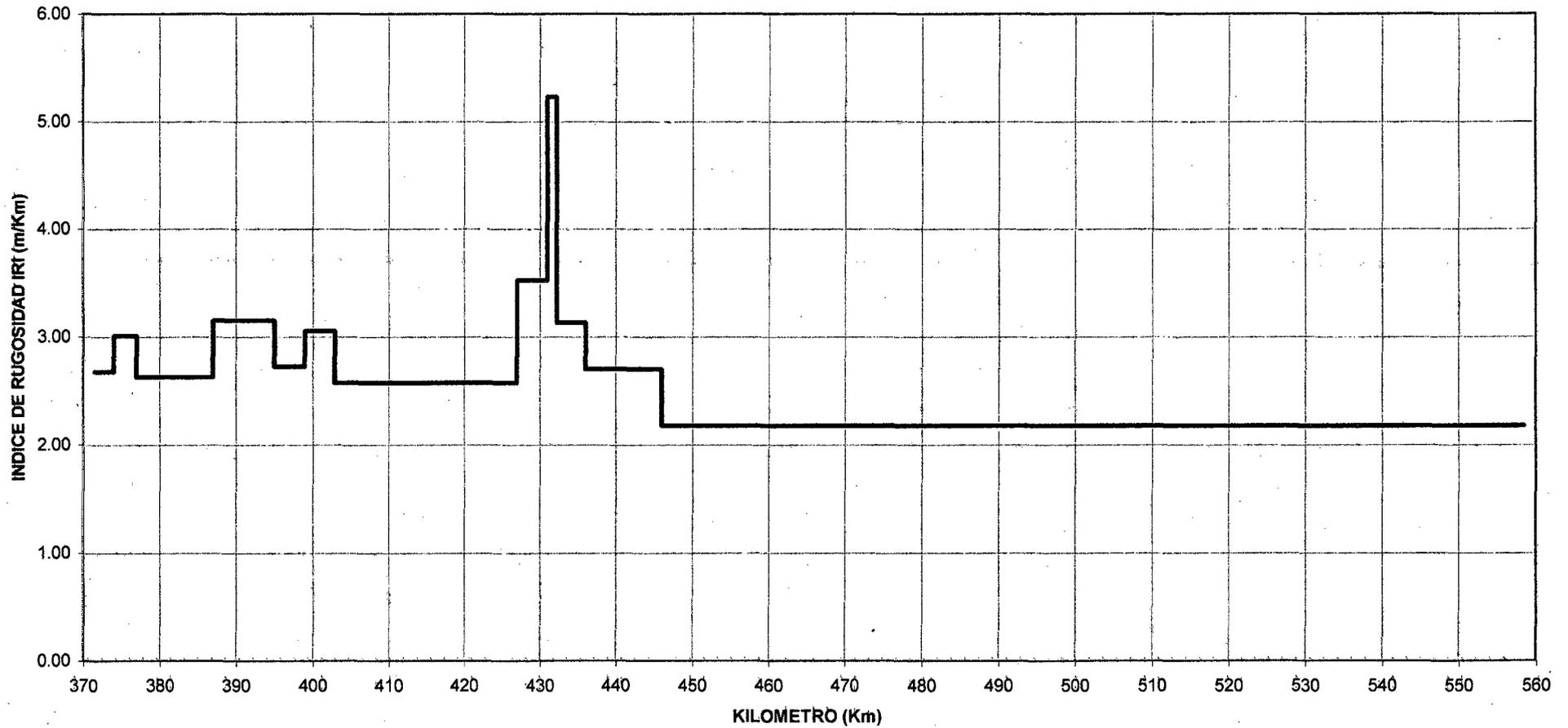


Figura 7.9
CARRETERA PANAMERICANA NORTE RN 001N
TRAMO: CASMA - TRUJILLO
GRAFICO DE INDICES DE RUGOSIDAD IRI
Ambos Carriles

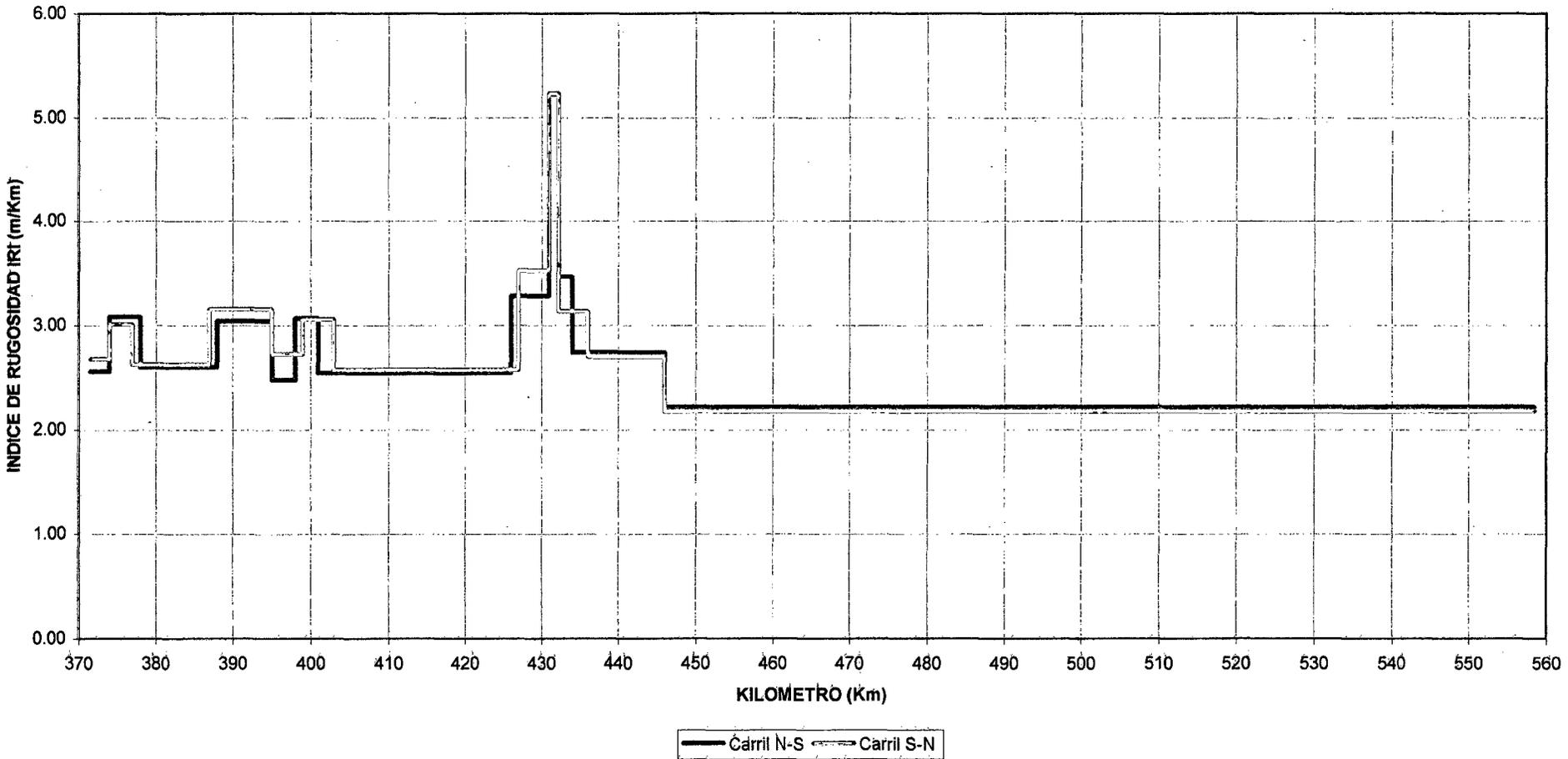


GRAFICO DE INDICES DE SERVICIABILIDAD PSI

- **CARRIL N-S**
- **CARRIL S-N**
- **COMPARACION DE AMBOS CARRILES**

Figura 7.10
CARRETERA PANAMERICANA NORTE RN 001N
TRAMO: CASMA - TRUJILLO
GRAFICO DE INDICES DE SERVICIABILIDAD PSI

CARRIL : NORTE - SUR

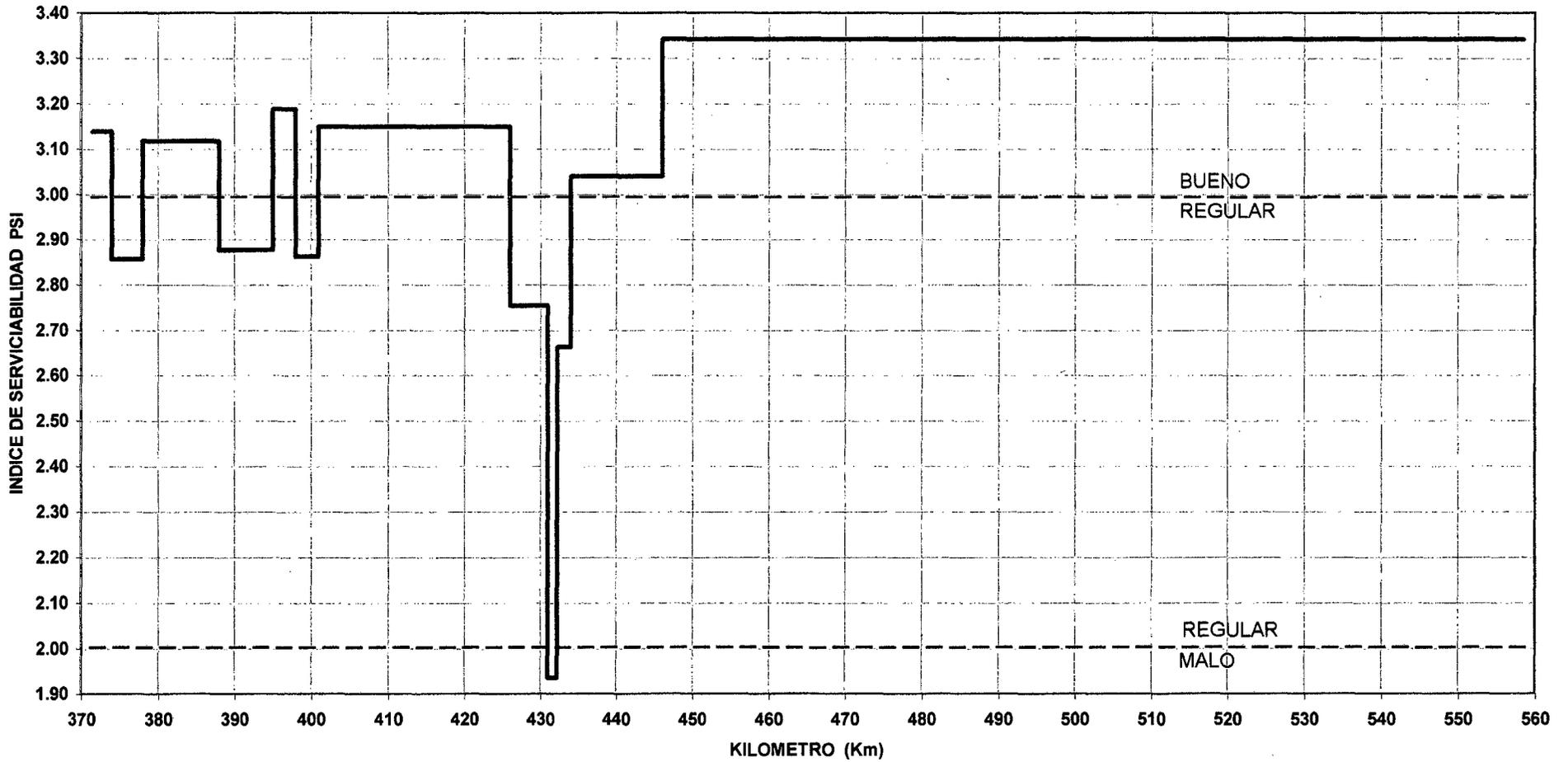


Figura 7.11
CARRETERA PANAMERICANA NORTE RN 001N
TRAMO: CASMA - TRUJILLO
GRAFICO DE INDICES DE SERVICIABILIDAD PSI

CARRIL : SUR - NORTE

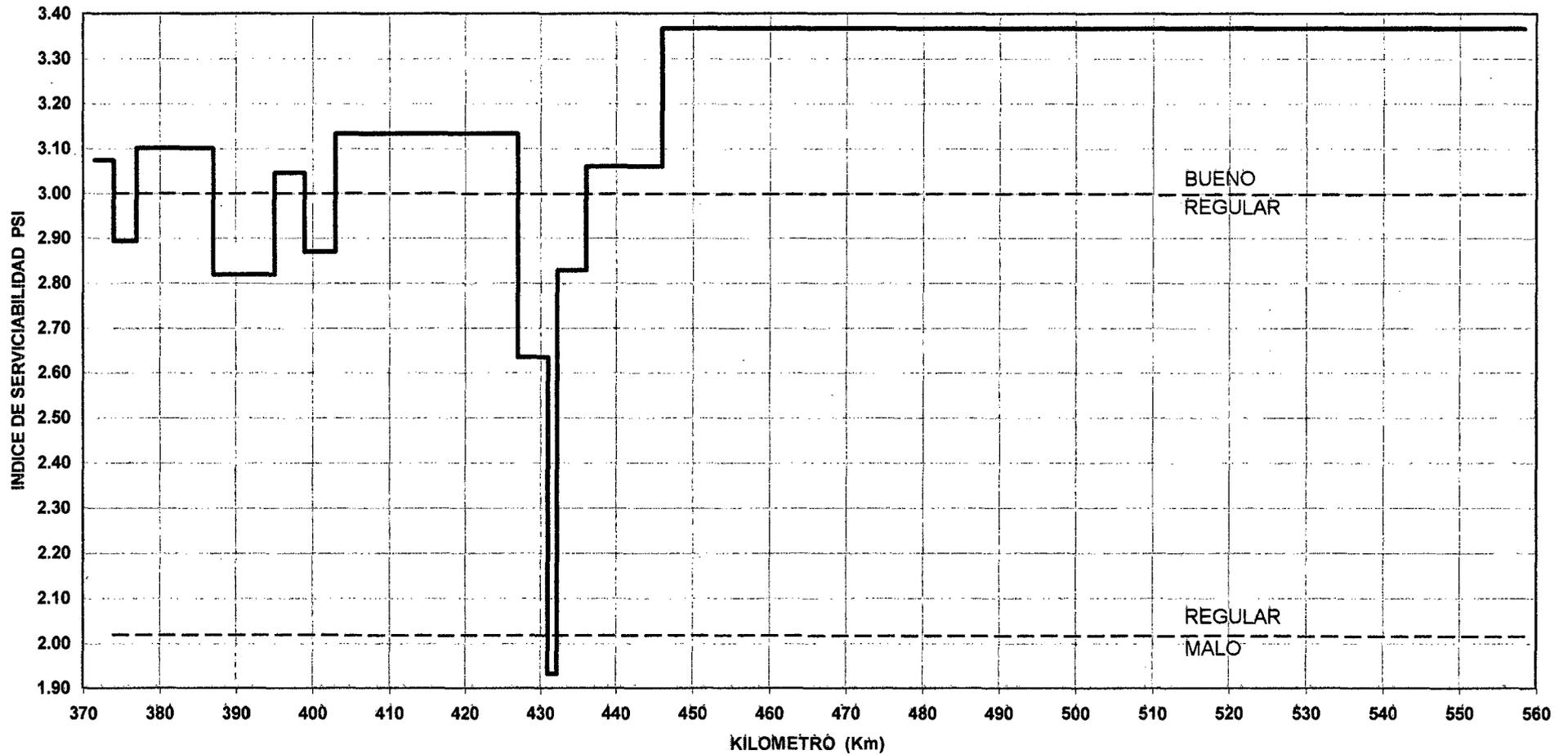


Figura 7.12
CARRETERA PANAMERICANA NORTE RN 001N
TRAMO: CASMA - TRUJILLO
GRAFICO DE INDICES DE SERVICIABILIDAD PSI
Ambos Carriles

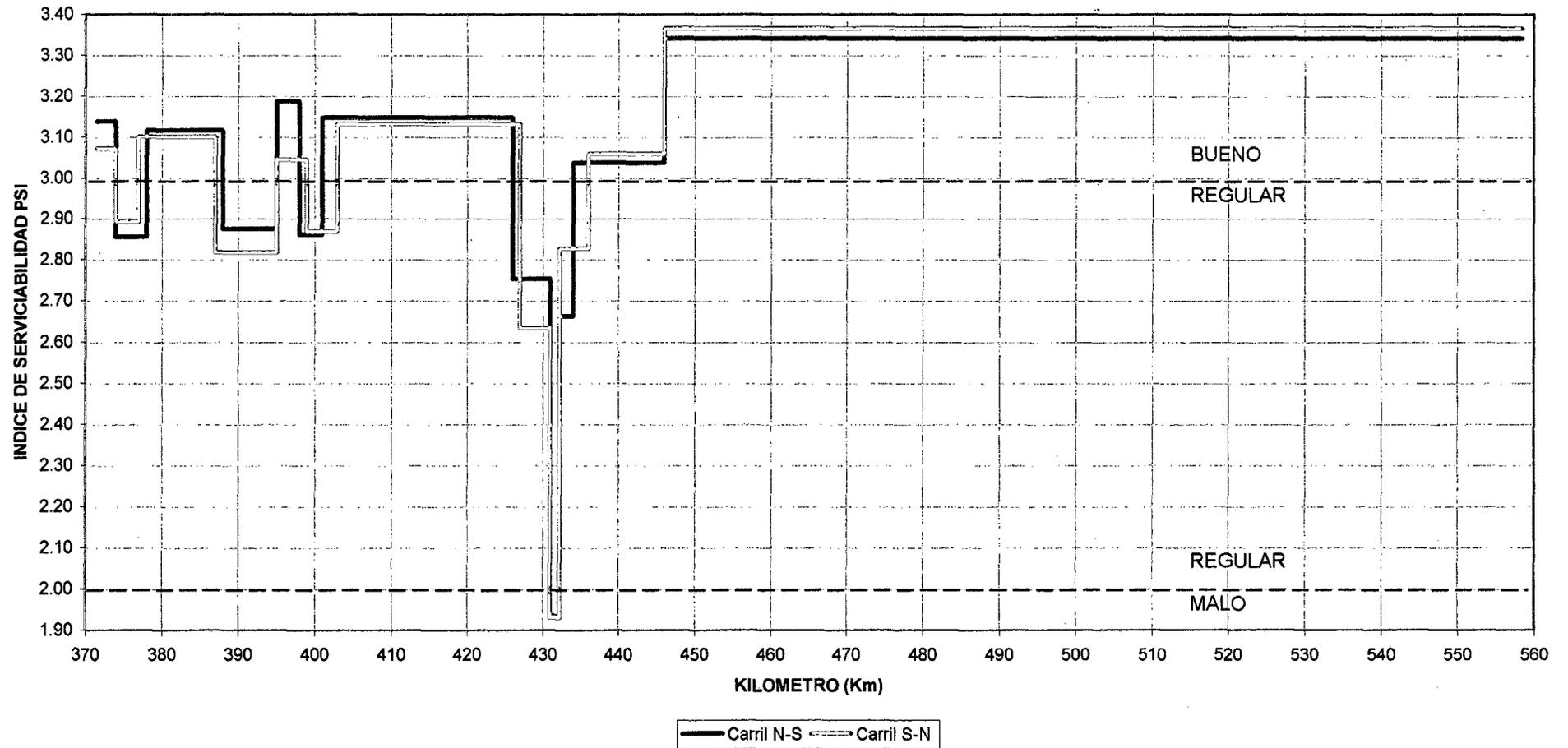


GRAFICO DE DISTRIBUCION DE FRECUENCIAS

- **CARRIL N-S**
- **CARRIL S-N**

Cuadro 7.12.5

RANGOS DE RUGOSIDAD

PROYECTO: Estudio Definitivo de Rehabilitación de Carreteras
Afectadas por el Fenómeno El Niño
TRAMO: CASMA (km 371+500) - TRUJILLO (km 558+520)
RUTA: 001N Carretera Panamericana Norte
FECHA : Junio del 2000

Rango Percentil (%)	Caril N-S
	Con IRI menor que:
25	2.14
50	2.36
80	2.72
90	2.95
95	3.22

Cuadro 7.12.3

DISTRIBUCION DE FRECUENCIAS

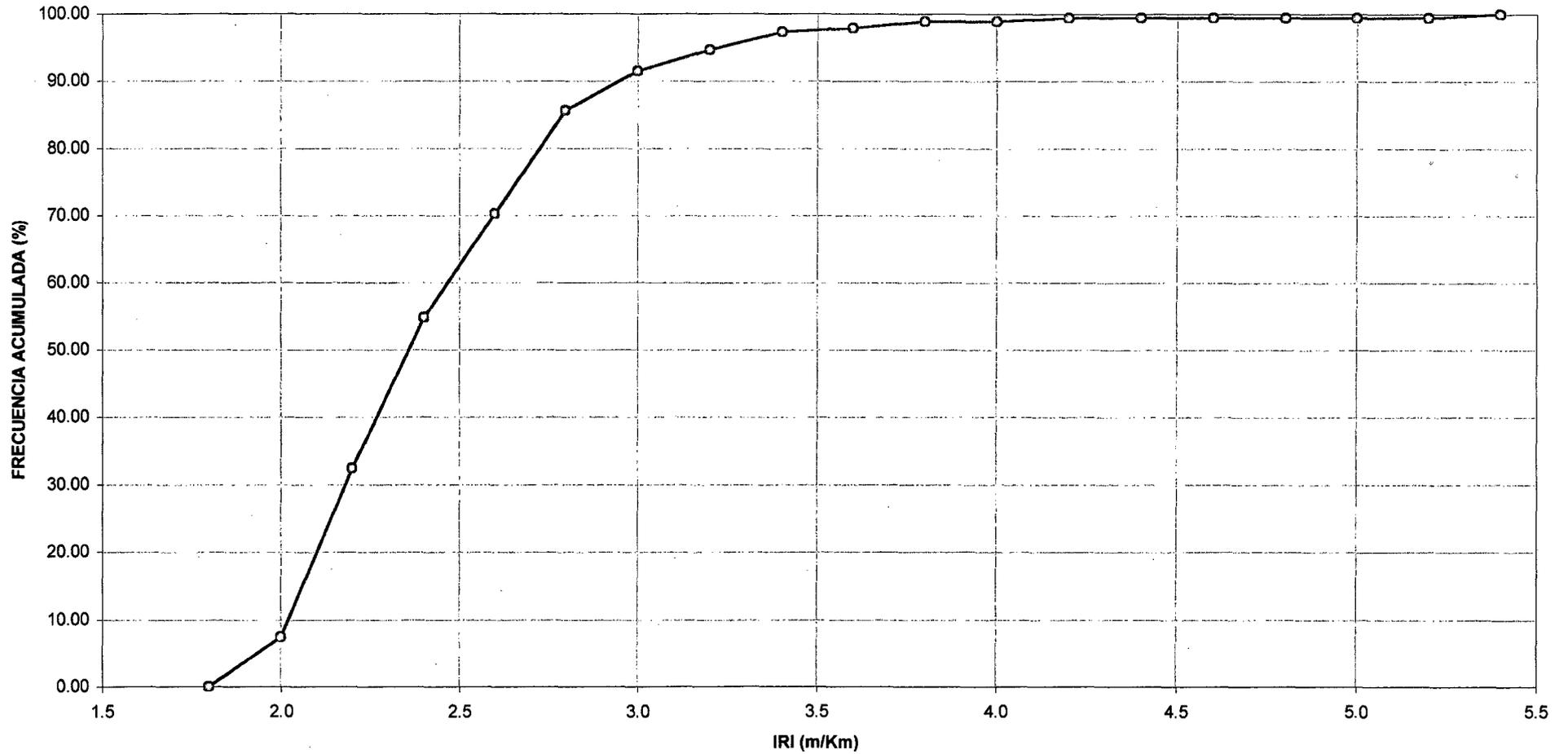
PROYECTO: Estudio Definitivo de Rehabilitacion de Carreteras
 Afectadas por el Fenomeno El Niño
TRAMO: CASMA (km 371+500) - TRUJILLO (km 558+520)
RUTA: 001N Carretera Panamericana Norte
FECHA : Junio del 2000
CARRIL: NORTE - SUR

Rango IRI	Frecuencia	%	Acumulado	%Acumulado
[1.6 - 1.8>	0	0.00	0	0.00
[1.8 - 2.0>	14	7.45	14	7.45
[2.0 - 2.2>	47	25.00	61	32.45
[2.2 - 2.4>	42	22.34	103	54.79
[2.4 - 2.6>	29	15.43	132	70.21
[2.6 - 2.8>	29	15.43	161	85.64
[2.8 - 3.0>	11	5.85	172	91.49
[3.0 - 3.2>	6	3.19	178	94.68
[3.2 - 3.4>	5	2.66	183	97.34
[3.4 - 3.6>	1	0.53	184	97.87
[3.6 - 3.8>	2	1.06	186	98.94
[3.8 - 4.0>	0	0.00	186	98.94
[4.0 - 4.2>	1	0.53	187	99.47
[4.2 - 4.4>	0	0.00	187	99.47
[4.4 - 4.6>	0	0.00	187	99.47
[4.6 - 4.8>	0	0.00	187	99.47
[4.8 - 5.0>	0	0.00	187	99.47
[5.0 - 5.2>	0	0.00	187	99.47
[5.2 - 5.4>	1	0.53	188	100.00

188

Figura 7.13
CARRETERA PANAMERICANA NORTE RN 001N
TRAMO: CASMA - TRUJILLO
GRAFICO DE DISTRIBUCION PORCENTUAL DE VALORES IRI

CARRIL : NORTE - SUR



Cuadro 7.12.4

DISTRIBUCION DE FRECUENCIAS

PROYECTO: Estudio Definitivo de Rehabilitacion de Carreteras
 Afectadas por el Fenomeno El Niño
TRAMO: CASMA (km 371+500) - TRUJILLO (km 558+520)
RUTA: 001N Carretera Panamericana Norte
FECHA : Junio del 2000
CARRIL: SUR - NORTE

Rango IRI	Frecuencia	%	Acumulado	%Acumulado
[1.6 - 1.8>	0	0.00	0	0.00
[1.8 - 2.0>	28	14.89	28	14.89
[2.0 - 2.2>	40	21.28	68	36.17
[2.2 - 2.4>	40	21.28	108	57.45
[2.4 - 2.6>	20	10.64	128	68.09
[2.6 - 2.8>	27	14.36	155	82.45
[2.8 - 3.0>	15	7.98	170	90.43
[3.0 - 3.2>	7	3.72	177	94.15
[3.2 - 3.4>	3	1.60	180	95.74
[3.4 - 3.6>	4	2.13	184	97.87
[3.6 - 3.8>	2	1.06	186	98.94
[3.8 - 4.0>	1	0.53	187	99.47
[4.0 - 4.2>	0	0.00	187	99.47
[4.2 - 4.4>	0	0.00	187	99.47
[4.4 - 4.6>	0	0.00	187	99.47
[4.6 - 4.8>	0	0.00	187	99.47
[4.8 - 5.0>	0	0.00	187	99.47
[5.0 - 5.2>	0	0.00	187	99.47
[5.2 - 5.4>	1	0.53	188	100.00

188

Cuadro 7.12.6

RANGOS DE RUGOSIDAD Y SERVICIABILIDAD

PROYECTO: Estudio Definitivo de Rehabilitación de Carreteras
 Afectadas por el Fenomeno El Niño
TRAMO: CASMA (km 371+500) - TRUJILLO (km 558+520)
RUTA: 001N Carretera Panamericana Norte
FECHA : Junio del 2000

Rango Percentil (%)	Caril S-N Con IRI menor que:
25	2.10
50	2.33
80	2.77
90	2.99
95	3.31

Figura 7.14
CARRETERA PANAMERICANA NORTE RN 001N
TRAMO: CASMA - TRUJILLO
GRAFICO DE DISTRIBUCION PORCENTUAL DE VALORES IRI

CARRIL : SUR - NORTE

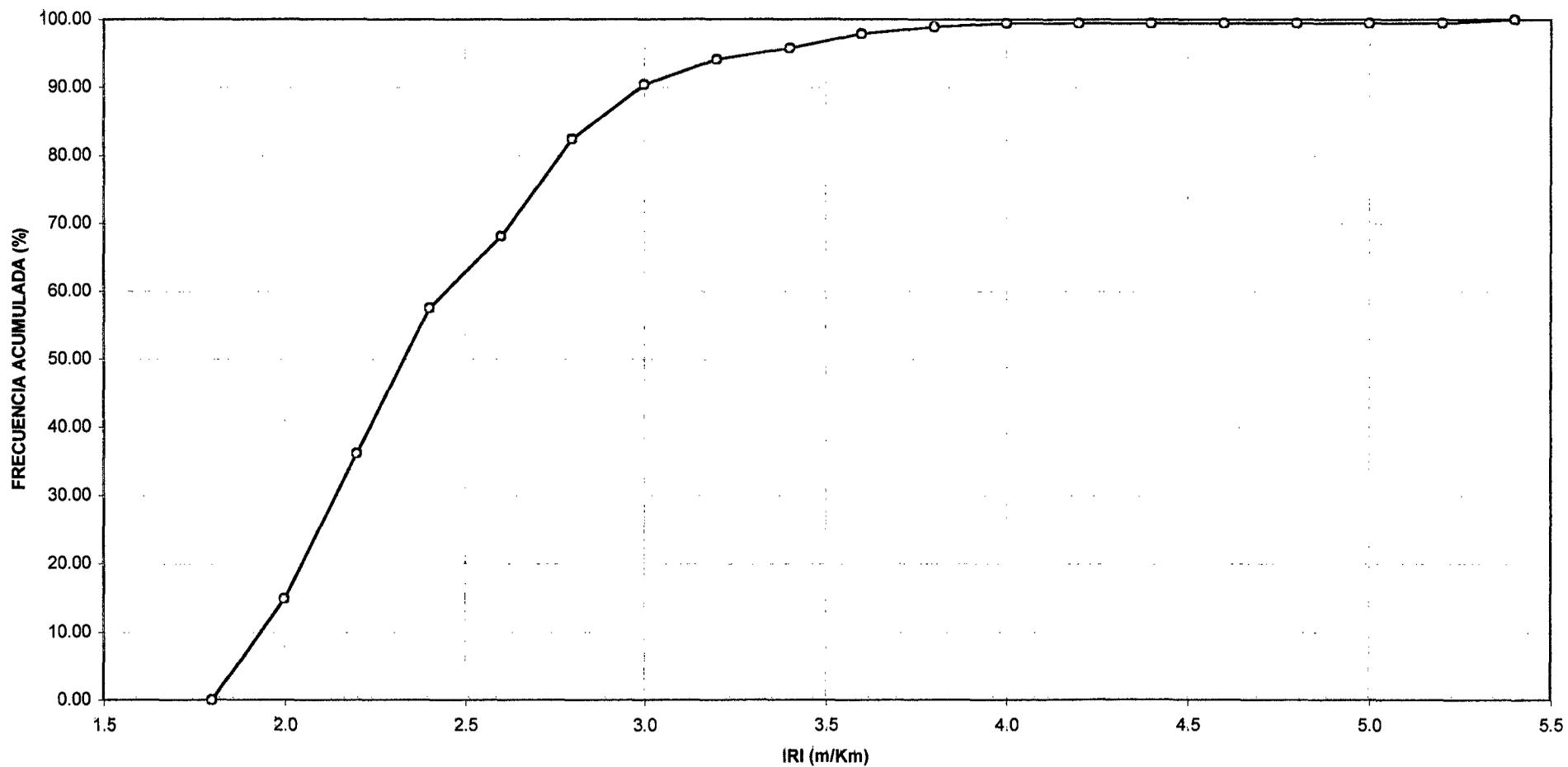
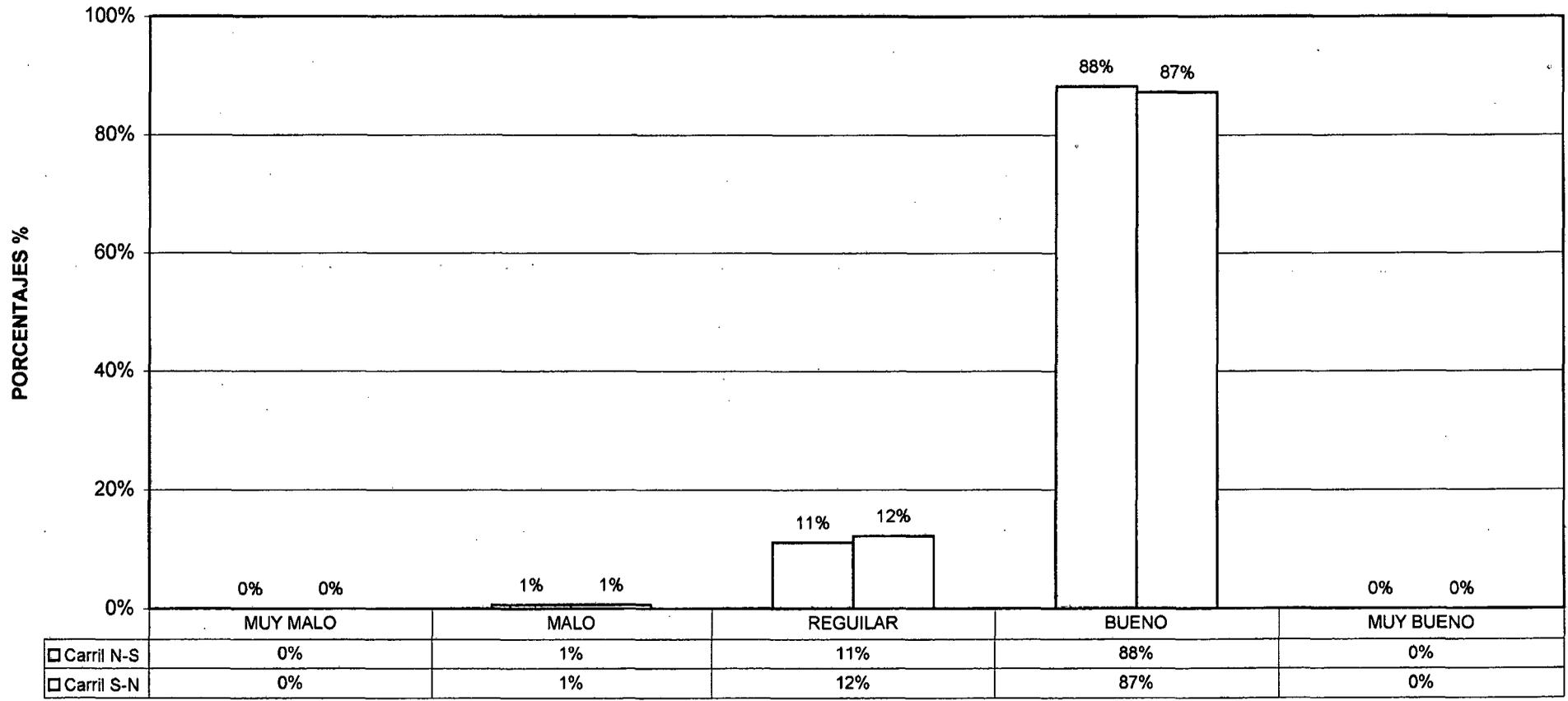


GRAFICO DE TRANSITABILIDAD

COMPARACION DE AMBOS CARRILES

Figura 7.15
CARRETERA PANAMERICANA NORTE RN 001N
TRAMO: CASMA - TRUJILLO
GRAFICO TRANSITABILIDAD
Ambos Carriles



PSI - TRANSITABILIDAD

7.13 Estructura de costos relacionados a la medición de rugosidad.

Realizar cualquier proyecto de evaluación de rugosidad genera gastos, por ello, elaborar el presupuesto para cubrir estos gastos es muy importante, para esto se debe tener un buen conocimiento del proyecto que se va a ejecutar, para evitar gastos imprevistos, que puedan quedar fuera del presupuesto, estos gastos están relacionados a los equipos, personal y materiales necesarios para el desarrollo del proyecto de evaluación, todos estos gastos conforman el costo del proyecto de evaluación de rugosidad, que es lo que se quiere detallar en esta sección.

Trataremos específicamente sobre la elaboración de un presupuesto para la evaluación de rugosidad con uso del Bump Integrator, para el tramo de 187 km de pavimento, sobre la Panamericana Norte (del Km 371.5 al Km 558.5).

Como se ha visto, un proyecto de evaluación de rugosidad completo consta de tres etapas principales:

- Calibración.
- Medición.
- Procesamiento de Datos.

A) Etapa de calibración:

La calibración consta de las actividades principales siguientes:

- Ubicación de las secciones de calibración.
- Marcado de las secciones de calibración.
- Nivelación de las secciones.
- Medidas con el rugosímetro BI.
- Procesamiento de los datos.

Cada una de las actividades han sido descritas en los capítulos 5 y 6 respectivamente, solo se hará referencia a los recursos que son requeridos en cada actividad. Para las condiciones especificadas, se ubicarán 10 sitios de calibración consistentes en secciones de 250m (de preferencia, 2 sitios por sección), cada sección estará marcado con puntos alineados sobre las huellas de rodadura a intervalos de 0.50m, se realizarán medidas con el rugosímetro BI con 5 repeticiones en cada sitio.

- a) Ubicación de las secciones de calibración.
 - 1 Equipo Bump Integrator (Unidad BI, Contador y Odómetro).
 - 1 vehículo (camioneta).
 - 5 Galones de combustible (gasolina: 30 km/gal).
 - 2 Operadores (conductor y operador BI).

- b) Marcado de las secciones de calibración.
 - 1 vehículo de transporte.
 - 5 Galones de combustible (gasolina: 30 km/gal).
 - 1 Cinta métrica (30m) metálica.
 - ½ Galón de pintura para tráfico.
 - 4 Pinceles.
 - 1 cuadrilla para la medición y marcado de las secciones (1 Operario y 3 ayudantes).
 - 1 cuadrilla para la señalización preventiva contra accidentes (2 ayudantes).
 - 2 Letreros de señal preventiva.
 - 10 Conos de seguridad.
 - 8 Chalecos reflectivos.
 - 2 Banderolas.

- c) Nivelación de las secciones.
 - 1 vehículo de transporte.
 - 5 Galones de combustible (gasolina: 30 km/gal).
 - 1 Nivel de precisión de 0.5mm a 1.0mm.

- 1 Mira milimetrada.
- 1 Nivel de mano (tipo “ojo de pollo”).
- 1 Libreta de campo.
- 1 cuadrilla para la nivelación (1 Operador, 1 libretista y 1 portamira).
- 1 cuadrilla para la señalización preventiva contra accidentes (2 ayudantes).
- 2 Letreros de señal preventiva.
- 10 Conos de seguridad.
- 7 Chalecos reflectivos.
- 2 Banderolas.

d) Medidas con el rugosímetro BI.

- 1 Equipo Bump Integrator (Unidad BI, Contador y Odómetro).
- 1 vehículo (camioneta).
- 5 Galones de combustible (gasolina: 30 km/gal).
- 2 Operadores (conductor y operador BI).

e) Procesamiento de los datos.

- 1 Ingeniero especialista en rugosidad de pavimentos.
- 1 Equipo de computo e impresora.

B) Etapa de Medición:

La etapa de medición se realizará en base a las siguientes condiciones especificadas: velocidad de trabajo 32 km/h y 2 lecturas del BI por carril. Se sigue los procedimientos descritos en el capítulo 4, sólo se detallarán los recursos necesarios para esta etapa.

- 1 Equipo Bump Integrator (Unidad BI, Contador y Odómetro).
- 1 vehículo (camioneta).
- 6 Galones de combustible (gasolina: 30 km/gal).
- 2 Operadores (conductor y operador BI).

C) Etapa de Procesamiento de los datos:

En esta etapa, los cálculos y análisis finales se realizan en oficina, por lo que los recursos en su mayoría se refieren a gastos en útiles de oficina, impresiones y comunicaciones.

1 Ingeniero especialista en rugosidad de pavimentos.

1 Equipo de computo e impresora.

PRESUPUESTO

Item	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	P.U. (S/.)	PARCIAL	TOTAL
1.0	<u>PRELIMINARES</u>					S/. 1,897.77
1.1	Movilización y desmovilización de Equipos.	Km	744	1.16	865.77	
1.2	Dispositivos de seguridad.	Glb	1	1032.00	1032.00	
2.0	<u>CALIBRACION</u>					S/. 5,773.63
2.1	Ubicación de las secciones de calibración.	Km	374	3.99	1492.92	
2.2	Marcado de las secciones de calibración.	Km	2.5	436.12	1090.31	
2.3	Nivelación de las secciones.	Km	2.5	1227.80	3069.49	
2.4	Medidas con el rugosímetro BI	Km	10	7.56	75.57	
2.5	Procesamiento de los datos.	Km	10	4.53	45.33	
3.0	<u>MEDICION</u>					S/. 2,985.84
3.1	Medidas con el rugosímetro BI	Km	748	3.99	2985.84	
4.0	<u>PROCESAMIENTO DE DATOS</u>					S/. 1,695.47
4.1	Procesamiento de los datos.	Km	374	4.53	1695.47	
	TOTAL COSTO DIRECTO:					S/. 12,352.71
	GASTOS GENERALES:	16.19%				S/. 2,000.00
	SUB TOTAL:					S/. 14,352.71
	IGV 19%:					S/. 2,727.01
	TOTAL:					S/. 17,079.72

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS

1.1 Movilizacion y desmovilizacion de equipos

Rendimiento:		480 km/d		Costo Unitario directo por	1.16
Descripcion	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio	Parcial
<u>Materiales</u>					
Combustible (gasolina)	Gal.		0.033	12.80	0.43
<u>Personal</u>					
Conductor	HH		1	0.017	9.22
<u>Equipos</u>					
Vehiculo (Camioneta)	HM		1	0.017	35.00

1.2 Dispositivos de seguridad

				Costo Unitario directo Glb	1032.00
Descripcion	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio	Parcial
<u>Materiales</u>					
Letrero de señal preventiva	Und		2.000	90.00	180.00
Conos de seguridad	Und		10.000	55.00	550.00
Chaleco reflectivo	Und		8.000	36.00	288.00
Banderola	Und		2.000	7.00	14.00

2.1 Ubicación de las secciones de calibración.

Rendimiento		256 km/d		Costo Unitario directo por Km:		3.99
Descripcion	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio	Parcial	
Materiales						0.43
Combustible (gasolina)	Gal.		0.033	12.80	0.43	
Personal						0.91
Ingeniero	HH	0.2	0.006	41.67	0.26	
Conductor	HH	1	0.031	9.22	0.29	
Operador Equipo	HH	1	0.031	11.53	0.36	
Equipos						2.66
Equipo Bump Integrator	HM	1	0.031	50.00	1.56	
Vehiculo (Camioneta)	HM	1	0.031	35.00	1.09	

2.2 Marcado de las secciones de calibración.

Rendimiento		1.92 km/d		Costo Unitario directo por Km:		436.12
Descripcion	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio	Parcial	
Materiales						23.53
Combustible (gasolina)	Gal		0.033	12.80	0.43	
Cinta metrica metalica (30m)	Und		0.050	150.00	7.50	
Pintura para trafico	Gal		0.200	48.00	9.60	
Pincel	Und		2.000	3.00	6.00	
Personal						266.76
Ingeniero	HH	0.2	0.833	41.67	34.72	
Conductor	HH	1	4.167	9.22	38.42	
Operario	HH	1	4.167	9.22	38.42	
Ayudante	HH	5	20.833	7.45	155.21	
Equipos						145.83
Vehiculo (Camioneta)	HM	1	4.167	35.00	145.83	

2.3 Nivelacion de las secciones de calibración.

Rendimiento		0.72 km/d		Costo Unitario directo por Km:		1227.80
Descripcion	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio	Parcial	
Materiales						0.43
Combustible (gasolina)	Gal		0.033	12.80	0.43	
Personal						699.59
Ingeniero	HH	0.2	2.222	41.67	92.59	
Conductor	HH	1	11.111	9.22	102.44	
Operador Equipo	HH	2	22.222	11.53	256.22	
Ayudante	HH	3	33.333	7.45	248.33	
Equipos						527.78
Vehiculo (Camioneta)	HM	1	11.111	35.00	388.89	
Nivel de precision y Mira milim.	HM	1	11.111	12.50	138.89	

2.4 Medidas con el rugosímetro BI (Calibración).

Rendimiento		128 km/d		Costo Unitario directo por Km:		7.56
Descripcion	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio	Parcial	
<u>Materiales</u>						
Combustible (gasolina)	Gal.		0.033	12.80	0.43	
<u>Personal</u>						
Ingeniero	HH	0.2	0.013	41.67	0.52	
Conductor	HH	1	0.063	9.22	0.58	
Operador Equipo	HH	1	0.063	11.53	0.72	
<u>Equipos</u>						
Equipo Bump Integrator	HM	1	0.063	50.00	3.13	
Vehiculo (Camioneta)	HM	1	0.063	35.00	2.19	

2.5 Procesamiento de los datos (Calibración).

Rendimiento		100 km/d		Costo Unitario directo por Km:		4.53
Descripcion	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio	Parcial	
<u>Personal</u>						
Ingeniero	HH	1	0.080	41.67	3.33	
<u>Equipos</u>						
Computadora e Impresora	HM	1	0.080	15.00	1.20	

3.1 Medidas con el rugosímetro BI.

Rendimiento		256 km/d		Costo Unitario directo por Km:		3.99
Descripcion	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio	Parcial	
<u>Materiales</u>						
Combustible (gasolina)	Gal.		0.033	12.80	0.43	
<u>Personal</u>						
Ingeniero	HH	0.2	0.006	41.67	0.26	
Conductor	HH	1	0.031	9.22	0.29	
Operador Equipo	HH	1	0.031	11.53	0.36	
<u>Equipos</u>						
Equipo Bump Integrator	HM	1	0.031	50.00	1.56	
Vehiculo (Camioneta)	HM	1	0.031	35.00	1.09	

4.1 Procesamiento de los datos.

Rendimiento		100 km/d		Costo Unitario directo por Km:		4.53
Descripcion	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio	Parcial	
<u>Personal</u>						
Ingeniero	HH	1	0.080	41.67	3.33	
<u>Equipos</u>						
Computadora e Impresora	HM	1	0.080	15.00	1.20	

GASTOS GENERALES

					Costo Unitario directo:	2000.00
Descripcion	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio	Parcial	
						2000.00
Materiales de escritorio y oficina	Glb		1.00	200.00		200.00
Fotocopias e impresiones	Glb		1.00	100.00		100.00
Comunicaciones (telefono, fax,etc)	Glb		1.00	100.00		100.00
Viaticos del personal de campo	Dia		4	8.00		1600.00

INSUMOS Y PRECIOS

Insumo	Unidad	Precio S/.	Cantidad	Total
<u>Materiales</u>				
Combustible (gasolina)	Gal.	12.8	62.70	802.56
Cinta metrica metalica (30m)	Und	150	0.13	18.75
Pintura para trafico	Gal	48.00	0.50	24.00
Pincel	Und	3.00	5.00	15.00
Letrero de señal preventiva	Und	90.00	2.00	180.00
Conos de seguridad	Und	55.00	10.00	550.00
Chaleco reflectivo	Und	36.00	8.00	288.00
Banderola	Und	7.00	2.00	14.00
<u>Personal</u>				
Conductor	HH	9.22	86.28	795.52
Operador Equipo	HH	11.53	91.24	1052.03
Operario	HH	9.22	10.42	96.04
Ayudante	HH	7.45	135.42	1008.85
Ingeniero	HH	41.67	45.50	1895.68
<u>Equipos</u>				
Equipo Bump Integrator	HM	50.00	35.69	1784.38
Vehiculo (Camioneta)	HM	35.00	86.28	3019.87
Nivel de precision y Mira milim.	HM	12.50	27.78	347.22
Computadora e Impresora	HM	15.00	30.72	460.80
<u>Gastos Generales</u>				
Materiales de escritorio y oficina	Glb	200.00	1.00	200.00
Fotocopias e impresiones	Glb	100.00	1.00	100.00
Comunicaciones (telefono, fax,etc)	Glb	100.00	1.00	100.00
Alojamiento y Viaticos del personal de Glb		50.00	32.00	1600.00

7.14 Normativa y límites de aceptación.

La normativa vigente en nuestro país, en lo que respecta a estudios de rugosidad, es aun escasa, al igual que investigaciones desarrolladas sobre el tema de la evolución de la rugosidad en carreteras nacionales. Me refiero a esta última porque es en base a estas investigaciones que se definen los límites de rugosidad admisibles (en algunos países se definen como umbrales de rugosidad) ajustados a la realidad de nuestras carreteras, entonces se da el caso que los límites de aceptación que se aplican dentro de la normativa peruana son adoptadas de normas de otros países.

Actualmente los límites de aceptación establecidos para la recepción de obras viales, se encuentran definidas en las Especificaciones Técnicas Generales para la Construcción de Carreteras (EG-2000). Pero solo se han definido para construcciones nuevas (ver tabla 7.2), para otros casos, dichas Especificaciones Generales, hacen referencia a límites de aceptación definidas en los planos y especificaciones de cada proyecto.

En los proyectos de rehabilitación o mantenimiento de redes viales los límites de aceptación se incluyen dentro de las especificaciones técnicas, están basadas en las experiencias del consultor que elabora dichas especificaciones.

Tabla 7.2

Límites de Aceptación de Medida de Rugosidad IRI en Construcciones Nuevas
Especificaciones Técnicas Generales para la Construcción de Carreteras (EG-
2000)

EG-2000 Sección	Pavimento tipo	Límite Máximo Admisible (m/km)
405	Tratamiento superficial simple o múltiple	2.5
407	Lechada asfáltica	2.5
410	Concreto asfáltico en caliente	2.0
501	Concreto hidráulico	3.0

Notas:

- (1) Esta exigencia no se aplicará cuando se construya sobre un pavimento existente, en este caso, la rugosidad del pavimento terminado será indicada en los planos y documentos del proyecto.
- (2) La medición de rugosidad sobre la superficie de rodadura terminada deberá efectuarse por tramos de 5 km en los cuales las obras estén concluidas, registrando mediciones parciales para cada kilómetro.
- (3) Todas las áreas del pavimento donde los defectos de calidad y terminación excedan las tolerancias de estas especificaciones, deberán ser corregidas por el Contratista, a su costo, de acuerdo con las indicaciones del Supervisor y a satisfacción de éste.

CONCLUSIONES

Aunque no es un tema muy complejo, la rugosidad en pavimentos no ha sido muy estudiada en nuestro país, existe una gran cantidad de estudios sobre la rugosidad de pavimentos con fines de rehabilitación y evaluaciones de rugosidad como control de calidad para pavimentos nuevos, pero muy poco se han hecho, sobre evaluaciones periódicas para el estudio de la evolución de la rugosidad como consecuencia del deterioro de pavimentos, que son datos importantes para determinar el comportamiento funcional de un pavimento, con ellos se pueden definir parámetros, tales como los índices de rugosidad o serviciabilidad, inicial y terminal, para el diseño de pavimentos, o los niveles admisibles para recepción de obras nuevas o de rehabilitación (estos parámetros o niveles admisibles son los llamados “umbrales”). Aunque no hay antecedentes, es probable que los parámetros inicial y terminal de rugosidad o serviciabilidad de nuestros pavimentos, no sean los mismos en cada una de nuestras regiones. Entonces existe una necesidad de realizar este tipo de estudios, para implementar adecuadamente nuestras normas o especificaciones técnicas sobre pavimentos.

Otro tema importante es el efecto por factores climáticos sobre la estructura del pavimento, como se sabe los cambios de estación implican, cambios de temperatura u ocurrencia de precipitaciones; estos factores climáticos actúan sobre la estructura del pavimento, reflejándose en la regularidad de su superficie, entonces existe una variación de la rugosidad entre cambios de estación, que aun no han sido estudiados en nuestro país. Un estudio de la evolución de la rugosidad como consecuencia de los efectos del clima, sería de mucha importancia para mejorar los diseños de estructuras de pavimentos y para la programación de acciones de mantenimiento.

En esta Tesis el proceso de las mediciones de rugosidad fueron hechas para un estudio de rehabilitación, sin embargo la aplicación de las mediciones pueden tener otros propósitos similares, como las mediciones de rugosidad con fines de control de calidad para pavimentos nuevos, que en general tienen el mismo proceso, sin embargo el análisis se realiza con el empleo de otras herramientas estadísticas. En nuestro país es frecuente aplicar el criterio del IRI característico, con el cual se determina el rango superior de la media de una distribución de datos, cuyo valor supera a la media estándar, con una probabilidad que por lo general es 0.9 ó 0.95, este valor es comparado con el nivel de aceptabilidad del proyecto y con ello se califica la calidad del pavimento terminado. Este criterio de calificación también es usual para el control de calidad en Concesiones Viales, donde las empresas concesionarias deben garantizar un nivel de serviciabilidad que proporcione confort a los usuarios, cuyos niveles mínimos se encuentran especificados en los contratos de concesión, si la empresa concesionaria no cumpliera con los parámetros mínimos exigidos, estará sujeta a multas o penalidades. En otros países como Chile, evalúan la calidad de los pavimentos empleando otro criterio estadístico, conocido como “media móvil”, que es el promedio consecutivo para un ancho base de cinco valores, de una serie de datos IRI, el cálculo de la media se repite para cada valor de la serie; el pavimento se calificará con rugosidad aceptable si todas las medias de cinco valores consecutivos registran una magnitud igual o inferior a la indicada en las respectivas especificaciones técnicas del contrato y si ninguno de los valores individuales supera los límites establecidos en dichas especificaciones. Como se puede observar, también existen diferentes criterios estadísticos que son adoptados por cada país, para el control de calidad en la recepción de sus obras viales, y es así, que el control de calidad en algunos países es más exigente que en otros.

Dado que la metodología aplicada se ha basado principalmente en herramientas estadísticas, y son muchos los métodos estadísticos que se pueden emplear, entonces pueden existir diferentes criterios para procesar los datos y aplicar diferentes parámetros estadísticos; como la decisión para elegir queda a cargo del

que elabora el análisis de los datos, pueden existir diferentes criterios para ordenarlos o para elaborar el diseño de los subtramos, lo importante es que se realice un manejo eficiente de los datos, y especialmente que las herramientas estadísticas sean aplicadas acertadamente. Los métodos estadísticos que han sido expuestos son de uso más común, para este tipo de estudios.

Para el desarrollo del presente tema se ha tomado como modelo al instrumento BI que se acopla centrado sobre el eje trasero de un vehículo, de esta manera el sistema registrará la respuesta del vehículo por el recorrido sobre las dos huellas de rodadura; sin embargo, existen también versiones del instrumento instalados sobre un remolque de una o dos ruedas, donde se encuentran instalados los BI para cada rueda, entonces el BI registrará la respuesta del recorrido sobre cada huella independientemente. Es importante distinguir el proceso que se debe seguir, respecto a la medida del perfil en una o dos huellas. Cuando el sistema usa una sola huella, la regresión se computa en base a las medidas de la huella de rodadura individuales. Cuando el sistema usa las dos huellas, el IRI es medido para las dos huellas de rodadura, que serán recorridos por los neumáticos del vehículo, y los dos números obtenidos se promedian. El promedio se usa entonces como una sola medida del IRI para ese carril, y la regresión se realiza contra la medida obtenida de las dos huellas de rodadura.

Con respecto a la velocidad de medida con el BI, como sabemos las velocidades normales son 32, 50 y 80 km/h; se ha explicado en el capítulo 7 los motivos de preferir la velocidad de 32 km/h, por razones de seguridad tanto para el personal que opera el sistema, como para los usuarios de la vía, y por una cultura incipiente de respeto a las normas de tránsito practicada en nuestro país. Sin embargo, el uso de estas velocidades responden a una estandarización adoptada en el Experimento Internacional sobre Rugosidad de Caminos (IRRE). Los ensayos realizados con el BI determinan que a la velocidad de 32 km/h, un RTRRMS (BI) detecta las longitudes de onda más cortas que cuando utiliza velocidades de 50 u 80 km/h; pero a esta velocidad la reproducibilidad del BI puede perderse ligeramente. Y se debe evitar usar velocidades más bajas, porque las lecturas de rugosidad se

vuelven fuertemente afectadas por las propiedades de amortiguamiento de los neumáticos usadas por el vehículo del sistema. Por ello es recomendable respetar la velocidad estandarizada y no emplear velocidades menores a 32 km/h. Por ejemplo, si asumimos una velocidad de 30 km/h (fuera de lo estándar), para realizar mediciones de rugosidad, entonces el vehículo del sistema deberá registrar medidas dentro de un rango del 5% de la velocidad adoptada (para que sean aceptables), es decir su velocidad de trabajo fluctuará entre 28.5 km/h y 31.5 km/h, como se puede observar las medidas registradas por el BI sobre el rango inferior de velocidad se verán afectadas por las propiedades de amortiguamiento de los neumáticos del vehículo.

BIBLIOGRAFIA

- Estudio de Rehabilitación de Carreteras en el Perú.
Consortio de Rehabilitación Vial.
Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 1982.
- Sobrecapas de Asfalto para Rehabilitación de Calles y Carreteras.
Manual Series N° 17 (MS-17).
Asphalt Institute, 1983.
- The International Road Roughness Experiment.
Technical Paper Number 45.
Michael W. Sayers, Thomas D. Gillespie, Cesar A. V. Queiroz.
World Bank, 1986.
- Guidelines for Conducting and Calibrating Road Roughness Measurements.
Technical Paper Number 46.
Michael W. Sayers, Thomas D. Gillespie, William D. O. Paterson.
World Bank, 1986.
- Road Monitoring for Maintenance Management Vol. 1- Vol. 2.
Report prepared by an OECD scientific expert group in co-operation with the
World Bank.
World Bank, 1990.
- Everything You Always Wanted to Know about the IRI, But Were Afraid to
Ask!.
The University of Michigan Transportation Research Institute - UMTRI.
Thomas D. Gillespie, Ph.D., 1992
- Guía AASHTO para el Diseño de Estructuras de Pavimentos.
American Association of State Highway and Transportation Officials, 1993.
- Estadística Matemática con Aplicaciones.
Grupo Editorial Iberoamérica – segunda edición.
William Mendenhall, Dennis D. Wackerly, Richard L. Scheaffer, 1994.
- The Little Book of Profiling.
The University of Michigan Transportation Research Institute - UMTRI.
Michael W. Sayers, Steven M. Karamihas, 1996
- Interpretation of Road Roughness Profile Data. Final Report.
Federal Highway Administration - FHWA.
Michael W. Sayers, Steven M. Karamihas, 1996

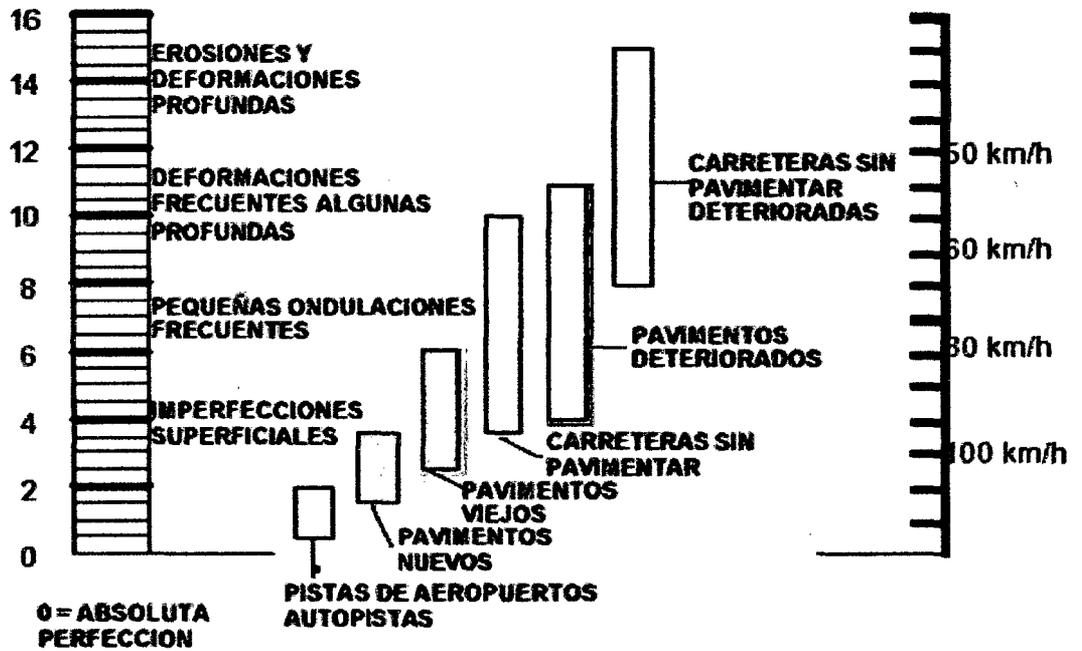
- Gestión de Infraestructura Vial.
Ediciones Universidad Católica de Chile.
Hernán de Solminihaq, 1998
- Estudio Definitivo de Rehabilitación de Carreteras Afectadas por el Fenómeno El Niño. Casma – Trujillo.
SPEA Ingeniería Europea.
Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2000.
- Proyecto del Sistema de Gestión de Carreteras.
Asociación BCEOM-OIST.
Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2001.

ANEXOS

ANEXO 1

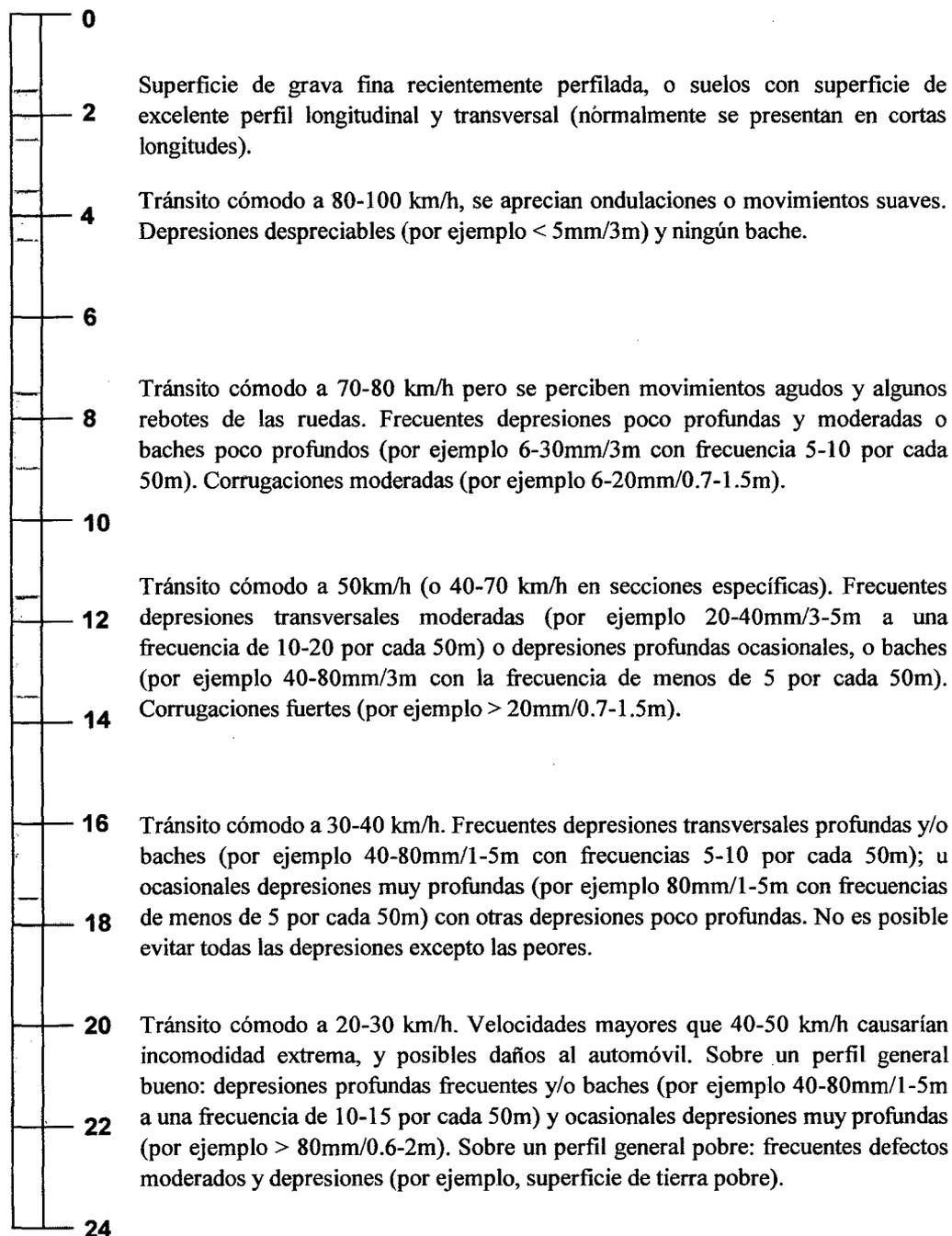
DESCRIPCION DE LA ESCALA DEL IRI

ESCALA DE IRI (m/km)



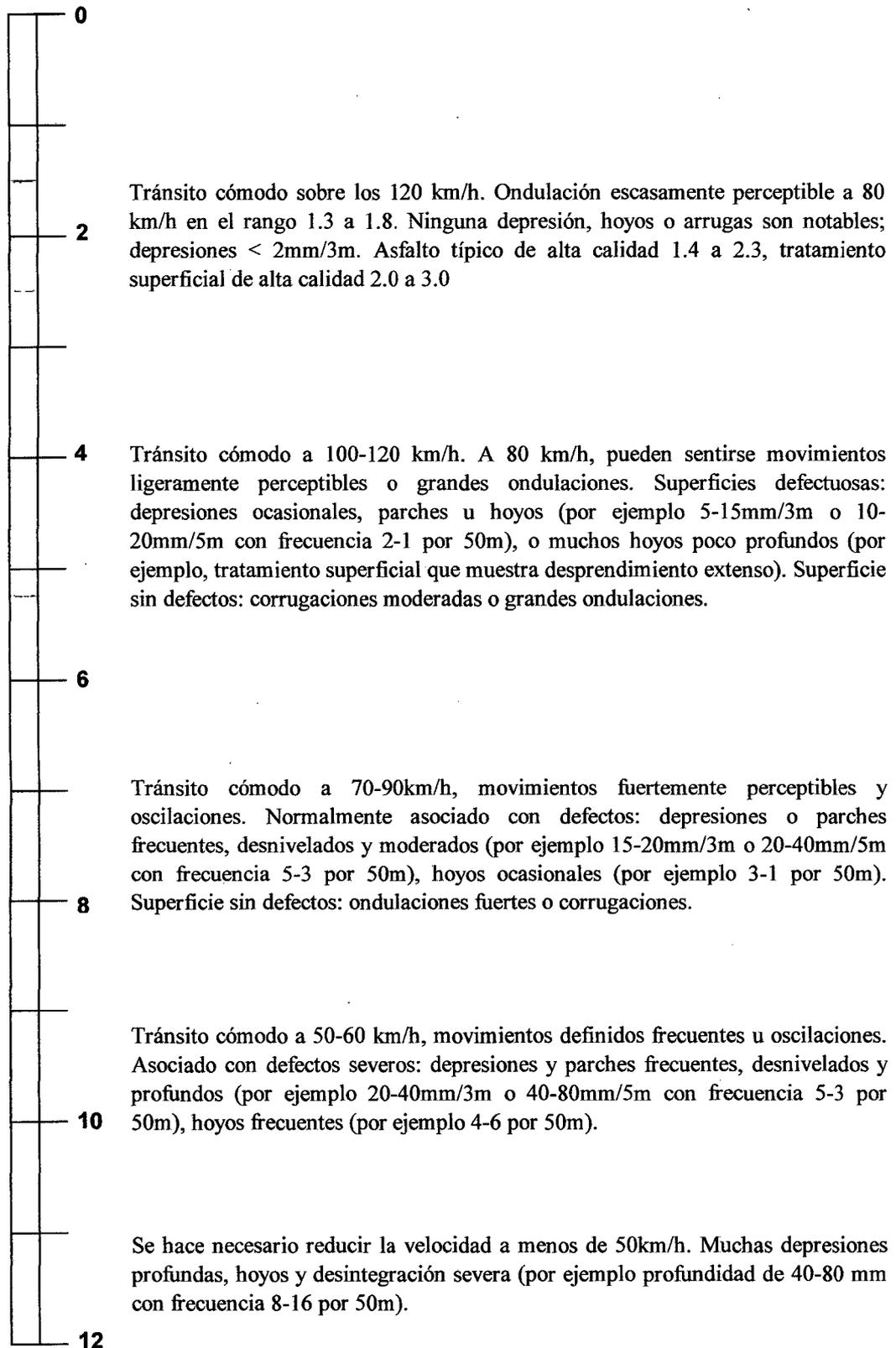
Descripción de la escala IRI

Para caminos no-pavimentados con superficie de grava o tierra.



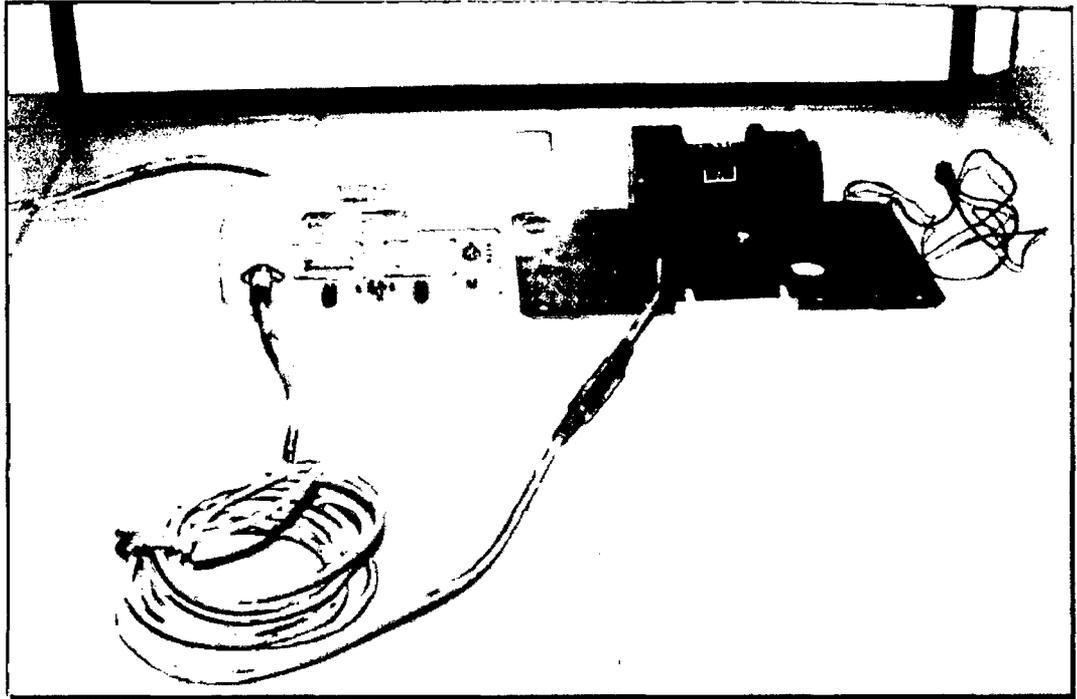
Descripción de la escala IRI

Para caminos pavimentados con superficie de concreto asfáltico o tratamiento superficial.

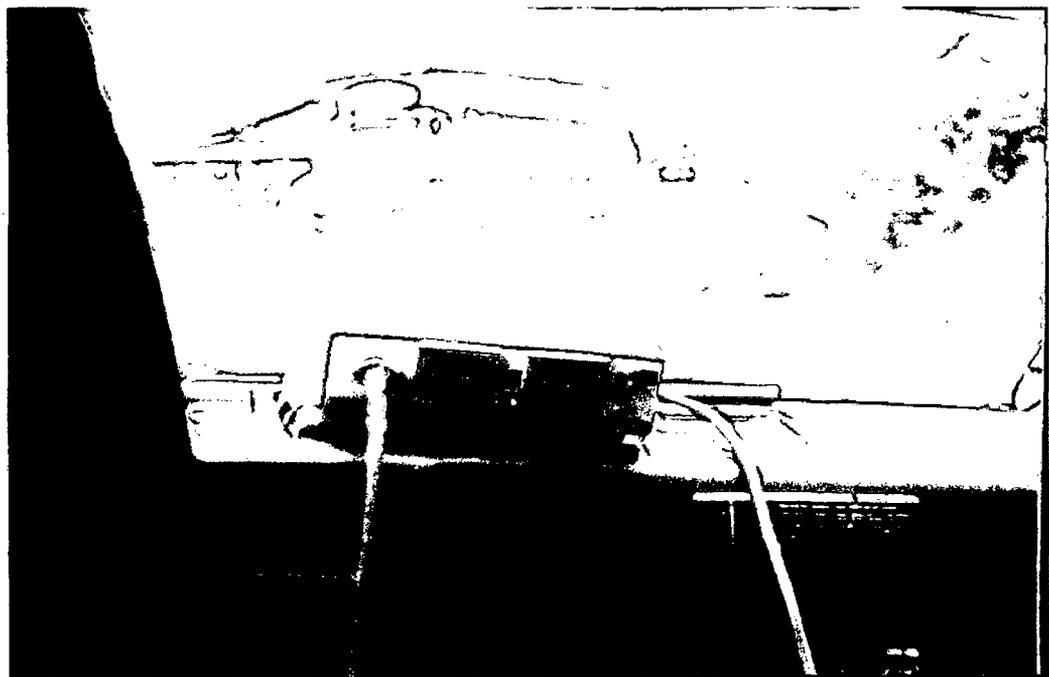


ANEXO 2

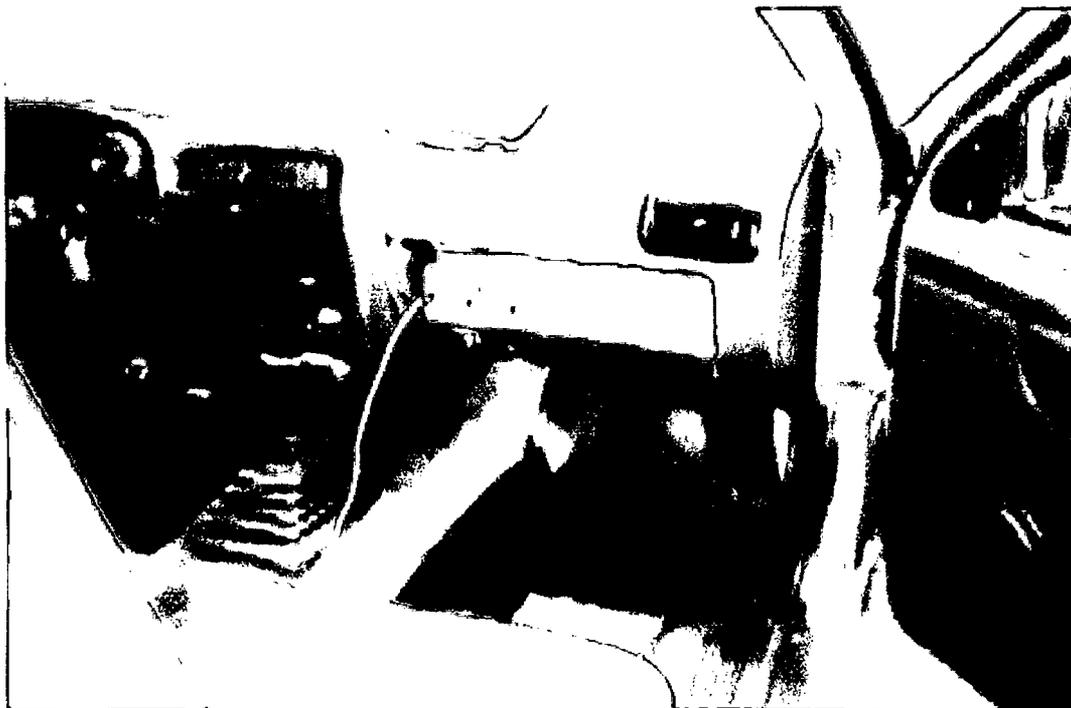
FOTOGRAFIAS DEL SISTEMA BUMP INTEGRATOR



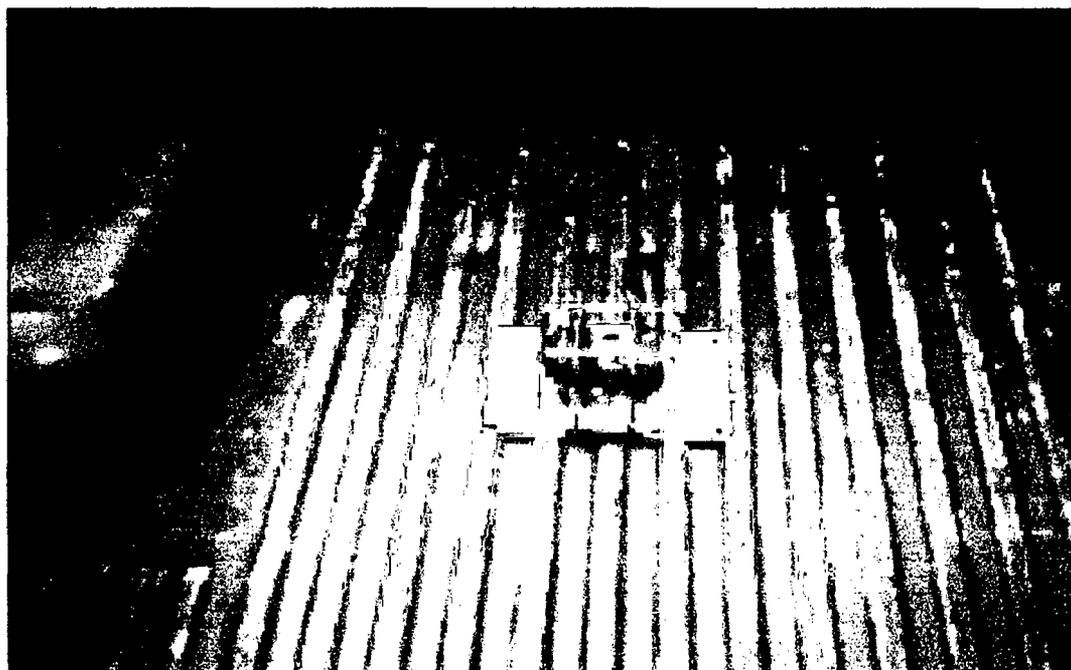
Equipo Bump Integrator convencional. Conformado por una unidad BI y la unidad contadora (Counter Unit), se complementa con un odómetro digital.



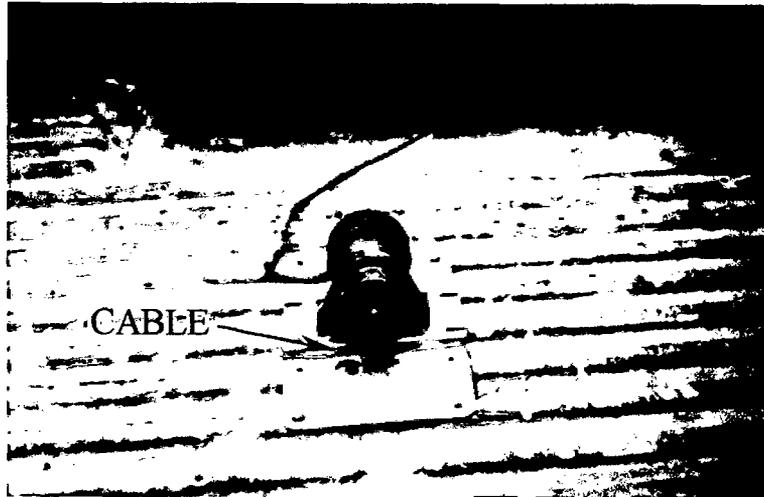
Unidad Contadora (Counter Unit) instalada sobre el tablero del vehículo. Esta unidad es parte de un sistema BI convencional (clásico), posee dos pantallas (display) desde donde se tomarán las lecturas.



Unidad contadora (Counter Unit) del sistema Bump Integrator convencional.



Unidad Bump Integrator instalado sobre la tolva de una camioneta y directamente sobre el eje trasero del vehiculo.



Unidad Bump Integrator con el cable conectado al eje trasero



Sistema automatizado que controla al Bump Integrator, mediante el software del sistema Viziroad, los impulsos del BI son enviados al computador y guardados en archivos, simultáneamente se registran de forma automática las distancias de recorrido por medio de un odómetro conectado también al computador.

ANEXO 3

REGISTROS Y PROTOCOLOS DEL SISTEMA

REGISTRO DE MANTENIMIENTO DEL VEHICULO DE PRUEBAS							
Documento N° :				Fecha:			
Tipo de Vehículo:				Placa N° :			
Marca :				Año de Fabricación :			
Modelo :				Color :			
DESCRIPCIÓN	Registro N°						
	Fecha						
	Kilometraje						
Cambio de Resortes Helicoidales	Suspensión / Lado	SDI <input type="checkbox"/>	SDD <input type="checkbox"/>	SDI <input type="checkbox"/>	SDD <input type="checkbox"/>	SDI <input type="checkbox"/>	SDD <input type="checkbox"/>
		STI <input type="checkbox"/>	STD <input type="checkbox"/>	STI <input type="checkbox"/>	STD <input type="checkbox"/>	STI <input type="checkbox"/>	STD <input type="checkbox"/>
	Observación						
Cambio de Amortiguadores	Suspensión / Lado	SDI <input type="checkbox"/>	SDD <input type="checkbox"/>	SDI <input type="checkbox"/>	SDD <input type="checkbox"/>	SDI <input type="checkbox"/>	SDD <input type="checkbox"/>
		STI <input type="checkbox"/>	STD <input type="checkbox"/>	STI <input type="checkbox"/>	STD <input type="checkbox"/>	STI <input type="checkbox"/>	STD <input type="checkbox"/>
	Observación						
Cambio de Neumáticos	Suspensión / Lado	SDI <input type="checkbox"/>	SDD <input type="checkbox"/>	SDI <input type="checkbox"/>	SDD <input type="checkbox"/>	SDI <input type="checkbox"/>	SDD <input type="checkbox"/>
		STI <input type="checkbox"/>	STD <input type="checkbox"/>	STI <input type="checkbox"/>	STD <input type="checkbox"/>	STI <input type="checkbox"/>	STD <input type="checkbox"/>
	Observación						
Balanceo de Ruedas	Suspensión / Lado	SDI <input type="checkbox"/>	SDD <input type="checkbox"/>	SDI <input type="checkbox"/>	SDD <input type="checkbox"/>	SDI <input type="checkbox"/>	SDD <input type="checkbox"/>
		STI <input type="checkbox"/>	STD <input type="checkbox"/>	STI <input type="checkbox"/>	STD <input type="checkbox"/>	STI <input type="checkbox"/>	STD <input type="checkbox"/>
	Observación						
Otros cambios a la suspensión	Suspensión / Lado	SDI <input type="checkbox"/>	SDD <input type="checkbox"/>	SDI <input type="checkbox"/>	SDD <input type="checkbox"/>	SDI <input type="checkbox"/>	SDD <input type="checkbox"/>
		STI <input type="checkbox"/>	STD <input type="checkbox"/>	STI <input type="checkbox"/>	STD <input type="checkbox"/>	STI <input type="checkbox"/>	STD <input type="checkbox"/>
	Observación						
VºBo	Nombre Firma						
Claves	SDI: Suspensión delantera izquierda STI: Suspensión trasera izquierda			SDD: Suspensión delantera derecha STD: Suspensión trasera derecha			

REGISTRO DE INICIO DE MEDICIONES			
Documento N° : Fecha:			
Vehículo	Marca: Modelo: Placa N°: Color:		
Equipo Bump Integrator	Marca: N° de Serie:		
Odómetro	Marca: N° de Serie: Fecha de calibración:.....		
Calibración del Sistema	Fecha de calibración: Ecuación de calibración: Documento(s) de referencia: <input type="checkbox"/> Registro N°: <input type="checkbox"/> Informe:		
Condiciones de Inicio de Mediciones	Presión de neumáticos: Conductor: Peso:Kg. Operador: Peso:Kg. Carga adicional: Peso:Kg. Total Carga Neta sobre el Vehículo:Kg.		
Condiciones Climáticas	<table border="0" style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 70%;"> Temperatura ambiente:°C Presencia de Precipitaciones? SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/> Lluvia <input type="checkbox"/> Granizo <input type="checkbox"/> Nieve <input type="checkbox"/> Intensidad de precipitaciones: Baja <input type="checkbox"/> Media <input type="checkbox"/> Alta <input type="checkbox"/> </td> <td style="width: 30%; vertical-align: top;"> La presencia de precipitaciones es motivo de suspensión de las mediciones? SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/> </td> </tr> </table>	Temperatura ambiente:°C Presencia de Precipitaciones? SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/> Lluvia <input type="checkbox"/> Granizo <input type="checkbox"/> Nieve <input type="checkbox"/> Intensidad de precipitaciones: Baja <input type="checkbox"/> Media <input type="checkbox"/> Alta <input type="checkbox"/>	La presencia de precipitaciones es motivo de suspensión de las mediciones? SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>
Temperatura ambiente:°C Presencia de Precipitaciones? SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/> Lluvia <input type="checkbox"/> Granizo <input type="checkbox"/> Nieve <input type="checkbox"/> Intensidad de precipitaciones: Baja <input type="checkbox"/> Media <input type="checkbox"/> Alta <input type="checkbox"/>	La presencia de precipitaciones es motivo de suspensión de las mediciones? SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>		
Observaciones			
Responsable	Nombre: Firma:		

PROTOCOLO DE INICIO DE MEDICIONES	
Documento N° :	Fecha:
Instalación del equipo:	
Verificar que el equipo este correctamente instalado. (recurrir al manual del BI)	<input type="checkbox"/>
Verificar que todas las conexiones eléctricas estén hechas correctamente.	<input type="checkbox"/>
Pre-tensión de la Unidad BI:	
Antes de tensionar la unidad, verifique que el cordón esté en buenas condiciones.	<input type="checkbox"/>
Verificar que el cordón esté correctamente enganchado al alojamiento del diferencial.	<input type="checkbox"/>
La "pre-tensión" del tambor del BI debe ser 2.5 giros en el sentido antihorario. Haga este ajuste a mano y enrolle el cordón de alambre sobre el tambor 2 - 2.5 giros, en el sentido antihorario (Vea la flecha en el BI)	<input type="checkbox"/>
Asegúrese que el cordón se envuelva fácilmente en el tambor, para que elimine cualquier torcedura o traslazo.	<input type="checkbox"/>
Revisión del sistema de suspensión del vehículo:	
Verificar que el sistema de suspensión (amortiguadores, resortes, etc.) funcione correctamente.	<input type="checkbox"/>
Verificar que las ruedas estén balanceadas y los neumáticos no se encuentren excesivamente desgastados.	<input type="checkbox"/>
Verificar que la presión de los neumáticos se mantengan dentro de las especificaciones del fabricante. (Use un medidor de presión)	<input type="checkbox"/>
Carga del Vehículo:	
Mantener siempre la misma carga del vehículo durante las medidas.	<input type="checkbox"/>
Anotar las cargas sobre el vehículo en los Registros respectivos.	<input type="checkbox"/>
Comprobar que la carga del vehículo durante el proceso de calibración y durante el proceso de las medidas, no tengan variación.	<input type="checkbox"/>
Consideraciones adicionales:	
Es esencial que el vehículo se corra inmediatamente, por lo menos 5 Km. antes de que cualquier medida sea tomada, para calentar la suspensión del vehículo.	
Antes del inicio de las medidas, abastecer al vehículo la cantidad necesaria de combustible.	
Cuando el BI no esté en uso, desconecte el cordón del gancho en el diferencial, jalar el alambre dentro del casco y preferentemente, desmonte el BI.	
Responsable:	
Nombre:	Firma:

REGISTRO DE MEDICIONES IRI	
Documento N° :	
Fecha:	
N° de Hoja: 02 de 2	
Equipo o Perfilómetro de precisión	Tipo: Marca: Modelo: Serie N°:
Personal a cargo de las mediciones	Nombre: Cargo:
	Nombre: Cargo:
	Nombre: Cargo:
	Nombre: Cargo:
Características de las marcas	Marcas sobre la huella de rodadura: En una huella <input type="checkbox"/> En dos huellas <input type="checkbox"/> Intervalo entre marcas: Puntos a cada cm. Distancia entre huellas de rodadura marcadas: metros.
Consideraciones importantes	Anotar la ubicación de las marcas sobre las huellas de rodadura de cada sección en la libreta de campo. Referenciar (y marcar) los puntos de inicio y fin de las medidas sobre los intervalos de prueba. Anotar debidamente el número o código de identificación de las secciones, junto a los datos obtenidos de las mediciones.
Condiciones Climáticas	Temperatura ambiente:°C Presencia de Precipitaciones? SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/> Lluvia <input type="checkbox"/> Granizo <input type="checkbox"/> Nieve <input type="checkbox"/> Intensidad de precipitaciones: Baja <input type="checkbox"/> Media <input type="checkbox"/> Alta <input type="checkbox"/> La presencia de precipitaciones es motivo de suspensión de las mediciones? SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>
Observaciones	
Responsable	Nombre: Firma:

REGISTRO DE INICIO DE MEDICIONES DE CALIBRACION																					
Documento N° :																					
Fecha:																					
Vehículo	Marca: Modelo: Placa N°: Color:																				
Equipo Bump Integrator	Marca: N° de Serie:																				
Odómetro	Marca: N° de Serie: Fecha de calibración:.....																				
Secciones de calibración	Carretera: N° de carriles: N° de secciones: Longitud de secciones: Velocidad de trabajo: Km/h N° de repeticiones/sección: Documento(s) de referencia: <input type="checkbox"/> Registro N°: <input type="checkbox"/> Informe:																				
Condiciones de Inicio de Mediciones	Presión de neumáticos: Conductor: Peso:Kg. Operador: Peso:Kg. Carga adicional: Peso:Kg. <p style="text-align: right;">Total Carga Neta sobre el Vehículo:Kg.</p>																				
Condiciones Climáticas	<table border="0" style="width: 100%;"> <tr> <td>Temperatura ambiente:°C</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Presencia de Precipitaciones?</td> <td>SI <input type="checkbox"/></td> <td>NO <input type="checkbox"/></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Lluvia <input type="checkbox"/></td> <td>Granizo <input type="checkbox"/></td> <td>Nieve <input type="checkbox"/></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Intensidad de precipitaciones:</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Baja <input type="checkbox"/></td> <td>Media <input type="checkbox"/></td> <td>Alta <input type="checkbox"/></td> <td></td> </tr> </table> <div style="float: right; text-align: center;"> La presencia de precipitaciones es motivo de suspensión de las mediciones? SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/> </div>	Temperatura ambiente:°C				Presencia de Precipitaciones?	SI <input type="checkbox"/>	NO <input type="checkbox"/>		Lluvia <input type="checkbox"/>	Granizo <input type="checkbox"/>	Nieve <input type="checkbox"/>		Intensidad de precipitaciones:				Baja <input type="checkbox"/>	Media <input type="checkbox"/>	Alta <input type="checkbox"/>	
Temperatura ambiente:°C																					
Presencia de Precipitaciones?	SI <input type="checkbox"/>	NO <input type="checkbox"/>																			
Lluvia <input type="checkbox"/>	Granizo <input type="checkbox"/>	Nieve <input type="checkbox"/>																			
Intensidad de precipitaciones:																					
Baja <input type="checkbox"/>	Media <input type="checkbox"/>	Alta <input type="checkbox"/>																			
Observaciones																					
Responsable	Nombre: Firma:																				

REGISTRO DE PRUEBAS DE CONTROL																				
Documento N° :		Fecha: N° de Hoja: 01 de 2																		
Vehículo	Marca: Modelo: Placa N°: Color:																			
Equipo Bump Integrator	Marca: N° de Serie:																			
Odómetro	Marca: N° de Serie: Fecha de calibración:.....																			
Secciones de control	N° de secciones: Longitud de secciones: Velocidad de trabajo: Km/h N° de repeticiones/sección: Documento(s) de referencia: <input type="checkbox"/> Registro N°: <input type="checkbox"/> Informe:																			
Ubicación de las secciones de control	Carretera: N° de carriles: <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: center;"><u>Sección N°</u></th> <th style="text-align: center;"><u>Carril</u></th> <th style="text-align: center;"><u>Progresivas</u></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>.....</td> <td>.....</td> <td>Del Km..... al Km.....</td> </tr> </tbody> </table>		<u>Sección N°</u>	<u>Carril</u>	<u>Progresivas</u>	Del Km..... al Km.....	Del Km..... al Km.....	Del Km..... al Km.....	Del Km..... al Km.....	Del Km..... al Km.....
<u>Sección N°</u>	<u>Carril</u>	<u>Progresivas</u>																		
.....	Del Km..... al Km.....																		
.....	Del Km..... al Km.....																		
.....	Del Km..... al Km.....																		
.....	Del Km..... al Km.....																		
.....	Del Km..... al Km.....																		
Condiciones de Inicio de Mediciones	Presión de neumáticos: Conductor: Peso:Kg. Operador: Peso:Kg. Carga adicional: Peso:Kg. Total Carga Neta sobre el Vehículo:Kg.																			

REGISTRO DE PRUEBAS DE CONTROL							
Documento N° :					Fecha:		N° de Hoja: 02 de 2
Prueba de control inicial	Fecha de realización:						
	Expresión adoptada:						
	<input type="checkbox"/> ARS = ARS _{ini} ± 5%						
	<input type="checkbox"/> ARS = ARS _{ini} ± 5 cuentas/Km						
	Sección		ARS _{ini} (Promedio)		Rango aceptable		
					ARS Mínimo	ARS Máximo	
Prueba de control actual	Sección						
	L1	L2	L3	L4	L5	ARS (Promedio)	
Condiciones Climáticas	Temperatura ambiente:°C					La presencia de precipitaciones es motivo de suspensión de las mediciones? SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>	
	Presencia de Precipitaciones? SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>						
	Lluvia <input type="checkbox"/>	Granizo <input type="checkbox"/>	Nieve <input type="checkbox"/>				
Intensidad de precipitaciones:					SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>		
Baja <input type="checkbox"/> Media <input type="checkbox"/> Alta <input type="checkbox"/>							
Observaciones							
Responsable	Nombre: Firma:						

INSTRUCCIONES DE TRABAJO

Para:
De:

Documento N°:
Fecha:

BUMP INTEGRATOR

Programa y especificaciones para el viaje a Ayacucho, del 26 de Noviembre al 2 de Diciembre.

1. Ubicación del tramo.

Hacer medidas en la RN 024, en el tramo San Clemente – Ayacucho, o sea entre los PK 0 y PK 330+600.

- Dos veces.
- En ambos sentidos.

2. Preparación de las medidas.

Antes de proceder a cualquier medida, chequear la presión de las llantas.

Armar el Bump y manejar por lo menos 10 Km con el Bump conectado y alimentado con corriente.

Inicializar Viziroad con la opción "Medida Bump", con longitud de integración de 200 m.

Registrar la velocidad.

Escoger un nombre de archivo que recuerde la información básica:

1. El código de la carretera.
2. El sentido (C por creciente ó D por decreciente).
3. El numero incremental del archivo (ya que se cierran los archivos de vez en cuando).
4. El número de orden de la medida (1 o 2).

Por ejemplo, el archivo para la medida siguiente:

1. En la carretera RN 024.
2. En el sentido de Ayacucho a San Clemente.
3. Entre Rumichaca y Huaytara (PK 200 a PK 110) (se supone que es el tercer archivo del recorrido).
4. Segundo recorrido en el tramo.

Contendría los códigos siguientes:

24D3_2

3. Realización de la medida.

Inicializar la medida. Arrancar el vehículo y alcanzar la velocidad de medida, 32 Km/h. Mantener esta velocidad en todo el tramo de medida (con tolerancia de 5% máximo).

Grabar Bump y velocidad.

Después de finalizar el tramo, detenerse y cerrar el archivo Viziroad.

ANEXO 4

MODELO DE CALCULO DEL IRI PARA DATOS PERFILOMETRICOS

CÁLCULO DEL IRI PARA DATOS PERFILOMETRICOS

El método que se aplica, es para datos obtenidos con equipos Clase 1 o Clase 2. Como ejemplo de aplicación se utilizan los datos de las secciones de calibración del tramo La Oroya – Huayre, efectuado con Nivel y Mira, en los cuadros siguientes se muestran las lecturas de campo, resultado de la nivelación del tramo de 320m, con intervalos de 0.50m, sobre el carril derecho (sentido creciente de las progresivas) y sobre las dos huellas de rodadura, ubicado entre las progresivas Km 9+260 y Km 9+580, dichas secciones fueron utilizadas para el proyecto de Gestión de Carreteras del MTC realizado en los años 1999 y 2000, para la calibración del equipo Bump Integrator.

El método consiste en una nivelación de precisión sobre cada huella de rodadura, con los datos de la nivelación, se realiza el procesamiento mediante el programa de cómputo del IRI, que es un programa de simulación de la respuesta del vehículo expuesto en el Capítulo 6, actualmente existen varios software, como el aplicado en este ejemplo, se muestran las imágenes del programa IRICALC con el cual se hizo el procesamiento de los datos de la nivelación, para cada huella. El programa requiere los datos de la nivelación en un archivo con formato de texto, lo que se consigue fácilmente exportando los datos desde una hoja de cálculo como el Excel, se configuran las unidades y se activa el procesamiento, luego el programa muestra los resultados en pantalla y graba los resultados también en archivo de texto, a su vez, tiene opciones para la presentación de gráficos del IRI y del perfil longitudinal.

Los resultados se obtienen para cada una de las huellas de rodadura, es decir se tienen valores IRI para cada huella, finalmente para obtener el resultado del valor de la sección de calibración se realiza el cálculo de la media del IRI de ambas huellas. Ver el resultado en el Anexo correspondiente al cuadro de los IRI de las secciones de calibración para el Bump Integrator, N° de sección 9, código de sección 3N-2C, del proyecto Sistema de Gestión de Carreteras.

HOJA DE DATOS PERFILOMETRICOS

LIBRETA DE CAMPO

- **HUELLA EXTERNA**
- **HUELLA INTERNA**

Sección de Calibración
Método Nivel - Mira

Carretera : **Oroya - Huayre**
Sección : **KM. 9+260 - KM.9+580**
Código Sección : **3N-2C**

Tramo : **2**
Carril : **Derecho**

Progresiva Km	Huella Externa				Huella Interna			
	VAT	H	VAD	COTAc	VAT	H	VAD	COTAi
9+260.00	1.731	3747.181		3745.450	1.701	3747.181		3745.480
9+260.50			1.726	3745.455			1.699	3745.482
9+261.00			1.723	3745.458			1.698	3745.483
9+261.50			1.722	3745.459			1.694	3745.487
9+262.00			1.721	3745.460			1.691	3745.490
9+262.50			1.719	3745.462			1.691	3745.490
9+263.00			1.717	3745.464			1.689	3745.492
9+263.50			1.713	3745.468			1.687	3745.494
9+264.00			1.712	3745.469			1.684	3745.497
9+264.50			1.711	3745.470			1.682	3745.499
9+265.00			1.708	3745.473			1.681	3745.500
9+265.50			1.705	3745.476			1.678	3745.503
9+266.00			1.703	3745.478			1.677	3745.504
9+266.50			1.701	3745.480			1.674	3745.507
9+267.00			1.701	3745.480			1.671	3745.510
9+267.50			1.697	3745.484			1.669	3745.512
9+268.00			1.694	3745.487			1.667	3745.514
9+268.50			1.691	3745.490			1.663	3745.518
9+269.00			1.689	3745.492			1.661	3745.520
9+269.50			1.684	3745.497			1.659	3745.522
9+270.00			1.682	3745.499			1.656	3745.525
9+270.50			1.681	3745.500			1.652	3745.529
9+271.00			1.678	3745.503			1.649	3745.532
9+271.50			1.673	3745.508			1.646	3745.535
9+272.00			1.671	3745.510			1.642	3745.539
9+272.50			1.668	3745.513			1.639	3745.542
9+273.00			1.664	3745.517			1.639	3745.542
9+273.50			1.661	3745.520			1.633	3745.548
9+274.00			1.657	3745.524			1.629	3745.552
9+274.50			1.651	3745.530			1.627	3745.554
9+275.00			1.649	3745.532			1.621	3745.560
9+275.50			1.646	3745.535			1.618	3745.563
9+276.00			1.642	3745.539			1.614	3745.567
9+276.50			1.639	3745.542			1.610	3745.571
9+277.00			1.633	3745.548			1.607	3745.574
9+277.50			1.631	3745.550			1.604	3745.577
9+278.00			1.626	3745.555			1.601	3745.580
9+278.50			1.621	3745.560			1.593	3745.588
9+279.00			1.621	3745.560			1.591	3745.590
9+279.50			1.614	3745.567			1.588	3745.593
9+280.00			1.611	3745.570			1.583	3745.598
9+280.50			1.606	3745.575			1.579	3745.602
9+281.00			1.601	3745.580			1.574	3745.607
9+281.50			1.597	3745.584			1.571	3745.610
9+282.00			1.593	3745.588			1.569	3745.612
9+282.50			1.590	3745.591			1.564	3745.617
9+283.00			1.586	3745.595			1.561	3745.620
9+283.50			1.581	3745.600			1.559	3745.622
9+284.00			1.579	3745.602			1.553	3745.628
9+284.50			1.573	3745.608			1.549	3745.632
9+285.00			1.571	3745.610			1.544	3745.637
9+285.50			1.566	3745.615			1.541	3745.640
9+286.00			1.563	3745.618			1.539	3745.642
9+286.50			1.559	3745.622			1.533	3745.648
9+287.00			1.554	3745.627			1.531	3745.650
9+287.50			1.549	3745.632			1.524	3745.657
9+288.00			1.543	3745.638			1.521	3745.660
9+288.50			1.539	3745.642			1.517	3745.664
9+289.00			1.533	3745.648			1.511	3745.670
9+289.50			1.531	3745.650			1.506	3745.675
9+290.00			1.524	3745.657			1.502	3745.679
9+290.50			1.521	3745.660			1.499	3745.682
9+291.00			1.514	3745.667			1.492	3745.689
9+291.50			1.511	3745.670			1.489	3745.692

Sección de Calibración
Método Nivel - Mira

Carretera : **Oroya - Huayre**
Sección : **KM. 9+260 - KM.9+580**
Código Sección : **3N-2C**

Tramo : **2**
Carril : **Derecho**

Progresiva Km	Huella Externa				Huella Interna			
	VAT	H	VAD	COTAc	VAT	H	VAD	COTAi
9+292.00			1.504	3745.677			1.483	3745.698
9+292.50			1.502	3745.679			1.480	3745.701
9+293.00			1.495	3745.686			1.472	3745.709
9+293.50			1.491	3745.690			1.469	3745.712
9+294.00			1.483	3745.698			1.463	3745.718
9+294.50			1.479	3745.702			1.459	3745.722
9+295.00			1.473	3745.708			1.452	3745.729
9+295.50			1.469	3745.712			1.449	3745.732
9+296.00			1.463	3745.718			1.443	3745.738
9+296.50			1.457	3745.724			1.439	3745.742
9+297.00			1.452	3745.729			1.433	3745.748
9+297.50			1.447	3745.734			1.428	3745.753
9+298.00			1.441	3745.740			1.421	3745.760
9+298.50			1.434	3745.747			1.417	3745.764
9+299.00			1.429	3745.752			1.409	3745.772
9+299.50			1.423	3745.758			1.404	3745.777
9+300.00			1.417	3745.764			1.399	3745.782
9+300.50			1.411	3745.770			1.391	3745.790
9+301.00			1.404	3745.777			1.387	3745.794
9+301.50			1.399	3745.782			1.381	3745.800
9+302.00			1.393	3745.788			1.375	3745.806
9+302.50			1.387	3745.794			1.369	3745.812
9+303.00			1.381	3745.800			1.363	3745.818
9+303.50			1.374	3745.807			1.358	3745.823
9+304.00			1.368	3745.813			1.350	3745.831
9+304.50			1.361	3745.820			1.344	3745.837
9+305.00	3.202	3749.023	1.360	3745.821	3.165	3749.023	1.323	3745.858
9+305.50			3.200	3745.823			3.158	3745.865
9+306.00			3.190	3745.833			3.153	3745.870
9+306.50			3.185	3745.838			3.143	3745.880
9+307.00			3.180	3745.843			3.138	3745.885
9+307.50			3.170	3745.853			3.131	3745.892
9+308.00			3.162	3745.861			3.124	3745.899
9+308.50			3.160	3745.863			3.118	3745.905
9+309.00			3.150	3745.873			3.111	3745.912
9+309.50			3.142	3745.881			3.103	3745.920
9+310.00			3.138	3745.885			3.098	3745.925
9+310.50			3.130	3745.893			3.088	3745.935
9+311.00			3.122	3745.901			3.083	3745.940
9+311.50			3.118	3745.905			3.079	3745.944
9+312.00			3.110	3745.913			3.075	3745.948
9+312.50			3.100	3745.923			3.067	3745.956
9+313.00			3.092	3745.931			3.056	3745.967
9+313.50			3.090	3745.933			3.047	3745.976
9+314.00			3.080	3745.943			3.040	3745.983
9+314.50			3.070	3745.953			3.031	3745.992
9+315.00			3.065	3745.958			3.027	3745.996
9+315.50			3.058	3745.965			3.019	3746.004
9+316.00			3.050	3745.973			3.011	3746.012
9+316.50			3.040	3745.983			3.003	3746.020
9+317.00			3.032	3745.991			2.993	3746.030
9+317.50			3.025	3745.998			2.986	3746.037
9+318.00			3.020	3746.003			2.981	3746.042
9+318.50			3.010	3746.013			2.972	3746.051
9+319.00			3.000	3746.023			2.962	3746.061
9+319.50			2.992	3746.031			2.956	3746.067
9+320.00			2.982	3746.041			2.945	3746.078
9+320.50			2.978	3746.045			2.939	3746.084
9+321.00			2.970	3746.053			2.932	3746.091
9+321.50			2.961	3746.062			2.923	3746.100
9+322.00			2.950	3746.073			2.915	3746.108
9+322.50			2.945	3746.078			2.907	3746.116
9+323.00			2.937	3746.086			2.899	3746.124

Sección de Calibración
Método Nivel - Mira

Carretera : **Oroya - Huayre**
Sección : **KM. 9+260 - KM.9+580**
Código Sección : **3N-2C**

Tramo : **2**
Carril : **Derecho**

Progresiva Km	Huella Externa				Huella Interna			
	VAT	H	VAD	COTAE	VAT	H	VAD	COTAI
9+323.50			2.928	3746.095			2.889	3746.134
9+324.00			2.920	3746.103			2.883	3746.140
9+324.50			2.910	3746.113			2.873	3746.150
9+325.00			2.901	3746.122			2.866	3746.157
9+325.50			2.893	3746.130			2.857	3746.166
9+326.00			2.882	3746.141			2.847	3746.176
9+326.50			2.875	3746.148			2.839	3746.184
9+327.00			2.868	3746.155			2.831	3746.192
9+327.50			2.858	3746.165			2.821	3746.202
9+328.00			2.850	3746.173			2.813	3746.210
9+328.50			2.840	3746.183			2.801	3746.222
9+329.00			2.830	3746.193			2.791	3746.232
9+329.50			2.820	3746.203			2.784	3746.239
9+330.00			2.810	3746.213			2.777	3746.246
9+330.50			2.802	3746.221			2.768	3746.255
9+331.00			2.792	3746.231			2.758	3746.265
9+331.50			2.782	3746.241			2.748	3746.275
9+332.00			2.773	3746.250			2.738	3746.285
9+332.50			2.763	3746.260			2.729	3746.294
9+333.00			2.752	3746.271			2.719	3746.304
9+333.50			2.742	3746.281			2.709	3746.314
9+334.00			2.732	3746.291			2.699	3746.324
9+334.50			2.725	3746.298			2.689	3746.334
9+335.00			2.715	3746.308			2.681	3746.342
9+335.50			2.702	3746.321			2.671	3746.352
9+336.00			2.692	3746.331			2.659	3746.364
9+336.50			2.683	3746.340			2.649	3746.374
9+337.00			2.673	3746.350			2.639	3746.384
9+337.50			2.662	3746.361			2.629	3746.394
9+338.00			2.650	3746.373			2.619	3746.404
9+338.50			2.641	3746.382			2.609	3746.414
9+339.00			2.630	3746.393			2.598	3746.425
9+339.50			2.620	3746.403			2.588	3746.435
9+340.00			2.610	3746.413			2.578	3746.445
9+340.50			2.598	3746.425			2.567	3746.456
9+341.00			2.588	3746.435			2.554	3746.469
9+341.50			2.578	3746.445			2.543	3746.480
9+342.00			2.567	3746.456			2.533	3746.490
9+342.50			2.558	3746.465			2.523	3746.500
9+343.00			2.546	3746.477			2.514	3746.509
9+343.50			2.536	3746.487			2.503	3746.520
9+344.00			2.527	3746.496			2.494	3746.529
9+344.50			2.517	3746.506			2.484	3746.539
9+345.00			2.505	3746.518			2.473	3746.550
9+345.50			2.492	3746.531			2.461	3746.562
9+346.00			2.480	3746.543			2.449	3746.574
9+346.50			2.469	3746.554			2.438	3746.585
9+347.00			2.458	3746.565			2.428	3746.595
9+347.50			2.446	3746.577			2.416	3746.607
9+348.00			2.434	3746.589			2.404	3746.619
9+348.50			2.422	3746.601			2.393	3746.630
9+349.00			2.412	3746.611			2.382	3746.641
9+349.50			2.400	3746.623			2.371	3746.652
9+350.00			2.390	3746.633			2.359	3746.664
9+350.50			2.380	3746.643			2.349	3746.674
9+351.00			2.368	3746.655			2.338	3746.685
9+351.50			2.356	3746.667			2.325	3746.698
9+352.00			2.343	3746.680			2.313	3746.710
9+352.50			2.332	3746.691			2.301	3746.722
9+353.00			2.320	3746.703			2.291	3746.732
9+353.50			2.310	3746.713			2.279	3746.744
9+354.00			2.298	3746.725			2.268	3746.755
9+354.50			2.283	3746.740			2.255	3746.768

Sección de Calibración
Método Nivel - Mira

Carretera : **Oroya - Huayre**
Sección : **KM. 9+260 - KM.9+580**
Código Sección : **3N-2C**

Tramo : **2**
Carril : **Derecho**

Progresiva Km	Huella Externa				Huella Interna			
	VAT	H	VAD	COTAc	VAT	H	VAD	COTAi
9+355.00			2.270	3746.753			2.241	3746.782
9+355.50			2.260	3746.763			2.229	3746.794
9+356.00			2.248	3746.775			2.219	3746.804
9+356.50			2.235	3746.788			2.204	3746.819
9+357.00			2.222	3746.801			2.194	3746.829
9+357.50			2.210	3746.813			2.181	3746.842
9+358.00			2.198	3746.825			2.169	3746.854
9+358.50			2.186	3746.837			2.158	3746.865
9+359.00			2.172	3746.851			2.144	3746.879
9+359.50			2.160	3746.863			2.131	3746.892
9+360.00			2.150	3746.873			2.119	3746.904
9+360.50			2.135	3746.888			2.107	3746.916
9+361.00			2.120	3746.903			2.091	3746.932
9+361.50			2.110	3746.913			2.081	3746.942
9+362.00			2.097	3746.926			2.068	3746.955
9+362.50			2.082	3746.941			2.057	3746.966
9+363.00			2.070	3746.953			2.042	3746.981
9+363.50			2.058	3746.965			2.030	3746.993
9+364.00			2.043	3746.980			2.018	3747.005
9+364.50			2.046	3746.977			2.005	3747.018
9+365.00			2.018	3747.005			1.989	3747.034
9+365.50			2.004	3747.019			1.975	3747.048
9+366.00			1.990	3747.033			1.962	3747.061
9+366.50			1.978	3747.045			1.951	3747.072
9+367.00			1.965	3747.058			1.939	3747.084
9+367.50			1.952	3747.071			1.927	3747.096
9+368.00			1.939	3747.084			1.911	3747.112
9+368.50			1.924	3747.099			1.898	3747.125
9+369.00			1.911	3747.112			1.883	3747.140
9+369.50			1.898	3747.125			1.869	3747.154
9+370.00			1.884	3747.139			1.858	3747.165
9+370.50			1.870	3747.153			1.842	3747.181
9+371.00			1.852	3747.171			1.829	3747.194
9+371.50			1.840	3747.183			1.815	3747.208
9+372.00			1.827	3747.196			1.800	3747.223
9+372.50			1.812	3747.211			1.786	3747.237
9+373.00			1.800	3747.223			1.771	3747.252
9+373.50			1.783	3747.240			1.759	3747.264
9+374.00			1.770	3747.253			1.743	3747.280
9+374.50			1.756	3747.267			1.729	3747.294
9+375.00			1.740	3747.283			1.713	3747.310
9+375.50			1.725	3747.298			1.699	3747.324
9+376.00			1.712	3747.311			1.684	3747.339
9+376.50			1.700	3747.323			1.669	3747.354
9+377.00			1.680	3747.343			1.657	3747.366
9+377.50	3.760	3751.103	1.680	3747.343	3.717	3751.103	1.637	3747.386
9+378.00			3.744	3747.359			3.699	3747.404
9+378.50			3.728	3747.375			3.684	3747.419
9+379.00			3.714	3747.389			3.669	3747.434
9+379.50			3.698	3747.405			3.656	3747.447
9+380.00			3.684	3747.419			3.639	3747.464
9+380.50			3.666	3747.437			3.624	3747.479
9+381.00			3.652	3747.451			3.609	3747.494
9+381.50			3.636	3747.467			3.592	3747.511
9+382.00			3.620	3747.483			3.579	3747.524
9+382.50			3.606	3747.497			3.563	3747.540
9+383.00			3.591	3747.512			3.549	3747.554
9+383.50			3.576	3747.527			3.533	3747.570
9+384.00			3.560	3747.543			3.519	3747.584
9+384.50			3.546	3747.557			3.503	3747.600
9+385.00			3.528	3747.575			3.489	3747.614
9+385.50			3.516	3747.587			3.473	3747.630
9+386.00			3.498	3747.605			3.458	3747.645

Sección de Calibración
Método Nivel - Mira

Carretera : Oroya - Huayre
Sección : KM. 9+260 - KM.9+580
Código Sección : 3N-2C

Tramo : 2
Carril : Derecho

Progresiva Km	Huella Externa				Huella Interna			
	VAT	H	VAD	COTAc	VAT	H	VAD	COTAi
9+386.50			3.480	3747.623			3.439	3747.664
9+387.00			3.466	3747.637			3.427	3747.676
9+387.50			3.448	3747.655			3.413	3747.690
9+388.00			3.432	3747.671			3.393	3747.710
9+388.50			3.426	3747.677			3.379	3747.724
9+389.00			3.407	3747.696			3.361	3747.742
9+389.50			3.386	3747.717			3.346	3747.757
9+390.00			3.368	3747.735			3.331	3747.772
9+390.50			3.353	3747.750			3.316	3747.787
9+391.00			3.336	3747.767			3.299	3747.804
9+391.50			3.319	3747.784			3.281	3747.822
9+392.00			3.306	3747.797			3.268	3747.835
9+392.50			3.286	3747.817			3.249	3747.854
9+393.00			3.268	3747.835			3.231	3747.872
9+393.50			3.246	3747.857			3.217	3747.886
9+394.00			3.234	3747.869			3.199	3747.904
9+394.50			3.216	3747.887			3.182	3747.921
9+395.00			3.206	3747.897			3.167	3747.936
9+395.50			3.181	3747.922			3.149	3747.954
9+396.00			3.166	3747.937			3.133	3747.970
9+396.50			3.146	3747.957			3.119	3747.984
9+397.00			3.126	3747.977			3.101	3748.002
9+397.50			3.108	3747.995			3.082	3748.021
9+398.00			3.096	3748.007			3.067	3748.036
9+398.50			3.078	3748.025			3.049	3748.054
9+399.00			3.058	3748.045			3.031	3748.072
9+399.50			3.045	3748.058			3.018	3748.085
9+400.00			3.026	3748.077			2.999	3748.104
9+400.50			3.004	3748.099			2.981	3748.122
9+401.00			2.986	3748.117			2.962	3748.141
9+401.50			2.968	3748.135			2.946	3748.157
9+402.00			2.951	3748.152			2.929	3748.174
9+402.50			2.936	3748.167			2.911	3748.192
9+403.00			2.916	3748.187			2.893	3748.210
9+403.50			2.908	3748.195			2.879	3748.224
9+404.00			2.883	3748.220			2.859	3748.244
9+404.50			2.866	3748.237			2.840	3748.263
9+405.00			2.848	3748.255			2.822	3748.281
9+405.50			2.834	3748.269			2.804	3748.299
9+406.00			2.816	3748.287			2.787	3748.316
9+406.50			2.798	3748.305			2.771	3748.332
9+407.00			2.783	3748.320			2.757	3748.346
9+407.50			2.766	3748.337			2.739	3748.364
9+408.00			2.749	3748.354			2.722	3748.381
9+408.50			2.736	3748.367			2.702	3748.401
9+409.00			2.714	3748.389			2.681	3748.422
9+409.50			2.696	3748.407			2.665	3748.438
9+410.00			2.676	3748.427			2.645	3748.458
9+410.50			2.658	3748.445			2.627	3748.476
9+411.00			2.639	3748.464			2.609	3748.494
9+411.50			2.623	3748.480			2.592	3748.511
9+412.00			2.606	3748.497			2.573	3748.530
9+412.50			2.586	3748.517			2.556	3748.547
9+413.00			2.566	3748.537			2.539	3748.564
9+413.50			2.550	3748.553			2.519	3748.584
9+414.00			2.533	3748.570			2.499	3748.604
9+414.50			2.514	3748.589			2.481	3748.622
9+415.00			2.494	3748.609			2.461	3748.642
9+415.50			2.476	3748.627			2.441	3748.662
9+416.00			2.458	3748.645			2.424	3748.679
9+416.50			2.436	3748.667			2.407	3748.696
9+417.00			2.417	3748.686			2.389	3748.714
9+417.50			2.400	3748.703			2.370	3748.733

Sección de Calibración
Método Nivel - Mira

Carretera : Oroya - Huayre
Sección : KM. 9+260 - KM.9+580
Código Sección : 3N-2C

Tramo : 2
Carril : Derecho

Progresiva Km	Huella Externa				Huella Interna			
	VAT	H	VAD	COTAc	VAT	H	VAD	COTAi
9+418.00			2.381	3748.722			2.356	3748.747
9+418.50			2.361	3748.742			2.339	3748.764
9+419.00			2.346	3748.757			2.317	3748.786
9+419.50			2.328	3748.775			2.299	3748.804
9+420.00			2.316	3748.787			2.282	3748.821
9+420.50			2.296	3748.807			2.262	3748.841
9+421.00			2.277	3748.826			2.247	3748.856
9+421.50			2.263	3748.840			2.225	3748.878
9+422.00			2.247	3748.856			2.218	3748.885
9+422.50			2.229	3748.874			2.198	3748.905
9+423.00			2.214	3748.889			2.181	3748.922
9+423.50			2.196	3748.907			2.164	3748.939
9+424.00			2.179	3748.924			2.147	3748.956
9+424.50			2.164	3748.939			2.129	3748.974
9+425.00			2.146	3748.957			2.112	3748.991
9+425.50			2.128	3748.975			2.096	3749.007
9+426.00			2.114	3748.989			2.081	3749.022
9+426.50			2.094	3749.009			2.061	3749.042
9+427.00			2.078	3749.025			2.044	3749.059
9+427.50			2.059	3749.044			2.027	3749.076
9+428.00			2.041	3749.062			2.009	3749.094
9+428.50			2.024	3749.079			1.991	3749.112
9+429.00			2.006	3749.097			1.973	3749.130
9+429.50			1.989	3749.114			1.956	3749.147
9+430.00			1.972	3749.131			1.939	3749.164
9+430.50			1.954	3749.149			1.920	3749.183
9+431.00			1.937	3749.166			1.901	3749.202
9+431.50			1.918	3749.185			1.884	3749.219
9+432.00			1.898	3749.205			1.865	3749.238
9+432.50			1.880	3749.223			1.848	3749.255
9+433.00			1.861	3749.242			1.829	3749.274
9+433.50			1.844	3749.259			1.809	3749.294
9+434.00			1.826	3749.277			1.789	3749.314
9+434.50			1.806	3749.297			1.771	3749.332
9+435.00			1.784	3749.319			1.751	3749.352
9+435.50			1.768	3749.335			1.731	3749.372
9+436.00			1.748	3749.355			1.712	3749.391
9+436.50			1.728	3749.375			1.691	3749.412
9+437.00			1.710	3749.393			1.675	3749.428
9+437.50			1.691	3749.412			1.655	3749.448
9+438.00			1.670	3749.433			1.637	3749.466
9+438.50			1.651	3749.452			1.617	3749.486
9+439.00			1.631	3749.472			1.598	3749.505
9+439.50			1.613	3749.490			1.578	3749.525
9+440.00			1.594	3749.509			1.559	3749.544
9+440.50	3.124	3752.648	1.579	3749.524	3.078	3752.648	1.533	3749.570
9+441.00			3.107	3749.541			3.059	3749.589
9+441.50			3.089	3749.559			3.041	3749.607
9+442.00			3.074	3749.574			3.025	3749.623
9+442.50			3.057	3749.591			3.009	3749.639
9+443.00			3.042	3749.606			2.991	3749.657
9+443.50			3.021	3749.627			2.971	3749.677
9+444.00			3.003	3749.645			2.952	3749.696
9+444.50			2.987	3749.661			2.939	3749.709
9+445.00			2.967	3749.681			2.921	3749.727
9+445.50			2.951	3749.697			2.906	3749.742
9+446.00			2.937	3749.711			2.891	3749.757
9+446.50			2.919	3749.729			2.875	3749.773
9+447.00			2.902	3749.746			2.859	3749.789
9+447.50			2.885	3749.763			2.841	3749.807
9+448.00			2.867	3749.781			2.821	3749.827
9+448.50			2.849	3749.799			2.801	3749.847
9+449.00			2.829	3749.819			2.787	3749.861

Sección de Calibración
Método Nivel - Mira

Carretera : Oroya - Huayre
Sección : KM. 9+260 - KM.9+580
Código Sección : 3N-2C

Tramo : 2
Carril : Derecho

Progresiva Km	Huella Externa				Huella Interna			
	VAT	H	VAD	COTAc	VAT	H	VAD	COTAi
9+449.50			2.810	3749.838			2.768	3749.880
9+450.00			2.792	3749.856			2.749	3749.899
9+450.50			2.777	3749.871			2.731	3749.917
9+451.00			2.757	3749.891			2.711	3749.937
9+451.50			2.737	3749.911			2.692	3749.956
9+452.00			2.719	3749.929			2.678	3749.970
9+452.50			2.702	3749.946			2.659	3749.989
9+453.00			2.684	3749.964			2.640	3750.008
9+453.50			2.666	3749.982			2.621	3750.027
9+454.00			2.645	3750.003			2.601	3750.047
9+454.50			2.627	3750.021			2.584	3750.064
9+455.00			2.607	3750.041			2.562	3750.086
9+455.50			2.587	3750.061			2.548	3750.100
9+456.00			2.569	3750.079			2.525	3750.123
9+456.50			2.553	3750.095			2.505	3750.143
9+457.00			2.529	3750.119			2.488	3750.160
9+457.50			2.512	3750.136			2.468	3750.180
9+458.00			2.490	3750.158			2.448	3750.200
9+458.50			2.472	3750.176			2.428	3750.220
9+459.00			2.453	3750.195			2.409	3750.239
9+459.50			2.432	3750.216			2.389	3750.259
9+460.00			2.412	3750.236			2.369	3750.279
9+460.50			2.395	3750.253			2.349	3750.299
9+461.00			2.375	3750.273			2.332	3750.316
9+461.50			2.357	3750.291			2.313	3750.335
9+462.00			2.339	3750.309			2.299	3750.349
9+462.50			2.327	3750.321			2.282	3750.366
9+463.00			2.307	3750.341			2.264	3750.384
9+463.50			2.287	3750.361			2.248	3750.400
9+464.00			2.270	3750.378			2.231	3750.417
9+464.50			2.257	3750.391			2.213	3750.435
9+465.00			2.237	3750.411			2.195	3750.453
9+465.50			2.218	3750.430			2.179	3750.469
9+466.00			2.201	3750.447			2.161	3750.487
9+466.50			2.182	3750.466			2.143	3750.505
9+467.00			2.167	3750.481			2.126	3750.522
9+467.50			2.149	3750.499			2.109	3750.539
9+468.00			2.129	3750.519			2.091	3750.557
9+468.50			2.110	3750.538			2.072	3750.576
9+469.00			2.094	3750.554			2.054	3750.594
9+469.50			2.077	3750.571			2.034	3750.614
9+470.00			2.057	3750.591			2.019	3750.629
9+470.50			2.037	3750.611			2.000	3750.648
9+471.00			2.020	3750.628			1.981	3750.667
9+471.50			1.999	3750.649			1.966	3750.682
9+472.00			1.982	3750.666			1.947	3750.701
9+472.50			1.962	3750.686			1.928	3750.720
9+473.00			1.945	3750.703			1.909	3750.739
9+473.50			1.925	3750.723			1.890	3750.758
9+474.00			1.909	3750.739			1.871	3750.777
9+474.50			1.887	3750.761			1.851	3750.797
9+475.00			1.867	3750.781			1.833	3750.815
9+475.50			1.849	3750.799			1.812	3750.836
9+476.00			1.828	3750.820			1.795	3750.853
9+476.50			1.811	3750.837			1.775	3750.873
9+477.00			1.789	3750.859			1.753	3750.895
9+477.50			1.772	3750.876			1.735	3750.913
9+478.00			1.751	3750.897			1.717	3750.931
9+478.50			1.732	3750.916			1.694	3750.954
9+479.00			1.713	3750.935			1.675	3750.973
9+479.50			1.697	3750.951			1.658	3750.990
9+480.00			1.674	3750.974			1.637	3751.011
9+480.50			1.657	3750.991			1.619	3751.029

Sección de Calibración
Método Nivel - Mira

Carretera : **Oroya - Huayre**
Sección : **KM. 9+260 - KM.9+580**
Código Sección : **3N-2C**

Tramo : **2**
Carril : **Derecho**

Progresiva Km	Huella Externa				Huella Interna			
	VAT	H	VAD	COTaE	VAT	H	VAD	COTaI
9+481.00			1.641	3751.007			1.603	3751.045
9+481.50			1.623	3751.025			1.588	3751.060
9+482.00			1.607	3751.041			1.571	3751.077
9+482.50			1.589	3751.059			1.552	3751.096
9+483.00			1.572	3751.076			1.537	3751.111
9+483.50			1.555	3751.093			1.518	3751.130
9+484.00			1.537	3751.111			1.501	3751.147
9+484.50			1.519	3751.129			1.485	3751.163
9+485.00			1.503	3751.145			1.468	3751.180
9+485.50			1.486	3751.162			1.451	3751.197
9+486.00			1.469	3751.179			1.432	3751.216
9+486.50			1.450	3751.198			1.415	3751.233
9+487.00			1.432	3751.216			1.399	3751.249
9+487.50	2.998	3754.233	1.413	3751.235	2.968	3754.233	1.383	3751.265
9+488.00			2.982	3751.251			2.949	3751.284
9+488.50			2.964	3751.269			2.931	3751.302
9+489.00			2.946	3751.287			2.916	3751.317
9+489.50			2.928	3751.305			2.900	3751.333
9+490.00			2.908	3751.325			2.878	3751.355
9+490.50			2.888	3751.345			2.859	3751.374
9+491.00			2.871	3751.362			2.841	3751.392
9+491.50			2.852	3751.381			2.822	3751.411
9+492.00			2.835	3751.398			2.802	3751.431
9+492.50			2.816	3751.417			2.788	3751.445
9+493.00			2.796	3751.437			2.767	3751.466
9+493.50			2.778	3751.455			2.750	3751.483
9+494.00			2.758	3751.475			2.731	3751.502
9+494.50			2.740	3751.493			2.711	3751.522
9+495.00			2.720	3751.513			2.691	3751.542
9+495.50			2.700	3751.533			2.672	3751.561
9+496.00			2.683	3751.550			2.655	3751.578
9+496.50			2.665	3751.568			2.636	3751.597
9+497.00			2.645	3751.588			2.619	3751.614
9+497.50			2.625	3751.608			2.599	3751.634
9+498.00			2.608	3751.625			2.578	3751.655
9+498.50			2.588	3751.645			2.559	3751.674
9+499.00			2.568	3751.665			2.539	3751.694
9+499.50			2.548	3751.685			2.519	3751.714
9+500.00			2.528	3751.705			2.500	3751.733
9+500.50			2.508	3751.725			2.481	3751.752
9+501.00			2.490	3751.743			2.463	3751.770
9+501.50			2.473	3751.760			2.448	3751.785
9+502.00			2.458	3751.775			2.429	3751.804
9+502.50			2.443	3751.790			2.412	3751.821
9+503.00			2.422	3751.811			2.395	3751.838
9+503.50			2.404	3751.829			2.377	3751.856
9+504.00			2.388	3751.845			2.361	3751.872
9+504.50			2.368	3751.865			2.342	3751.891
9+505.00			2.353	3751.880			2.323	3751.910
9+505.50			2.333	3751.900			2.305	3751.928
9+506.00			2.316	3751.917			2.291	3751.942
9+506.50			2.298	3751.935			2.272	3751.961
9+507.00			2.278	3751.955			2.257	3751.976
9+507.50			2.264	3751.969			2.239	3751.994
9+508.00			2.246	3751.987			2.219	3752.014
9+508.50			2.228	3752.005			2.201	3752.032
9+509.00			2.209	3752.024			2.182	3752.051
9+509.50			2.192	3752.041			2.167	3752.066
9+510.00			2.174	3752.059			2.148	3752.085
9+510.50			2.156	3752.077			2.128	3752.105
9+511.00			2.138	3752.095			2.110	3752.123
9+511.50			2.118	3752.115			2.092	3752.141
9+512.00			2.100	3752.133			2.072	3752.161

Sección de Calibración
Método Nivel - Mira

Carretera : **Oroya - Huayre**
Sección : **KM. 9+260 - KM.9+580**
Código Sección : **3N-2C**

Tramo : **2**
Carril : **Derecho**

Progresiva Km	Huella Externa				Huella Interna			
	VAT	H	VAD	COTAc	VAT	H	VAD	COTAi
9+512.50			2.082	3752.151			2.054	3752.179
9+513.00			2.061	3752.172			2.037	3752.196
9+513.50			2.045	3752.188			2.017	3752.216
9+514.00			2.026	3752.207			1.993	3752.240
9+514.50			2.005	3752.228			1.977	3752.256
9+515.00			1.986	3752.247			1.960	3752.273
9+515.50			1.970	3752.263			1.941	3752.292
9+516.00			1.950	3752.283			1.922	3752.311
9+516.50			1.931	3752.302			1.901	3752.332
9+517.00			1.911	3752.322			1.882	3752.351
9+517.50			1.892	3752.341			1.863	3752.370
9+518.00			1.870	3752.363			1.847	3752.386
9+518.50			1.852	3752.381			1.826	3752.407
9+519.00			1.832	3752.401			1.808	3752.425
9+519.50			1.813	3752.420			1.788	3752.445
9+520.00	3.912	3756.346	1.799	3752.434	3.862	3756.346	1.749	3752.484
9+520.50			3.897	3752.449			3.843	3752.503
9+521.00			3.878	3752.468			3.825	3752.521
9+521.50			3.860	3752.486			3.809	3752.537
9+522.00			3.840	3752.506			3.791	3752.555
9+522.50			3.822	3752.524			3.772	3752.574
9+523.00			3.809	3752.537			3.752	3752.594
9+523.50			3.790	3752.556			3.736	3752.610
9+524.00			3.770	3752.576			3.719	3752.627
9+524.50			3.751	3752.595			3.702	3752.644
9+525.00			3.732	3752.614			3.684	3752.662
9+525.50			3.715	3752.631			3.664	3752.682
9+526.00			3.698	3752.648			3.649	3752.697
9+526.50			3.680	3752.666			3.631	3752.715
9+527.00			3.662	3752.684			3.614	3752.732
9+527.50			3.646	3752.700			3.595	3752.751
9+528.00			3.628	3752.718			3.574	3752.772
9+528.50			3.608	3752.738			3.559	3752.787
9+529.00			3.588	3752.758			3.539	3752.807
9+529.50			3.570	3752.776			3.521	3752.825
9+530.00			3.550	3752.796			3.501	3752.845
9+530.50			3.532	3752.814			3.482	3752.864
9+531.00			3.512	3752.834			3.465	3752.881
9+531.50			3.492	3752.854			3.445	3752.901
9+532.00			3.472	3752.874			3.429	3752.917
9+532.50			3.453	3752.893			3.413	3752.933
9+533.00			3.434	3752.912			3.389	3752.957
9+533.50			3.414	3752.932			3.371	3752.975
9+534.00			3.397	3752.949			3.351	3752.995
9+534.50			3.378	3752.968			3.332	3753.014
9+535.00			3.358	3752.988			3.314	3753.032
9+535.50			3.338	3753.008			3.295	3753.051
9+536.00			3.320	3753.026			3.277	3753.069
9+536.50			3.300	3753.046			3.258	3753.088
9+537.00			3.280	3753.066			3.238	3753.108
9+537.50			3.258	3753.088			3.215	3753.131
9+538.00			3.240	3753.106			3.199	3753.147
9+538.50			3.222	3753.124			3.179	3753.167
9+539.00			3.205	3753.141			3.159	3753.187
9+539.50			3.190	3753.156			3.141	3753.205
9+540.00			3.168	3753.178			3.119	3753.227
9+540.50			3.150	3753.196			3.105	3753.241
9+541.00			3.132	3753.214			3.087	3753.259
9+541.50			3.114	3753.232			3.069	3753.277
9+542.00			3.095	3753.251			3.051	3753.295
9+542.50			3.080	3753.266			3.035	3753.311
9+543.00			3.062	3753.284			3.019	3753.327
9+543.50			3.047	3753.299			3.001	3753.345

Sección de Calibración
Método Nivel - Mira

Carretera : **Oroya - Huayre**
Sección : **KM. 9+260 - KM.9+580**
Código Sección : **3N-2C**

Tramo : **2**
Carril : **Derecho**

Progresiva Km	Huella Externa				Huella Interna			
	VAT	H	VAD	COTaE	VAT	H	VAD	COTaI
9+544.00			3.030	3753.316			2.982	3753.364
9+544.50			3.010	3753.336			2.967	3753.379
9+545.00			2.995	3753.351			2.951	3753.395
9+545.50			2.977	3753.369			2.932	3753.414
9+546.00			2.958	3753.388			2.915	3753.431
9+546.50			2.940	3753.406			2.898	3753.448
9+547.00			2.920	3753.426			2.879	3753.467
9+547.50			2.908	3753.438			2.861	3753.485
9+548.00			2.887	3753.459			2.844	3753.502
9+548.50			2.868	3753.478			2.828	3753.518
9+549.00			2.852	3753.494			2.809	3753.537
9+549.50			2.834	3753.512			2.792	3753.554
9+550.00			2.818	3753.528			2.775	3753.571
9+550.50			2.800	3753.546			2.759	3753.587
9+551.00			2.780	3753.566			2.741	3753.605
9+551.50			2.763	3753.583			2.722	3753.624
9+552.00			2.740	3753.606			2.702	3753.644
9+552.50			2.723	3753.623			2.681	3753.665
9+553.00			2.707	3753.639			2.668	3753.678
9+553.50			2.688	3753.658			2.648	3753.698
9+554.00			2.670	3753.676			2.629	3753.717
9+554.50			2.650	3753.696			2.611	3753.735
9+555.00			2.630	3753.716			2.591	3753.755
9+555.50			2.612	3753.734			2.573	3753.773
9+556.00			2.593	3753.753			2.555	3753.791
9+556.50			2.574	3753.772			2.538	3753.808
9+557.00			2.554	3753.792			2.519	3753.827
9+557.50			2.536	3753.810			2.499	3753.847
9+558.00			2.518	3753.828			2.480	3753.866
9+558.50			2.498	3753.848			2.461	3753.885
9+559.00			2.479	3753.867			2.441	3753.905
9+559.50			2.461	3753.885			2.425	3753.921
9+560.00			2.441	3753.905			2.405	3753.941
9+560.50			2.420	3753.926			2.388	3753.958
9+561.00			2.406	3753.940			2.368	3753.978
9+561.50			2.386	3753.960			2.351	3753.995
9+562.00			2.370	3753.976			2.334	3754.012
9+562.50			2.350	3753.996			2.315	3754.031
9+563.00			2.332	3754.014			2.298	3754.048
9+563.50			2.313	3754.033			2.279	3754.067
9+564.00			2.297	3754.049			2.258	3754.088
9+564.50			2.280	3754.066			2.241	3754.105
9+565.00			2.262	3754.084			2.223	3754.123
9+565.50			2.244	3754.102			2.208	3754.138
9+566.00			2.228	3754.118			2.191	3754.155
9+566.50			2.210	3754.136			2.171	3754.175
9+567.00			2.193	3754.153			2.154	3754.192
9+567.50			2.172	3754.174			2.135	3754.211
9+568.00			2.157	3754.189			2.119	3754.227
9+568.50			2.138	3754.208			2.098	3754.248
9+569.00			2.118	3754.228			2.081	3754.265
9+569.50			2.100	3754.246			2.063	3754.283
9+570.00			2.080	3754.266			2.045	3754.301
9+570.50			2.062	3754.284			2.025	3754.321
9+571.00			2.042	3754.304			2.005	3754.341
9+571.50			2.027	3754.319			1.989	3754.357
9+572.00			2.007	3754.339			1.971	3754.375
9+572.50			1.986	3754.360			1.951	3754.395
9+573.00			1.966	3754.380			1.929	3754.417
9+573.50			1.946	3754.400			1.906	3754.440
9+574.00			1.925	3754.421			1.885	3754.461
9+574.50			1.905	3754.441			1.865	3754.481
9+575.00			1.886	3754.460			1.847	3754.499

Sección de Calibración
Método Nivel - Mira

Carretera : **Oroya - Huayre**
Sección : **KM. 9+260 - KM.9+580**
Código Sección : **3N-2C**

Tramo : **2**
Carril : **Derecho**

Progresiva Km	Huella Externa				Huella Interna			
	VAT	H	VAD	COTAE	VAT	H	VAD	COTAI
9+575.50			1.866	3754.480			1.826	3754.520
9+576.00			1.847	3754.499			1.806	3754.540
9+576.50			1.830	3754.516			1.789	3754.557
9+577.00			1.810	3754.536			1.769	3754.577
9+577.50			1.790	3754.556			1.749	3754.597
9+578.00			1.772	3754.574			1.729	3754.617
9+578.50			1.753	3754.593			1.709	3754.637
9+579.00			1.733	3754.613			1.691	3754.655
9+579.50			1.712	3754.634			1.673	3754.673
9+580.00			1.696	3754.650			1.658	3754.688

**PROCESAMIENTO
DE DATOS PERFILOMETRICOS
CON EL PROGRAMA
IRICALC**

VENTANA PRINCIPAL PARA INGRESO DE DATOS

Cota del punto de inicio : 3745.450
 Cota del punto distante a 11m. : 3745.503
 Se recomienda guardar el archivo de salida con algún nombre.
 Caso contrario el archivo se guardará en formato de texto, temporalmente en el siguiente directorio C:\Windows\Temp\IRI00010.tmp.

Intervalo de muestra: 0.25 m. 0.50 m. Otro... m.

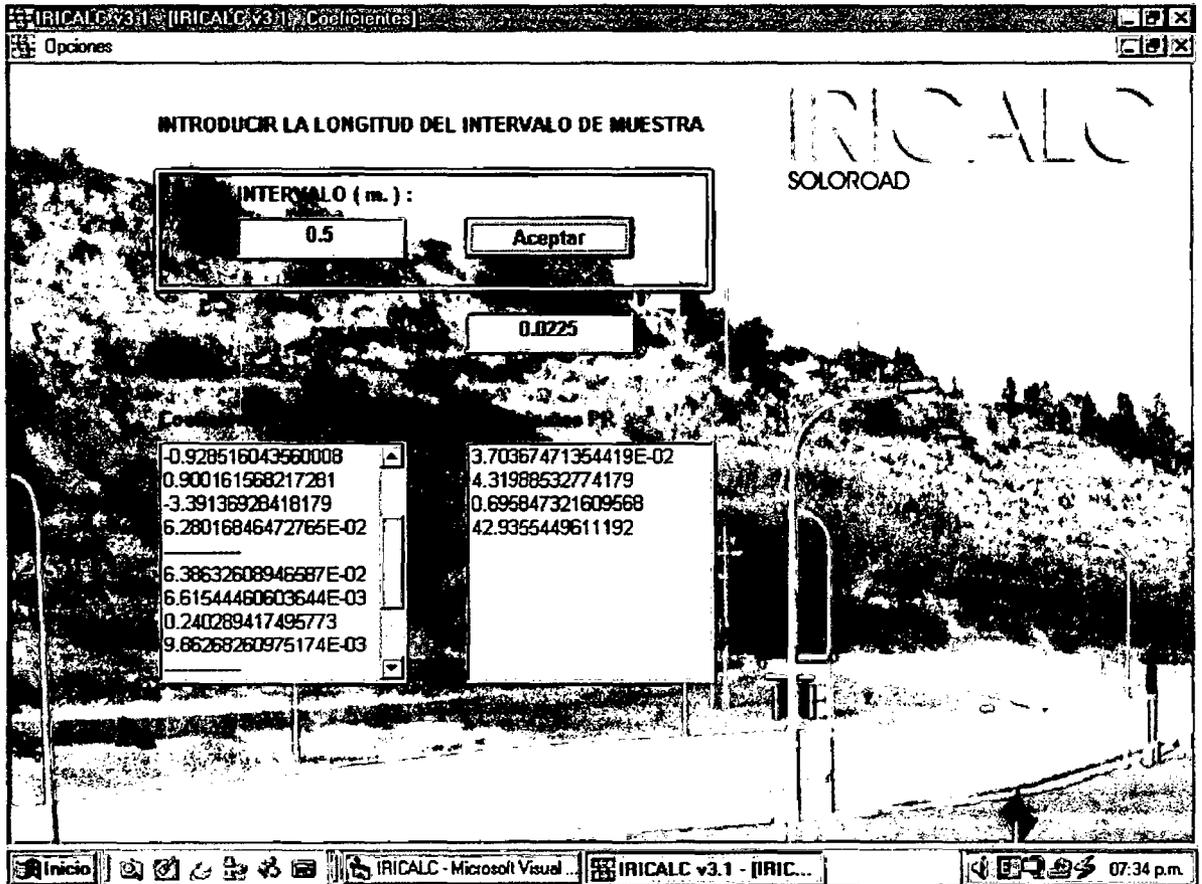
D:\Jose240404\TESIS\Rugosidad\Secciones\Tesis Anexo 03.txt

Distancia: 0.50	Elevación: 3745.455	Desplaz. = 0.002	IRI= 3.414
Distancia: 1.00	Elevación: 3745.458	Desplaz. = 0.003	IRI= 3.309
Distancia: 1.50	Elevación: 3745.459	Desplaz. = 0.005	IRI= 3.250
Distancia: 2.00	Elevación: 3745.460	Desplaz. = 0.008	IRI= 3.866
Distancia: 2.50	Elevación: 3745.462	Desplaz. = 0.009	IRI= 3.457
Distancia: 3.00	Elevación: 3745.464	Desplaz. = 0.009	IRI= 3.052
Distancia: 3.50	Elevación: 3745.468	Desplaz. = 0.011	IRI= 3.009
Distancia: 4.00	Elevación: 3745.469	Desplaz. = 0.011	IRI= 2.684
Distancia: 4.50	Elevación: 3745.470	Desplaz. = 0.013	IRI= 2.856
Distancia: 5.00	Elevación: 3745.473	Desplaz. = 0.013	IRI= 2.614
Distancia: 5.50	Elevación: 3745.476	Desplaz. = 0.015	IRI= 2.707
Distancia: 6.00	Elevación: 3745.478	Desplaz. = 0.016	IRI= 2.589
Distancia: 6.50	Elevación: 3745.480	Desplaz. = 0.016	IRI= 2.514
Distancia: 7.00	Elevación: 3745.480	Desplaz. = 0.018	IRI= 2.594
Distancia: 7.50	Elevación: 3745.484	Desplaz. = 0.019	IRI= 2.496

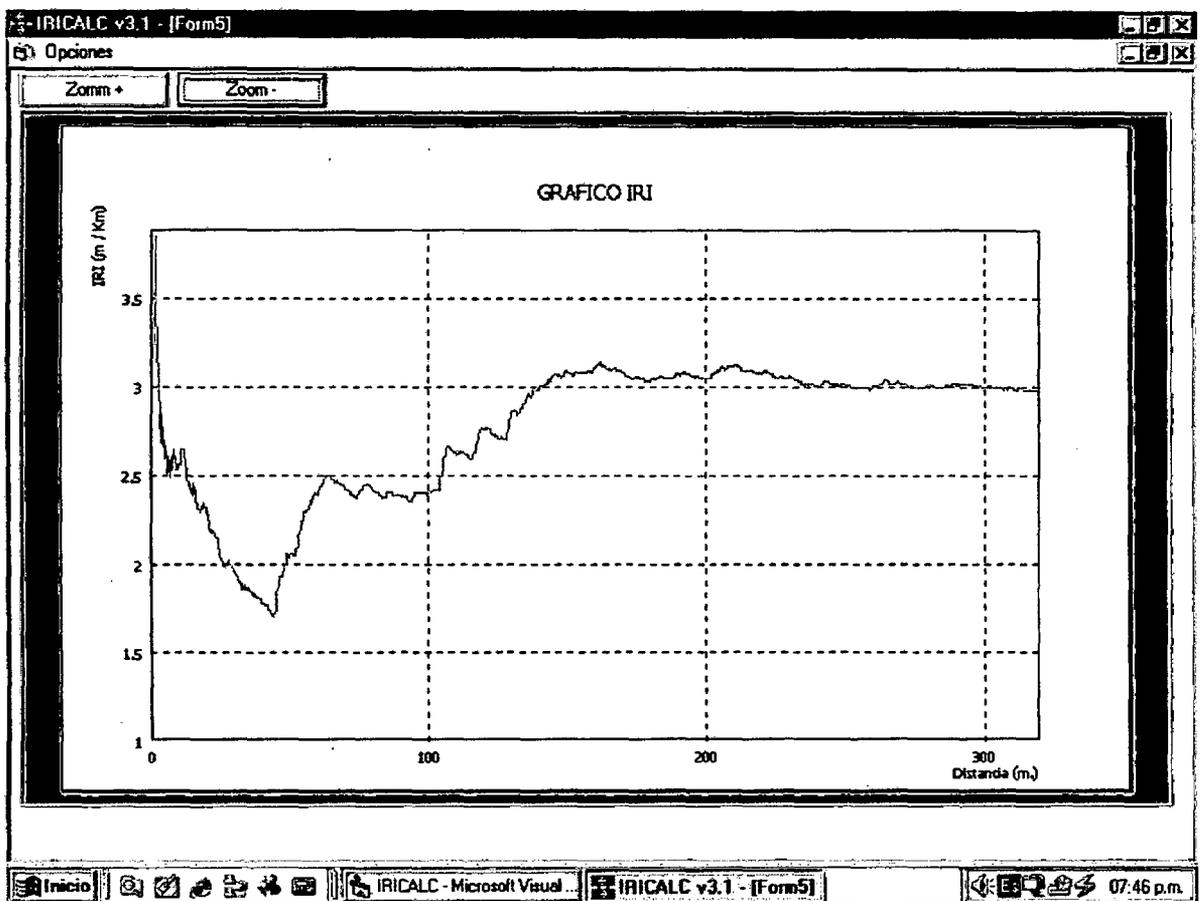
0.957 2.991

Inicio | IRICALC - Microsoft Visual... | IRICALC v3.1 - IRICALC v... | 07:29 p.m.

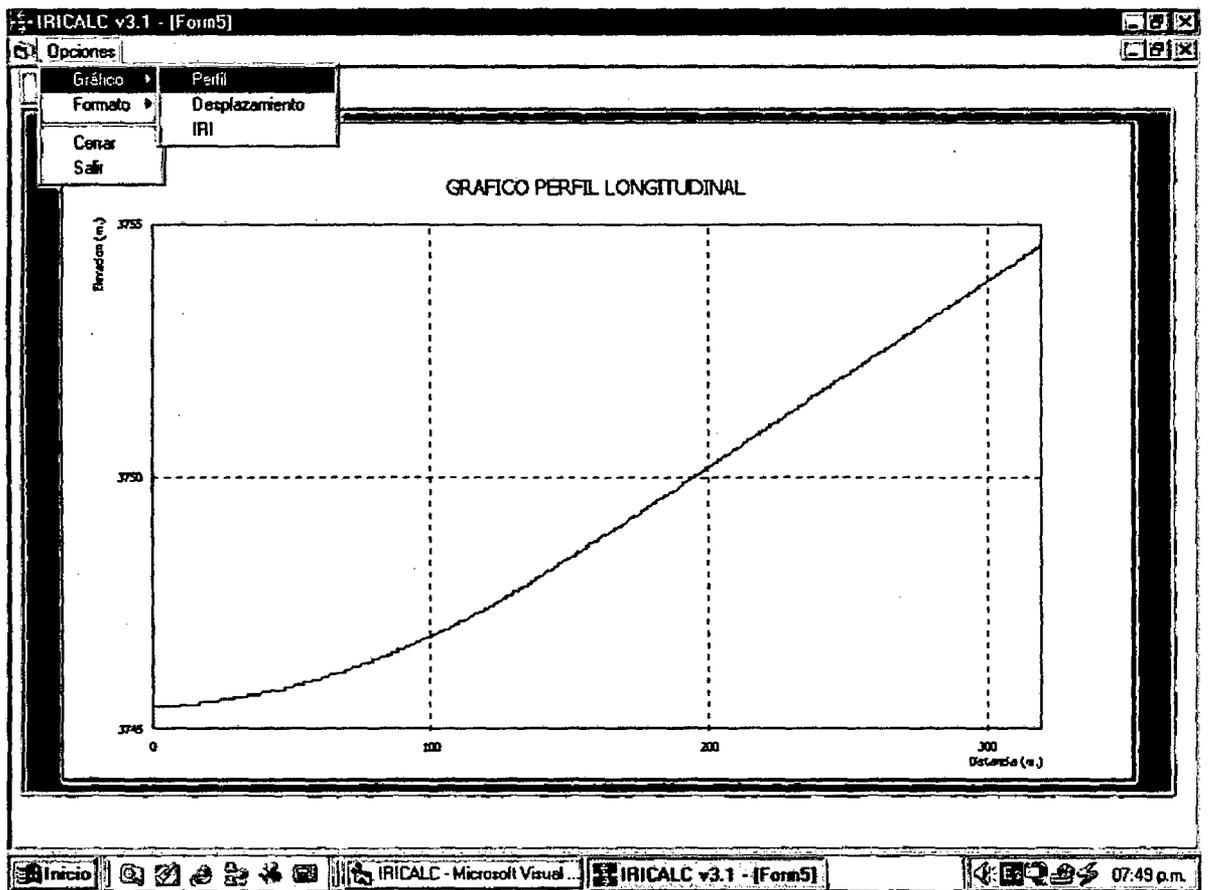
VENTANA SECUNDARIA DEL PROGRAMA DE COMPUTO DE LOS
COEFICIENTES PARA LAS ECUACIONES DE CALCULO DEL IRI



VENTANA DE PRESENTACION DEL GRAFICO DEL IRI



VENTANA DE PRESENTACION DEL GRAFICO DEL PERFIL LONGITUDINAL



REPORTE DE RESULTADOS DEL PROGRAMA IRICALC

- HUELLA EXTERNA
- HUELLA INTERNA

CALCULO DEL IRI

Metodología basada en el Informe Técnico del Banco Mundial - WTP46

Coefficientes utilizados : dx =0.50 m. dt=0.0225 seg.

Sección de Calibración

Método Nivel - Mira

Carretera : Oroya - Huayre

Tramo : 2

Sección : KM. 9+260 - KM.9+580

Carril : Derecho

Código Sección : 3N-2C

Huella : Externa

Cota del punto de inicio : 3745.450

Cota del punto distante a 11m. : 3745.503

Distancia	Elevación	Desplazam.	IRI
0.50	3745.455	0.002	3.414
1.00	3745.458	0.003	3.309
1.50	3745.459	0.005	3.250
2.00	3745.460	0.008	3.866
2.50	3745.462	0.009	3.457
3.00	3745.464	0.009	3.052
3.50	3745.468	0.011	3.009
4.00	3745.469	0.011	2.684
4.50	3745.470	0.013	2.856
5.00	3745.473	0.013	2.614
5.50	3745.476	0.015	2.707
6.00	3745.478	0.016	2.589
6.50	3745.480	0.016	2.514
7.00	3745.480	0.018	2.594
7.50	3745.484	0.019	2.496
8.00	3745.487	0.021	2.654
8.50	3745.490	0.022	2.643
9.00	3745.492	0.023	2.555
9.50	3745.497	0.024	2.544
10.00	3745.499	0.025	2.544
10.50	3745.500	0.027	2.578
11.00	3745.503	0.028	2.566
11.50	3745.508	0.031	2.654
12.00	3745.510	0.032	2.650
12.50	3745.513	0.033	2.635
13.00	3745.517	0.033	2.537
13.50	3745.520	0.034	2.495
14.00	3745.524	0.034	2.436
14.50	3745.530	0.036	2.468
15.00	3745.532	0.036	2.394
15.50	3745.535	0.038	2.462
16.00	3745.539	0.039	2.429
16.50	3745.542	0.039	2.361
17.00	3745.548	0.040	2.356
17.50	3745.550	0.041	2.320
18.00	3745.555	0.042	2.317
18.50	3745.560	0.043	2.299
19.00	3745.560	0.045	2.352
19.50	3745.567	0.046	2.333
20.00	3745.570	0.047	2.332
20.50	3745.575	0.047	2.290
21.00	3745.580	0.047	2.249
21.50	3745.584	0.047	2.205
22.00	3745.588	0.048	2.189

22.50	3745.591	0.049	2.197
23.00	3745.595	0.050	2.184
23.50	3745.600	0.051	2.168
24.00	3745.602	0.052	2.156
24.50	3745.608	0.052	2.119
25.00	3745.610	0.052	2.088
25.50	3745.615	0.052	2.057
26.00	3745.618	0.053	2.021
26.50	3745.622	0.053	1.991
27.00	3745.627	0.054	1.988
27.50	3745.632	0.055	2.008
28.00	3745.638	0.057	2.033
28.50	3745.642	0.057	2.012
29.00	3745.648	0.058	1.990
29.50	3745.650	0.059	1.990
30.00	3745.657	0.059	1.967
30.50	3745.660	0.060	1.952
31.00	3745.667	0.060	1.946
31.50	3745.670	0.061	1.924
32.00	3745.677	0.061	1.899
32.50	3745.679	0.062	1.900
33.00	3745.686	0.062	1.880
33.50	3745.690	0.063	1.867
34.00	3745.698	0.064	1.884
34.50	3745.702	0.064	1.865
35.00	3745.708	0.065	1.866
35.50	3745.712	0.066	1.873
36.00	3745.718	0.067	1.855
36.50	3745.724	0.068	1.852
37.00	3745.729	0.068	1.831
37.50	3745.734	0.069	1.840
38.00	3745.740	0.069	1.824
38.50	3745.747	0.071	1.835
39.00	3745.752	0.071	1.817
39.50	3745.758	0.072	1.818
40.00	3745.764	0.072	1.801
40.50	3745.770	0.072	1.786
41.00	3745.777	0.073	1.781
41.50	3745.782	0.073	1.770
42.00	3745.788	0.075	1.774
42.50	3745.794	0.075	1.758
43.00	3745.800	0.075	1.741
43.50	3745.807	0.075	1.734
44.00	3745.813	0.076	1.718
44.50	3745.820	0.076	1.700
45.00	3745.821	0.079	1.753
45.50	3745.823	0.084	1.853
46.00	3745.833	0.086	1.874
46.50	3745.838	0.090	1.946
47.00	3745.843	0.091	1.940
47.50	3745.853	0.092	1.942
48.00	3745.861	0.096	2.005
48.50	3745.863	0.098	2.017
49.00	3745.873	0.099	2.016
49.50	3745.881	0.102	2.068
50.00	3745.885	0.102	2.048
50.50	3745.893	0.104	2.059
51.00	3745.901	0.105	2.065
51.50	3745.905	0.106	2.056

52.00	3745.913	0.107	2.058
52.50	3745.923	0.110	2.088
53.00	3745.931	0.112	2.117
53.50	3745.933	0.116	2.176
54.00	3745.943	0.119	2.202
54.50	3745.953	0.123	2.258
55.00	3745.958	0.124	2.250
55.50	3745.965	0.127	2.293
56.00	3745.973	0.128	2.292
56.50	3745.983	0.131	2.319
57.00	3745.991	0.133	2.326
57.50	3745.998	0.135	2.339
58.00	3746.003	0.138	2.384
58.50	3746.013	0.138	2.364
59.00	3746.023	0.142	2.405
59.50	3746.031	0.143	2.401
60.00	3746.041	0.143	2.391
60.50	3746.045	0.146	2.421
61.00	3746.053	0.149	2.445
61.50	3746.062	0.150	2.444
62.00	3746.073	0.154	2.478
62.50	3746.078	0.155	2.477
63.00	3746.086	0.158	2.511
63.50	3746.095	0.159	2.497
64.00	3746.103	0.160	2.502
64.50	3746.113	0.161	2.500
65.00	3746.122	0.162	2.491
65.50	3746.130	0.162	2.480
66.00	3746.141	0.163	2.476
66.50	3746.148	0.164	2.461
67.00	3746.155	0.166	2.478
67.50	3746.165	0.166	2.464
68.00	3746.173	0.167	2.462
68.50	3746.183	0.168	2.456
69.00	3746.193	0.169	2.453
69.50	3746.203	0.170	2.449
70.00	3746.213	0.171	2.440
70.50	3746.221	0.172	2.437
71.00	3746.231	0.172	2.430
71.50	3746.241	0.173	2.424
72.00	3746.250	0.173	2.408
72.50	3746.260	0.174	2.398
73.00	3746.271	0.175	2.392
73.50	3746.281	0.175	2.385
74.00	3746.291	0.176	2.375
74.50	3746.298	0.178	2.395
75.00	3746.308	0.180	2.403
75.50	3746.321	0.183	2.423
76.00	3746.331	0.185	2.436
76.50	3746.340	0.187	2.446
77.00	3746.350	0.189	2.458
77.50	3746.361	0.190	2.451
78.00	3746.373	0.192	2.463
78.50	3746.382	0.193	2.453
79.00	3746.393	0.194	2.457
79.50	3746.403	0.194	2.446
80.00	3746.413	0.195	2.434
80.50	3746.425	0.195	2.428
81.00	3746.435	0.196	2.416

81.50	3746.445	0.197	2.415
82.00	3746.456	0.197	2.406
82.50	3746.465	0.198	2.399
83.00	3746.477	0.198	2.388
83.50	3746.487	0.199	2.379
84.00	3746.496	0.200	2.382
84.50	3746.506	0.201	2.384
85.00	3746.518	0.203	2.386
85.50	3746.531	0.206	2.410
86.00	3746.543	0.208	2.418
86.50	3746.554	0.208	2.409
87.00	3746.565	0.209	2.406
87.50	3746.577	0.210	2.398
88.00	3746.589	0.211	2.399
88.50	3746.601	0.212	2.391
89.00	3746.611	0.213	2.393
89.50	3746.623	0.214	2.391
90.00	3746.633	0.215	2.385
90.50	3746.643	0.216	2.390
91.00	3746.655	0.217	2.381
91.50	3746.667	0.218	2.380
92.00	3746.680	0.219	2.383
92.50	3746.691	0.219	2.372
93.00	3746.703	0.220	2.368
93.50	3746.713	0.221	2.368
94.00	3746.725	0.222	2.361
94.50	3746.740	0.225	2.377
95.00	3746.753	0.227	2.393
95.50	3746.763	0.229	2.400
96.00	3746.775	0.232	2.414
96.50	3746.788	0.233	2.410
97.00	3746.801	0.234	2.417
97.50	3746.813	0.235	2.406
98.00	3746.825	0.236	2.408
98.50	3746.837	0.237	2.404
99.00	3746.851	0.238	2.403
99.50	3746.863	0.239	2.397
100.00	3746.873	0.241	2.411
100.50	3746.888	0.241	2.401
101.00	3746.903	0.245	2.425
101.50	3746.913	0.245	2.417
102.00	3746.926	0.248	2.433
102.50	3746.941	0.249	2.433
103.00	3746.953	0.251	2.436
103.50	3746.965	0.252	2.439
104.00	3746.980	0.253	2.428
104.50	3746.977	0.262	2.505
105.00	3747.005	0.264	2.513
105.50	3747.019	0.276	2.618
106.00	3747.033	0.278	2.623
106.50	3747.045	0.283	2.661
107.00	3747.058	0.286	2.673
107.50	3747.071	0.287	2.671
108.00	3747.084	0.288	2.665
108.50	3747.099	0.288	2.656
109.00	3747.112	0.288	2.644
109.50	3747.125	0.289	2.641
110.00	3747.139	0.290	2.632
110.50	3747.153	0.290	2.626

111.00	3747.171	0.293	2.641
111.50	3747.183	0.294	2.633
112.00	3747.196	0.297	2.649
112.50	3747.211	0.298	2.645
113.00	3747.223	0.298	2.635
113.50	3747.240	0.299	2.632
114.00	3747.253	0.299	2.624
114.50	3747.267	0.301	2.625
115.00	3747.283	0.301	2.617
115.50	3747.298	0.302	2.619
116.00	3747.311	0.303	2.616
116.50	3747.323	0.307	2.634
117.00	3747.343	0.309	2.643
117.50	3747.343	0.315	2.679
118.00	3747.359	0.321	2.724
118.50	3747.375	0.326	2.749
119.00	3747.389	0.331	2.780
119.50	3747.405	0.332	2.777
120.00	3747.419	0.332	2.768
120.50	3747.437	0.335	2.779
121.00	3747.451	0.337	2.787
121.50	3747.467	0.338	2.779
122.00	3747.483	0.339	2.775
122.50	3747.497	0.339	2.764
123.00	3747.512	0.339	2.758
123.50	3747.527	0.339	2.749
124.00	3747.543	0.340	2.743
124.50	3747.557	0.341	2.736
125.00	3747.575	0.341	2.730
125.50	3747.587	0.342	2.728
126.00	3747.605	0.343	2.723
126.50	3747.623	0.346	2.734
127.00	3747.637	0.346	2.723
127.50	3747.655	0.347	2.721
128.00	3747.671	0.347	2.712
128.50	3747.677	0.354	2.755
129.00	3747.696	0.358	2.774
129.50	3747.717	0.365	2.819
130.00	3747.735	0.371	2.854
130.50	3747.750	0.374	2.862
131.00	3747.767	0.377	2.877
131.50	3747.784	0.378	2.872
132.00	3747.797	0.379	2.869
132.50	3747.817	0.379	2.858
133.00	3747.835	0.381	2.868
133.50	3747.857	0.385	2.887
134.00	3747.869	0.388	2.893
134.50	3747.887	0.392	2.914
135.00	3747.897	0.397	2.937
135.50	3747.922	0.400	2.949
136.00	3747.937	0.404	2.970
136.50	3747.957	0.404	2.960
137.00	3747.977	0.405	2.955
137.50	3747.995	0.406	2.951
138.00	3748.007	0.410	2.973
138.50	3748.025	0.414	2.990
139.00	3748.045	0.417	3.000
139.50	3748.058	0.417	2.992
140.00	3748.077	0.420	2.999

140.50	3748.099	0.423	3.012
141.00	3748.117	0.427	3.026
141.50	3748.135	0.428	3.023
142.00	3748.152	0.430	3.029
142.50	3748.167	0.433	3.037
143.00	3748.187	0.433	3.031
143.50	3748.195	0.438	3.051
144.00	3748.220	0.438	3.041
144.50	3748.237	0.443	3.066
145.00	3748.255	0.444	3.062
145.50	3748.269	0.448	3.079
146.00	3748.287	0.450	3.081
146.50	3748.305	0.452	3.088
147.00	3748.320	0.453	3.079
147.50	3748.337	0.454	3.080
148.00	3748.354	0.454	3.070
148.50	3748.367	0.456	3.069
149.00	3748.389	0.458	3.073
149.50	3748.407	0.463	3.094
150.00	3748.427	0.465	3.101
150.50	3748.445	0.466	3.095
151.00	3748.464	0.466	3.088
151.50	3748.480	0.467	3.081
152.00	3748.497	0.468	3.081
152.50	3748.517	0.470	3.079
153.00	3748.537	0.473	3.089
153.50	3748.553	0.473	3.084
154.00	3748.570	0.477	3.097
154.50	3748.589	0.477	3.090
155.00	3748.609	0.480	3.096
155.50	3748.627	0.481	3.090
156.00	3748.645	0.482	3.093
156.50	3748.667	0.484	3.090
157.00	3748.686	0.486	3.093
157.50	3748.703	0.488	3.096
158.00	3748.722	0.490	3.103
158.50	3748.742	0.491	3.096
159.00	3748.757	0.492	3.097
159.50	3748.775	0.496	3.109
160.00	3748.787	0.501	3.130
160.50	3748.807	0.502	3.128
161.00	3748.826	0.505	3.139
161.50	3748.840	0.507	3.136
162.00	3748.856	0.511	3.152
162.50	3748.874	0.511	3.143
163.00	3748.889	0.512	3.140
163.50	3748.907	0.512	3.134
164.00	3748.924	0.514	3.132
164.50	3748.939	0.514	3.124
165.00	3748.957	0.515	3.118
165.50	3748.975	0.517	3.127
166.00	3748.989	0.518	3.118
166.50	3749.009	0.519	3.115
167.00	3749.025	0.521	3.120
167.50	3749.044	0.523	3.123
168.00	3749.062	0.525	3.126
168.50	3749.079	0.526	3.119
169.00	3749.097	0.526	3.112
169.50	3749.114	0.526	3.106

170.00	3749.131	0.527	3.097
170.50	3749.149	0.527	3.090
171.00	3749.166	0.527	3.081
171.50	3749.185	0.528	3.076
172.00	3749.205	0.530	3.079
172.50	3749.223	0.530	3.074
173.00	3749.242	0.531	3.069
173.50	3749.259	0.532	3.069
174.00	3749.277	0.534	3.068
174.50	3749.297	0.534	3.063
175.00	3749.319	0.537	3.071
175.50	3749.335	0.539	3.068
176.00	3749.355	0.541	3.076
176.50	3749.375	0.542	3.069
177.00	3749.393	0.542	3.061
177.50	3749.412	0.543	3.062
178.00	3749.433	0.543	3.053
178.50	3749.452	0.544	3.047
179.00	3749.472	0.544	3.042
179.50	3749.490	0.546	3.043
180.00	3749.509	0.548	3.044
180.50	3749.524	0.551	3.053
181.00	3749.541	0.554	3.063
181.50	3749.559	0.555	3.059
182.00	3749.574	0.557	3.059
182.50	3749.591	0.559	3.061
183.00	3749.606	0.560	3.062
183.50	3749.627	0.563	3.066
184.00	3749.645	0.566	3.079
184.50	3749.661	0.567	3.072
185.00	3749.681	0.567	3.066
185.50	3749.697	0.569	3.066
186.00	3749.711	0.571	3.067
186.50	3749.729	0.571	3.062
187.00	3749.746	0.573	3.066
187.50	3749.763	0.575	3.068
188.00	3749.781	0.577	3.067
188.50	3749.799	0.578	3.068
189.00	3749.819	0.581	3.077
189.50	3749.838	0.585	3.084
190.00	3749.856	0.585	3.081
190.50	3749.871	0.588	3.084
191.00	3749.891	0.588	3.076
191.50	3749.911	0.591	3.087
192.00	3749.929	0.593	3.086
192.50	3749.946	0.595	3.091
193.00	3749.964	0.597	3.093
193.50	3749.982	0.597	3.085
194.00	3750.003	0.599	3.087
194.50	3750.021	0.599	3.082
195.00	3750.041	0.600	3.078
195.50	3750.061	0.600	3.071
196.00	3750.079	0.601	3.067
196.50	3750.095	0.605	3.078
197.00	3750.119	0.606	3.075
197.50	3750.136	0.607	3.075
198.00	3750.158	0.608	3.068
198.50	3750.176	0.609	3.067
199.00	3750.195	0.611	3.069

199.50	3750.216	0.611	3.062
200.00	3750.236	0.612	3.060
200.50	3750.253	0.614	3.064
201.00	3750.273	0.617	3.067
201.50	3750.291	0.617	3.063
202.00	3750.309	0.618	3.061
202.50	3750.321	0.624	3.081
203.00	3750.341	0.626	3.086
203.50	3750.361	0.630	3.097
204.00	3750.378	0.632	3.098
204.50	3750.391	0.637	3.115
205.00	3750.411	0.638	3.115
205.50	3750.430	0.643	3.129
206.00	3750.447	0.645	3.133
206.50	3750.466	0.646	3.126
207.00	3750.481	0.647	3.124
207.50	3750.499	0.647	3.117
208.00	3750.519	0.650	3.126
208.50	3750.538	0.654	3.137
209.00	3750.554	0.654	3.131
209.50	3750.571	0.656	3.133
210.00	3750.591	0.658	3.135
210.50	3750.611	0.663	3.148
211.00	3750.628	0.663	3.144
211.50	3750.649	0.663	3.137
212.00	3750.666	0.664	3.131
212.50	3750.686	0.664	3.126
213.00	3750.703	0.665	3.121
213.50	3750.723	0.665	3.115
214.00	3750.739	0.666	3.114
214.50	3750.761	0.667	3.109
215.00	3750.781	0.669	3.113
215.50	3750.799	0.670	3.109
216.00	3750.820	0.671	3.107
216.50	3750.837	0.672	3.106
217.00	3750.859	0.673	3.100
217.50	3750.876	0.673	3.096
218.00	3750.897	0.674	3.093
218.50	3750.916	0.675	3.088
219.00	3750.935	0.676	3.085
219.50	3750.951	0.679	3.093
220.00	3750.974	0.679	3.087
220.50	3750.991	0.680	3.085
221.00	3751.007	0.684	3.094
221.50	3751.025	0.687	3.102
222.00	3751.041	0.688	3.101
222.50	3751.059	0.689	3.096
223.00	3751.076	0.689	3.089
223.50	3751.093	0.690	3.085
224.00	3751.111	0.690	3.080
224.50	3751.129	0.691	3.079
225.00	3751.145	0.691	3.073
225.50	3751.162	0.692	3.068
226.00	3751.179	0.693	3.065
226.50	3751.198	0.695	3.069
227.00	3751.216	0.698	3.074
227.50	3751.235	0.700	3.076
228.00	3751.251	0.700	3.070
228.50	3751.269	0.700	3.064

229.00	3751.287	0.702	3.064
229.50	3751.305	0.703	3.064
230.00	3751.325	0.705	3.067
230.50	3751.345	0.708	3.072
231.00	3751.362	0.708	3.065
231.50	3751.381	0.709	3.063
232.00	3751.398	0.710	3.059
232.50	3751.417	0.710	3.053
233.00	3751.437	0.711	3.052
233.50	3751.455	0.711	3.046
234.00	3751.475	0.712	3.041
234.50	3751.493	0.712	3.038
235.00	3751.513	0.713	3.033
235.50	3751.533	0.713	3.029
236.00	3751.550	0.715	3.029
236.50	3751.568	0.718	3.036
237.00	3751.588	0.718	3.031
237.50	3751.608	0.720	3.031
238.00	3751.625	0.721	3.031
238.50	3751.645	0.723	3.032
239.00	3751.665	0.724	3.029
239.50	3751.685	0.725	3.027
240.00	3751.705	0.725	3.022
240.50	3751.725	0.725	3.017
241.00	3751.743	0.727	3.016
241.50	3751.760	0.730	3.021
242.00	3751.775	0.733	3.031
242.50	3751.790	0.737	3.041
243.00	3751.811	0.739	3.040
243.50	3751.829	0.742	3.047
244.00	3751.845	0.743	3.046
244.50	3751.865	0.744	3.041
245.00	3751.880	0.744	3.035
245.50	3751.900	0.745	3.034
246.00	3751.917	0.746	3.034
246.50	3751.935	0.747	3.030
247.00	3751.955	0.749	3.032
247.50	3751.969	0.749	3.028
248.00	3751.987	0.751	3.028
248.50	3752.005	0.752	3.028
249.00	3752.024	0.755	3.033
249.50	3752.041	0.756	3.031
250.00	3752.059	0.757	3.026
250.50	3752.077	0.757	3.023
251.00	3752.095	0.758	3.021
251.50	3752.115	0.760	3.023
252.00	3752.133	0.761	3.021
252.50	3752.151	0.762	3.017
253.00	3752.172	0.763	3.017
253.50	3752.188	0.763	3.011
254.00	3752.207	0.765	3.011
254.50	3752.228	0.766	3.011
255.00	3752.247	0.768	3.012
255.50	3752.263	0.771	3.016
256.00	3752.283	0.773	3.019
256.50	3752.302	0.774	3.016
257.00	3752.322	0.775	3.014
257.50	3752.341	0.775	3.010
258.00	3752.363	0.776	3.007

258.50	3752.381	0.776	3.002
259.00	3752.401	0.777	3.001
259.50	3752.420	0.778	2.999
260.00	3752.434	0.782	3.009
260.50	3752.449	0.788	3.026
261.00	3752.468	0.789	3.024
261.50	3752.486	0.791	3.026
262.00	3752.506	0.793	3.026
262.50	3752.524	0.793	3.021
263.00	3752.537	0.797	3.031
263.50	3752.556	0.799	3.032
264.00	3752.576	0.803	3.041
264.50	3752.595	0.807	3.050
265.00	3752.614	0.808	3.048
265.50	3752.631	0.808	3.045
266.00	3752.648	0.809	3.043
266.50	3752.666	0.810	3.039
267.00	3752.684	0.811	3.039
267.50	3752.700	0.812	3.035
268.00	3752.718	0.812	3.031
268.50	3752.738	0.815	3.035
269.00	3752.758	0.819	3.043
269.50	3752.776	0.820	3.041
270.00	3752.796	0.820	3.036
270.50	3752.814	0.820	3.032
271.00	3752.834	0.821	3.030
271.50	3752.854	0.823	3.030
272.00	3752.874	0.824	3.028
272.50	3752.893	0.824	3.024
273.00	3752.912	0.825	3.022
273.50	3752.932	0.825	3.018
274.00	3752.949	0.827	3.018
274.50	3752.968	0.829	3.020
275.00	3752.988	0.829	3.015
275.50	3753.008	0.830	3.013
276.00	3753.026	0.831	3.012
276.50	3753.046	0.833	3.012
277.00	3753.066	0.833	3.007
277.50	3753.088	0.835	3.009
278.00	3753.106	0.835	3.005
278.50	3753.124	0.839	3.012
279.00	3753.141	0.842	3.018
279.50	3753.156	0.846	3.025
280.00	3753.178	0.846	3.023
280.50	3753.196	0.849	3.026
281.00	3753.214	0.850	3.023
281.50	3753.232	0.851	3.024
282.00	3753.251	0.852	3.020
282.50	3753.266	0.853	3.018
283.00	3753.284	0.854	3.018
283.50	3753.299	0.855	3.016
284.00	3753.316	0.856	3.013
284.50	3753.336	0.858	3.017
285.00	3753.351	0.860	3.016
285.50	3753.369	0.860	3.013
286.00	3753.388	0.862	3.015
286.50	3753.406	0.865	3.020
287.00	3753.426	0.868	3.024
287.50	3753.438	0.870	3.027

288.00	3753.459	0.871	3.023
288.50	3753.478	0.875	3.034
289.00	3753.494	0.876	3.033
289.50	3753.512	0.878	3.033
290.00	3753.528	0.879	3.031
290.50	3753.546	0.879	3.027
291.00	3753.566	0.882	3.031
291.50	3753.583	0.883	3.029
292.00	3753.606	0.885	3.032
292.50	3753.623	0.886	3.031
293.00	3753.639	0.890	3.036
293.50	3753.658	0.892	3.038
294.00	3753.676	0.892	3.035
294.50	3753.696	0.894	3.034
295.00	3753.716	0.895	3.033
295.50	3753.734	0.896	3.031
296.00	3753.753	0.897	3.030
296.50	3753.772	0.897	3.027
297.00	3753.792	0.898	3.023
297.50	3753.810	0.899	3.021
298.00	3753.828	0.901	3.023
298.50	3753.848	0.902	3.020
299.00	3753.867	0.902	3.017
299.50	3753.885	0.903	3.016
300.00	3753.905	0.904	3.013
300.50	3753.926	0.906	3.013
301.00	3753.940	0.908	3.017
301.50	3753.960	0.911	3.022
302.00	3753.976	0.912	3.020
302.50	3753.996	0.913	3.017
303.00	3754.014	0.913	3.015
303.50	3754.033	0.913	3.010
304.00	3754.049	0.915	3.010
304.50	3754.066	0.917	3.011
305.00	3754.084	0.917	3.007
305.50	3754.102	0.918	3.006
306.00	3754.118	0.919	3.003
306.50	3754.136	0.919	3.000
307.00	3754.153	0.920	2.997
307.50	3754.174	0.923	3.003
308.00	3754.189	0.924	3.001
308.50	3754.208	0.925	2.998
309.00	3754.228	0.927	3.001
309.50	3754.246	0.930	3.005
310.00	3754.266	0.931	3.004
310.50	3754.284	0.932	3.001
311.00	3754.304	0.933	2.999
311.50	3754.319	0.934	2.999
312.00	3754.339	0.935	2.997
312.50	3754.360	0.938	3.002
313.00	3754.380	0.941	3.006
313.50	3754.400	0.941	3.001
314.00	3754.421	0.941	2.997
314.50	3754.441	0.942	2.994
315.00	3754.460	0.943	2.992
315.50	3754.480	0.944	2.992
316.00	3754.499	0.945	2.991
316.50	3754.516	0.948	2.995
317.00	3754.536	0.950	2.996

317.50	3754.556	0.950	2.993
318.00	3754.574	0.951	2.991
318.50	3754.593	0.953	2.993
319.00	3754.613	0.954	2.990
319.50	3754.634	0.955	2.990
320.00	3754.650	0.957	2.991

RESULTADOS:

Desplazamiento = 0.957m IRI = 2.991m / Km

CALCULO DEL IRI

Metodologia basada en el Informe Tecnico del Banco Mundial - WTP46

Coefficientes utilizados : dx =0.50 m. dt=0.0225 seg.

Sección de Calibración

Método Nivel - Mira

Carretera : Oroya - Huayre Tramo : 2
 Sección : KM. 9+260 - KM.9+580 Carril : Derecho
 Código Sección : 3N-2C Huella : Interna

Cota del punto de inicio : 3745.480

Cota del punto distante a 11m. : 3745.532

Distancia	Elevación	Desplazam.	IRI
0.50	3745.482	0.000	0.479
1.00	3745.483	0.001	1.308
1.50	3745.487	0.002	1.251
2.00	3745.490	0.004	1.846
2.50	3745.490	0.005	1.975
3.00	3745.492	0.007	2.348
3.50	3745.494	0.007	2.036
4.00	3745.497	0.009	2.153
4.50	3745.499	0.009	2.046
5.00	3745.500	0.010	2.089
5.50	3745.503	0.011	1.931
6.00	3745.504	0.011	1.825
6.50	3745.507	0.011	1.753
7.00	3745.510	0.013	1.795
7.50	3745.512	0.013	1.735
8.00	3745.514	0.013	1.686
8.50	3745.518	0.014	1.703
9.00	3745.520	0.015	1.719
9.50	3745.522	0.016	1.696
10.00	3745.525	0.016	1.636
10.50	3745.529	0.018	1.701
11.00	3745.532	0.019	1.729
11.50	3745.535	0.019	1.676
12.00	3745.539	0.019	1.621
12.50	3745.542	0.020	1.587
13.00	3745.542	0.022	1.708
13.50	3745.548	0.022	1.654
14.00	3745.552	0.025	1.782
14.50	3745.554	0.025	1.750
15.00	3745.560	0.026	1.711
15.50	3745.563	0.026	1.693
16.00	3745.567	0.027	1.657
16.50	3745.571	0.027	1.630
17.00	3745.574	0.028	1.632
17.50	3745.577	0.029	1.662
18.00	3745.580	0.030	1.681
18.50	3745.588	0.033	1.769
19.00	3745.590	0.034	1.773
19.50	3745.593	0.037	1.877
20.00	3745.598	0.038	1.878
20.50	3745.602	0.039	1.888
21.00	3745.607	0.040	1.881
21.50	3745.610	0.041	1.884
22.00	3745.612	0.043	1.964
22.50	3745.617	0.044	1.939

23.00	3745.620	0.044	1.929
23.50	3745.622	0.046	1.950
24.00	3745.628	0.046	1.918
24.50	3745.632	0.048	1.955
25.00	3745.637	0.049	1.960
25.50	3745.640	0.050	1.946
26.00	3745.642	0.052	1.990
26.50	3745.648	0.052	1.981
27.00	3745.650	0.053	1.979
27.50	3745.657	0.055	1.992
28.00	3745.660	0.056	1.985
28.50	3745.664	0.056	1.976
29.00	3745.670	0.057	1.978
29.50	3745.675	0.059	2.011
30.00	3745.679	0.059	1.978
30.50	3745.682	0.061	2.007
31.00	3745.689	0.062	2.001
31.50	3745.692	0.063	2.000
32.00	3745.698	0.063	1.971
32.50	3745.701	0.064	1.972
33.00	3745.709	0.065	1.977
33.50	3745.712	0.066	1.965
34.00	3745.718	0.067	1.960
34.50	3745.722	0.067	1.955
35.00	3745.729	0.068	1.949
35.50	3745.732	0.069	1.934
36.00	3745.738	0.070	1.938
36.50	3745.742	0.070	1.930
37.00	3745.748	0.071	1.906
37.50	3745.753	0.071	1.887
38.00	3745.760	0.072	1.884
38.50	3745.764	0.072	1.870
39.00	3745.772	0.072	1.857
39.50	3745.777	0.073	1.853
40.00	3745.782	0.074	1.856
40.50	3745.790	0.075	1.847
41.00	3745.794	0.075	1.826
41.50	3745.800	0.076	1.833
42.00	3745.806	0.076	1.817
42.50	3745.812	0.077	1.804
43.00	3745.818	0.077	1.784
43.50	3745.823	0.078	1.785
44.00	3745.831	0.078	1.779
44.50	3745.837	0.079	1.785
45.00	3745.858	0.089	1.976
45.50	3745.865	0.096	2.103
46.00	3745.870	0.102	2.207
46.50	3745.880	0.106	2.277
47.00	3745.885	0.106	2.263
47.50	3745.892	0.108	2.270
48.00	3745.899	0.110	2.293
48.50	3745.905	0.113	2.320
49.00	3745.912	0.114	2.335
49.50	3745.920	0.115	2.317
50.00	3745.925	0.116	2.328
50.50	3745.935	0.117	2.312
51.00	3745.940	0.117	2.298
51.50	3745.944	0.121	2.348
52.00	3745.948	0.125	2.403

52.50	3745.956	0.126	2.392
53.00	3745.967	0.131	2.474
53.50	3745.976	0.135	2.532
54.00	3745.983	0.136	2.516
54.50	3745.992	0.136	2.498
55.00	3745.996	0.137	2.491
55.50	3746.004	0.138	2.478
56.00	3746.012	0.139	2.487
56.50	3746.020	0.141	2.497
57.00	3746.030	0.143	2.512
57.50	3746.037	0.144	2.502
58.00	3746.042	0.146	2.524
58.50	3746.051	0.147	2.514
59.00	3746.061	0.150	2.550
59.50	3746.067	0.151	2.539
60.00	3746.078	0.151	2.519
60.50	3746.084	0.151	2.503
61.00	3746.091	0.153	2.514
61.50	3746.100	0.154	2.496
62.00	3746.108	0.154	2.490
62.50	3746.116	0.155	2.474
63.00	3746.124	0.156	2.468
63.50	3746.134	0.156	2.461
64.00	3746.140	0.157	2.452
64.50	3746.150	0.158	2.443
65.00	3746.157	0.158	2.429
65.50	3746.166	0.158	2.415
66.00	3746.176	0.159	2.414
66.50	3746.184	0.160	2.401
67.00	3746.192	0.161	2.403
67.50	3746.202	0.161	2.387
68.00	3746.210	0.162	2.376
68.50	3746.222	0.163	2.382
69.00	3746.232	0.165	2.392
69.50	3746.239	0.167	2.401
70.00	3746.246	0.171	2.438
70.50	3746.255	0.172	2.435
71.00	3746.265	0.174	2.445
71.50	3746.275	0.175	2.450
72.00	3746.285	0.175	2.437
72.50	3746.294	0.176	2.429
73.00	3746.304	0.176	2.414
73.50	3746.314	0.177	2.407
74.00	3746.324	0.177	2.398
74.50	3746.334	0.177	2.382
75.00	3746.342	0.179	2.385
75.50	3746.352	0.180	2.382
76.00	3746.364	0.182	2.392
76.50	3746.374	0.183	2.396
77.00	3746.384	0.184	2.391
77.50	3746.394	0.185	2.389
78.00	3746.404	0.185	2.377
78.50	3746.414	0.185	2.362
79.00	3746.425	0.186	2.351
79.50	3746.435	0.186	2.337
80.00	3746.445	0.187	2.331
80.50	3746.456	0.187	2.317
81.00	3746.469	0.189	2.328
81.50	3746.480	0.190	2.331

82.00	3746.490	0.191	2.334
82.50	3746.500	0.193	2.344
83.00	3746.509	0.195	2.350
83.50	3746.520	0.195	2.339
84.00	3746.529	0.196	2.331
84.50	3746.539	0.197	2.332
85.00	3746.550	0.197	2.319
85.50	3746.562	0.199	2.326
86.00	3746.574	0.201	2.334
86.50	3746.585	0.201	2.324
87.00	3746.595	0.202	2.324
87.50	3746.607	0.202	2.312
88.00	3746.619	0.204	2.318
88.50	3746.630	0.205	2.312
89.00	3746.641	0.205	2.308
89.50	3746.652	0.206	2.302
90.00	3746.664	0.207	2.296
90.50	3746.674	0.207	2.286
91.00	3746.685	0.208	2.286
91.50	3746.698	0.209	2.284
92.00	3746.710	0.211	2.289
92.50	3746.722	0.211	2.280
93.00	3746.732	0.213	2.286
93.50	3746.744	0.214	2.284
94.00	3746.755	0.214	2.274
94.50	3746.768	0.215	2.272
95.00	3746.782	0.217	2.281
95.50	3746.794	0.217	2.276
96.00	3746.804	0.220	2.290
96.50	3746.819	0.220	2.279
97.00	3746.829	0.220	2.273
97.50	3746.842	0.221	2.269
98.00	3746.854	0.222	2.262
98.50	3746.865	0.223	2.260
99.00	3746.879	0.223	2.253
99.50	3746.892	0.224	2.256
100.00	3746.904	0.225	2.247
100.50	3746.916	0.226	2.250
101.00	3746.932	0.228	2.256
101.50	3746.942	0.228	2.248
102.00	3746.955	0.230	2.257
102.50	3746.966	0.232	2.261
103.00	3746.981	0.233	2.262
103.50	3746.993	0.234	2.263
104.00	3747.005	0.236	2.265
104.50	3747.018	0.237	2.264
105.00	3747.034	0.239	2.277
105.50	3747.048	0.242	2.292
106.00	3747.061	0.242	2.287
106.50	3747.072	0.245	2.305
107.00	3747.084	0.248	2.315
107.50	3747.096	0.248	2.309
108.00	3747.112	0.250	2.319
108.50	3747.125	0.252	2.324
109.00	3747.140	0.252	2.316
109.50	3747.154	0.253	2.309
110.00	3747.165	0.254	2.314
110.50	3747.181	0.254	2.303
111.00	3747.194	0.256	2.304

111.50	3747.208	0.256	2.295
112.00	3747.223	0.256	2.287
112.50	3747.237	0.257	2.281
113.00	3747.252	0.257	2.275
113.50	3747.264	0.258	2.277
114.00	3747.280	0.259	2.269
114.50	3747.294	0.260	2.268
115.00	3747.310	0.261	2.267
115.50	3747.324	0.261	2.258
116.00	3747.339	0.262	2.254
116.50	3747.354	0.262	2.245
117.00	3747.366	0.263	2.250
117.50	3747.386	0.265	2.256
118.00	3747.404	0.270	2.288
118.50	3747.419	0.271	2.283
119.00	3747.434	0.274	2.300
119.50	3747.447	0.277	2.318
120.00	3747.464	0.277	2.308
120.50	3747.479	0.278	2.307
121.00	3747.494	0.279	2.307
121.50	3747.511	0.280	2.302
122.00	3747.524	0.281	2.303
122.50	3747.540	0.282	2.305
123.00	3747.554	0.283	2.303
123.50	3747.570	0.283	2.295
124.00	3747.584	0.284	2.290
124.50	3747.600	0.284	2.284
125.00	3747.614	0.285	2.278
125.50	3747.630	0.285	2.269
126.00	3747.645	0.285	2.265
126.50	3747.664	0.288	2.277
127.00	3747.676	0.288	2.270
127.50	3747.690	0.292	2.287
128.00	3747.710	0.294	2.298
128.50	3747.724	0.297	2.314
129.00	3747.742	0.298	2.310
129.50	3747.757	0.298	2.304
130.00	3747.772	0.299	2.302
130.50	3747.787	0.300	2.299
131.00	3747.804	0.301	2.298
131.50	3747.822	0.304	2.308
132.00	3747.835	0.305	2.308
132.50	3747.854	0.305	2.303
133.00	3747.872	0.308	2.316
133.50	3747.886	0.308	2.310
134.00	3747.904	0.310	2.313
134.50	3747.921	0.311	2.309
135.00	3747.936	0.311	2.305
135.50	3747.954	0.312	2.300
136.00	3747.970	0.312	2.292
136.50	3747.984	0.314	2.301
137.00	3748.002	0.315	2.299
137.50	3748.021	0.318	2.311
138.00	3748.036	0.318	2.304
138.50	3748.054	0.319	2.307
139.00	3748.072	0.320	2.303
139.50	3748.085	0.322	2.308
140.00	3748.104	0.323	2.308
140.50	3748.122	0.325	2.315

141.00	3748.141	0.328	2.323
141.50	3748.157	0.328	2.320
142.00	3748.174	0.330	2.326
142.50	3748.192	0.330	2.319
143.00	3748.210	0.332	2.321
143.50	3748.224	0.334	2.327
144.00	3748.244	0.335	2.324
144.50	3748.263	0.338	2.336
145.00	3748.281	0.339	2.338
145.50	3748.299	0.340	2.336
146.00	3748.316	0.341	2.337
146.50	3748.332	0.343	2.341
147.00	3748.346	0.346	2.354
147.50	3748.364	0.347	2.353
148.00	3748.381	0.348	2.353
148.50	3748.401	0.351	2.361
149.00	3748.422	0.354	2.377
149.50	3748.438	0.354	2.369
150.00	3748.458	0.355	2.367
150.50	3748.476	0.356	2.365
151.00	3748.494	0.356	2.359
151.50	3748.511	0.357	2.359
152.00	3748.530	0.358	2.354
152.50	3748.547	0.358	2.347
153.00	3748.564	0.359	2.348
153.50	3748.584	0.360	2.343
154.00	3748.604	0.362	2.352
154.50	3748.622	0.363	2.347
155.00	3748.642	0.363	2.342
155.50	3748.662	0.364	2.341
156.00	3748.679	0.365	2.338
156.50	3748.696	0.368	2.349
157.00	3748.714	0.369	2.353
157.50	3748.733	0.370	2.349
158.00	3748.747	0.372	2.357
158.50	3748.764	0.376	2.372
159.00	3748.786	0.378	2.380
159.50	3748.804	0.382	2.395
160.00	3748.821	0.383	2.396
160.50	3748.841	0.384	2.394
161.00	3748.856	0.385	2.391
161.50	3748.878	0.387	2.394
162.00	3748.885	0.391	2.416
162.50	3748.905	0.396	2.435
163.00	3748.922	0.399	2.446
163.50	3748.939	0.401	2.454
164.00	3748.956	0.401	2.448
164.50	3748.974	0.402	2.443
165.00	3748.991	0.403	2.443
165.50	3749.007	0.403	2.437
166.00	3749.022	0.405	2.438
166.50	3749.042	0.407	2.442
167.00	3749.059	0.410	2.454
167.50	3749.076	0.410	2.450
168.00	3749.094	0.411	2.444
168.50	3749.112	0.412	2.445
169.00	3749.130	0.414	2.447
169.50	3749.147	0.414	2.441
170.00	3749.164	0.414	2.438

170.50	3749.183	0.415	2.436
171.00	3749.202	0.417	2.441
171.50	3749.219	0.417	2.434
172.00	3749.238	0.418	2.431
172.50	3749.255	0.419	2.427
173.00	3749.274	0.419	2.420
173.50	3749.294	0.420	2.421
174.00	3749.314	0.422	2.423
174.50	3749.332	0.422	2.421
175.00	3749.352	0.423	2.419
175.50	3749.372	0.424	2.416
176.00	3749.391	0.424	2.409
176.50	3749.412	0.424	2.403
177.00	3749.428	0.427	2.410
177.50	3749.448	0.429	2.416
178.00	3749.466	0.430	2.414
178.50	3749.486	0.430	2.408
179.00	3749.505	0.430	2.403
179.50	3749.525	0.431	2.398
180.00	3749.544	0.431	2.395
180.50	3749.570	0.435	2.409
181.00	3749.589	0.437	2.416
181.50	3749.607	0.441	2.429
182.00	3749.623	0.446	2.453
182.50	3749.639	0.450	2.468
183.00	3749.657	0.451	2.466
183.50	3749.677	0.453	2.469
184.00	3749.696	0.454	2.469
184.50	3749.709	0.458	2.484
185.00	3749.727	0.462	2.496
185.50	3749.742	0.462	2.491
186.00	3749.757	0.463	2.489
186.50	3749.773	0.464	2.487
187.00	3749.789	0.464	2.483
187.50	3749.807	0.467	2.489
188.00	3749.827	0.471	2.507
188.50	3749.847	0.476	2.527
189.00	3749.861	0.477	2.522
189.50	3749.880	0.477	2.518
190.00	3749.899	0.481	2.531
190.50	3749.917	0.484	2.542
191.00	3749.937	0.486	2.547
191.50	3749.956	0.488	2.549
192.00	3749.970	0.490	2.553
192.50	3749.989	0.492	2.555
193.00	3750.008	0.494	2.560
193.50	3750.027	0.496	2.564
194.00	3750.047	0.497	2.562
194.50	3750.064	0.498	2.562
195.00	3750.086	0.499	2.559
195.50	3750.100	0.501	2.561
196.00	3750.123	0.501	2.557
196.50	3750.143	0.504	2.563
197.00	3750.160	0.505	2.564
197.50	3750.180	0.508	2.571
198.00	3750.200	0.508	2.565
198.50	3750.220	0.508	2.562
199.00	3750.239	0.510	2.561
199.50	3750.259	0.511	2.562

200.00	3750.279	0.511	2.557
200.50	3750.299	0.512	2.551
201.00	3750.316	0.514	2.558
201.50	3750.335	0.517	2.565
202.00	3750.349	0.521	2.578
202.50	3750.366	0.524	2.590
203.00	3750.384	0.525	2.585
203.50	3750.400	0.525	2.581
204.00	3750.417	0.527	2.581
204.50	3750.435	0.527	2.576
205.00	3750.453	0.528	2.578
205.50	3750.469	0.529	2.572
206.00	3750.487	0.529	2.567
206.50	3750.505	0.531	2.570
207.00	3750.522	0.532	2.572
207.50	3750.539	0.533	2.569
208.00	3750.557	0.534	2.569
208.50	3750.576	0.537	2.576
209.00	3750.594	0.540	2.582
209.50	3750.614	0.542	2.587
210.00	3750.629	0.542	2.582
210.50	3750.648	0.543	2.578
211.00	3750.667	0.545	2.583
211.50	3750.682	0.545	2.578
212.00	3750.701	0.546	2.577
212.50	3750.720	0.548	2.578
213.00	3750.739	0.550	2.581
213.50	3750.758	0.550	2.578
214.00	3750.777	0.550	2.572
214.50	3750.797	0.551	2.569
215.00	3750.815	0.551	2.564
215.50	3750.836	0.552	2.559
216.00	3750.853	0.553	2.558
216.50	3750.873	0.554	2.558
217.00	3750.895	0.556	2.560
217.50	3750.913	0.556	2.555
218.00	3750.931	0.559	2.564
218.50	3750.954	0.559	2.559
219.00	3750.973	0.561	2.560
219.50	3750.990	0.564	2.568
220.00	3751.011	0.566	2.573
220.50	3751.029	0.567	2.569
221.00	3751.045	0.570	2.578
221.50	3751.060	0.575	2.595
222.00	3751.077	0.578	2.603
222.50	3751.096	0.579	2.602
223.00	3751.111	0.579	2.598
223.50	3751.130	0.580	2.597
224.00	3751.147	0.581	2.594
224.50	3751.163	0.581	2.589
225.00	3751.180	0.581	2.584
225.50	3751.197	0.582	2.583
226.00	3751.216	0.585	2.589
226.50	3751.233	0.587	2.593
227.00	3751.249	0.587	2.588
227.50	3751.265	0.588	2.585
228.00	3751.284	0.590	2.590
228.50	3751.302	0.594	2.600
229.00	3751.317	0.594	2.595

229.50	3751.333	0.596	2.597
230.00	3751.355	0.600	2.609
230.50	3751.374	0.606	2.628
231.00	3751.392	0.607	2.627
231.50	3751.411	0.607	2.624
232.00	3751.431	0.609	2.625
232.50	3751.445	0.610	2.625
233.00	3751.466	0.611	2.624
233.50	3751.483	0.612	2.621
234.00	3751.502	0.612	2.616
234.50	3751.522	0.613	2.613
235.00	3751.542	0.614	2.611
235.50	3751.561	0.614	2.607
236.00	3751.578	0.617	2.613
236.50	3751.597	0.619	2.616
237.00	3751.614	0.620	2.617
237.50	3751.634	0.621	2.613
238.00	3751.655	0.622	2.614
238.50	3751.674	0.623	2.610
239.00	3751.694	0.624	2.609
239.50	3751.714	0.624	2.605
240.00	3751.733	0.624	2.601
240.50	3751.752	0.626	2.601
241.00	3751.770	0.627	2.603
241.50	3751.785	0.631	2.614
242.00	3751.804	0.633	2.617
242.50	3751.821	0.633	2.612
243.00	3751.838	0.634	2.610
243.50	3751.856	0.635	2.608
244.00	3751.872	0.636	2.607
244.50	3751.891	0.637	2.604
245.00	3751.910	0.639	2.608
245.50	3751.928	0.641	2.609
246.00	3751.942	0.643	2.614
246.50	3751.961	0.644	2.611
247.00	3751.976	0.645	2.610
247.50	3751.994	0.646	2.609
248.00	3752.014	0.649	2.616
248.50	3752.032	0.652	2.623
249.00	3752.051	0.653	2.623
249.50	3752.066	0.654	2.622
250.00	3752.085	0.654	2.617
250.50	3752.105	0.658	2.626
251.00	3752.123	0.660	2.630
251.50	3752.141	0.661	2.627
252.00	3752.161	0.661	2.624
252.50	3752.179	0.662	2.623
253.00	3752.196	0.664	2.623
253.50	3752.216	0.664	2.619
254.00	3752.240	0.668	2.631
254.50	3752.256	0.669	2.629
255.00	3752.273	0.674	2.644
255.50	3752.292	0.677	2.649
256.00	3752.311	0.678	2.648
256.50	3752.332	0.680	2.649
257.00	3752.351	0.680	2.645
257.50	3752.370	0.682	2.647
258.00	3752.386	0.685	2.655
258.50	3752.407	0.686	2.653

259.00	3752.425	0.686	2.650
259.50	3752.445	0.687	2.646
260.00	3752.484	0.699	2.689
260.50	3752.503	0.708	2.717
261.00	3752.521	0.716	2.744
261.50	3752.537	0.727	2.780
262.00	3752.555	0.731	2.789
262.50	3752.574	0.731	2.786
263.00	3752.594	0.731	2.781
263.50	3752.610	0.735	2.791
264.00	3752.627	0.740	2.804
264.50	3752.644	0.743	2.808
265.00	3752.662	0.743	2.803
265.50	3752.682	0.744	2.803
266.00	3752.697	0.745	2.802
266.50	3752.715	0.747	2.804
267.00	3752.732	0.748	2.800
267.50	3752.751	0.750	2.804
268.00	3752.772	0.754	2.814
268.50	3752.787	0.755	2.811
269.00	3752.807	0.755	2.806
269.50	3752.825	0.757	2.809
270.00	3752.845	0.760	2.816
270.50	3752.864	0.763	2.820
271.00	3752.881	0.763	2.815
271.50	3752.901	0.764	2.813
272.00	3752.917	0.764	2.809
272.50	3752.933	0.766	2.811
273.00	3752.957	0.769	2.818
273.50	3752.975	0.774	2.828
274.00	3752.995	0.774	2.824
274.50	3753.014	0.775	2.822
275.00	3753.032	0.775	2.820
275.50	3753.051	0.776	2.816
276.00	3753.069	0.777	2.814
276.50	3753.088	0.777	2.812
277.00	3753.108	0.778	2.808
277.50	3753.131	0.781	2.813
278.00	3753.147	0.782	2.811
278.50	3753.167	0.785	2.818
279.00	3753.187	0.785	2.814
279.50	3753.205	0.785	2.810
280.00	3753.227	0.786	2.806
280.50	3753.241	0.789	2.812
281.00	3753.259	0.793	2.824
281.50	3753.277	0.795	2.822
282.00	3753.295	0.795	2.819
282.50	3753.311	0.797	2.820
283.00	3753.327	0.800	2.826
283.50	3753.345	0.800	2.823
284.00	3753.364	0.803	2.827
284.50	3753.379	0.803	2.822
285.00	3753.395	0.805	2.826
285.50	3753.414	0.807	2.825
286.00	3753.431	0.810	2.830
286.50	3753.448	0.810	2.829
287.00	3753.467	0.812	2.828
287.50	3753.485	0.814	2.832
288.00	3753.502	0.815	2.831

288.50	3753.518	0.816	2.828
289.00	3753.537	0.817	2.827
289.50	3753.554	0.819	2.830
290.00	3753.571	0.820	2.826
290.50	3753.587	0.821	2.825
291.00	3753.605	0.821	2.821
291.50	3753.624	0.823	2.825
292.00	3753.644	0.827	2.831
292.50	3753.665	0.830	2.836
293.00	3753.678	0.832	2.841
293.50	3753.698	0.835	2.845
294.00	3753.717	0.837	2.847
294.50	3753.735	0.838	2.847
295.00	3753.755	0.839	2.842
295.50	3753.773	0.839	2.840
296.00	3753.791	0.841	2.840
296.50	3753.808	0.843	2.842
297.00	3753.827	0.843	2.840
297.50	3753.847	0.845	2.839
298.00	3753.866	0.845	2.836
298.50	3753.885	0.846	2.834
299.00	3753.905	0.846	2.830
299.50	3753.921	0.848	2.832
300.00	3753.941	0.850	2.832
300.50	3753.958	0.850	2.830
301.00	3753.978	0.850	2.825
301.50	3753.995	0.851	2.823
302.00	3754.012	0.853	2.826
302.50	3754.031	0.854	2.823
303.00	3754.048	0.854	2.819
303.50	3754.067	0.854	2.815
304.00	3754.088	0.857	2.818
304.50	3754.105	0.857	2.815
305.00	3754.123	0.859	2.816
305.50	3754.138	0.861	2.820
306.00	3754.155	0.863	2.820
306.50	3754.175	0.865	2.823
307.00	3754.192	0.867	2.825
307.50	3754.211	0.868	2.821
308.00	3754.227	0.868	2.819
308.50	3754.248	0.870	2.820
309.00	3754.265	0.872	2.822
309.50	3754.283	0.872	2.818
310.00	3754.301	0.873	2.815
310.50	3754.321	0.874	2.816
311.00	3754.341	0.877	2.821
311.50	3754.357	0.878	2.819
312.00	3754.375	0.881	2.822
312.50	3754.395	0.882	2.822
313.00	3754.417	0.886	2.831
313.50	3754.440	0.890	2.840
314.00	3754.461	0.892	2.840
314.50	3754.481	0.893	2.840
315.00	3754.499	0.896	2.844
315.50	3754.520	0.897	2.842
316.00	3754.540	0.897	2.839
316.50	3754.557	0.900	2.844
317.00	3754.577	0.903	2.849
317.50	3754.597	0.903	2.845

318.00	3754.617	0.904	2.841
318.50	3754.637	0.904	2.839
319.00	3754.655	0.907	2.843
319.50	3754.673	0.910	2.847
320.00	3754.688	0.914	2.855

RESULTADOS:

Desplazamiento = 0.914m IRI = 2.855m / Km

ANEXO 5

MODELO DE CALIBRACION DEL BUMP INTEGRATOR

Levantamiento de referencia de las secciones de calibración

Cada sección de calibración estará medida con un equipo adecuado de nivel 1. En general, se utilizan equipos de topografía o equipos con referencias geométricas como son el DIPSTICK, Walking Profilometer o Merlin.

A continuación se indican los requisitos del levantamiento topográfico:

- Intervalo entre dos puntos de nivelación : 0.5 m.
- Precisión : 1 mm.
- Levantamiento en ambas huellas de las ruedas.
- Huella derecha : a 0.8 m del borde de la capa de rodadura.
- Huella izquierda : a 1.4 m de la huella derecha.
- Unidad : m para altura y progresiva.
- Origen y extremo de las secciones del ensayo a marcarse con pintura.

Si se usan otros equipos, se debe seguir los manuales del fabricante.

Cálculo de la rugosidad

Existen diferentes programas para calcular la rugosidad a partir del levantamiento topográfico. Se recomienda usar el programa del SGC.

Medidas con el bump

El Bump Integrator puede instalarse en varios vehículos. Es muy importante que el mismo vehículo se use para la calibración y medición del campo. Si varios vehículos tienen que ser usados para la medida, cada uno tiene que ser calibrado. Es importante garantizar que las condiciones generales de uso sean las mismas en

cuanto a las características de los amortiguadores, presión de las llantas y peso del vehículo.

La velocidad para la medida debe ser aproximadamente 80 km/h. Si es imposible obtener esta velocidad en las secciones del ensayo, se recomienda una velocidad de 32 km/h o 50 km/h. En este caso, esta velocidad se usará para las mediciones de campo.

Es preferible (en lo posible) hacer la calibración para todas las velocidades diferentes, y calcular la correlación para cada velocidad.

Para una velocidad definida, la medida debe hacerse por lo menos tres veces en cada sección de prueba.

La correlación

El cálculo debe dar una apreciación del valor de IRI con una fórmula como:

$$Y = A + BX + CX^2$$

Con:

X = Conteo de impulsos del bump

Y = IRI

A, B y C: valores constantes que resultan de la calibración.

La experiencia demuestra que el factor del segundo grado es muy reducido y que en general, usando una regresión lineal simple, los resultados son aceptables. Antes de calcular dicha regresión, se recomienda eliminar los valores extremos en cada sección de prueba de acuerdo con el análisis del método práctico de validación de datos de calibración, detallado en el presente Anexo.

El cálculo de la fórmula de correlación se hace fácilmente utilizando una hoja del tipo Excel, con las fórmulas estándares del mismo. Para el conteo de impulso del Bump se utilizan el valor promedio de los diferentes pasajes en la sección de medida.

A continuación, el ejemplo de cálculo de la correlación para el plan piloto.

Calibración del bump integrator

N° de seccion	Codigo Seccion	Carretera / Calzada	Progresiva Inicio	Progresiva Fin	Sentido	Long. (m)	Fecha	IRI Medido
1	1S-1C	01S/CD	563+900	564+200	Creciente	300	07/03/00	2.22
2	1S-1D	01S/CD	563+900	564+200	Decreciente	300	07/03/00	1.64
3	1S-2C	01S/CD	584+400	584+700	Creciente	300	07/03/00	1.70
4	1S-2D	01S/CD	584+400	584+700	Decreciente	300	07/03/00	1.67
5	1S-3C	01S/CD	587+300	587+600	Creciente	300	07/03/00	3.83
6	1S-3D	01S/CD	587+300	587+600	Decreciente	300	07/03/00	3.54
7	1S-4C	01S/CD	586+800	587+100	Creciente	300	07/03/00	3.37
8	1S-5D	01S/CD	594+907.5	594+207.5	Decreciente	300	07/03/00	4.83
9	3N-2C	03N/A1	09+260	09+580	Creciente	320	22/11/99	2.92
10	3N-2D	03N/A1	09+260	09+580	Decreciente	320	22/11/99	2.95
11	3N-3C	03N/A1	24+700	25+020	Creciente	320	22/11/99	2.06
12	3N-3D	03N/A1	24+700	25+020	Decreciente	320	22/11/99	2.05
13	3N-4C	03N/A1	42+200	42+520	Creciente	320	22/11/99	2.05
14	3N-4D	03N/A1	42+200	42+520	Decreciente	320	22/11/99	1.94
15	3N-5C	03N/A1	55+300	55+620	Creciente	320	22/11/99	2.83
16	3N-5D	03N/A1	55+300	55+620	Decreciente	320	22/11/99	3.14
17	1S-6C	01S/CD	389+700	390+000	Creciente	300	08/03/00	9.00
18	1S-6D	01S/CD	390+000	390+300	Decreciente	300	08/03/00	11.00

Número de impulsos registrados

N° de Seccion	Codigo Seccion	Promedio	N° de la medida							Velocidad (Km/h)
			1	2	3	4	5	6	7	
1	1S-1C	13.60	19	12	12	15	10			32
2	1S-1D	10.20	10	14	11	7	9			32
3	1S-2C	11.60	10	10	7	13	18			32
4	1S-2D	12.00	15	13	10	15	7			32
5	1S-3C	45.40	49	45	48	41	44			32
6	1S-3D	32.00	28	31	33	34	34			32
7	1S-4C	21.60	21	22	19	22	24			32
8	1S-5D	45.60		46	49	46	45	42		32
9	3N-2C	10.17	12	9	13	7	10	10		32
10	3N-2D	16.29	17	17	17	16	13	15	19	32
11	3N-3C	13.50	15	15	11	12	13	15		32
12	3N-3D	13.00	19	11	13	13	10	12		32
13	3N-4C	6.83	9	5	9	6	6	6		32
14	3N-4D	5.33	5	5	9	3	6	4		32
15	3N-5C	10.00	12	10	8	13	8	9		32
16	3N-5D	10.17	14	8	11	10	8	10		32
17	1S-6C	97.40	97	93	96	98	103			32
18	1S-6D	121.20	118	126	116	122	124			32

Correlación BUMP - IRI

Vehículo:	Toyota
Velocidad de calibración (km/h)	32
Longitud de integración (m)	200

Nº de Seccion	Codigo Seccion	IRI Medido por el PERT	Equiv. Impulsiones en 200 m
1	1S-1C	2.22	9.07
2	1S-1D	1.64	6.80
3	1S-2C	1.70	7.73
4	1S-2D	1.67	8.00
5	1S-3C	3.83	30.27
6	1S-3D	3.54	21.33
7	1S-4C	3.37	14.40
8	1S-5D	4.83	30.40
9	3N-2C	2.92	6.35
10	3N-2D	2.95	10.18
11	3N-3C	2.06	8.44
12	3N-3D	2.05	8.13
13	3N-4C	2.05	4.27
14	3N-4D	1.94	3.33
15	3N-5C	2.83	6.25
16	3N-5D	3.14	6.35
17	1S-6C	9.00	64.93
18	1S-6D	11.00	80.80

Coefficientes de correlación

Regresión 1 : $IRI_{bump} = A + B * (X)$

X= Impulsos Bump

A = 1.39721

B = 0.11492

R2 = 0.95394

Regresión 2 : $IRI_{bump} = A + B * (X) + C * (X^2)$

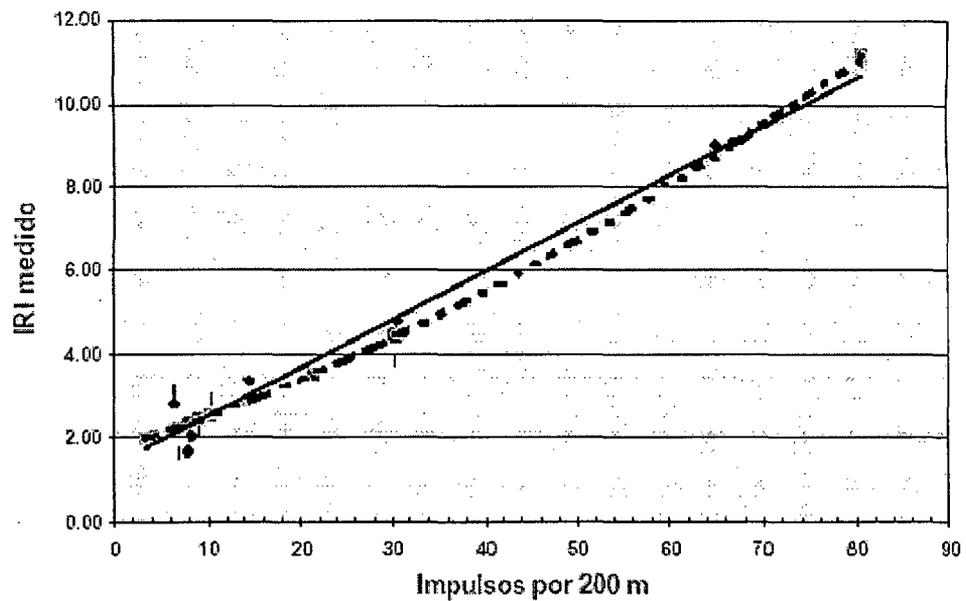
X= Impulsos Bump

A = 1.74643

B = 0.07293

C = 0.00054

R2 = 0.96152



Los coeficientes de la correlación lineal (regresión 1) son los siguientes:

- A = 1.3972
- B = 0.1149

Métodos prácticos de validación de datos de calibración

Existen dos procedimientos prácticos de validación de datos de calibración:

I. Eliminación de los datos extremos:

Por cada serie se elimina el número máximo y el número mínimo. Ese método es de uso común si la sensibilidad del equipo es reducida; es el caso del Bump integrator, Farnell (su sensibilidad es de un impulso por cm de movimiento acumulado). Un recorrido ligeramente diferente puede generar uno o varios impulsos y la diferencia relativa entre medidas puede ser importante en caso de una rugosidad baja.

II. Procedimiento estadístico de validación:

Se utiliza sí el rango de las medidas es bastante abierto: es el caso de aparato con número de impulsos importante por cm de por cm de movimiento acumulado por ejemplo, el Bump tipo ROMDAS o en caso de rugosidad mala o media.

Para adoptar esta metodología el procedimiento es el siguiente:

Como él número de medidas es reducido, se utiliza una distribución t

Se calculará el parámetro estadístico: $\beta = t \times s / \text{sqrt}(n)$

Donde:

t : el valor crítico de la distribución t

s : la desviación estándar

sqrt(n) : la raíz cuadrada del número de medidas

t es dado por el cuadro siguiente:

Numero de muestras	Valor crítico t por el intervalo de confianza:	
	90	95
3	2.920	4.303
4	2.353	3.182
5	2.132	2.776
6	2.015	2.571
7	1.943	2.447
8	1.895	2.365
9	1.860	2.306
10	1.833	2.262

Si se adopta el intervalo de confianza de 90% el valor de β debe ser inferior $B \times 0.2$, donde B es el promedio de las medidas.

En el caso de las medidas de calibración con el bump FARNELL por secciones, con un IRI bajo, que corresponde a un número de impulsos alrededor de 12, la tolerancia en la desviación estándar por una confianza de 90% con 5 medidas sería de 2.51 impulso, es decir 2 impulso enteros. En ninguna sección con IRI bajo se puede obtener tal intervalo reducido.

Por estas razones el Consultor optó por adoptar el método de eliminación de las medidas extremas.

Las tablas siguientes muestran la aplicación de los dos métodos de validación.

Tabla de cálculo de acuerdo con el método de los extremos

N° de sección	Código Sección	Promedio	1	2	3	4	5	6	7	Velocidad (km/h)	Longitud MTC	IRI MTC	Equiv. Impulsos / 200m	Numero medidas	Desviación	t	B	0.2 x Promedio		Desviacion maxima tolerada	Min	Max	(MAX - MIN)/2
1	1S-1C	13.60	19	12	12	15	10			32	300	2.22	9.07	5	3.51	2.132	3.3439	1.81	NO	1.90	10	19	4.5
2	1S-1D	10.20	10	14	11	7	9			32	300	1.64	6.80	5	2.59	2.132	2.4680	1.36	NO	1.43	7	14	3.5
3	1S-2C	11.60	10	10	7	13	18			32	300	1.70	7.73	5	4.16	2.132	3.9657	1.55	NO	1.62	7	18	5.5
4	1S-2D	12.00	15	13	10	15	7			32	300	1.67	8.00	5	3.46	2.132	3.3029	1.60	NO	1.68	7	15	4.0
5	1S-3C	45.40	49	45	48	41	44			32	300	3.83	30.27	5	3.21	2.132	3.0600	6.05	OK	6.35	41	49	4.0
6	1S-3D	32.00	28	31	33	34	34			32	300	3.54	21.33	5	2.55	2.132	2.4309	4.27	OK	4.47	28	34	3.0
7	1S-4C	21.60	21	22	19	22	24			32	300	3.37	14.40	5	1.82	2.132	1.7320	2.88	OK	3.02	19	24	2.5
8	1S-5D	45.60	46	49	46	45	42			32	300	4.83	30.40	5	2.51	2.132	2.3932	6.08	OK	6.38	42	49	3.5
9	3N-2C	10.17	12	9	13	7	10	10		32	320	2.92	6.35	6	2.14	2.015	1.7579	1.27	NO	1.54	7	13	3.0
10	3N-2D	16.29	17	17	17	16	13	15	19	32	320	2.95	10.18	7	1.89	1.943	1.3879	2.04	OK	2.77	13	19	3.0
11	3N-3C	13.50	15	15	11	12	13	15		32	320	2.06	8.44	6	1.76	2.015	1.4484	1.69	OK	2.05	11	15	2.0
12	3N-3D	13.00	19	11	13	13	10	12		32	320	2.05	8.13	6	3.16	2.015	2.6014	1.63	NO	1.98	10	19	4.5
13	3N-4C	6.83	9	5	9	6	6	6		32	320	2.05	4.27	6	1.72	2.015	1.4169	0.85	NO	1.04	5	9	2.0
14	3N-4D	5.33	5	5	9	3	6	4		32	320	1.94	3.33	6	2.07	2.015	1.6992	0.67	NO	0.81	3	9	3.0
15	3N-5C	10.00	12	10	8	13	8	9		32	320	2.83	6.25	6	2.10	2.015	1.7255	1.25	NO	1.52	8	13	2.5
16	3N-5D	10.17	14	8	11	10	8	10		32	320	3.14	6.35	6	2.23	2.015	1.8333	1.27	NO	1.54	8	14	3.0
17	1S-6C	97.40	97	93	96	98	103			32	300	9.00	64.93	5	3.65	2.132	3.4772	12.99	OK	13.62	93	103	5.0
18	1S-6D	121.20	118	126	116	122	124			32	300	11.00	80.80	5	4.15	2.132	3.9543	16.16	OK	16.95	116	126	5.0

R2	0.955
A	1.398
B	0.116

Tabla de cálculo de acuerdo con el método estadístico
Con eliminación de los números que no cumplen con los criterios de la evaluación estadística

N° de sección	Código Sección	Promedio	1	2	3	4	5	6	7	Velocidad (km/h)	Longitud MTC	IRI MTC	Equiv. Impulsos / 200m	Numero medidas	Desviación	t	β	0.2 x Promedio		Desviación máxima tolerada	Min	Max	(MAX - MIN)/2
1	1S-1C	12.25		12	12	15	10			32	300	2.22	8.17	4	2.06	2.353	2.4254	1.63	NO	1.39	10	15	2.5
2	1S-1D	9.25	10		11	7	9			32	300	1.64	6.17	4	1.71	2.353	2.0093	1.23	NO	1.05	7	11	2.0
3	1S-2C	10.00	10	10	7	13				32	300	1.70	6.67	4	2.45	2.353	2.8818	1.33	NO	1.13	7	13	3.0
4	1S-2D	13.25	15	13	10	15				32	300	1.67	8.83	4	2.36	2.353	2.7800	1.77	NO	1.50	10	15	2.5
5	1S-3C	45.40	49	45	48	41	44			32	300	3.83	30.27	5	3.21	2.132	3.0600	6.05	OK	6.35	41	49	4.0
6	1S-3D	32.00	28	31	33	34	34			32	300	3.54	21.33	5	2.55	2.132	2.4309	4.27	OK	4.47	28	34	3.0
7	1S-4C	21.60	21	22	19	22	24			32	300	3.37	14.40	5	1.82	2.132	1.7320	2.88	OK	3.02	19	24	2.5
8	1S-5D	45.60		46	49	46	45	42		32	300	4.83	30.40	5	2.51	2.132	2.3932	6.08	OK	6.38	42	49	3.5
9	3N-2C	10.80	12	9	13		10	10		32	320	2.92	6.75	5	1.64	2.132	1.5667	1.35	NO	1.42	9	13	2.0
10	3N-2D	16.29	17	17	17	16	13	15	19	32	320	2.95	10.18	7	1.89	1.943	1.3879	2.04	OK	2.77	13	19	3.0
11	3N-3C	13.50	15	15	11	12	13	15		32	320	2.06	8.44	6	1.76	2.015	1.4484	1.69	OK	2.05	11	15	2.0
12	3N-3D	11.80		11	13	13	10	12		32	320	2.05	7.38	5	1.30	2.132	1.2432	1.48	OK	1.55	10	13	1.5
13	3N-4C	5.75		5		6	6	6		32	320	2.05	3.59	4	0.50	2.35	30.5883	0.72	OK	0.61	5	6	0.5
14	3N-4D	4.25	5	5		3		4		32	320	1.94	2.66	4	0.96	2.35	31.1264	0.53	NO	0.45	3	5	1.0
15	3N-5C	9.40	12	10	8		8	9		32	320	2.83	5.88	5	1.67	2.132	1.5954	1.18	NO	1.23	8	12	2.0
16	3N-5D	9.40		8	11	10	8	10		32	320	3.14	5.88	5	1.34	2.132	1.2792	1.18	NO	1.23	8	11	1.5
17	1S-6C	97.40	97	93	96	98	103			32	300	9.00	64.93	5	3.65	2.132	3.4772	12.99	OK	13.62	93	103	5.0
18	1S-6D	121.20	118	126	116	122	124			32	300	11.00	80.80	5	4.15	2.132	3.9543	16.16	OK	16.95	116	126	5.0

R2	0.954
A	1.438
B	0.114

Como puede observarse, el valor $[\text{MAX} - \text{MIN}] / 2$ es casi constante y no tiene correlación con el valor del conteo Bump y/o del IRI de la sección medida. Gran parte de la variación entre medidas en una misma sección es generada por causas distintas a las variaciones entre recorridos en una misma sección (por ejemplo, vibraciones inducidas por el motor).

Según el primer cuadro arriba, el factor de correlación después de la eliminación de los extremos es de 0.954. Según el segundo cuadro, con los datos tratados con el método estadístico t, el factor de correlación es igual. Pero, el factor constante $[A]$ en el primer caso es inferior al obtenido después del tratamiento estadístico t.

La estimación de los IRI's bajos es mejor sin tratamiento estadístico t, mientras que se sobre estima ligeramente los IRI's altos con el primer método $[0,02\%]$, lo que no es significativo.

Dicho resultado confirma la recomendación de aplicar el primer método (Eliminación de los datos extremos) en el futuro. La dispersión entre medidas está íntimamente ligada al vehículo donde se instala el aparato de medición.

Procedimiento práctico con un bump integrator y Viziroad

Procedimiento general

Se escoge en el terreno un número de secciones de calibración conforme a las prescripciones mencionadas anteriormente. Las secciones se utilizarán para hacer la calibración inicial pero servirán posteriormente para verificar el buen funcionamiento del equipo durante toda su vida y para hacer recalibraciones si las condiciones lo requieren.

Por estas razones, las secciones de calibración deben:

- estar cerca del lugar donde se encuentra el equipo.
- estar poco sujeto a una evolución rápida del nivel de rugosidad (tráfico y carga reducida)
- permitir un marcado fijo de los puntos de inicio y fin.
- permitir trabajar con toda seguridad.
- estar precedidas de una zona que permita alcanzar la velocidad de medida y estabilizar esta velocidad.
- permitir mantener constante la velocidad de medida y no tener riesgos de cortes de circulación (Luz roja ...)

Si se utiliza Viziroad, el procedimiento exige que cada sección de calibración esté precedida de una zona de puesta en velocidad, de la misma longitud que la longitud de integración utilizada durante las medidas de campo. Si se utiliza una longitud de integración de 200 m la zona tendrá por lo menos 200 m y el punto distante de 200 m del inicio de la sección estará marcado con un franja de pintura a través de la calzada.

Las medidas de calibración

Antes de empezar las medidas de calibración,

- verificar que el Bump integrator esté funcionando, que la conexión con Viziroad sea operativa.
- verificar la calibración del captador de distancia.
- verificar que el vehículo de medida está en condiciones de uso en el campo, que la presión de llantas es correcta (2% de tolerancia).
- conectar el cable del Integrator Bump al eje posterior y recorrer por lo menos unos 10 kilómetros con el bump conectado y bajo tensión para calentar el equipo, liberar la suspensión del vehículo.

Para cada sección de calibración hacer por lo menos 3 recorridos válidos para cada velocidad de calibración. Se aconseja hacer 5 recorridos válidos para mayor precisión. Cada recorrido se hace de la manera siguiente.

- Alinear el vehículo con la marca de pintura que se encuentra a una longitud de integración antes de la sección de calibración. La rueda derecha en la huella derecha (80 cm del borde)
- Crear una sección de medida VIZIROAD con medidas Bump y longitud de integración igual a la longitud utilizada.

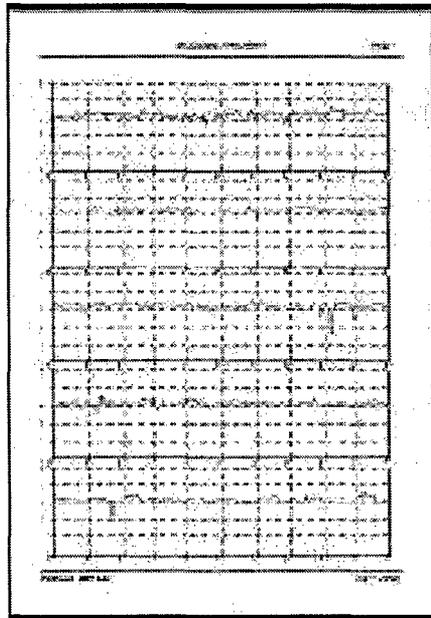
The screenshot shows the 'Definición de sección' (Section Definition) window. It contains several input fields and checkboxes:

- Definición de sección:** Fields for 'SECCION (KMS/M)' (containing '000000000000'), 'RECORRIDO' (containing '1'), and 'VELOCIDAD (K)' (containing '32').
- VALIDAR:** A button to validate the section.
- ANULAR:** A button to cancel the section.
- CALIBRACION:** A field containing 'TOYOTA ETL'.
- Constante de integración:** A field containing 'CALIBRACION BUMP'.
- Fecha:** A field containing '02/02/2011'.
- Referencia (MISOP):** A field containing '1'.
- Registra/Modifica:** A checked checkbox.
- SENTIDO:** Radio buttons for 'Creciente' (selected) and 'Decreciente'.
- Escala por eje:** A field containing '2'.
- BUMP:** Radio buttons for 'SIN', '300m', '500m', and '600m'.
- GPS:** A checked checkbox for 'Adquisición GPS'.
- Estimar:** A checkbox.
- Eliminar:** A checkbox.

- Entrar en la identificación de la sección, el número de la sección, el número del recorrido, la velocidad del recorrido.
- Denominar el archivo bajo una combinación inteligible de los elementos precedentes.
- Iniciar la medida (Iniciar) y acelerar el vehículo para estabilizar su velocidad a la velocidad de medida (32, 50, 80 km) y asegurarse de estar estabilizado antes de llegar al inicio de la sección de calibración. Para estabilizar la velocidad, es mejor proceder con una aceleración progresiva, sin sobrepasar nunca la velocidad de

medida, una aceleración brusca dará como resultado variaciones de velocidad alrededor de la velocidad de medida.

- Recorrer toda la sección de calibración, manteniendo el vehículo con la llanta derecha en la huella derecha, con una velocidad constante. La velocidad debe mantenerse dentro de una tolerancia de 5%.
- Después de salir de la sección de calibración, detener la medida (Parar) .
- Visualizar el gráfico de la velocidad de medida, y el gráfico del conteo Bump y asegurarse que la velocidad dentro de la sección de calibración está dentro de la tolerancia. Si no es así, descartar la medida.



Si la sección de calibración hace 400 m y la longitud de integración hace 200 m, tenemos en el archivo dos valores de conteo dentro de la sección Después de haber hecho todos los recorridos, según el principio descrito arriba, imprimir los resultados y crear una tabla para cada sección y cada velocidad de recorrido como en el ejemplo siguiente, excluyendo los valores extremos.

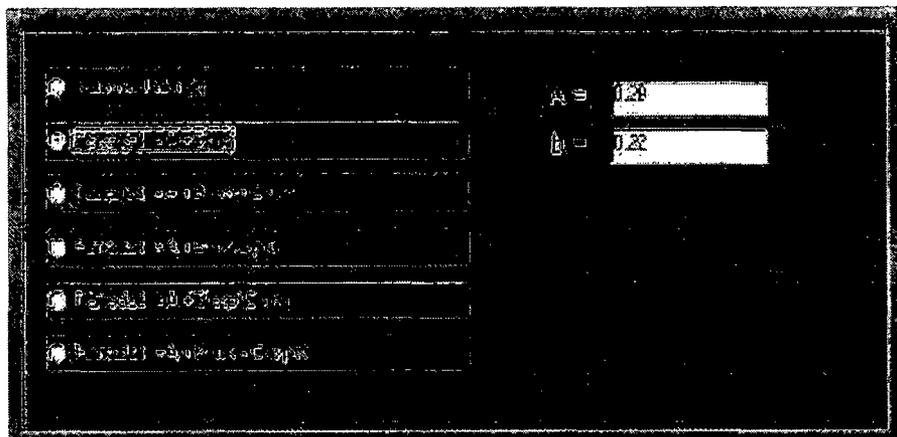
Sección	Recorridos válidos	Lectura 1	Lectura 2	TOTAL	Velocidad 1	Velocidad 2	Promedio	IRI Topo
4 A	1	2821	2826	5647	34.32	33.27	33.80	7.42
	2	2906	2945	5851	32.44	32.61	32.53	
	3	2867	2864	5731	31.51	31.06	31.29	
	4	2776	2889	5665	32.06	30.92	31.49	
	5	2748	2904	5652	31.82	31.06	31.44	
	Promedio			5709.2			32.11	

Calcular el promedio de los valores, sumando eventualmente los conteos de las subsecciones para obtener un resultado sobre una longitud equivalente a la longitud del levantamiento de referencia.

Si se encuentran resultados aberrantes, eliminarlos pero asegurarse que por cada sección y cada velocidad existan por lo menos 3 resultados.

Después de haber recorrido todas las secciones de calibración, establecer la correlación entre las medidas de referencia y los resultados del conteo BUMP.

Una vez establecida la correlación, introducir los valores en el archivo correspondiente de VIZIROAD con uno de los programas de tratamiento BUMP. El programa de medida Viziroad, agregará la fórmula de correlación al archivo de medida, cada vez que la opción Bump esté activa.



Verificación de la calibración

Un recorrido de verificación de la calibración será requerido:

- cada vez que se empiece una nueva campaña de medidas.
- por lo menos una vez al mes durante la campaña de medidas.
- cada vez que el vehículo sufra cambios que puedan afectar el comportamiento de la suspensión:

Cambio de llantas.

Cambio de amortiguadores.

Cambio de resortes.

Balanceo de ruedas.

Transformaciones en el vehículo que cambien el peso o la repartición del peso.

Choques del vehículo.

- cada vez que el integrator sufra cambios tales como:

Reparación, cambio del resorte espiral.

Cambio de colocación.

Para hacer la verificación, se recorren las distintas secciones de calibración, y se comparan los valores del conteo con los valores de la última calibración. (y por cada velocidad).

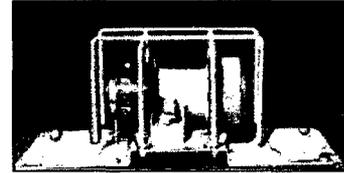
Si la diferencia es significativa, será requerida una calibración completa.

ANEXO 6

COTIZACION DE EQUIPOS BUMP INTEGRATOR

**CNS FARNELL
BUMP INTEGRATOR**

Pais de origen: Inglaterra

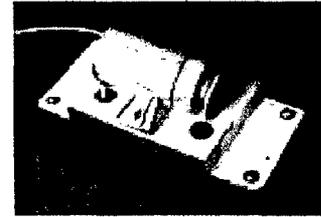


CODIGO	DESCRIPCION	LIBRAS	DOLARES
A1471	TRL UNIDAD BUMP INTEGRATOR (MARK III) Instrumento Tipo-Respuesta de Medida de Rugosidad de Caminos (RTRRM) Proporcionado con las instrucciones apropiadas, pero desprovisto de la Unidad Contadora A1473.	£1,450.00	\$2,421.50
A1471-1016	ALAMBRE DE REPUESTO PARA EL BUMP INTEGRATOR Con los accesorios completos. (2 juegos)	£30.00	\$50.10
A1473	UNIDAD CONTADORA PARA EL BUMP INTEGRATOR (A1471) Complementado con las instrucciones apropiadas.	£560.00	\$935.20
A1475	EQUIPO DE INSTALACIÓN PARA EL BUMP INTEGRATOR (A1471)	£175.00	\$292.25
A1478	ODOMETRO DE DISTANCIA PARA USO EN LOS ESTUDIOS DEL RTRRM Complementado con el kit de conectores estandar que permite el desmontaie instantáneo.	£650.00	\$1,085.50
	TOTAL	£2,865.00	4,784.55

ATENCIÓN: Es importante que nos haga conocer el tipo de vehiculo a emplear. Antes de realizar el pedido. Para permitirnos proporcionar el equipo de instalación correcto.

**ROMDAS: ROAD MEASUREMENT DATA
ACQUISITION SYSTEM
BUMP INTEGRATOR**

Pais de origen: Nueva Zelanda



Funciones	El ROMDAS Bump Integrator (BI) se usa para los estudios de rugosidad. Para vehículos con suspensión independiente se recomienda dos unidades BI, uno para cada huella de la rueda. Los vehículos con un eje solido, pueden usar sólo Vea nuestra página de discusión de estudios de rugosidad para más detalles.
Opciones	Ninguno
Componentes	El sistema BI comprende de los siguientes 1 ROMDAS Bump Integrator 1 Cable para la unidad Bump Integrator 1 Accesorio para atar a la suspensión (gancho de sujeción) 1 Plato de montaje 1 Tapa Protectora 1 Cable de extensión 1 Multímetro
Precio	Bump Integrator NZD 3,500.00 USD 2,065.00
Suplementos recomendados	2 Cables para Bump Integrator 1 Cable de Extensión para Bump Integrator 1 Resorte para Bump Integrator
Accesorios recomendados	Más Bump Integrators se compran con un sistema ROMDAS 7000 o 9000.