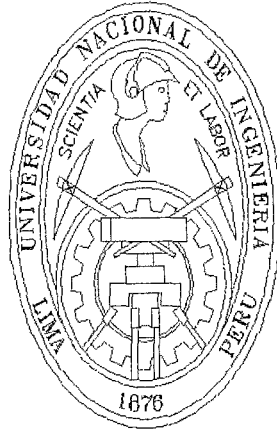


# UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA



EVALUACION SUPERFICIAL DE PAVIMENTOS  
APLICACION DEL INDICE INTERNACIONAL DE  
RUGOSIDAD IRI

TESIS

PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE INGENIERO  
CIVIL

JORGE CONTRERAS SAUÑE

Digitalizado por:

Consortio Digital del  
Conocimiento MebLatam,  
Hemisferio y Dalse

Lima - Perú

2000

**DEDICATORIA:**

A mis Padres Jorge y Vicenta por darme la existencia y guiarme con sus consejos y cariño para poder lograr mis objetivos trazados.

**AGRADECIMIENTO:**

A mi Asesor Néstor Huamán Guerrero por sus consejos y apoyo incondicional en la elaboración del presente trabajo.

**AGRADECIMIENTO:**

A mis Tíos Roberto y Consuelo por su apoyo incondicional en la culminación de mis estudios superiores.

## INDICE

### INTRODUCCIÓN

#### CAPITULO I: PLANIFICACIÓN DEL PROYECTO DE MEDICION DE RUGOSIDAD

1.1	Resumen de la Escala de Rugosidad IRI de una Carretera.....	7
1.2	Métodos Para la medición de la Rugosidad.....	12
1.2.1	Clase 1 : Perfiles de Precisión.....	12
1.2.2	Clase 2 : Otros Métodos Perfilométricos .....	15
1.2.3	Clase 3 : Estimación del IRI Mediante Ecuaciones de Calibración.....	18
1.2.4	Evaluaciones Subjetivas y Mediciones No-calibradas.....	21
1.3	Factores que Afectan la Exactitud.....	22
1.3.1	Error de Capacidad Repetidora .....	25
1.3.2	Error de Calibración .....	29
1.3.3	Error de Reproducibilidad .....	32
1.4	Planificación del Proyecto de Medición .....	34
1.4.1	Monitoreo de la Red a Largo Plazo.....	35
1.4.2	Monitoreo de la Red a Corto Plazo.....	39
1.4.3	Monitoreo Preciso Para la Investigación .....	44

#### CAPITULO II: MEDICION DEL IRI UTILIZANDO METODOS PERFILOMÉTRICOS (CLASES 1&2)

2.1	Descripción del Método .....	47
2.2	Requerimientos de Exactitud.....	49
2.3	Medición del Perfil .....	54
2.3.1	Inspección con Nivel y Varilla .....	54
2.3.2	Perfilómetro Estático de Viga TRRL .....	64
2.3.3	Perfiómetro Inercial APL.....	66
2.3.4	Perfilómetro de la Ley Inercial K.J .....	71
2.3.5	Otros Perfilómetros.....	76
2.4	Cálculo del IRI.....	77
2.4.1	Ecuaciones.....	77

#### CAPITULO II: ESTIMACIÓN DEL IRI UTILIZANDO UN RTRRMS CALIBRADO (CLASE 3)

3.1	Selección y Mantenimiento de un RTRRMS.....	82
3.1.1	El Roadmeter.....	83
3.1.2	El Vehículo .....	86

3.1.3	Instalación del Roadmeter en el Vehículo .....	87
3.1.4	Velocidad de Operación.....	88
3.1.5	Selección del Amortiguador de Choque.....	90
3.1.6	Carga del Vehículo .....	92
3.1.7	Presión de la Llanta .....	92
3.1.8	Uniones Mecánicas del Roadmeter.....	93
3.1.9	Desequilibrio y Fuera de Redondez de la Llanta.....	93
3.1.10	Efectos de Temperatura .....	94
3.1.11	Efectos de la Humedad y Agua.....	96
3.2	Calibración de un RTRRMS.....	97
3.2.1	Método de Calibración.....	98
3.2.2	Ecuación de Calibración .....	102
3.2.3	Selección de los Lugares de Calibración.....	107
3.2.4	determinación de los Lugares de Calibración del IRI .....	115
3.2.5	Compensación Para la velocidad No-Normalizada.....	118
3.3	Operación y Procedimiento de Control de Prueba .....	122
3.3.1	Operación del Vehículo y Roadmeter.....	124
3.3.2	Procesamiento de Datos .....	127
3.3.3	Prueba de Sensibilidad de Temperatura .....	128
3.3.4	Pruebas de Control de Tiempo Para la Estabilidad del RTRRMS.....	131

#### **CAPITULO IV: ESTIMACIÓN DEL IRI POR EVALUACIÓN SUBJETIVA (CLASE 4)**

4.1	Método de Evaluación Descriptiva .....	139
4.1.1	Método .....	139
4.1.2	Descripción de la Escala IRI .....	141
4.1.3	Personal .....	145
4.1.4	Calibración .....	146
4.1.5	Inspección .....	147
4.1.6	Procesamiento de Datos .....	147
4.2	Panel de Evaluación de la Calidad de Recorrido.....	148

#### **CAPITULO V: EQUIPOS EMPLEADOS PARA LA MEDICION DE LA RUGOSIDAD**

5.1	MERLIN (Machine for Evaluation using Low-cost Instrumentation).....	153
5.1.1	Introducción.....	153
5.1.2	Descripción General.....	155
5.1.2.1	Principio de Operación.....	155

5.1.2.2	Diseño .....	156
5.1.2.3	Método de Uso .....	161
5.1.2.4	Ecuaciones de Rugosidad .....	164
5.1.3	Descripción Adicional de la Máquina .....	166
5.1.3.1	Alineamiento.....	169
5.1.3.2	Amplificación del Brazo Móvil .....	171
5.1.3.3	Calibración .....	174
5.1.4.	Elección de la Sección de Prueba .....	175
5.1.4.1	Longitud.....	175
5.1.4.2	Uniformidad y Ondulaciones.....	178
5.1.4.3	Identificación de los Wheeltracks.....	179
5.1.5	Consideraciones Prácticas.....	180
5.1.5.1	Número de Operadores .....	180
5.1.5.2	Seguridad .....	181
5.1.2.3	Comprobación cero .....	182
5.1.6	Conversión Entre las Escalas IRI y BI .....	182
5.2	ARAN (Automatic Road and ANalyzer).....	185
5.2.1	Introducción.....	185
5.2.2	Descripción Detallada del Equipo ARAN.....	188
5.3	BI (Bump Integrator).....	204
5.3.1	Introducción.....	204
5.3.2	Medidor de Rugosidad .....	204
5.3.3	Instalación y calibración del Medidor de Rugosidad .....	206
5.3.4	Preparación Para la Evaluación de la Rugosidad.....	210
5.3.5	Ejecución de la Evaluación de la Rugosidad.....	211

## **CAPITULO VI: EVALUACIÓN SUPERFICIAL DEL PAVIMENTO DE LA PANAMERICANA SUR**

6.1	Introducción .....	218
6.2	Indices Utilizados .....	218
6.3	Secciones del Estudio.....	225
6.4	Deterioro .....	229
6.5	Procedimiento de Levantamiento.....	229
6.6	Cálculos y Resultados de la Mediciones .....	230
6.7	Distribución de Tramos Para la Evaluación del Pavimento .....	233
6.8	Resumen de Resultados.....	234

## **CAPITULO VII: CONCLUSIONES Y RECOMEDACIONES**

## **CAPITULO VIII: BIBLIOGRAFÍA**

- 7.1 MICHAEL W. SAYERS, THOMAS D. GILLESPIE, and WILLIAM D.O. PATERSON. "Guidelines for Conducting and Calibrating Road Roughness Measurements". World Bank Technical Paper Number 46. Washington D. C., 1986.
- 7.2 CUNDILL, M.A. "The MERLIN Road Roughness Machine User Guide". Transport Research Laboratory TRL Report 229. 1996
- 7.3 DEL AGUILA, P.M. "Estado del Arte Sobre la Medición de la Rugosidad de Pavimentos en el Perú". Trabajo Presentado al II Congreso Nacional del Asfalto. Lima, 1998.
- 7.4 DEL AGUILA, P.M. "Metodología Para la Determinación de la Rugosidad de los Pavimentos con Equipo de Bajo Costo y Gran Precisión". Trabajo Presentado al III Congreso Nacional del Asfalto. Lima, 1999.
- 7.5 DEL AGUILA, P.M. "Desarrollo de la Ecuación de Correlación Para la Determinación de Pavimentos Asfálticos Nuevos, Utilizando el Equipo MERLIN". Trabajo Presentado al II Congreso Nacional del Asfalto. Lima, 1998.
- 7.6 VIVAR, G.R. "Comentarios Sobre la Medición e Interpretación de la Rugosidad en los Pavimentos del Perú". Trabajo Presentado al II Congreso Nacional del Asfalto. Lima, 1998.
- 7.7 HUAMAN, N.G. "Pavimentos Flexibles". Universidad Nacional de Ingeniería. Lima, 1999.
- 7.8 "AASHTO Guide for Design of Pavement Structures 1993", Published by the American Association of State Highway and Transportation Officials.
- 7.9 PROYECTO ESPECIAL DE REHABILITACION INFRAESTRUCTURA DE TRANSPORTES - PERT. "estudio de Evaluación Superficial de Pavimentos - Contrato N° 198-97-MTC/15.03.PERT.01". Lima, 1998.

**ANEXO 1 : GLOSARIO**

**ANEXO 2 : ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PARA LAS LABORES DE REHABILITACIÓN**

**ANEXO 3 : CLASIFICACION DE FALLAS Y DEGRADACIONES**

**ANEXO 4 : ESPECIFICACIÓN DE LA RUGOSIDAD EN EL PERU**



## INTRODUCCIÓN

Uno de los principales objetivos en la construcción y el mantenimiento de las pavimentaciones de las carreteras es el de garantizar buenas características superficiales (regularidad transversal y longitudinal) para aumentar la comodidad y la seguridad del movimiento.

El usuario se da cuenta de la regularidad de la carretera cuando la recorre y en particular cuando esta es deficiente. Las pavimentaciones son sometidas a deterioros, es decir a la degradación de las condiciones de regularidad en correlación con las degradaciones estructurales que se manifiestan en el tiempo como derrumbes, ondulaciones o fisuraciones que hacen que las carreteras sean transitables con peligros cada vez más graves.

Las irregularidades de las pavimentaciones no son siempre causadas por las carencias estructurales. Pueden depender de una mala ejecución del trabajo con capas no perfectamente niveladas, sea en sentido longitudinal o transversal. El usuario no percibe

---

rápidamente estas irregularidades a nivel de rugosidad, pero el organismo percibe sus efectos especialmente en largos recorridos.

Condiciones escasas o bajas de regularidad hacen precarias una de las principales funciones de la pavimentación, esto es la comodidad del manejo.

En general la falta de regularidad o altos niveles de rugosidad de la superficie de la carretera contribuye a disminuir la atención del usuario, su percepción de la carretera e influye también sobre la "regularidad" desde el punto de vista de adherencia neumático-carretera. Esto por dos razones:

- La formación de charcos implica, en caso de lluvia, un aumento del estrato de agua que puede causar importantes reducciones del coeficiente de adherencia (fenómeno de aquaplaning)
- La adherencia neumático-carretera depende de la fuerza vertical aplicada a la rueda; oscilaciones del vehículo causadas por las irregularidades, implican

aumentos y disminuciones de las cargas en los puntos de vínculo.

Son particulares las irregularidades o niveles de rugosidades relacionadas a la presencia de ahuellamientos que, si son causadas por las capas de carpeta asfáltica, pueden extenderse y provocar fuertes inseguridades especialmente para los vehículos de dos ruedas.

La calidad de la regularidad o rugosidad tiene además efectos en el ámbito económico.

Si la superficie resulta ser regular, los costos del usuario serán mínimos. El aumento de los niveles de rugosidad implica inicialmente mayores costos de viaje y de mantenimiento del vehículo (combustibles, aceites, neumáticos, repuestos, etc.). Si la rugosidad aumenta, aumenta también los tiempos de viaje con problemas económicos para toda la colectividad.

La determinación del estado de la superficie de una carretera representa, en general, la primera etapa de cualquier programa tendiente a la creación de un sistema racional de manejo de los pavimentos de carreteras que está basado en un programa de mantenimiento más o menos programada.

En los últimos años el concepto mismo de mantenimiento programado ha sido afectado por una evolución increíble, debido a la posibilidad de utilizar una serie de equipos automáticos de elevada eficiencia que permiten obtener medidas en muy poco tiempo y con alta precisión, así como catalogar la información obtenida en una base de datos.

En particular en lo que se refiere a la medida de rugosidad o regularidad del perfil de los pavimentos; en los años 60 y 70, General Motors Research, varios ODT en EE.UU., TRRL en Inglaterra y otros, han desarrollado una serie de equipos llamados "perfilógrafos", con el fin de permitir la medida de la regularidad o rugosidad superficial de los pavimentos, Registrando los efectos dinámicos transmitidos al recorrer una carretera.

---

En los años siguientes se han introducido equipos más sofisticados que utilizaban sensores acústicos u ópticos, que no necesitaban de un contacto directo con el instrumento y la superficie del pavimento.

La exigencia de llegar a una racionalización de procedimientos de toma de datos y a una posible correlación de resultados obtenidos con distintos aparatos llevó a la realización de una Conferencia Internacional, I.R.R.E. (International Road Roughness Experiment) desarrollado en Brasilia, Brasil, el año 1982. En el curso de esta conferencia se pudo definir un sistema de referencia único para la calibración de los varios sistemas y, lo más importante, definir un índice estándar para expresar las medidas de rugosidad de los pavimentos, el International Roughness Index (IRI). Fueron también definidos cuatro clases de aparatos; siendo las dos primeras clases reservadas a los aparatos de más elevada precisión.

**CAPITULO I**  
**PLANIFICACIÓN DEL PROYECTO DE**  
**MEDICION DE LA RUGOSIDAD**

## PLANIFICACIÓN DEL PROYECTO DE MEDICION DE RUGOSIDAD

El diseño de un proyecto para la inspección de rugosidad de una red de carretera debe iniciarse con una clara comprensión de los objetivos a ser logrados durante el proceso de medición. Una inversión sustancial de la fuerza humana y dinero pueden ser consumidos en un proyecto típico. Además es recomendable diseñar el programa adecuadamente. El diseño mismo es un proceso de síntesis tomando en cuenta las metas del proyecto.

Tal vez el elemento más crítico en el diseño es la selección de un método de medición de rugosidad que sea practicable, incluso que sea adecuadamente exacto para los propósitos del proyecto. En esta sección mencionaremos los diversos métodos de medición, clasificados de acuerdo a como miden la rugosidad en una escala standard (generalmente los métodos directos son también los más adecuados). Además, explicaremos los tipos de errores que se presentan y su importancia para varias clases de proyectos de medición.

## 1.1 RESUMEN DE LA ESCALA DE RUGOSIDAD IRI DE UNA CARRETERA.

Para la dirección específica de medición de rugosidad, o emisión de precisión, primero es necesario definir la escala de rugosidad con el interés de hacer el uso de una medida de rugosidad común en todos los proyectos significativos a realizarse.

El IRI es tan denominado porque fue producto del Experimento de Rugosidad Internacional de Carretera (IRRE) dirigido por equipos de investigación de Brasil, Inglaterra, Francia, Estados Unidos y Bélgica por el propósito de identificación de un índice. El IRRE fue considerado en Brasilia, Brasil (1982) e implicado en la medición controlada de la rugosidad de la carretera por un número de carreteras bajo una variedad de condiciones y mediante una variedad de instrumentos y métodos. La escala de rugosidad seleccionada, así como el IRI que fue aquel que mejor logró satisfacer el criterio de estar en un tiempo-estable ser transportable y pertinente mientras que, también sea fácilmente medible por todos los practicantes.



El IRI es una medida de rugosidad normalizada o estandarizada, relacionada a aquellos obtenidos por los Sistemas de Medición de Rugosidad de Carretera Tipo - Respuesta (RTRRMS), con unidades recomendadas: metros por kilómetro ( $m/km$ ) = milímetros por metro ( $mm/m$ ) = pendiente \* 1000. La medida obtenida de un RTRRMS es denominada ya sea por su nombre técnico de la Average Rectified Slope ARS (pendiente promedio corregida) ó más comúnmente, por las unidades utilizadas ( $mm/km$ ,  $in/mi$ , etc.). La medida de ARS es una relación del movimiento de suspensión acumulado de un vehículo (pulg, mm, etc.) dividido por la distancia recorrida por el vehículo durante la prueba (millas, km, etc.). El RTRRMS de referencia utilizado por el IRI es un modelo matemático, en lugar de un sistema mecánico, y existe como un procedimiento de cálculo aplicado para un perfil medido. El procedimiento de cálculo es denominado Quarter - Car Simulation QCS por que el modelo matemático representa un RTRRMS que tiene una sola rueda, tal como el Trailer BI y el BPR Roughometer. Cuando es obtenido de la simulación de referencia, la medida se denomina ARS de referencia (RARS). Este tipo de medida varía con la velocidad del vehículo, y por lo tanto una velocidad

normalizada de 80 km/h se especifica en la definición del IRI. Además, el nombre más técnico dado por el IRI es  $RARS_{80}$ , indicando una medida de pendiente promedio corregida (ARS) de un instrumento de referencia (R) en una velocidad de 80 km/h.

El IRI se define como una característica del perfil longitudinal de la huella de la rueda, en lugar de cómo una característica de una pieza de hardware, para asegurar la estabilidad de tiempo, además, la medición directa del IRI requiere que el perfil de la huella de la rueda sea obtenido.

La característica del perfil longitudinal particular recorrido que define el IRI fue demostrado para que sea fácilmente medible por la mayoría de los métodos perfilométricos (mas que cualesquiera de los otros resultados numéricos de rugosidad basados del perfil que fueron considerados en el IRRE). Al mismo tiempo, la característica de perfil de IRI es tan altamente compatible con las medidas obtenidas por RTRRMS ya que estos instrumentos pueden ser calibrados a la escala del IRI para obtener la mejor exactitud (ó cerca de la mejor) que sea posible

con este tipo de instrumento. El IRI es también fuertemente relacionado a las opiniones subjetivas acerca de la rugosidad de carretera que pueda ser obtenida del público. Por que el IRI es (1) medible por muchos métodos perfilométricos, (2) favorablemente correlacionado con las medidas del RTRRMS, (3) favorablemente correlacionado con las opiniones subjetivas, es una escala favorablemente transportable.

La Fig. 1 muestra el rango aproximado de rugosidad IRI en diferentes tipos de carretera.

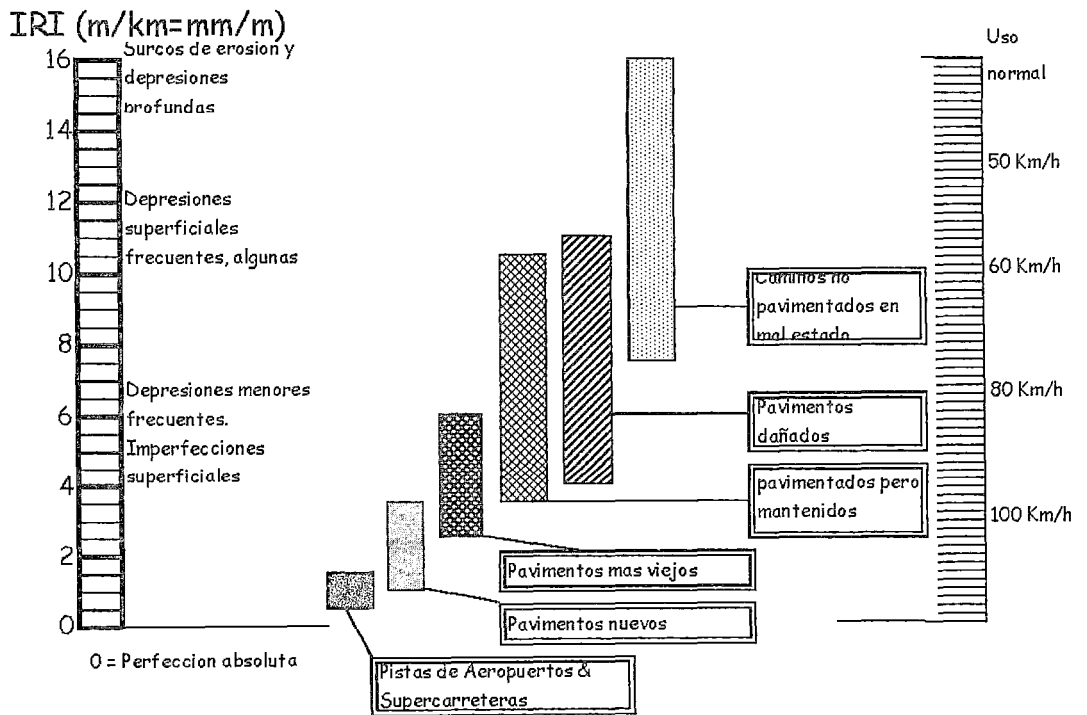


Figura 1. Escala de Rugosidad IRI

Debe ser reconocido que el IRI es un resultado numérico que resume las calidades de rugosidad que impacta en la respuesta del vehículo, por la cual no puede ser el mas apropiado para otras aplicaciones. Más específicamente, el IRI es apropiado cuando se desea una medida de rugosidad que relaciona a:

- El costo completo de la operación del vehículo
- La calidad total del recorrido
- Cargas dinámicas de las ruedas ( daño a las carreteras por los camiones pesados; límites de seguridad de colocación de esquina y frenaje disponible a los carros de pasajeros)
- Condición total de la superficie

El IRI también se recomienda siempre que las mediciones puedan ser obtenidas utilizando un RTRRMS a velocidades de carretera ( 50 - 100 km/h), sin la consideración del uso realizado de los datos.

Sin embargo, cuando los métodos perfilométricos se utilizan para medir la rugosidad sobre las huellas de la rueda, entonces

otras medidas pueden servir como mejores indicadores para algunas cualidades de las condiciones del pavimento o para componentes específicos de respuesta del vehículo incluido por el IRI. Estas orientaciones dirigen solamente la medición y el cálculo del IRI.

## 1.2. METODOS PARA LA MEDICION DE LA RUGOSIDAD:

Las diferentes aproximaciones para medir la rugosidad de una carretera en el uso total del mundo puede ser agrupado en cuatro clases genéricas en la base de cómo sus medidas pertenecen al IRI, el cual a la vez afecta los requerimientos de calidad y la exactitud asociada con su uso.

### 1.2. 1. CLASE 1: PERFILES DE PRECISION.

Esta clase representa a las normas más altas de exactitud para la medición del IRI. Un método de clase 1 requiere que el perfil longitudinal de la huella de la rueda sea medida, como una base para el cálculo del IRI (como una serie de puntos de elevación exactos igualmente espaciados a lo largo de las huellas de la

rueda). Para los métodos perfilométricos estáticos, la distancia entre las muestras no debe ser mayor de 250mm (4 medidas/metro) y la precisión en las medidas de elevación deben ser de 0.5mm para pavimentos muy lisos. Los perfilómetros de alta velocidad ofrecen un medio de potencial para medir rápidamente el IRI, sin embargo, el perfilómetro debe ser verificado en algún momento con respecto a un procedimiento establecido tal como una varilla y nivel para probar su exactitud.

Los métodos en esta clase son aquellos que producen medidas de una tan alta calidad que la capacidad de reproducir el resultado numérico del IRI no podría ser mejorado. Mientras esta definición podría parecer implicar un ideal inalcanzable, generalmente existe un límite práctico para la capacidad de repetición que puede ser obtenido de la medición de rugosidad de la carretera, incluso con un método "perfecto" y/o instrumento. El límite práctico resulta de la incapacidad para medir la rugosidad exactamente en la misma huella de la rueda en forma consecutiva. Por lo tanto un método califica como clase 1 si el error de medición es insignificante en comparación con la incertidumbre asociada con

el tratar de ubicar exactamente la misma huella de la rueda dos veces.

En el IRRE los métodos encontrados para calificar como clase 1 tuvieron un error de medición insignificante para lugares de 300m de largo, cuando las huellas de la rueda fueron marcadas con puntos de referencia pintándolos espaciadamente en intervalos de aproximadamente 20m. La capacidad de repetición bajo estas condiciones es de aproximadamente 0.3m/km IRI en carreteras pavimentadas y aproximadamente 0.5m/km para todos los otros tipos de carreteras. Para las direcciones más precisamente marcadas, incluso los métodos descritos en estas orientaciones como clase 1 podrían tal vez no calificar como clase 1 (aunque no es común para tener una aplicación donde se necesita un tan alto nivel de exactitud). Por otra parte las especificaciones menos rigurosas podrían ser adecuadas si los lugares de prueba utilizados fueran más largos, o si todas las huellas de la rueda no fueran marcadas.

En muchos casos, un método que produce este nivel de exactitud tendrá una desventaja asociada que requerirá bastante

esfuerzo para realizar la medición de la rugosidad ( por ejemplo el método del nivel y de la varilla). La exactitud obtenida utilizando un método de Clase 1 por definición iguala o excede los requerimientos de una aplicación dada, y además el método de Clase 1 se observa a medida que tiene la utilidad principal o cuando son requeridos datos especiales de alta exactitud.

### 1.2.2. CLASE 2: OTROS METODOS PERFILOMETRICOS.

Esta clase incluye todos los métodos en el cual se mide el perfil como la base par el cálculo directo del IRI, pero que no son aceptables de la exactitud requerida por una medición de Clase 1. Aunque el hardware y los métodos utilizados para la medición del perfil, son funcionalmente verificados por un proceso de calibración independiente, son limitados a la exactitud o al ancho de banda menos de lo que se necesita para calificar como un método de Clase 1. por lo tanto, el valor del IRI calculado de una medición de perfil de Clase 2 no puede ser exacto al límite práctico debido a lo aleatorio o errores de polarización sobre algún rango de condiciones. Esta Clase, dentro de poco incluye los valores



del IRI calculados de los perfiles medidos con perfilómetros de alta velocidad y con métodos estáticos que no satisfacen los requerimientos de intervalos de medición y/o precisión especificados en la sección 2.2.

En el presente tiempo, el Trailer APL (sección 2.3.3) es solamente el perfilómetro dinámico de rugosidad abarcado en el IRRE. El perfilómetro inercial de tipo GMR, con el seguidor de ruedas han sido verificados para carreteras con niveles de rugosidad menores a un valor de IRI de aproximadamente 3m/km, sobre el cual los errores se presentan debido a la oscilación de las ruedas móviles. Este tipo de diseño más largo no es comercialmente disponible en los Estados Unidos, sin embargo, como las ruedas móviles han sido reemplazadas con sensores sin contacto para eliminar el problema del rebote. Los perfilómetros de alta velocidad han sido diseñados para proporcionar la rugosidad IRI durante la medición. Ambos son considerados como sistemas de medición de Clase 2, aunque su exactitud y rango de operación no han sido verificados aún con respecto al nivel y varilla. Las pruebas con estos y otros perfilómetros han sido realizadas, pero

los análisis de los datos aún no han sido suficientemente completados para cuantificar su capacidad de medición del IRI.

Los perfilómetros de alta velocidad tienen la desventaja de ser los más costosos y complejos en los sistemas de instrumentación para medir la rugosidad de la carretera, y generalmente requieren operadores con un entrenamiento de ingeniería. Incluso, ofrecen una mayor ventaja en la capacidad de obtener rápidamente mediciones de alta calidad, sin requerir mayor esfuerzo de gasto en mantener la calibración. Los procedimientos detallados para la operación de un perfilómetro en la medición del IRI son altamente específicos al diseño del mismo, por lo tanto será necesario consultar primeramente al fabricante. En las secciones 2.3.3 y 2.3.4 se describen ligeramente varios de los perfilómetros de alta velocidad que han sido utilizados para la medición del IRI.

---

### 1.2.3. CLASE 3: ESTIMACIÓN DEL IRI MEDIANTE LAS ECUACIONES DE CORRELACION.

La mayoría de datos de rugosidad de las carreteras que son obtenidos a lo largo del mundo son obtenidos con RTRRMSs. La medida de RTRRMS depende de la dinámica del vehículo por escala de mediciones para producir las propiedades de rugosidad comparables al IRI. Las propiedades dinámicas son únicas para cada vehículo, sin embargo cambia con el tiempo, Además las medidas "bruta" de ARS obtenidas del RTRRMS deben ser corregidas a la escala IRI utilizando una ecuación de calibración que se obtiene experimentalmente por aquel RTRRMS específico. Porque la dinámica de un vehículo cambia fácilmente, un mantenimiento muy riguroso y los procedimientos de operación deben ser empleados por los vehículos utilizados, y la prueba de control debe ser realizado como parte de la rutina de operaciones normales. Cuando los cambios ocurren, no existe corrección sencilla que pueda ser aplicada, en cambio, el sistema completo del vehículo con indicador de carretera debe ser recalibrado.

Esta Clase también incluye otros instrumentos de medición de rugosidad capaces de generar un valor de rugosidad numéricamente razonable correlacionado al IRI (por ejemplo, un borde recto rodante). Las medidas obtenidas pueden ser utilizadas para calcular los valores del IRI a través de las ecuaciones de regresión si se realiza un experimento de correlación. Esta aproximación generalmente es más difícil que obtener su propio valor (pueden obtenerse mejores medidas con menos esfuerzo), al menos que exista una necesidad para convertir una mayor cantidad de datos a la escala IRI.

Un método de medición de rugosidad clasifica como Clase 3 si utiliza la aproximación de "Calibración por Correlación" el cual será descrito en la sección 3.2, sin considerar que tipo de vehículo o instrumentación se utiliza para obtener la medida de rugosidad no corregida. Mientras que los métodos de Clase 3 emplean un medidor de carretera que acumule el movimiento de suspensión para medir ARS como será descrito en la sección 3.1. Otros métodos usados son aquellos que emplean acelerómetros u otros tipos de instrumentación. Sin embargo, El RTRRMS basado en el

medidor de carretera, que mide ARS en su mayoría con detalle une el concepto de IRI, y estas orientaciones se concentran en el RTRRMS calibrado como el método de Clase 3 de principio. El RTRRMS no clasifica como Clase 3 si es calibrado por correlación. Sin la calibración, no existe un enlace verificable entre las medidas obtenidas con cualesquiera de los dos RTRRMS, ni la escala del IRI.

La reproductibilidad asociada con un RTRRMS calibrado es aproximadamente 0.5 m/km (14%) para carreteras pavimentadas por secciones de 320 m de longitud y aproximadamente 1.0 m/km (18%) para superficies no pavimentadas de secciones de la misma longitud que la anterior. Estas figuras de exactitud son solamente promedios aproximados, así como los errores que generalmente varían con la rugosidad y el tipo de superficie. Es posible obtener mejores aproximaciones utilizando secciones de prueba de mayores longitudes.

#### 1.2.4 CLASE 4: EVALUACIONES SUBJETIVAS Y MEDICIONES NO CALIBRADAS.

Existen casos en las cuales es necesario una base de datos de rugosidad, pero no es esencial demasiada exactitud o no puede ser proporcionado; incluso es deseable relacionar las medidas a la escala IRI. En estos casos una evaluación subjetiva involucrada ya sea una experiencia de recorrido en la carretera o una inspección visual podrían ser utilizados. Otra posibilidad es utilizar las medidas de un instrumento no calibrado. La conversión de estas observaciones se limita en la escala IRI a una equivalencia aproximada, el cual puede ser mejor establecido a las descripciones pictóricas y/o verbal de carreteras identificadas con sus valores IRI asociados, como describiremos en la sección 4.0. Esencialmente, las estimaciones de equivalencia son la calibración, sin embargo aproxima, y puede considerarse que ellos son "la calibración por descripción".

Cuando estas estimaciones subjetivas de rugosidad son convertidas a la escala IRI la resolución es limitada aproximadamente a seis niveles de rugosidad con un rango de

exactitud de 2 - 6 m/km (aproximadamente 35%) en la escala IRI.

(la exactitud de rugosidad, expresado ya sea en unidades absolutas de m/km o como porcentaje, generalmente variará con el nivel y tipo de superficie).

Observar que si al menos una calibración válida por correlación es utilizada con un RTRRMS, no habrá manera de enlazar la medida a la escala normalizada. Así, un RTRRMS no calibrado cae dentro de la Clase 4.

### 1.3 FACTORES QUE AFECTAN LA EXACTITUD.

Los datos de rugosidad son normalmente utilizados en aplicaciones que representan dos extremos: (1) análisis estadístico implicando las medidas en segmentos principales de una red de carretera, y (2) estudios individuales relacionados necesariamente que incluyen algunos errores que aumentan los efectos sistemáticos y aleatorios. El significado de estos errores depende de la naturaleza de la aplicación por el cual son deseados los datos.

Un ejemplo del primer tipo de aplicación es el estudio de costo del usuario de la carretera, en el cual la base de datos de los costos de operación para una flota de vehículos se regresa con respecto a la base de datos de rugosidad para las carreteras en las cuales aquellos vehículos fueron operados. En este caso la necesidad es determinar los niveles de rugosidad por comparación con la tendencia de costos, utilizando métodos de regresión. Los errores aleatorios en las mediciones de rugosidad individual, originados por una precisión pobre o una característica especial de la carretera (peculiar), tenderán a salir en un promedio si el estudio incluye un número mayor de lugares de carretera. Además el error aleatorio no es de mayor preocupación para este tipo de estudio. De otra manera, los errores sistemáticos influirán en las relaciones de costo obtenidos. Por lo tanto, los pasos deben ser tomados para mantener los errores sistemáticos a niveles mínimos. Los resultados del estudio no serán transportables a menos que se utilice una escala de rugosidad normalizada, y estos pasos son tomados para asegurar que los datos de rugosidad se adhieran más o menos a esa escala.



Los estudios que implican el monitoreo del deterioro de una carretera o los efectos de mantenimiento son ejemplos del segundo tipo de aplicación. En estos casos es de interés mantener un continuo registro de pequeños cambios en la condición de rugosidad en los lugares específicos de la carretera. Los errores aleatorios en la medición reducirán la certidumbre con el cual las tendencias de interés pueden ser discernidas. Una influencia constante en los datos puede ser determinada y corregida para comparar las carreteras o aplicar criterios económicos, pero es tal vez incluso más crítico para asegurar que la influencia no cambie con el tiempo. Así para las mediciones el practicante debe usar procedimientos que minimicen los errores aleatorios mientras que también aumente a la vez la estabilidad del tiempo. Esto normalmente se traduce en el uso del mismo equipo y personal para un monitoreo regular de una sección de carretera, utilizando pruebas repetidas para mejorar la capacidad repetitiva, y mantener cuidadosamente la calibración del equipo.

El uso final de los datos de rugosidad en aplicaciones como estas tiene un impacto directo en la exactitud, por lo que será

necesario tenerlos en cuenta en los procedimientos de medición. A la vez, la exactitud determina cuanto esfuerzo debe ser dedicado para obtener buenos datos. Cada aplicación tendrá una sensibilidad peculiar para las diferentes fuentes de error. Para hacer decisiones racionales acerca de la calidad de obtención de las mediciones, es útil comprender que la inexactitud en las mediciones de rugosidad aumentará como consecuencia de los tres tipos de fuentes de error.

### 1.3.1. ERROR DE CAPACIDAD REPETIDORA.

Cuando las mediciones repetidas se hacen con un instrumento, el acuerdo exacto no puede ser esperado por que el proceso de medición incluye efectos aleatorios que varían de medición en medición. El nivel de la capacidad de repetir no puede ser siempre evidente, ya que los instrumentos involucran con frecuencia una cuantificación de la salida que cubre los efectos de las pequeñas variaciones. En estos casos la capacidad repetidora debe ser asumida para que no sea mejor que por lo menos la mitad del tamaño de cuantificación. Por ejemplo, un RTRRMS que produce

---

conteos correspondientes a 3.0 mm tiene un error de capacidad repetidora de por lo menos 1.5 mm.

Cuando la medición de rugosidad de una carretera se realiza cuidadosamente inspeccionando el perfil longitudinal, la precisión se limita por:

1. Los instrumentos empleados para medir el perfil longitudinal,
2. las ubicaciones aleatorias de los puntos específicos a lo largo de la huella de la rueda donde las medidas de elevación son tomadas, y
3. la selección parcialmente aleatoria de la posición lateral de la huella de la rueda.

Los primeros dos errores se reducen especificando las mediciones de perfil de mejor calidad ( por ejemplo, mediciones de elevación más exactas y con más detalle, espaciados en los puntos de revisión). Cuando estas fuentes de error son controladas, entonces la imprecisión asociada con la identificación de la ubicación de la huella de la rueda llega a ser el factor más

---

significativo, considerando para las variaciones hasta 5% cuando la longitud de recorrido es 320 m.

Cuando se mide la rugosidad con un RTRRMS, la capacidad repetidora es afectado por la variación aleatoria parcialmente en la posición lateral del RTRRMS sobre la carretera y también por otros factores aleatorios tal como las variaciones en la velocidad de operación y pequeños cambios en la dinámica del vehículo que ocurren incluso sobre un corto tiempo.

Estas fuentes de variabilidad pueden mantenerse al mismo nivel en cuanto a la medición directa del perfil con una operación cuidadosa.

Los errores de repetibilidad son básicamente aleatorios en naturaleza, y pueden además ser controlados extendiendo el proceso de medición de modo que los errores aleatorios se cancelen debido al promedio. Esto generalmente puede ser logrado sencillamente utilizando secciones de prueba de longitud suficiente.

---

Una segunda forma de promedio se obtiene haciendo mediciones repetidas en el mismo lugar de prueba. De esta manera el error por capacidad repetidora puede ser reducido en secciones más cortas que no son lo bastante largas para un promedio suficiente. En general, el error por capacidad repetidora es inversamente proporcional a la raíz cuadrada de la longitud total abarcada, donde la longitud total es la longitud de lugar por el número de mediciones repetidas. Además, el error esperado en un lugar de prueba de 1.6 km es aproximadamente el mismo que sería obtenido en un lugar de prueba de 320 m de longitud, después de cinco repeticiones ( $5 * 320 = 1.6 \text{ km}$ ); como una regla del dedo pulgar, una longitud total de 1.6 km ( 1.0 millas) o más largo, se recomienda para disminuir el error por capacidad repetidora debido a la velocidad de los instrumentos utilizados en las carreteras.

Otro medio para incrementar el promedio para un instrumento de RTRRMS es utilizar una velocidad menor para una longitud dada del lugar de prueba; sin embargo, esta aproximación no es recomendable porque al cambiar la velocidad también cambia

el significado de la medida de rugosidad por el RTRRMS y en consecuencia se aumentan otros errores.

### 1.3.2. ERROR DE CALIBRACIÓN.

Existen errores sistemáticos en los instrumentos. Estos son causantes para que los resultados de una medición sean consistentemente diferentes a los resultados de otra medición, u ocasionen la variación de un instrumento con el tiempo. Esto puede ser corregido por calibración, de modo que las mediciones de rugosidad son redimensionadas para cancelar diferencias sistemáticas, llevando las medidas a una escala común. Sin embargo, si la calibración no abarca todas las variables que afectan la medición, la redimensión no puede ser correcta, y en consecuencia el error de calibración permanece.

### Métodos Perfilométricos (Clases 1 y 2).

El error de calibración es mínimo cuando se usan mediciones directas del perfil para obtener el IRI. Los instrumentos que miden el perfil son calibrados en la fábrica y no cambian mucho cuando se le proporciona un cuidado razonable. Sin embargo los

---

errores sistemáticos pueden aparecer en mediads basadas en el perfil cuando:

1. Las medidas de elevación del perfil contienen errores (normalmente haciendo parecer que el perfil es más áspero de lo que realmente es),
2. las medidas del perfil son espaciadas demasidamente lejos aparte de algunas de aquellas características de rugosidad que son perdidas ( haciendo parecer el perfil más uniforme), y
3. cuando las medidas del perfil son sometidas a una suavidad o a una limitación de banda de inda como ocurre con el perfilómetro dinámico (haciendo que el perfil pareciera más uniforme). Las especificaciones y procedimientos recomendados en las secciones 3.2 y3.3 han sido diseñadas para mantener estos efectos a niveles insignificativos.

### RTRRMSs (Clase 3).

La calibración por correlación (sección 3.2) es requerida por el RTRRMS por muchas razones, incluyendo estos tres importantes:

1. La respuesta dinámica total de cualquier vehículo en particular de RTRRMS diferirá a algunos grados de aquella referencia. Este efecto puede causar que la medida de ARS "bruta" del RTRRMS sea mayor o menor que los valores del IRI correspondientes, dependiendo si el RTRRMS es más o menos sensible que la referencia.
2. El medidor de carretera en el RTRRMS generalmente tiene juego libre y otras formas de hstéresis que lo origina para perder los conteos (cálculos), resultando menores las medidas de rugosidad.
3. Los movimientos de suspensión del RTRRMS incluyen efectos de factores aparte de la rugosidad de la carretera, tal como rueda desinflada. Esto induce medidas mayores de rugosidad.



Las fuentes de error sistemático en un RTRRMS interactúan y son no lineales. Su efecto puede cambiar con la rugosidad, tipo de superficie, temperatura y otros factores ambientales. La única manera que pueden ser tomados en cuenta es a través de la correlación con las medidas del IRI obtenidos con un método de referencia (Clase 1 ó 2). Esta es esencialmente una "Calibración por Correlación". El procedimiento que describiremos en la sección 3.2 se designa para eliminar el error de calibración de las medidas del RTRRMS.

### 2.3.3. ERROR DE REPRODUCTIBILIDAD.

Cuando se está midiendo una calidad compleja tal como la rugosidad de la carretera con un método a parte de la medición del perfil directo, es posible (y común) para dos instrumentos diferentes clasificar varias carreteras en un orden diferente por rugosidad. Existe un error aleatorio con relación a la selección de la carretera, pero es sistemático para el instrumento. Incluso, aunque las medidas obtenidas con un instrumento ( o método) pueden ser altamente repetibles, no son reproducidas cuando las medidas se obtienen utilizando un instrumento diferente. El

problema es que los dos métodos de medición tienen diferencias que son más complejas que los factores de escala sencillos. Mientras que los errores de capacidad repetidora pueden ser controlados utilizando pruebas repetidas, y el promedio de los errores de calibración pueden ser controlados por métodos de calibración válida, los errores de reproductibilidad siempre existirán cuando los instrumentos de medición difieren de la referencia.

Cuando las medidas se obtienen de la medición de perfil de Clase 1, el error de reproductibilidad del instrumento es esencialmente no existente, y existe solamente una incertidumbre debido a los límites de repetibilidad.

Los controles de repetibilidad pueden por lo tanto ser utilizados para mejorar la exactitud compleja.

Pero cuando las medidas se obtienen de un RTRRMS, no existe método de diseño de prueba o procedimiento de datos que pueden resolver las diferencias que causan entre instrumentos para tener una medida elevada en un caso y una medida baja en

otra relativo al IRI, que puede ser realizado, sin embargo es adoptable un procedimiento que acopla las características del RTRRMS a la referencia para los posibles grados más cercanos.

Otro paso que puede ser tomado por cualquier método de medición, es medir la rugosidad para tramos más largos de carretera. Ya que el error de reproductibilidad es aleatorio para cada sección de la carretera, el cual puede reducirse someramente, a través del promedio que se obtiene cuando son utilizados tramos más largos de carretera. A diferencia del error de capacidad repetidora, este error no disminuye necesariamente con la raíz cuadrada de la longitud.

La reproductibilidad no es mejorada repitiendo medidas en el mismo lugar ya que el efecto es sistemático para cada lugar.

#### 1.4 PLANIFICACION DEL PROYECTO DE MEDICION.

La ejecución de un programa de medición de rugosidad de carretera depende críticamente de las calidades para establecer los procedimientos mejores planificados que se adaptan a un

---

estricto modo completo del proyecto. En esta sección indicaremos las necesidades de planificación para las tres principales clases de proyectos de medición de rugosidad, con la finalidad de ayudar al planificador en apreciar la logística a la que están implicados.

#### 1.4.1. MONITOREO DE LA RED A LARGO PLAZO.

Los programas de monitoreo de rugosidad de largo plazo son una parte integral de las inspecciones de evaluación de la condición de la red y sistemas de administración de pavimentos. Los objetivos típicos incluyen:

1. Resumen de la condición de la red en una base regular para la evaluación de la eficacia de la política empleada.
2. La entrada del análisis económico a nivel de red de las normas de diseño de pavimentos, política de mantenimiento y costos de transporte.
3. Condición de cuantificación del proyecto por priorización de mantenimiento y programas de rehabilitación.

Para encontrar estos objetivos, las medidas serán generalmente continuas sobre enlaces de la red y la longitud total excederá 1000 km (o incluso 10000 km). Es esencial que las medidas realizadas en diferentes áreas de la red sean directamente comparables y consistentes sobre el tiempo. Sin embargo los requerimientos de exactitud para las medidas de rugosidad individual no serán de tanta demanda como para otros tipos de proyectos, porque el promedio de datos reducirá los efectos de los errores aleatorios. De las tres fuentes de error descritas en la sección 1.3, el error de calibración es el más crítico en ser controlado.

Al planear un programa de monitoreo a largo plazo, uno debe considerar:

- a) Tipo de instrumento de medición de rugosidad: La recolección rápida y el procesamiento automático de datos son consideraciones principales para facilitar el almacenaje en un banco de datos y un análisis moderno. Solamente los instrumentos que puedan ser operados en velocidades mayores deben ser considerados, (el instrumento debe operar por lo menos a una velocidad de

50 km/h y preferiblemente en 80 km/h ó más rápido); cualquier tipo de RTRRMS es adecuado. Un perfilómetro de alta velocidad también es conveniente y puede proporcionar resultados numéricos descriptibles, útiles además al IRI.

b) **Número de instrumentos:** Cuando la red es muy grande o extensa, más de un instrumento puede ser requerido. Si esto es el caso, una flota de RTRRMS podría ser más conveniente que una flota de perfilómetros. Los vehículos utilizados por RTRRMS preferentemente deben ser de la misma confección por la intercambiabilidad, aunque esto no es esencial cuando los procedimientos de calibración de sonido son seguidos.

c) **Secciones de calibración:** (solo para RTRRMS), una serie de ocho a veinte secciones de calibración serán necesarias en una ubicación central y posiblemente en ubicaciones distantes para permitir la calibración completa de los vehículos de prueba en intervalos regulares (sección 3.2). Los perfilómetros son calibrados en la fábrica o en un laboratorio.

**d) Secciones de control:** Un pequeño número de secciones de control (tres a cinco) será necesario en cada región donde operen los instrumentos, con la finalidad de permitir revisiones del control en una base ya sea semanalmente o diaria. (Sección 3.3.4).

**e) Velocidad de medición:** (solo para RTRRMS); esto puede ser un acuerdo de consideraciones de conflicto. La velocidad normalizada de 80 km/h es probable que sea aplicable en la mayoría de situaciones. La geometría de carretera severa o congestionada, implicará una velocidad menor de 50 ó 32 km/h en algunos enlaces, pero esto no debe influir en la opción para la mayoría de la inspección. La recolección de simulación de otros datos durante la inspección puede influenciar en la elección. Los requerimientos de velocidad para el perfilómetro son especificados en el diseño del perfilómetro.

**f) Procesamiento de datos y reporte:** La recolección de datos debe incluir la ubicación y otros registros de eventos por conciliación con otros datos de administración de pavimentos. Es necesario la

---

automatización en las posibles etapas más recientes y en el uso de las formas de codificación normalizada para facilitar el ingreso de datos. Las mediciones deben ser registradas en intervalos de no más de 1.0 km. El reporte generalmente comprenderá valores promedio ya sea por enlace o por sección homogéneas de 10.0 km o más largo, con un resumen de los histogramas de distribución de rugosidad para la longitud evaluada de la carretera. Estas unidades de reporte deben coincidir por lo menos con los cambios principales en volúmenes de tráfico para facilitar las estimaciones de los costos de operación del vehículo. Para mejor eficiencia, los datos pueden manejarse para permitir separar el informe, detallando los requisitos de evaluación del proyecto simultáneo y estudios de prioridad.

#### 1.4.2. MONITOREO DE UN PROYECTO A CORTO PLAZO.

La evaluación de rehabilitación específica o proyectos de mejora involucra cualesquiera observaciones a corto plazo hasta un



periodo de 3 años, o medidas de rugosidad de un tiro. Típicamente los lugares medirán desde 5 hasta 50 km de longitud y no necesariamente serán continuos. Las condiciones de cuidado deben ser dadas al detalle y de acuerdo a la exactitud requerida, así como los requerimientos de exactitud pueden ser más severos que el monitoreo de la red a corto plazo.

Si se desea un historial de la rugosidad de la superficie, el instrumento debe ser capaz de proporcionar medidas repetibles sobre un periodo de tiempo, y será importante mantener el error de calibración a niveles pequeños. También, si se desea mejor exactitud, las mediciones repetidas pueden ser promediadas para reducir el error de repetibilidad que podría de otro modo cubrir pequeños cambios de rugosidad. En general, la eficiencia en la obtención de datos para proyectos de corto plazo, no es crítico, y por lo tanto se debe poner mayor énfasis en la obtención de datos de calidades tan altas como permita el instrumento.

En algunos casos, la transformación de datos (obtenidos utilizando la escala IRI normalizada) no puede ser tan crítico como

mantener una alta norma de consistencia interna. En la práctica, los controles de cuidado necesarios para mantener la consistencia interna, resultarán con frecuencia en la adhesión a cualquier escala del IRI (particularmente por RTRRMSs).

a) **Métodos perfilométricos (Clase 1):** Los métodos perfilométricos son adecuados y pueden opcionalmente proporcionar resultados numéricos descriptibles y útiles además del IRI, el cual puede ser utilizado para diagnosticar la naturaleza y probables fuentes de problemas, (por ejemplo, los sistemas APL 72 normalmente proporcionan tres índices de rugosidad de banda ancha. La rugosidad de una longitud de onda larga predominante indica baja calidad o inestabilidad de la cimentación, además la rugosidad de una longitud de onda corta indica base o peligro de superficie.)

Si un perfilómetro está disponible, puede probablemente ser aplicado con una pequeña modificación en el procedimiento, requiriendo solamente un formato de reporte más detallado y posiblemente marcando con más cuidado los lugares de prueba. Si la instrumentación de

rugosidad no está disponible, un perfilómetro podría ser importado temporalmente con menor costo total que la compra de menos sistemas sofisticados que requieran un esfuerzo de calibración menos extenso.

**b) RTRRMS Calibrado (Clase 3):** Estos métodos necesitan estar bajo un control riguroso para estar disponibles cuando se desea obtener una buena exactitud. Si es posible, un solo instrumento debe usarse para realizar todas las medidas con la finalidad de minimizar el error de reproductibilidad. La calibración completa ( ver sección 3.2) puede ser repetida más frecuentemente que para otras aplicaciones, como incluso pequeños cambios en las propiedades de respuesta del RTRRMS pueden cubrir la información de rugosidad deseada.

Si un RTRRMS equipado completamente es disponible ( de un proyecto de corto plazo), puede posiblemente ser aplicado con poca información en el procedimiento, requiriendo solamente medición más detallada y formatos de reporte. Sin embargo, si los requerimientos de exactitud son significativamente más rigurosos que para

el otro proyecto, entonces los procedimientos necesitarán ser modificados controlando la condición del vehículo más cuidadosamente y frecuentemente aplicando calibraciones más calibraciones. Si los lugares de calibración principal para el vehículo de prueba son distantes (sobre 100 km) del proyecto, se deben establecer cerca una serie de tres a seis lugares de control (sección 3.3.4).

Si un sistema tiene que ser instalado para el proyecto, pueden ser establecidos los requerimientos mínimos adecuados, ya sea un sistema temporal o los inicios de sistema que podría más tarde ser expandido.

- c) **Mediciones no calibradas o evaluaciones subjetivas (Clase4):** Si la precisión y baja exactitud son aceptables, como a menudo se aplica en la fase inicial de un proyecto o en áreas de acceso pobre, un RTRRMS con calibración aproximada o un método de la evaluación subjetiva (clase 4) puede usarse rápidamente con alta utilidad y bajos costos de instalación.

d) **Reporte y procesamiento de datos:** Las lecturas generalmente deben ser tomadas en los intervalos de 0.1 ó 0.2 km. El reporte generalmente incluye gráficos de barras del perfil longitudinal con valores medios y la 95ava parte del percentil sobre longitudes homogéneas o una codificación que resalta las secciones críticas. La presentación debe ayudar a la priorización, planificación y diseño de rehabilitación o proyectos de mejora.

#### 1.4.3. MONITOREO PRECISO PARA LA INVESTIGACIÓN.

Los estudios de investigación que son realizados para determinar cambios relativamente pequeños en la rugosidad de las carreteras sobre periodos de corto a mediano plazo de tres a seis años, requieren una alta exactitud y precisión de medición. Están instituyéndose muchos de tales estudios en países que buscan calibrar o establecer funciones de pronóstico del deterioro del camino para el uso en la administración del pavimento y los análisis de evaluación económica. Generalmente las secciones son cortas de 1 km de longitud o menos, y puede esparcirse ampliamente a lo

---

largo de una región y entre las regiones para encontrar requerimientos de diseño experimental, de tráfico y cambios de clima.

En lugares donde los estudios involucran secciones cortas de carretera, y si los perfilómetros de alta velocidad no son disponibles o no son lo suficientemente adecuados, entonces debe darse preferencia a los métodos perfilométricos (Clase 1 y 2), incluyendo métodos estáticos (por ejemplo nivel y varilla). Los métodos de Clase 3 de RTRRMS con frecuencia han sido utilizados para esta aplicación, pero generalmente falta la precisión adecuada y genera un aumento a la incertidumbre en la tendencia de datos. Debe observarse que las medidas de perfil también pueden ser procesadas para producir una variedad de indicadores de condición de superficie aparte del IRI, además los RTRRMSs son capaces de realizar un solo tipo de medición.

Es posible un intercambio en la frecuencia de medición: las medidas de Clase 1 ó 2 necesitan ser hechas solo anualmente y de acuerdo con las actividades de mantenimiento principal, debido a su

mayor exactitud. Sin embargo, las medidas de Clase 3 del RTRRMS deben ser hechas dos a tres veces por año para asegurar la confianza en la tendencia de datos. La transformación del sistema es importante: los métodos de Clase 3 requieren el establecimiento de secciones de control de soporte en regiones distantes, en donde los sistemas de Clase 1 ó 2 no lo hacen.

Los métodos analíticos y el procesamiento de datos será normalmente específico para cada proyecto (estos temas no serán tocados). El reporte debe incluir el cálculo del IRI para los propósitos de transformación, si otros resultados numéricos son utilizados más directamente en la investigación.

**CAPITULO II**  
**MEDICION DEL IRI UTILIZANDO**  
**METODOS PERFILOMÉTRICOS**  
**(CLASES 1&2)**



## MEDICION DEL IRI UTILIZANDO METODOS

### PERFILOMÉTRICOS (CLASES 1 & 2)

#### 2.1. DESCRIPCION DEL METODO.

Las mediciones de Clase 1 y 2 del IRI solamente pueden ser obtenidas del perfil longitudinal de una carretera. Un perfil longitudinal es una sección vertical a lo largo de la pista, el cual indica la elevación de la superficie como una función de la distancia longitudinal. El perfil se describe por el conjunto de valores de elevación, espaciado en intervalos cercanos a lo largo de la huella de la rueda. Para resumir los cientos ó miles de números que constituyen un perfil, un procedimiento de análisis realizará el cálculo del IRI como una sola determinación de cantidad estadística de rugosidad. Los cálculos normalmente son realizados utilizando alguna forma de computadora digital. Una calculadora de bolsillo programable también puede ser utilizada, aunque los cálculos son aburridos y existe un mayor potencial para cometer errores. Casi todas las microcomputadoras son adecuadas para el cálculo del IRI y ofrece las ventajas de ser baratas, fácilmente disponible y programables.

---

Debido a que el IRI se aplica sobre la huella de la rueda a lo largo de la carretera, las personas responsables de medir el perfil deben tener una clara idea que la huella de la rueda se localiza en la vía de tráfico. Siempre que las medidas se repitan, estas serán hechas usando métodos estáticos, la huella de la rueda debe ser claramente marcada en la superficie de la carretera de modo que las diversas medidas se realizarán sobre la misma trayectoria. Cuando el perfilómetro de alta velocidad se utiliza en la inspección, los operadores deben seguir una práctica constante para la ubicación lateral del perfilómetro en el camino recorrido. La mayoría de mediciones hechas con perfilómetros de alta velocidad son realizadas tanto en el centro del camino recorrido o en las dos direcciones recorridas. Generalmente los resultados no son equivalentes, excepto en carreteras nuevas y algunas veces en carreteras de Concreto de Cemento Pórtland (PCC). Para que los resultados sean comparables cuando diferentes operadores realizan las medidas, deben establecerse bien los criterios para seleccionar la huella de la rueda a ser medida.

Las dos trayectorias seguidas por las llantas de los vehículos en la corriente de tráfico normal, proporcionará mediciones que son más representativas de la rugosidad de la carretera afectando el tráfico, por lo tanto se recomienda que las medidas se realicen en las huellas de la trayectoria recorrida.

## 2.2.REQUERIMIENTOS DE EXACTITUD.

El análisis del IRI solo puede ser aplicado para que exista información, tal es así que no puede proveer información acerca de la carretera que no fue incluida en la medida del perfil. Además existen requerimientos mínimos que deben ser satisfechos para obtener una medida del IRI válida, utilizando un método perfilométrico. La Tabla 1 resume los requerimientos para las dos primeras clase.

Los parámetros involucrados en la medición del perfil son:  
Intervalo de muestra y precisión de las mediciones de elevación.

TABLA 1. Requerimientos de exactitud para los métodos perfilométricos Clases 1 y 2 en las mediciones del IRI

Rango de rugosidad IRI (m/km)	Número máximo de puntos de muestra entre intervalos (1)		Precisión de las medidas de elevación	
	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 las cintas marcadas en unidades de pies, los intervalos convenientes máximos son respectivamente:

Clase 1: 1 pie

Clase 2: 2 pies

(2) La precisión de Clase 1 produce una influencia de menos del 1.5% del IRI

La precisión de Clase 2 produce una influencia de menos del 5% del IRI.

NOTA: La precisión de LA Clase 2 es adecuada para la calibración de sistemas tipo respuesta (RTRRMS).

a) **Precisión.** Se debe notar que la precisión requerida es una función de la rugosidad. Aunque la rugosidad no es conocida hasta que se mida el perfil y se calcule el IRI, con la experiencia el practicante estará en condiciones de determinar cuando la rugosidad es alta y los requerimientos de precisión puedan ser relajados. Los valores conocidos en la tabla se calculan experimentalmente utilizando las relaciones obtenidas:

$$\text{Clase 1 precisión (mm)} \leq 0.25 * \text{IRI (m/km)}$$

$$\text{Clase 2 precisión (mm)} \leq 0.50 * \text{IRI (m/km)}$$

b) **Intervalos de muestreo.** Los intervalos de muestra que se presentan en la tabla son válidos para todos los tipos de superficies de carreteras, excepto en aquellos casos donde la rugosidad es extremadamente localizada y sería una "pérdida" utilizar los intervalos de muestra que se presentan. Los ejemplos de rugosidad localizada son las pistas de brea, parches y pequeños baches. Puesto que el análisis del IRI no puede proporcionar cualquier información que no esté contenida en la medición del perfil, es absolutamente esencial que la elevación del

perfil sea medido en intervalos que estén lo suficientemente cerca para "capturar" las fuentes pertinentes de rugosidad. Cuando se emplean los perfilómetros automáticos, se recomienda un intervalo de 50 mm para asegurar que todas las características pertinentes de rugosidad sean detectadas (sin embargo, incluso este intervalo no puede ser suficiente para detectar las pistas de brea en una nueva superficie).

- c) *Waveband*. Un perfil completo de carretera incluye las características sobre un amplio rango de un espectro (de las colinas y valles en una escala grande, baja a los rasgos pequeños de textura de la superficie). Ningún instrumento en el presente utiliza medidas completas en el perfil. Por razones técnicas los instrumentos abarcan solamente un rango limitado de la longitud de onda del espectro, que con optimismo incluye las calidades de la carretera de interés. Una mayor reducción en el contenido del perfil ocurre durante el cálculo del IRI.

El análisis del IRI actúa como un filtro, eliminando toda la salida de información de un ancho de onda de 1.3 - 3.0 m

(textura de colinas y valles). Las longitudes externas de estas bandas no contribuyen a la rugosidad observada en la carretera usando vehículos con velocidades cerca de 80 km/h. Debido a que los diferentes métodos perfilométricos incluyen con frecuencia algunas longitudes externas de onda de este rango, pueden aparecer trazos diferentes de perfiles no procesados, no obstante estos son obtenidos de la misma carretera y producen el mismo valor del IRI. Un perfilómetro puede ser clasificado como un método de Clase 2 para la medición del IRI si detecta longitudes de onda sobre el rango de 1.3 - 3.0 m.

Debido a que análisis diferentes aplican diferentes "filtros" para un perfil medido, un método perfilométrico generalmente será válido para algunas aplicaciones pero no para otras. Además los requerimientos de exactitud determinados para otras aplicaciones no son necesariamente válidas para la medición del IRI.

## 2.3. MEDICION DEL PERFIL.

2.3.1. Inspección con nivel y varilla. El mejor conocido para la medición del perfil es con el equipo de inspección convencional, el equipo consiste en una varilla de precisión marcada en unidades convenientes de elevación (típicamente las divisiones principales son en cm o en pies), un nivel que se utiliza para establecer una línea horizontal de dato, y una cinta utilizada para marcar la distancia longitudinal a lo largo de la pista. Este equipo es ampliamente disponible y generalmente puede ser alquilado o comprado a un costo que se compara muy favorablemente con otros equipos de medición de rugosidad. Sin embargo, el método requiere una mayor mano de obra y generalmente es mejor emplear este método cuando no se requiera medir muchos perfiles. Las instrucciones detalladas para el uso de la varilla y nivel no serán mencionadas; sin embargo la medición de un perfil de carretera no es aplicación de rutina de estos instrumentos y por lo tanto se proporcionará un resumen junto con una dirección específica para esta aplicación.

a) Equipo. Para medir la elevación relativa con la precisión requerida para carreteras pavimentadas, es necesario



emplear instrumentos de precisión utilizados en la construcción, como el equipo de nivel y varilla utilizado para el trabajo de inspección de rutina, no pueden proporcionar la exactitud requerida. Con la instrumentación de precisión en el cual la varilla y el nivel son calibrados juntos, generalmente el nivel incluye un micrómetro incorporado para interpolar entre las marcas de la varilla.

Obsérvese que los requisitos de exactitud en la Tabla 1 son simples con respecto a la varilla y nivel: la precisión de elevación es generalmente equivalente a la resolución con la cual la varilla puede leerse a través del nivel, mientras que el intervalo de muestra es la distancia (marcado en la cinta) entre las mediciones de elevación adyacentes. Cuando una cinta se marca en metros es conveniente un intervalo de 0.25 m para las medidas de Clase 1, y un intervalo de 0.50 m para las medidas de Clase 2; en cambio si la cinta es marcada en pies puede ser utilizado un intervalo de 2 pies (610 mm) para las medidas de Clase 2, mientras que para las medidas de

Clase 1 es conveniente un incremento de 0.5 pies (152.4 mm).

b) Mediciones de campo. La metodología exacta adoptada para medir un registro de puntos de elevación, no es crítico, y puede ser acoplado a la situación local considerando el tiempo y mano de obra disponible. Las recientes mejoras en el proceso desarrollado por Queiroz y otros en Brasil en obtener perfiles de nivel y varilla para un propósito explícito de medición de rugosidad han demostrado utilidad, y son sugeridas a continuación.

Es mejor si el personal de inspección incluye por lo menos tres personas: una persona para portar la varilla, otro para leer los instrumentos y el último para anotar los datos de lectura. De haber disponibilidad y cuando sea deseable se debe incluir una cuarta persona para actuar como alivio, de modo que esta cuarta persona pueda rotar posiciones para reducir la fatiga. Se debe extender una cinta metálica sobre la marca de la huella de la rueda como una

---

referencia para el porta varilla sosteniéndolo en el lugar con los pesos o cintas adhesivas (una buena idea es marcar los intervalos de medición en la cinta, con pintura antes de tiempo, para reducir el error por parte del porta varilla.) El instrumento de nivelación debe ser colocado en un extremo de la cinta, directamente en línea. A menos que esto se haga el lector del instrumento necesitará reapuntar el instrumento entre vista y vista.

A menos que la varilla se mantenga perfectamente vertical, se producirá un error en la lectura; igual al producto de la lectura de la varilla y el coseno del ángulo que hace la varilla con la vertical. Este error se reduce acoplando un nivel de burbuja a la varilla, para proporcionar una referencia al porta varilla, reduciendo el desplazamiento lateral de la varilla ligeramente inclinada con respecto a la altura del nivel. La inclinación de la varilla probablemente no es un problema para no ir detectado, ya que es

---

fácilmente observable a través del nivel lo cual hace más difícil el trabajo del operador del instrumento.

Cuando se instala el nivel, el porta varilla empieza desde un extremo de la cinta, colocando la varilla sobre la misma cinta. El lector del instrumento lee la medición de la varilla en voz alta para que la persona que toma los datos registre la medición y comunique al porta varilla que la medición ha sido efectuada, para que este se coloque sobre la siguiente marca de la cinta. Con la práctica, el lector del instrumento puede reenfocar el instrumento de nivelación mientras que el porta varilla se desplaza a la siguiente posición, de tal manera que solamente se requieran pocos segundos para cada medición.

Una vez que el personal de inspección adquiera experiencia en hacer perfiles, el error humano por parte del porta varilla es casi eliminado y los problemas potenciales son limitados a la lectura y registro de los datos numéricos. Un equipo de tres pueden medir el perfil en intervalos de 0.25 m a una

velocidad de 640 m de longitud por día, registrando la elevación con una resolución de 0.1 mm (320 metros de camino = 2560 puntos de elevación por día).

Una aproximación para reducir el error humano en el campo, fue desarrollado en Bolivia utilizando dos lectores de instrumento y dos tomadores de nota; los cuales tomaron lecturas de una sola varilla; ya que los dos instrumentos de nivelación, no están a la misma elevación, las lecturas de la varilla no son idénticas, pero deben constantemente diferenciarse por una cantidad constante. Este método permitió un control conveniente para descubrir cualquier error en los datos registrados y prestarse para la detección del error automático por computadora una vez que los datos han sido ingresados.

c) **Registro de datos.** Debido a la gran cantidad de mediciones (cientos o miles por lugar de prueba) es crítico eliminar tantas fuentes de error humano como sea posible. Las formas de campo normalizadas que tienen las distancias de cintas preimprimidas son

---

útiles para reducir errores cuando están registrándose los datos.

d) **Cálculo de la elevación del perfil.** La óptica del límite del instrumento de nivelación tiene que estar en un rango a la cual la distancia de la vista pueda ser utilizada. Cuando la distancia a la varilla logra los límites de aquel rango, el nivel debe ser desplazado a una nueva ubicación. En las carreteras inclinadas, el nivel puede también ser desplazado más frecuentemente para mantenerlo dentro del rango vertical de la varilla. Es generalmente conveniente mover el instrumento al mismo tiempo que se mueve la cinta, de modo que, todas las lecturas de una instalación de la cinta sean basadas en la misma altura del instrumento. Para establecer la nueva altura del instrumento, el último punto medido con la instalación antigua debe volverse a medir con la nueva instalación.

La nueva altura de instrumento es entonces:

$$\text{Inst}_{\text{nueva}} = \text{Inst}_{\text{antigua}} + \text{Varilla}_{\text{nueva}} - \text{Varilla}_{\text{antigua}}$$

En el trabajo convencional de inspección de tierra, la elevación del instrumento de nivelación es cuidadosamente establecido de modo que la elevación absoluta de la superficie de la carretera sea determinada. Para mediciones de rugosidad solamente es necesario regular todas las medidas a la misma referencia relativa. Por lo tanto, la altura del nivel puede ser asumida para igualar cualquier elevación arbitraria conveniente en la primera instalación (por ejemplo 10.0 m).

e) **Ingreso de datos a la computadora.** La obtención de las mediciones no es todo el esfuerzo, los resultados numéricos deben ser luego digitados en una computadora para calcular el IRI. Como se indicó anteriormente es crítico eliminar todos los pasos que presenten error en la medida eventualmente obtenida del IRI. En un trabajo de inspección típica las lecturas de la varilla son restadas de la altura del instrumento en las notas de campo para producir los datos de elevación. Sin embargo, dado que los datos están

entrando eventualmente en una computadora, todas las etapas intermedias de datos de copiado, datos de redimensionamiento, lecturas y varillas de conversión a los valores de elevación deben ser postergados. En cambio todas estas tareas pueden ser realizadas por la computadora después del ingreso de las lecturas de la varilla.

Si es posible el programa de cómputo debe permitir una visualización del ingreso de datos que aproximadamente acople la forma del campo, para permitir la detección de cualquier error de tipeo. Para ayudar a detectar errores, la computadora puede ser programada para controlar por diferencia los valores de elevación adyacentes que exceden un nivel, el cual indicaría datos erróneos.

Incluso un mejor control se puede dar trazando el perfil de elevación a una escala que revelará obviamente valores de datos erróneos.

Utilizando microcomputadoras con programas "familiarizados al usuario", escritos específicamente



para ingresar los datos de nivel y varilla, un digitador puede ingresar aproximadamente 1000 medidas/hora (incluyendo el control por errores).

f) **Selección de la computadora.** La computadora seleccionada para procesar los datos de nivel y varilla debe idealmente tener capacidad suficiente para almacenar permanentemente los datos del perfil ya sea en su memoria o en un discket; además capacidad para trazar el perfil y para transmitir archivos a otras computadoras. Con frecuencia una consideración dominante que debe recibir alta prioridades la disponibilidad de la computadora. Una computadora de hogar de \$500.00 con disponibilidad de tiempo al 100% puede ser mucho más útil que una computadora de gran capacidad de \$1000.00 compartido por un grupo grande, por lo que no es fácilmente disponible ni fácilmente programable.

### 2.3.2. PERFILOMETRO ESTATICO DE VIGA TRRL.

Un perfilómetro de viga automatizada tal como la viga TRRL puede reducir considerablemente el esfuerzo de inspección requerido para la medición del perfil. Un grupo de dos personas puede medir las elevaciones en intervalos de 100 mm en dos huellas de rueda de 320 m de longitud en aproximadamente dos horas (aproximadamente 25000 puntos de elevación en un día de ocho horas). Este instrumento se diseñó teniendo en mente los países en vías de desarrollo, por lo que se le puso énfasis en hacerlo portátil, escabroso y autónomo.

El instrumento consiste de una viga de aluminio de 3.0 m de longitud, soportado en cada extremo por trípodes regulables utilizados para nivelación. Un vagón de deslizamiento en la viga se pone en contacto con la tierra a través de una rueda seguidora que tiene 250 mm de diámetro, el cual recorre lateralmente la longitud de la viga. La instrumentación en el vagón detecta el desplazamiento vertical, lo digitaliza con una resolución de 1 mm y registra los valores numéricos en intervalos constantes, actualmente 100 mm. El vagón de deslizamiento se desplaza

---

manualmente de un extremo de la viga al otro caminando a una velocidad al "perfil" del segmento. Para obtener el perfil continuo de una pista, la viga es sucesivamente colocada en segmentos consecutivos de 3 metros. El instrumento contiene una microcomputadora con batería activada que almacena los datos de cintas de cassette magnético y automáticamente calcula un índice de rugosidad. La microcomputadora también ha sido utilizada para calcular las ecuaciones de calibración que posteriormente son utilizadas para re-dimensionar los datos del RTRRMS al índice basado de perfil.

Cuando se programa para calcular el IRI, la viga TRRL califica como un sistema de Clase I (de acuerdo con la tabla I) para todas menos las superficies de carreteras más uniformes. Sin embargo, restableciendo la ganancia en la electrónica para permitir una resolución de digitación mas fina (0.25 mm) el instrumento calificaría como un método de medición de Clase I para incluso, lo más uniforme de las carreteras.

La microcomputadora no calcula directamente el IRI, entonces el IRI debe ser estimado utilizando una ecuación de regresión experimentalmente determina con una reducción posterior en exactitud. En este contexto, la Viga sería considerado como un método de Clase 3. (al contrario del RTRRMS. la viga es estable en el tiempo y así "la calibración por correlación" no necesitaría ser repetida periódicamente como se da el caso para el RTRRMS).

Los detalles para la obtención y operación de la viga de TRRL puede ser obtenido de las unidades extranjeras de TRRL.

### 2.3.3. PERFILOMETRO INERCIAL APL.

El analizador de Perfil Longitudinal LCPC se diseña para una evaluación de alta velocidad continua de 100 a 300 Km de carretera por día. El APL consiste en un trailer especial remolcado que tiene una rueda tipo-bicicleta, un chasis con balastro, y un péndulo inercial de baja frecuencia especial que sirve como una frecuencia horizontal-falsa. El trailer está diseñado para ser insensible a los movimientos del vehículo de remolque, sensible

solamente el perfil de la pista recorrida sobre la banda de frecuencia de 0.5 - 20 Hz. Cuando se remolca a cualquier velocidad constante entre 50 y 100 Km/h, detecta la rugosidad en un rango de longitud de onda que es requerido para el IRI. La banda actual de longitudes de onda detectadas por el APL depende de la velocidad del remolque: así como detecta longitudes de onda de 100 m cuando remolca a 150 Km/h ó tan corto como cuando remolca a 21.6 Km/h. El trailer APL es solamente un perfilometro de alta velocidad que ha sido probado para medir el IRI sobre un rango completo de rugosidad, incluyendo carreteras rugosas no pavimentadas

Aunque el trailer APL puede ser utilizado para medir el IRI fue desarrollado para otros propósitos por LCPC y rutinariamente se utiliza en Europa para otras aplicaciones. Normalmente se empaqueta con una instrumentación especial en una de las dos configuraciones: **APL 72** para el trabajo de inspección de rutina; y **APL 25** para el trabajo de precisión que implica el control de calidad de aceptación, evaluación de proyecto, e investigación.

a) **APL 72.** El sistema APL72 emplea una estación-carro moderno, poderoso como remolcador de vehículo (sosteniendo 100,000 km por año para probar y transferir). La norma está basada en los sistemas de una sola huella de rueda, aunque los sistemas de huellas de rueda duales (dos remolques del APL, un remolque en cada uno de los caminos de la rueda viajada) se han usado. En el uso de la inspección normal en Europa, la rueda recorre entre las pistas. La señal del perfil del trailer, la velocidad, la distancia recorrida y los comentarios de los eventos son todos registrados en cintas magnéticas en el vehículo de remolque. El procesamiento de datos es realizado posteriormente en el laboratorio. Los métodos de procesamiento tradicional clasifican la rugosidad en una escala de 10 puntos de una señal de energía en tres rangos de longitud de onda; por ejemplo 1.0 -3.3m/ciclo, 3.3 - 13.0m/ciclo y 13.0 - 40.0m/ciclo.

Las longitudes del lugar de medición deben ser seleccionadas en múltiplos de 100 m, generalmente con

---

una longitud mínima de 200 m y una longitud normal para APL de 1000 m.

Es necesario una tolerancia adecuada de la longitud de aproximación para la velocidad de prueba más rápida.

El sistema APL puede ser adaptado fácilmente para medir el IRI, procesando diferentemente en el laboratorio los datos registrados. Las instrucciones del fabricante deben ser seguidas a detalle para la operación de prueba. En el laboratorio las señales analógicas almacenadas en la cinta registradora deben ser digitalizadas utilizando el hardware de la microcomputadora normalizada (también disponible como parte del sistema APL72, o disponible en diferentes formas de varias fuentes comerciales). Una vez que la señal del perfil se digita y se almacena en una microcomputadora, este puede ser procesado como cualquier dato de perfil, tal como se describe en la sección 2.4. Cuando se realiza esto, el sistema APL72 puede ser considerado como un método de Clase 2 para la medición del IRI.

b) **APL 25.** El sistema APL 25 consiste en un vehículo de remolque y solamente un trailer, y se utiliza a una velocidad menor de 21.6 km/h; en este caso se usa un sistema de instrumentación diferente. Digitaliza la señal del perfil y almacena los valores numéricos en cinta de cassette digital junto a un solo resumen de índice de rugosidad denominado CAPL25, calculados para cada 25 m de huella de l rueda que se cubre.

Debido a la baja velocidad con la cual es utilizado relativamente el remolque APL 25, no es posible detectar las longitudes mayores de ondas para los cuales los resultados numéricos del IRI son sensibles. Además, el APL 25 no puede ser utilizado para medir directamente el IRI sin presentar alguna tendencia. Puede, sin embargo, ser utilizado para calcular el IRI a través de la derivación experimental de las ecuaciones de regresión que relacionan el IRI con otros resultados numéricos que pueden ser medidos por el APL 25. Esta aproximación calificaría como un método de Clase 3. No debe esperarse el ser tan exactos como las medidas hechas con el APL 72

---



o con otros sistemas que utiliza el trailer APL con velocidades mayores. Por lo tanto el sistema de colección de datos del APL 25 no es el sistema de elección adecuada para medir el IRI con el trailer APL.

#### 2.3.4. PERFILOMETROS DE LA LEY INERCIAL K.J.

Estos perfilómetros son fabricados por K.J. Law Engineers, Inc. En los Estados Unidos, son versiones modernas del perfilómetro inercial original tipo GMR, originado en la década de los 60. El perfilómetro es un vagón de carga instrumentado que mide el perfil en ambas huellas de la rueda a medida que se acciona a lo largo de la carretera. Los acelerómetros verticales proporcionan la referencia inercial. La distancia a la superficie de la carretera fue detectado originalmente por ruedas mecánicas impulsadas, pero más recientemente con sensores sin contacto (acústico u óptico), dependiendo del modelo). Las señales del acelerómetro son de doble integración para determinar la posición del cuerpo del perfilómetro. Cuando esta posición se agrega a la señal de posición impulsado por la carretera, se obtiene el perfil.

Los perfilómetros originales fueron utilizados en la electrónica analógica para realizar la doble integración y otros procedimientos requeridos por el operador para mantener una velocidad de recorrido constante durante la medición. En la última década de los 70, el diseño fue mejorado para reemplazar el procesamiento analógico con métodos digitales. Con la conversión para métodos digitales, se desarrolló un nuevo procedimiento de cálculo para ejecutar la medición del perfil independientemente de la velocidad. Esto permitió que el perfilómetro sea operado con mayor facilidad en alto tráfico.

Además de medir el perfil de la carretera estos perfilómetros rutinariamente calculan las estadísticas de resumen asociadas con el Quarter Car Simulation (QCS). Originalmente fue usada una simulación del medidor de rugosidad BPR. En 1979, El modelo QCS utilizado para el IRI fue añadido a estos perfilómetros, y ha estado en uso desde entonces. Además ambos modelos tienen incorporado y automatizado la capacidad para medir el IRI, por lo que pueden ser considerados en este tiempo como métodos de Clase 2. Ningún modelo ha sido válido aún contra

la varilla y el nivel, aunque la validación para una amplia variedad de tipos de carreteras pavimentadas están en progreso.

Actualmente están disponibles dos versiones de un perfilómetro:

- a) **Perfilómetro de carretera modelo 690DNG.** Esta versión es la más costosa y ofrece mayor capacidad, incluye un vagón de carga, instrumentación necesaria completa para medir los perfiles en ambas huellas de la rueda, una mini computadora incorporada a la tarjeta, un sistema de cinta digital de 9 pistas y varias opciones de software para el cálculo de los resultados numéricos del perfil (incluyendo el IRI), la altura se detecta siguiendo la carretera mediante un sensor sin contacto utilizando un haz de luz visible, reemplazando las ruedas impulsadas mecánicamente utilizadas en versiones anteriores.

El software que calcula el tipo de rugosidad en la escala IRI fue desarrollado durante el proyecto NCHRP

1 -18,y se denominó la simulación de Maysmeter. Difiere del IRI en el hecho de que la rugosidad se calcula en ambas huellas de la rueda (emulando un carro de pasajeros con un medidor de carretera instalado),en lugar de una sola huella de rueda empleada por el IRI. Algunos de estos perfilómetros pueden medir la rugosidad de ambas huellas de la rueda separadamente tal como es requerida por el IRI, si no el software puede ser mejorado fácilmente por el fabricante. Cuando el IRI es obtenido de la simulación del Maysmeter, este es reportado con unidades de pulg/milla, en lugar de m/km ( $1\text{m/km} = 63.36\text{pulg/milla}$ ).

El rendimiento del modelo 690DNC aún no ha sido validado con respecto al método estático para la medición del IRI. Los diseños más antiguos con las ruedas impulsadas mecánicamente fueron válidos aproximadamente hasta los niveles de rugosidad de 3m/km en la escala del IRI según el reporte 228 del NCHRP. Con los sensores sin contacto, el funcionamiento a los niveles de rugosidad más altos

debe ser posible. Tres sistemas del modelo 690 DNC participaron en la Reunión de Perfilometro de Carretera realizado en 1984 en Ann Arbor, discutiéndose en esta reunión la validación del perfilometro en estudio. El modelo 690 DNC no ha sido experimentado en carreteras no pavimentadas y no es probable su pronta experimentación, ya que existe poco interés en la medición de la rugosidad de carreteras no pavimentadas en el presente tiempo en los Estados Unidos.

b) Inspector de rugosidad modelo 8300. El modelo 8300 es un instrumento perfilométrico de una sola pista diseñado específicamente para medir el IRI. Para reducir su costo, la instrumentación se utiliza para proporcionar una señal del perfil interno a medida que se entra a los cálculos del IRI, por lo tanto, elimina la necesidad del uso de muchas computadoras costosas y componentes magnetofónicos incluidos en el modelo 690DNG. Aunque el sistema proporciona la rugosidad

IRI por defecto, otros índices de rugosidad también pueden ser obtenidos como opciones del fabricante.

El modelo 8300 utiliza un paquete de instrumentación de parachoques montado, conteniendo un sistema ultrasónico impulsador de carretera y un acelerómetro vertical. El sistema puede ser montado en la mayoría de carros de pasajeros. Aún no ha sido validado para la medición del IRI, pero hizo su participación en la Reunión de Perfilómetros de Carretera de 1984, por lo tanto, la información sobre su validez (en carreteras pavimentadas) ha sido tratado en aquel estudio

### 2.3.5. OTROS PERFILÓMETROS.

Otros métodos perfilométricos no abarcados específicamente en estas orientaciones son probables que puedan descender de categoría a la Clase 2. Dentro de las previsiones generales de estas orientaciones, tales métodos pueden ser utilizados de acuerdo con las instrucciones del fabricante, para obtener datos del perfil y calcular el IRI como se describe en la sección 2.4. Algunos instrumentos denominados perfilómetros (por

ejemplo, bordes rectos rodantes) no tienen la capacidad de proporcionar una señal de perfil con una banda de onda suficiente y con una exactitud requerida para el cálculo del IRI. Incluso si son estables con el tiempo, solamente pueden calificar como los métodos de Clase 3 en el caso de no poder ser utilizados en la medición del perfil para el cálculo del IRI.

## 2.4. CALCULO DEL IRI.

### 2.4.1. ECUACIONES.

El cálculo de IRI se obtiene estimando cuatro variables como funciones del perfil medido (estas cuatro variables simulan la respuesta dinámica del recorrido del vehículo de referencia sobre el perfil medido.) Las ecuaciones para las cuatro variables se resuelven para cada punto de elevación medido, excepto para el primer punto. La pendiente promedio sobre los primeros 11.0 m (0.5 secciones a 80km/h) se utiliza para la inicialización de las variables asignando los siguientes valores:

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

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

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

Donde  $Y_a$  representa el punto de elevación del perfil "a<sup>th</sup>",  $Y_1$  es el primer punto, y  $dx$  es el intervalo de muestreo. (Además, para un intervalo de muestra  $dx = 0.25m$ , la ec.(1) utilizaría la diferencia entre la 45ava parte del punto de elevación y el primer punto de elevación para establecer una pendiente inicial para el cálculo del IRI.)

Las siguientes cuatro ecuaciones deberán ser resueltas para cada punto de elevación, desde 2 hasta  $n$  ( $n =$  número de mediciones 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:

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

y

$$Z'_j = Z_j \text{ de las posiciones anteriores, } j = 1, 4 \quad (9)$$



Y  $s_{ij}$  y  $P_j$  son coeficientes filas para un intervalo de muestra  $dx$  dado. Además las ec. (4) - (7) son resueltas para una posición. La ec.(9) se utiliza para restablecer los valores de  $Z'_1, Z'_2, Z'_3$  y  $Z'_4$  para la siguiente posición. También para cada posición la pendiente rectificadora (RS) del perfil se calcula como:

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

La estadística de IRI es el promedio de la variable RS sobre la longitud del lugar. Además luego de resolver las ecuaciones anteriores para todos los puntos del perfil, el IRI es calculado de la siguiente manera:

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

El procedimiento descrito anteriormente es válido para cualquier intervalo de muestra comprendido entre 0.25m y 0.61m (2.0 pies). Para intervalos más cortos, el paso adicional de aproximación del perfil con un valor promedio es representar

mejor el instante en el cual la llanta tiene un mayor contacto con el terreno. La longitud base para promediar es de 0.25 m de largo. El IRI puede ser calculado en cualesquiera de las dos siguientes formas:

1. Los puntos de elevación que caen dentro de cada 0.25 m de longitud pueden ser promediados para obtener un punto equivalente del perfil para el intervalo de 0.25 m. Posteriormente el IRI se calcula con las ecuaciones anteriores basados en un intervalo de 0.25 m, utilizando los coeficientes para dicho intervalo.
2. Un "promedio de desplazamiento" se obtiene promediando los puntos que caen dentro de un intervalo de 0.25 m centrado en el punto de elevación del perfil. Luego el IRI se calcula resolviendo las ecuaciones para cada punto promediado, utilizando los coeficientes adecuados en las ecuaciones para el intervalo más pequeño.

**CAPITULO III**  
**ESTIMACIÓN DEL IRI UTILIZANDO**  
**UN RTRRMS CALIBRADO (CLASE 3)**

## ESTIMACION DEL IRI UTILIZANDO UN RTRRMS

### CALIBRADO (CLASE 3)

En su mayoría los datos de rugosidad que se recolectan en todo el mundo, se obtienen con RTRRMSs. El RTRRMS se adecua a la recolección económica y rápida de los datos de rugosidad en las carreteras, abarcando 200 a 300 km por día en inspecciones continuas. La definición de referencia de rugosidad, IRI fue diseñado funcionalmente para duplicar la respuesta de un RTRRMS "ideal" estandarizado (normalizado).

Para obtener un rendimiento consistente de un RTRRMS, las propiedades mecánicas del vehículo (y medidor de carreteras) deben mantenerse constante a través de un buen mantenimiento y prácticas de operación. Las variaciones en el vehículo causarán correspondientes variaciones en las medidas de rugosidad. Para la selección y mantenimiento del vehículo de uso del RTRRMS, el practicante debe ser consciente de las variables que afectan el rendimiento; las cuales se muestran en la sección 3.1

Un problema potencial con los RTRRMSs es que ninguno de los dos es semejante en su respuesta a la rugosidad de la carretera. Además, es necesario transformar las medidas a una escala normalizada (IRI) utilizando las relaciones establecidas en una calibración, tal como se describe en la sección 3.2.

Para asegurar que las mediciones que se hacen a diario mantengan el mismo significado, los procedimientos de control deben ser especificados para limitar los cambios en el rendimiento del RTRRMS. La sección 3.3 describe los métodos para asegurar que las mediciones de rugosidad obtenidas tengan el mismo significado en el futuro tal como lo tuvieron durante la medición.

### 3.1. SELECCIÓN Y MANTENIMIENTO DE UN RTRRMS.

Un RTRRMS consiste de tres componentes: un vehículo, un transductor que detecta el movimiento relativo de la suspensión, y una pantalla que se conecta eléctricamente al transductor. El transductor y la pantalla juntos son lo que se denomina un medidor de carretera (roadmeter) y se adquiere como un solo componente.

Las medidas obtenidas del roadmeter son en realidad la respuesta

del vehículo a la superficie de la carretera a medida que se desplaza a cierta velocidad. Así como la medida es el resultado del roadmeter, el procedimiento de operación, el vehículo y todas las variables afectan su respuesta.

**3.1.1. El Roadmeter.** Los roadmeters son conocidos por muchos nombres: ridemeters, Mays Meters (Reinhart Company, USA), Bump Integrators (TRRL, UK), NAASRA (ARRB, Australia), Cox Meters (James Cox Company, USA), PCA Meters, y otros. Aunque la mayoría de medidores (Meters) tienen diferentes nombres y vienen con instrucciones y recomendaciones de uso incompatibles, la mayoría son funcionalmente equivalentes cuando se operan dentro de su rango de diseño [1, 2].

Un roadmeter proporciona un número de conteos para una prueba, cada conteo corresponde a una cierta cantidad de movimientos en suspensión. Sumando los conteos (una tarea que puede o no puede ser realizada por el instrumento) se obtiene un número que es proporcional a la suspensión total acumulado que ocurrió durante un viaje de prueba, el resultado es una relación con

---

unidades de pendiente que se denomina "Promedio Rectificado de Inclinación " (ARS).

Cuando se selecciona un roadmeter se debe considerar su rugosidad, sencillez de uso, y rango de medición de rugosidad, además del costo y disponibilidad. Aunque la mayoría son funcionalmente equivalentes dentro de los rangos de operación, no todos los roadmeter pueden ser aceptables bajo términos específicos de referencia debido a los diseños obsoletos de algunos sistemas. También se debe notar que muchos roadmeters se diseñan con la mentalidad en la evaluación de carreteras nuevas pavimentadas, y no puede ser capaz de cubrir los niveles de rugosidad altos y medios. En general, los componentes electro-mecánicos (contadores mecánicos, motores de paso a paso) deben evitarse porque ellos son incapaces de mantenerse al ritmo de las proporciones altas de golpeo de la suspensión del vehículo, que ocurre en los caminos más rugosos. También su rendimiento puede depender del voltaje de suministro, el cual puede variar durante el uso, incrementando de esta manera los errores en la medición.

Algunos roadmeters tal como el PCA Meters han sido utilizados

para calcular una suma de conteos "ponderados". La mayoría de los PCA Meters han sido usados para medir la ARS, sencillamente sumando los conteos, sin embargo, algunos pueden ser cableados para evitar registrar todos los conteos. Si no se registran todos los conteos, la linealidad y la precisión relativa del RTRRMS serían degradadas (reducidas) con un resultado de menor exactitud.

Solamente los diseños de roadmeter que ha sido validados para el uso sobre el rango completo de rugosidad abarcado en el IRRE han sido desarrollados por agencias de investigación de carreteras para su propio uso: La unidad BI (TRRL), la unidad NAASRA (ARRB), y el Mays Meters modificado (GEIPOT).

Cada diseño del roadmeter es algo diferente, de modo que el manual de instrucciones siempre debe ser estudiado para entender los principios de su operación. Se tiene que ser consciente que las instrucciones rara vez son suficientes para explicar como obtener las mediciones de rugosidad calibradas, y que algunos de los procedimientos sugeridos pueden ser anticuados o no normalizados.

Por lo tanto, el manual debe ser utilizado para entender los



principios operacionales de la instrumentación, mientras que las orientaciones deben ser utilizadas para entender el uso adecuado.

### 3.1.2. El Vehículo.

Tres tipos de vehículos pueden ser utilizados de acuerdo con un roadmeter para constituir un RTRRS:

- 1) Un carro de pasajeros o un camión ligero con un eje trasero sólido. No debe utilizarse un vehículo con suspensión trasera independiente, debido a que los movimientos de la rueda del vehículo pueden ser detectados como rugosidad. Es recomendable un vehículo accionado por la parte posterior, debido a que se asemeja con más detalle a las normas. Los resortes de espirales son más preferidos que las ballestas (muelles), porque presentan menos rozamiento Coulomb.
- 2) Un trailer de dos ruedas remolcado. El trailer debe tener un eje sólido. La configuración verdadera del vehículo de remolque no es crítica, pero el mismo vehículo de remolque siempre debe ser utilizado entre calibraciones, porque sus características influenciarán

en las medidas del ARS. Si el vehículo de remolque es reemplazado, el RTRRMS debe ser recalibrado.

- 3) Un trailer de una rueda remolcada. Así como un trailer de dos ruedas, se necesita la recalibración si el vehículo de remolque es cambiado. Debe tenerse previsión en el enganche del remolque para mantenerlo derecho durante la medición.

### 3.1.3. Instalación del Roadmeter en el Vehículo.

El transductor del roadmeter debe ser instalado verticalmente (dentro de 5 grados de la verdadera vertical) en un vehículo de doble huella y al centro del eje. Deberá tomarse el debido cuidado para asegurar que el transductor sea colocado correctamente para impedir al roadmeter el registro de los conteos extras originados por el frenado del vehículo, aceleración y ubicación en una esquina (todos de los cuales deben mantenerse a un mínimo durante la prueba).

En un trailer de una sola huella, el roadmeter generalmente forma una parte integral del trailer. Si se reemplaza; el mismo

roadmeter debe ser instalado en la misma ubicación como la unidad original manteniendo su orientación vertical.

#### 3.1.4. Velocidad de Operación.

La velocidad IRI normalizada es de 80 km/h. El resultado numérico del IRI se diseña para acoplar mejor el funcionamiento típico del RTRRMS cuando se opera a esta velocidad; así la reproductibilidad asociada con el RTRRMS es generalmente mejor cuando esta velocidad es utilizada. Las medidas del ARS obtenidas por un RTRRMS son dependientes de la velocidad, y por lo tanto los operadores de los instrumentos deben apreciar la importancia de hacer todas las mediciones a la misma velocidad. Sin embargo, existen situaciones en las cuales se requieren velocidades inferiores. Estos son incluidos en casos donde:

1. No es segura la velocidad de 80 km/h por razones de tráfico, peatones, geometría, etc.
2. El roadmeter produce medidas erróneas e inconsistentes cuando se opera a 80 km/h en las carreteras más accidentadas.

3. El proyecto principalmente abarca secciones de prueba cortas y la repetibilidad para lugares individuales tiene alta prioridad. La pequeñez del lugar para algunas extensiones es compensada por el mayor tiempo necesario para abarcar el lugar a una velocidad reducida.
4. El vehículo y una parte del roadmeter son demasiado frágiles para operaciones continuas a la velocidad normalizada (80 km/h), y debe operarse más lento si ellos son absolutamente operados.

La solución recomendada para los problemas asociados a los mecanismos inconsistentes o frágiles es reemplazar el vehículo y/o el roadmeter con algo más recio. Si cualquiera de estas condiciones son inevitables para los lugares menos comunes, deberá ser adoptada una velocidad normalizada del RTRRMS menor para todas las medidas del RTRRMS (se recomiendan velocidades de 50 ó 32 km/h cuando se requieren velocidades bajas). La referencia de calibración seguirá siendo el IRI, así el método de calibración descrito en la sección 3.2 debe ser seguido, con la diferencia que el RTRRMS es operado a la velocidad seleccionada.

---

Cuando solamente pocas secciones requieren ser medidas a una velocidad menor, podrán ser utilizados los métodos de corrección de velocidad descritos en la sección 3.2.

### 3.1.5. Selección del amortiguador de choque.

El único componente importante de un vehículo que afecta la respuesta del RTRRMS a la rugosidad es el amortiguador de choque. Para obtener una mejor reproductibilidad (y así, una total exactitud), el vehículo debe ser equipado con un amortiguador de choque muy "consistente". Cuando se utilizan amortiguadores de choques "más suaves" (a menudo seleccionados por el fabricante del vehículo para una mejor calidad de recorrido) un RTRRMS puede "ponerse a punto" en ciertas condiciones de rugosidad que no afecten a otros RTRRMS o a referencias estándar, llevando los puntos de datos a los contornos. El uso de los amortiguadores de choque tiene la ventaja de reducir los efectos de otras fuentes de error, y por lo tanto se requiere menor esfuerzo para mantener el RTRRMS calibrado.

---

Los amortiguadores de choque son semejantes a la actuación de los elementos críticos del RTRRMS de tal manera que si estos son reemplazados se tendrá que realizar una nueva calibración, aún cuando si los amortiguadores de choque de reemplazo son de la misma fabricación y modelo que los anteriores. Puesto que la recalibración siempre se requiere, no hay ninguna ventaja seleccionando reemplazos hechos por el mismo fabricante, a menos que su rendimiento haya sido bastante satisfactorio. Las características primarias para buscar son desigualdad, insensibilidad a la temperatura, y un alto amortiguamiento (los choques deben ser "consistentes"). Si los amortiguadores de choque instalados proporcionan suficiente amortiguamiento, entonces puede ser evaluado por comparación directa de los valores del ARS (en m/km) desde el RTRRMS hasta los valores del IRI en las superficies de calibración. Si más del 20% de las medidas son mayores al promedio del IRI en lugares accidentados, se recomienda un amortiguamiento más eficaz en la suspensión del vehículo.

### **3.1.6. Carga del vehículo.**

El peso del cuerpo del vehículo afecta a las medidas de rugosidad, tal que el incremento de peso generalmente aumenta al ARS medido. Este efecto es casi eliminado cuando el roadmeter se monta en un trailer. Pero cuando el roadmeter se monta en un vehículo o camión, siempre debe tomarse el cuidado necesario de tal manera de mantener la misma carga del vehículo durante la calibración y medición de la rugosidad, aunque son inevitable ciertas variaciones debidos al incremento de combustible. El vehículo no debe tener cargamento extra o pasajeros durante la prueba.

### **3.1.7. Presión de la llanta.**

Las medidas de la rugosidad aumentan con la presión de la llanta (para carros de dos pasajeros y trailer basado en el RTRRMS). Por lo tanto, la presión debe ser controlada cada mañana antes que el vehículo haya sido arrancado y establecido algunos valores seleccionados apropiados para el vehículo.

### 3.1.8. Uniones mecánicas del roadmeter.

El transductor del roadmeter se conecta al eje del vehículo mediante algún tipo de unión. Si el transductor del roadmeter es un muelle cargado, este puede oscilar a veces independientemente si no es lo suficientemente consistente, ocasionando el aumento de conteos. Si las uniones entre el eje, transductor, y el cuerpo del vehículo (o estructura del trailer) todas están sueltas, se perderán los conteos. Las poleas en los ejes también pueden deslizarse, dando como resultado la pérdida de conteos. La frecuente inspección y mantenimiento de estas uniones deben ser incluidos en los procedimientos de operación establecidos.

### 3.1.9. Desequilibrio y fuera-de-redondez del neumático.

Los montajes del neumático/rueda girando en el eje instrumentado con el roadmeter oscilarán como resultado del desequilibrio y/o fuera de operación, originando un aumento en el conteo del roadmeter. El aumento de conteos, debido a las vibraciones extras por los ensamblajes de neumático/rueda son más importantes en carreteras más uniformes, donde las vibraciones de carretera- inducida son más pequeñas. Este efecto



puede ser reducido utilizando neumáticos premium, montados en las ruedas con atención dada para obtener un asiento de reborde uniforme. Las ruedas o neumáticos dañados deben ser reemplazados, así como las llantas que deben haber sido "marcadas en forma plana " por el resbalamiento que ocurre durante el frenado de emergencia. Los ensamblajes de la neumático/rueda en el eje instrumentado deben estar estáticamente equilibrados (el equilibrio dinámico no ha sido ninguna muestra de ayuda) dentro de 8 gr-m (1.0 pies-onza) para uso de rutina. La calibración de comprobación debe realizarse en cualquier momento para ver si uno de los componentes ha cambiado.

### 3.1.10. Efectos de temperatura.

El comportamiento mecánico más crítico del vehículo RTRRMS, es su capacidad de amortiguar las vibraciones de suspensión. Las vibraciones altas producen muchos conteos, mientras que las vibraciones bajas producen algunos conteos. Las vibraciones derivan de las propiedades mecánicas de los amortiguadores, los neumáticos, y las uniones en la suspensión. Desafortunadamente, los cambios de amortiguamiento están

influidos significativamente con los cambios de temperatura de varios de los componentes que contribuyen el amortiguamiento. Si la temperatura del aire es mayor a  $0^{\circ}\text{C}$ , no son significativos los cambios en el amortiguamiento debido a los cambios de temperatura sobre un rango de  $10^{\circ}$  ó menos (por ejemplo, las variaciones entre  $20^{\circ}\text{C}$  y  $30^{\circ}\text{C}$  no deben tener un efecto apreciable en las medidas de rugosidad). Mayores variaciones generalmente provocan un efecto evidente; las mayores temperaturas provocan aumento en los conteos. Cuando las temperaturas descienden a valores menores o iguales a  $0^{\circ}\text{C}$ , las medidas del RTRMS presentan mayor sensibilidad a la temperatura del aire.

Bajo la mayoría de condiciones de operación, la influencia más lejana en el componente de temperatura es una misma rugosidad: los amortiguadores de choque del vehículo calienta mucho más en las carreteras más rugosas que en aquellas más suaves. Por esta razón, antes de registrar los datos de rugosidad en un trabajo rutinario y durante la calibración, se debe prestar una atención especial para asegurar un pre-calentamiento

adecuado. El tiempo necesario de pre-calentamiento depende del vehículo y del nivel de rugosidad. Los tiempos típicos necesarios son de 10 - 30 minutos y debe ser determinados experimentalmente para cada RTRRMS tal como se describe en la sección 3.3.3. El tiempo de pre-calentamiento debe ser gastado operando el RTRRMS a la velocidad de prueba en las carreteras, teniendo aproximadamente el mismo nivel de rugosidad, como aquel que es medido (dentro del 20%). Por lo tanto, si el RTRRMS debe viajar a un lugar de prueba sobre caminos buenos, y el propio lugar de prueba es un camino rugoso, se necesitará un tiempo de precalentamiento adicional en el lugar de prueba.

### 3.1.11. Efectos de humedad y agua.

Las propiedades mecánicas de las partes del vehículo del RTRRMS no son normalmente influenciadas directamente por la presencia de agua. Sin embargo, indirectamente la lluvia y el agua de la superficie pueden afectar a las medidas de rugosidad; enfriando los componentes a temperaturas más bajas que la normal, resultando en menos conteos acumulados. El problema común es que el agua está salpicando en los neumáticos y enfriando

los amortiguadores de choque, en el proceso. Si el clima está tan húmedo que los días lluviosos son la norma, en lugar de la excepción, una "calibración de humedad" debe ser realizada para convertir a la escala de rugosidad IRI las medidas brutas tomadas en los días húmedos.

Otro problema relacionado al agua es la acumulación de barro, nieve y hielo en las ruedas, originando desequilibrios en los ensamblajes del neumático/rueda (sección 3.1.9). El hielo en el cuerpo del vehículo puede cambiar su peso total, por lo tanto afecta las lecturas del roadmeter.

### 3.2. CALIBRACIÓN DE UN RTRRMS.

Debido a que el comportamiento de respuesta de un RTRRMS particularmente es único y variable con el tiempo, el sistema debe ser calibrado inicialmente cuando es puesto en servicio, y periódicamente durante su total uso, cuando su respuesta cae en los límites de control externo (ver sección 3.3.4).

### 3.2.1. Método de calibración.

La calibración se logra obteniendo medidas "brutas" del ARS (los conteos/km u otros números parecidos producidos por el rendimiento del instrumento) en lugares de calibración especial. Estos lugares de calibración son secciones de carreteras en las cuales se conocen los valores de rugosidad en unidades IRI; los cuales fueron determinados con métodos de Clase 1 ó 2 (varilla y nivel o perfilómetro). El RTRRMS se opera periódicamente 3 - 5 veces sobre los lugares de la calibración a la velocidad estándar después del precalentamiento conveniente. (Los lugares más largos de calibración pueden ser utilizados para reducir la necesidad de medidas repetidas, tal como se describió en la sección 2.3.1). Los valores "brutos" del ARS del RTRRMS son trazados con respecto a los valores del IRI, con los valores del RTRRMS en el eje-X y los valores del IRI en el eje-Y, tal como se ilustra con cuatro ejemplos en la Fig. 2, los puntos de los datos tomados en el campo son ajustados mediante una línea recta, para calcular los valores del IRI de las medidas del RTRRMS. La exactitud de las medidas calibradas puede ser observada aproximadamente como la

dispersión de los puntos cerca de la línea fijada, la dispersión más pequeña, proporciona la mejor exactitud.

**a) Calibración para una flota de vehículos.** Cada

RTRRMS requiere su propia calibración. Incluso cuando dos RTRRMS utilizan el mismo modelo de vehículo y roadmeter, sus respuestas pueden diferir en más del 25% que cuando son nuevos. Pueden darse diferencias mayores después de haberse experimentado un desgaste. Por lo tanto no debe intentarse la "calibración de una flota".

**b) Calibración para diferentes velocidades.** Cuando se

requiera por cualquier razón realizar las pruebas a cualquier velocidad que no sea la velocidad estándar, no es aplicable la ecuación de calibración rutinaria. Deben desarrollarse separadamente las relaciones entre las medidas "brutas" y las del IRI para cada uno de las otras velocidades, tal como se describe en la sección

3.2.5.

### c) Calibración para diferentes tipos de superficies.

Dependiendo de la exactitud requerida de los datos de rugosidad calibrada y de la práctica de construcción de carretera local, puede ser justificado separar las relaciones de calibración para diferentes tipos de superficies (pavimentados y no pavimentados, por ejemplo). En esta sección presentaremos pautas para una sola calibración para todos los tipos de superficies de una carretera a ser abarcados en el proyecto. La experiencia pasada ha indicado que esto es adecuado para concreto asfáltico, concreto PCC, tratamiento superficial (chip seal), carreteras de grava y tierra brasileña.

Los datos de calibración pueden ser examinados para determinar si existe alguna tendencia no aceptable, que puede ser atribuido al tipo de superficie. Si tal tendencia termina, entonces pueden realizarse calibraciones separadas para los subconjuntos de tipos de las superficies. Por ejemplo, el trazo mostrado en la Fig. 2a incluye los datos de cuatro tipos de superficies.

Los puntos para concreto asfáltico, grava, y tierra aparecen distribuidas uniformemente. Sin embargo, existen cuatro puntos de fuera de rango tomados en lugares de tratamiento superficial ligeramente contraídas, el cual tiene mayores valores de ARS esperado de una sola calibración (porque el vehículo se debe "ponerse a punto-en" la longitud de onda de la contracción). En el peor de los casos, existe un error de casi 4m/km entre el IRI estimado de la línea de calibración y el IRI exacto. Podría obtenerse una mejor exactitud, si se realizará una calibración separada para los lugares de tratamiento superficial. Cuando esto se realiza, entonces las dos ecuaciones de calibración son obtenidas tal como está indicado por las líneas punteadas. Utilizando una calibración separada, el máximo error es reducido hasta en un 50%. Un segundo ejemplo es el esquema mostrado en la Fig. 2c; en este caso, no existe una tendencia obvia debido al tipo de superficie. El peor error que sería obtenido es de aproximadamente 3 m/km, aunque el error típico puede



ser observado por ser mucho más pequeño: alrededor de 1 m/km. Así, una sola ecuación de calibración sería representativa para los cuatro tipos de superficies.

### 3.2.2. Ecuación de calibración.

Los datos de los lugares de calibración son utilizados para hacer una regresión del IRI con respecto a las mediciones en "bruto" del RTRRMS, con la finalidad de reducir el error cuadrado entre los valores de referencia del IRI y los valores estimados del RTRRMS utilizando para ello una ecuación cuadrática. Cuando se utiliza un RTRRMS single-track (una sola huella), la regresión se calcula en base a las medidas individuales de la wheeltrack (huella de la rueda). Cuando se utiliza un RTRRMS two-track (dos-huellas) el IRI se mide para ambas wheeltrack recorridas por las llantas del RTRRMS, promediándose estos dos resultados. El promedio se usa entonces como una sola medida del IRI para esa división longitudinal, y es regresionado con respecto a la única medida obtenida del RTRRMS two-track.

Los cálculos posteriores del IRI estimados del RTRRMS utilizando la ecuación de calibración son en realidad las medidas de

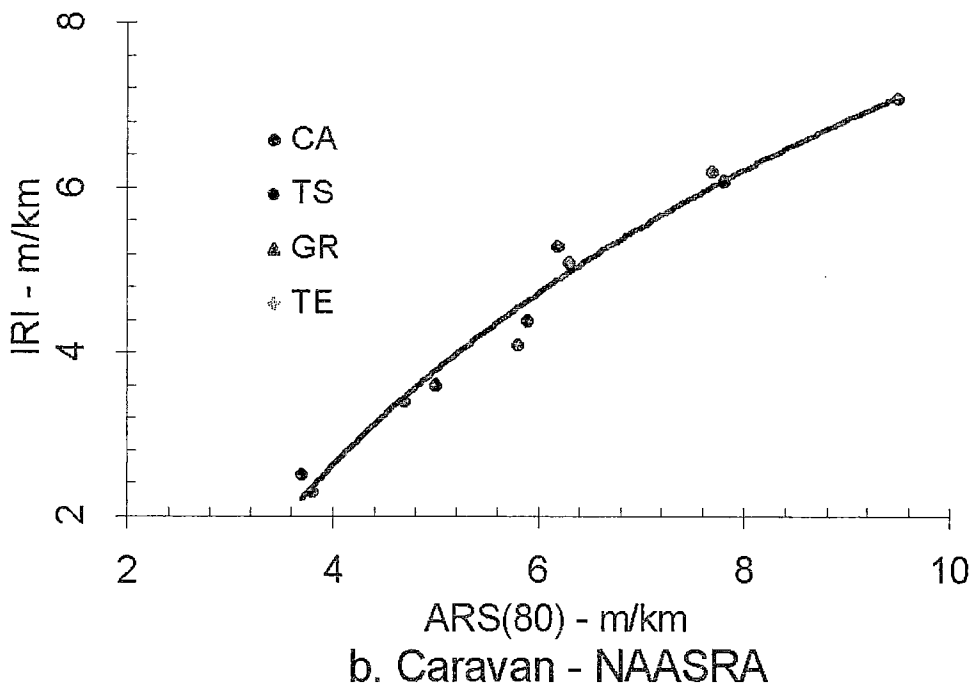
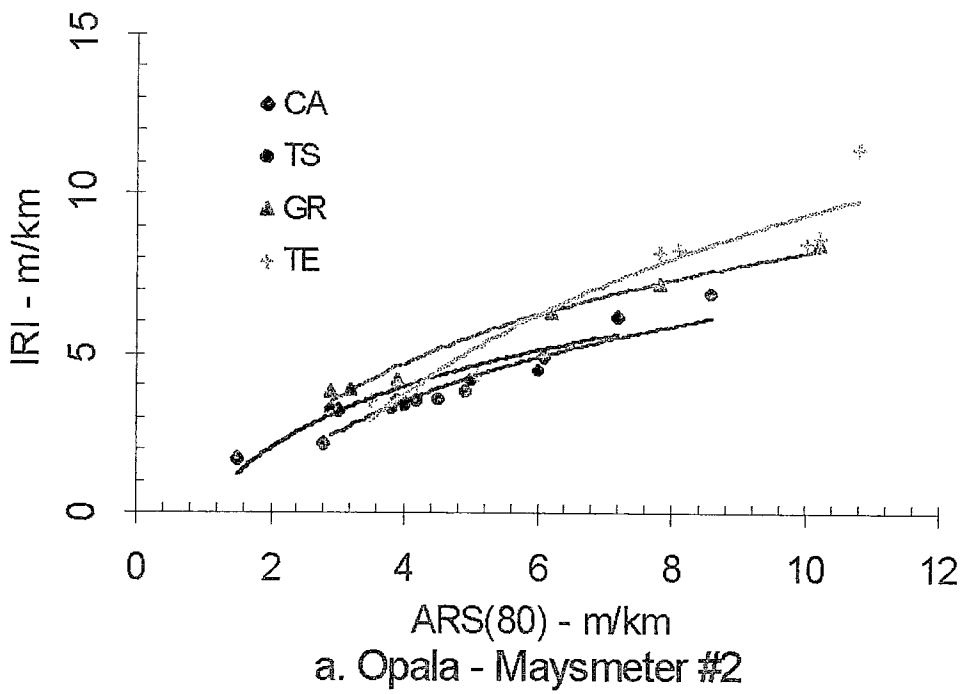


Fig. 2 Ejemplo de Trazos de Calibracion

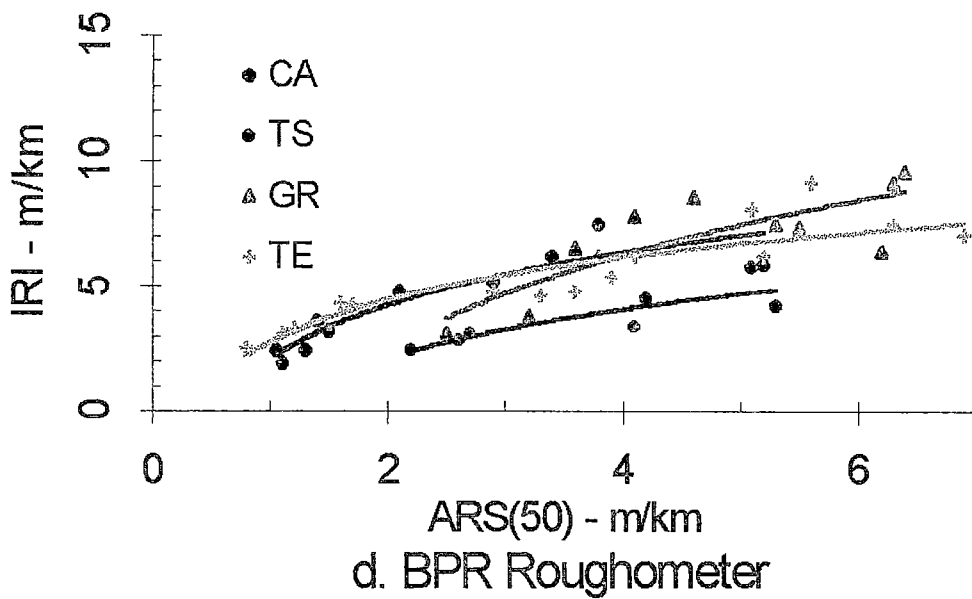
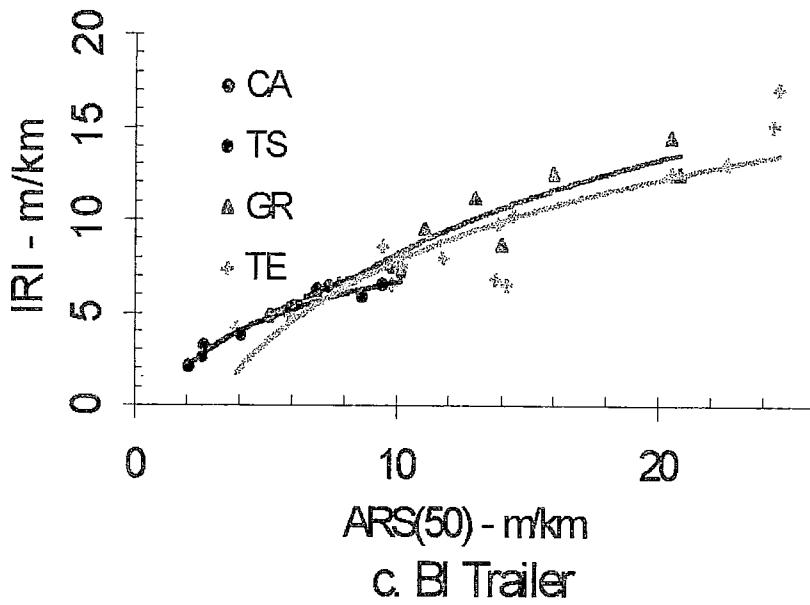


Fig. 2 Ejemplo de Trazos de Calibracion

---

rugosidad calibradas del RTRRMS. Los detalles matemáticos necesarios para calcular la ecuación de calibración son resumidos en la Fig. 3. Las exactitudes asociadas con el RTRRMS pueden también ser calculados y cuantificados por el Error Estándar (SE) del calculo de IRI, utilizando la ecuación dada en la figura.

Debe ser mencionada aquí, que la ecuación de calibración y el Error Estándar son calculado en una convención opuesta a aquella normalmente utilizada por los análisis estadísticos (es decir, las definiciones de los ejes X y Y que serian usados en un análisis clásico de variaciones, son invertidos), debido a que la calibración sirve para diferentes propósitos. En vez de escribir la estadística de la medida ARS "bruta", el practicante se interesa con la exactitud de la medida de rugosidad final. Por lo tanto, debe tomarse cuidado en utilizar los paquetes de análisis estadísticos, para asegurar que las variables X y Y sean asociadas correctamente con las medidas del IRI y RTRRMS.

La ecuación de calibración para un RTRRMS es:

$$E[IRI] = A + B \times ARS + C \times ARS^2$$

La ARS es la medida "cruda" con unidades: conteos/km o un equivalente (pulg/milla, mm/km, etc.), y E[IRI] es la estimación del IRI con las mismas unidades usadas para RARS<sub>80</sub>. Los coeficientes A, B, y C se calculan tal como se indican abajo, donde N=numero de lugares de calibración, x<sub>i</sub>= medida de la ARS en el lugar del i<sup>th</sup>, y y<sub>i</sub>=RARS<sub>80</sub> rugosidad en el lugar del i<sup>th</sup> (medida de un perfil calculado). La precisión de las medidas E[IRI] son el Error Standar (SE) siendo su calculo tal como se muestra:

$$\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i = (x_1 + x_2 + x_3 \dots + x_N) / N \quad \bar{x^4} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i^4 = (x_1^4 + x_2^4 + x_3^4 \dots + x_N^4) / N$$

$$\bar{x^2} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i^2 = (x_1^2 + x_2^2 + x_3^2 \dots + x_N^2) / N \quad \bar{y} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N y_i = (y_1 + y_2 + y_3 \dots + y_N) / N$$

$$\bar{x^3} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i^3 = (x_1^3 + x_2^3 + x_3^3 \dots + x_N^3) / N \quad \bar{y^2} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N y_i^2 = (y_1^2 + y_2^2 + y_3^2 \dots + y_N^2) / N$$

$$\overline{xy} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i \cdot y_i = (x_1 \cdot y_1 + x_2 \cdot y_2 + x_3 \cdot y_3 \dots + x_N \cdot y_N) / N$$

$$\overline{x^2 y} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i^2 \cdot y_i = (x_1^2 \cdot y_1 + x_2^2 \cdot y_2 + x_3^2 \cdot y_3 \dots + x_N^2 \cdot y_N) / N$$

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

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

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

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

Fig. 3. Calculo de la Ecuación de calibracion

### 3.2.3. Selección de los lugares de calibración.

Para que una calibración sea válida, los lugares de calibración deben ser representativos de las carreteras inspeccionadas en el proyecto. Cuando sea posible, los lugares deben de ser posicionados en las carreteras de baja- curvatura o tangentes, y deben tener propiedades de rugosidad que sean uniformes sobre la longitud del lugar, incluyendo los 50m de entrada. Cuando se utiliza para proyectos de largo-plazo, los lugares de calibración deben de ser ubicados en carreteras poco utilizadas cuyas propiedades no cambiaran rápidamente con el tiempo.

- a) **Rango de rugosidad.** Es esencial que las secciones sean "naturalmente rugosas", mostrando la rugosidad que resulta de las historias de uso/mantenimiento/construcción normal. (Las rugosidades artificialmente inducidas en los lugares de calibración, no calibrarán el RTRRMS en el mundo-real.) La calibración es válida técnicamente sólo sobre el rango de rugosidad abarcado por los lugares de calibración, por lo tanto, la extrapolación debe evitarse si fuera posible. En cualquier caso, la extrapolación más

allá del rango de calibración por más del 30% en cada dirección (30% menos del lugar de calibración más liso y 30% más rugoso que el rugoso), no debe ser considerada. Si el rango adicional es necesario, entonces deben encontrarse lugares de calibración apropiados.

b) **Uniformidad.** Los lugares de calibración deben tener uniformidad en la rugosidad sobre toda su longitud, tal que la velocidad en la cual se acumulan los conteos en el roadmeter del RTRRMS debe ser lo suficientemente constantes mientras se está recorriendo la sección.

Un RTRRMS responde diferentemente a una carretera con uniformidad y rugosidad moderada que a una carretera que es liso sobre la mitad su longitud y rugoso sobre la otra mitad. Si un RTRRMS two-track está siendo calibrada, entonces la rugosidad también debe ser uniforme a través de las wheeltracks.

c) **Aproximación.** Recordar que los vehículos siempre responden a la carretera después de haber pasado sobre ella, y que la medida en un lugar es en cierto modo el resultado inmediato de la superficie que

precede el lugar. Por lo tanto, se debe evitar los lugares que presentan un carácter de rugosidad diferente en 50 mm de aproximación del lugar.

d) **Geometría.** Los lugares de calibración deben preferentemente estar en secciones tangentes a la carretera. Solamente en circunstancias excepcionales debe incluso aceptarse una ligera curvatura. La carretera no necesita estar nivelada, pero no debe haber ningún cambio notable en calidad hacia adelante o inmediatamente antes del lugar, como la transición de la calidad puede afectar la medida del RTRRMS. Las calidades ligeras facilitan también el mantenimiento constante de la velocidad de prueba, y reduce el esfuerzo necesario par medir manualmente el perfil con nivel y varilla.

e) **Distribución de rugosidades entre los lugares.** Para reducir el error de calibración (sección 1.3.2), cada nivel de rugosidad de interés debe ser representado aproximadamente igual en la calibración. La Tabla 1, en el cual se mostró los requerimientos de exactitud en la



sección 2, muestra siete rangos de rugosidad. Cada uno de estos rangos deben ser igualmente representados para los lugares de calibración, si ellos serán incluidos en el proyecto. La Tabla 2 muestra los requerimientos de distribución de rugosidad: un mínimo de dos lugares por cada rango que será abarcado en el proyecto. Cuando más de dos lugares de cada nivel de rugosidad son utilizados, los lugares adicionales deben ser seleccionados para mantener la distribución uniforme entre los niveles de rugosidad. En ningún momento debe el número de lugares ser "representados por la mayoría" y "representados por la minoría" en niveles de rugosidad que difieren por más de uno.

La Fig. 1 (sección 1) y las Fig. 6 - 7 (y acompañado el texto en la sección 4) pueden ser de ayuda para determinar los rangos de rugosidad aproximados antes de la calibración. Obsérvese que los siete niveles de rugosidad de la Tabla 1 abarcan extremadamente un amplio rango de calidad de carretera. Lo más uniforme

Tabla 2. Resumen de Condiciones de los RTRRMS para los lugares de calibración.

	Tipo RTRRMS	
	Two Track	Single Track
Numero mínimo de lugares	8	12
Número recomendado de lugares para cada nivel de rugosidad abarcado por la calibración (ver Tabla 1 para las definiciones de los siete niveles de rugosidad)	2	3
Máxima variación en el número de lugares representando cada nivel de rugosidad (es decir, los lugares deben ser distribuidos uniformemente entre los diferentes niveles de rugosidad)	1	1
Mínima longitud del lugar *	200 m	200 m
Variación aceptable en la longitud del lugar* (todos los lugares deben tener la misma longitud)	0	0
Longitud total recomendada (longitud del lugar × número de lugares)	4.5 km	6.0 km
Número recomendado de medidas repetidas RTRRMS por lugar (L = longitud en metros)	1000/L	1000/L
Mínima distancia de aproximación por lugar (El RTRRMS debe llevarse para acelerar antes de entrar en el área de aproximación)	50 m	50 m

\* En la práctica, puede ser a veces difícil encontrar lugares homogéneos extensos en caminos muy rugosos no pavimentados. es mejor incluir lugares homogéneos más cortos para omitir lugares de calibración de rugosidades elevadas.

se aplica solamente a carreteras de muy alta calidad y a superficies de pista de aterrizaje; mientras que los más ásperos de las dos categorías se aplican solamente a las carreteras rugosas no pavimentadas.

f) **Número y longitud de los lugares de prueba.** Para que la ecuación de la calibración sea representativa, debe basarse en una cantidad de datos de prueba suficientes. La Tabla 2 muestra los requerimientos mínimos concernientes al número de lugares de prueba y su longitudes.

Observar que es imposible diseñar una calibración válida que es "mínima" en cada consideración abarcado por la tabla (sólo escasamente se encuentra cada condición).

Por ejemplo, si el proyecto abarca seis de los siete niveles de rugosidad, entonces un mínimo de 12 sitios son requeridos (dos por nivel de rugosidad), y si solamente 12 sitios son utilizados, deben ser por lo menos de 375 m de largo ( $4500\text{m}/12 \text{ sitios} = 375 \text{ m/sitio}$ ). Alternativamente podrían utilizarse 23 secciones de 200 m de largo cada una.

---

Puede obtenerse una mejor exactitud aumentando la longitud total sobre lo mostrado en la tabla. Esto puede ser realizado, ya sea utilizando lugares más grandes o usando más lugares de una longitud dada. En la actualidad, sin embargo la exactitud total, en gran parte se limita por la reproducibilidad del RTRRMS, tal que los requerimientos de calibración establecen al error de calibración, que es en la mayoría de los casos insignificante. La principal ventaja de los lugares más largos sería reducir la necesidad de repetir las medidas con RTRRMS durante la calibración, como se describe en la sección 1.3.1. Esto es recomendable si se tiene disponibilidad de un perfilómetro de alta velocidad par establecer los valores de referencia del IRI.

Es necesario que la longitud del lugar de prueba se mantenga constante durante la calibración, pero esta restricción no se aplica a las rutinas de medición de la rugosidad de la carretera. Cuando el IRI del lugar de calibración se mide con un nivel y varilla, es natural seleccionar lugares cortos para reducir el esfuerzo

---

manual. Sin embargo, la calibración es válida para cualquier longitud de carretera teniendo una homogeneidad razonable.

- g) **Identificación de las Wheeltracks.** Para la calibración de un RTRRMS las wheeltracks deben ser identificadas con la finalidad de asegurar que las llantas del RTRRMS recorran las mismas líneas a lo largo de la carretera, a medida que se mide con la varilla y el nivel. Para un RTRRMS single-track, solamente es necesario marcar las wheeltracks recorridas. Para un RTRRMS two-tracks, deben marcarse ambas wheeltracks recorridos por el vehículo, y el espacio entre las marcas de las wheeltracks debe igualar al espacio entre los neumáticos en el eje con el instrumento del roadmeter. Una wheeltrack seleccionada para la calibración de un RTRRMS no debe tener ningún rasgo distinguido de rugosidad en los 40m precedidos a la wheeltrack, pero cuando estos afecten la medida del RTRRMS, no será reflejado en la medida del IRI. Los puntos de partida, los puntos de llegada, y la localización lateral
-

deben estar claramente marcados para asegurar que la cuadrilla de investigación realice medidas correctas del perfil, y para que el conductor del RTRRMS pueda orientar el RTRRMS correctamente.

#### 3.2.4. Determinación de los lugares de calibración del IRI.

Los lugares de calibración del IRI son determinados obteniendo las medidas de los perfiles de los lugares de calibración, ya sea con un método de Clase 1 o con un método de Clase 2 y luego calculando los respectivos valores para el IRI, tal como se describe en la sección 2.

a) Frecuencia de medida. La medida de IRI en superficies de calibración pavimentadas puede necesitar ser repetida periódicamente, particularmente si el proyecto cubre un largo periodo de tiempo. La frecuencia necesaria para repetir las medidas con un método de Clase 1 o Clase 2 dependen de las condiciones locales y los requerimientos de exactitud del proyecto.

Para carreteras pavimentadas que no están sujetas a

tráficos pesados o a cambios bruscos de estación (clima), el IRI puede cambiar lentamente de manera que solamente sea necesario realizar medidas repetidas cada año. Para carreteras no pavimentadas, la rugosidad es sensible a las condiciones del medio ambiente, por lo que puede variar en un tiempo corto. Si hay lluvia, cambios significativos en la humedad o temperatura, o tráfico en el lugar, su rugosidad puede variar en materia de semanas, días, o incluso horas. Por consiguiente, deben planificarse calibraciones que involucren carreteras no pavimentadas de tal manera que el RTRMS pueda recorrer encima de los lugares no pavimentados aproximadamente en el mismo momento en que estos son medidos mediante métodos perfilométricos. Naturalmente, cuando los lugares de calibración son expuestos a cualquier mantenimiento. Los valores del IRI son afectados, y las mediciones anteriores no son largamente válidas para futuras calibraciones.

b) **Cambio de los lugares de calibración.** Cuando los valores del IRI de un lugar de la carretera son cambiados, estos lugares no pueden ser usados para futuras calibraciones, hasta que se les establezca su nuevo valor del IRI. Técnicamente no interesa si el lugar antiguo es re-medido, o se selecciona un nuevo lugar. Dado que la práctica normal es la restauración de la "peor" las carreteras, se esperaría que en las carreteras que presentan alguna "rugosidad", se fijen lugares de calibración para el mantenimiento durante la duración de un estudio largo. Con tal de que puedan encontrarse sitios alternativos que presente una rugosidad similar, las rutinas de calibración del RTRRMS pueden continuar. Siempre que una medida del IRI pueda ser obtenida de un lugar de calibración, el "mejor" lugar (desde el punto de vista de longitud, geometría, rugosidad, situación, y probabilidad de permanecer inalterado durante el tiempo más largo) debe ser seleccionado. A menos que se desee supervisar ciertos cambios de rugosidad en los lugares de



calibración como una parte del proyecto, no hay ventaja técnica en re-seleccionar rutinariamente los mismos lugares.

### 3.2.5. Compensación para la velocidad no normalizada.

Puede haber ocasiones en un proyecto de inspección de rugosidad donde no es posible obtener las medidas de rugosidad a la velocidad estándar de 80 km/h. Puede requerirse una velocidad baja debido a la alta densidad de tráfico local, geometría restrictiva, o altos niveles de rugosidad que estén más allá del rango de operación de un RTRRMS en particular. En estos casos, se recomienda una velocidad de 50 km/h como una alternativa; también puede usarse una velocidad de 32 km/h, pero deben evitarse menores velocidades debido a que la medida de rugosidad de ARS puede llegar ser afectada considerablemente por las propiedades de envolvimiento de los neumáticos usados en el RTRRMS.

Posteriormente el practicante se encarga de desarrollar el procedimiento de conversión de velocidad para interpretar las medidas del RTRRMS al IRI, realizadas a una velocidad menor. La

velocidad del vehículo tiene un efecto complejo sobre la rugosidad observada de una carretera que muy sutilmente influencia en como un RTRRMS debe ser calibrado y utilizado. Puede observarse que en el rango de velocidad de 50 - 80 km/h, la rugosidad ARS algunas veces es insensible a la velocidad, el cual es conveniente en el sentido que reduce los errores en las medidas normalizadas, levantando las variaciones de menor velocidad durante la prueba. Sin embargo, las mediciones de rugosidad hechas intencionalmente en diferentes pruebas de velocidad que la estándar (80 km/h) requieren el uso de una calibración diferente. Se disponen de dos métodos básicos para los procedimientos de calibración/conversión.

- a) **Calibración directa para velocidades no-estándar (32 o 50 km/h).** Este método es el más usado. La calibración es realizada como se describió anteriormente, con la única diferencia en el procedimiento de operación del RTRRMS a la velocidad no-normalizada poniéndose en correlación directa con el IRI. Esta es una calibración "por velocidad".

Cuando es utilizada una velocidad baja como 32 km/h, la reproducibilidad asociada con el RTRRMS puede variar ligeramente, y la calibración obtenida puede ser específica para el tipo de superficie. Mientras una sola calibración puede producir una exactitud suficiente sobre varios tipos de superficie, puede utilizarse una velocidad de 80 km/h; cuando se usan velocidades reducidas pueden presentarse errores sistemáticos de calibración en algunos tipos de superficies, esto debido a que el RTRRMS percibe bandas de ondas diferentes en las dos velocidades.

b) **Correlación de las medidas ARS realizadas a diferentes velocidades.** Este es un método alternativo que involucra una conversión de dos pasos. Tiene más potencial para el error, y debe por lo tanto ser utilizado únicamente cuando no sea posible emplear el método anterior.

Primero, se obtiene una relación de correlación entre las medidas del RTRRMS a la velocidad no-estándar y a los 80 km/h ejecutando pruebas con el RTRRMS a las

dos velocidades en varios lugares. Pueden ser utilizados los lugares de calibración, aunque pueden ser incluidos otros lugares representativos. Esto no implica una cantidad de esfuerzo adicional, debido a que no se requiere la medición del perfil.

Posteriormente se usan las mediciones realizadas a la velocidad no-estándar para estimar los valores que habrían sido obtenidos a la velocidad de 80 km/h. Esta estimación de los valores a los 80km/h es posteriormente usado con la ecuación de calibración particular del RTRRMS para obtener el IRI.

Observe que el rango de rugosidad abarcado por este segundo método, no necesita abarcar el rango de rugosidad del proyecto completo, pero si solamente el rango de rugosidad sobre el cual son necesarias las conversiones de velocidad. Sin embargo, los requerimientos mínimos de la Tabla 2, aún se aplican, significando que al menos tres niveles de rugosidad pueden ser incluidos.

Este segundo método es menos exacto que el primero, y puede resultar en un error de calibración, debido al uso de las dos ecuaciones de regresión.

### 3.3 Operación y procedimientos del control de prueba.

Para asegurar que los resultados obtenidos sean significativos, tiene que seguirse un procedimiento fijo de tal manera que sea posible realizar en cualquier momento una serie de mediciones. El procedimiento debe asegurar en efecto que se está realizando una calibración válida, y esta función puede ser comprobada por la vía de pruebas de control. Los diagramas de la Fig. 4 muestran la lógica que debe seguirse en los procedimientos. Como se indica en la figura, la operación incluye más que un simple cumplimiento del ritmo: incluye la operación del equipo, la calibración del equipo, y el monitoreo constante del equipo por daño y cambios. Los requerimientos exactos y seguidos en un proyecto serían formulados con los requerimientos de eficiencia y exactitud del proyecto en mente. En esta sección se describe algunos de los factores a ser considerados en los procedimientos de rutina.

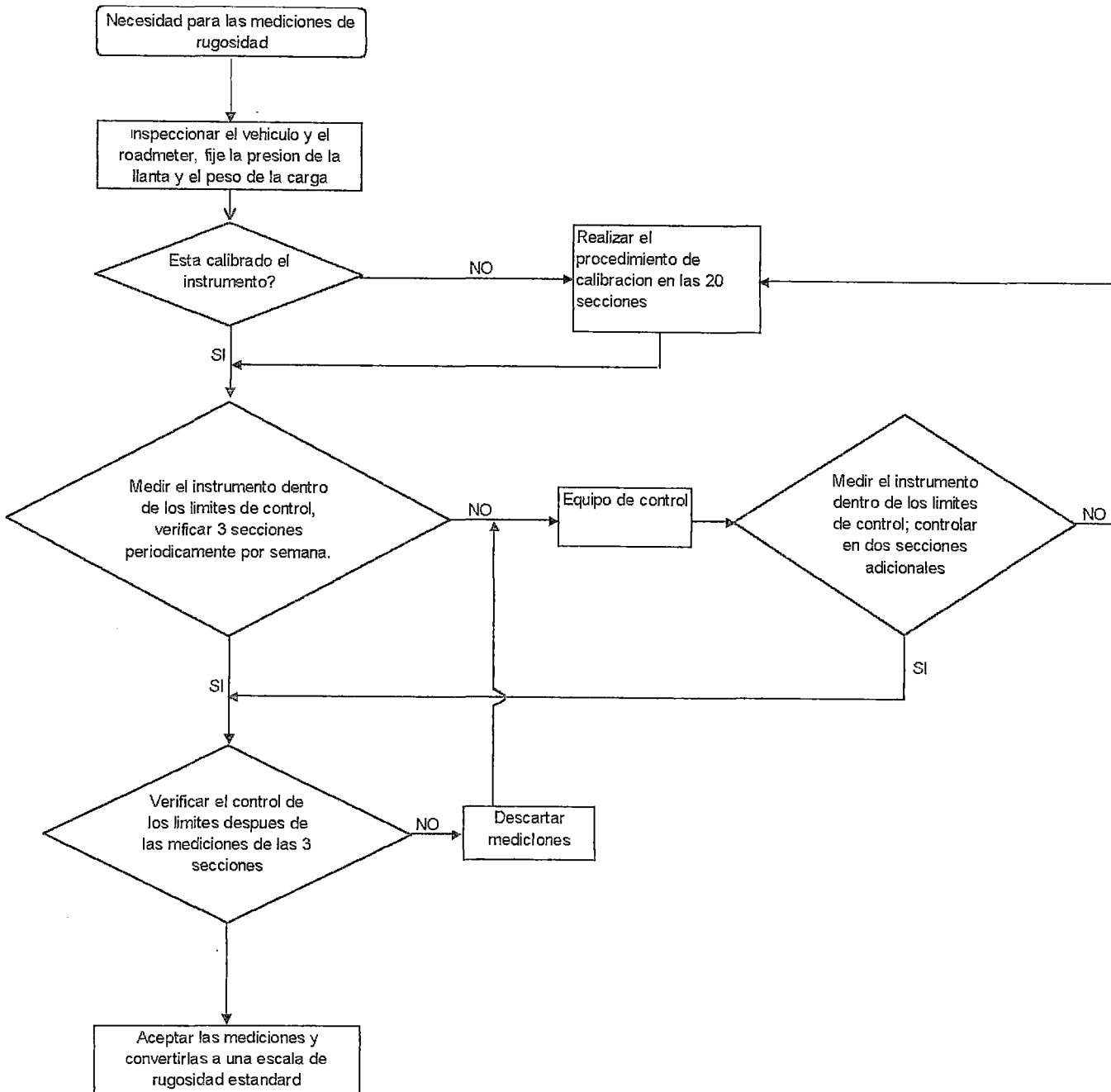


Fig. 4. Diagrama de flujo para la operación del RTRMS

### 3.3.1. Operación del vehículo y roadmeter.

Para obtener medidas de reproducibilidad se necesitan seguir procedimientos de operación estándar.

a) **Personal.** Se recomienda dos operadores. El conductor es responsable de mantener la velocidad de prueba y la alineación del vehículo sobre las *wheeltracks*. El segundo operador fija el roadmeter en el inicio de una sección de prueba, registra las lecturas de roadmeter en los intervalos pre-determinados, y registra la ubicación y los resultados marcados en la velocidad de prueba. El peso combinado de los dos operadores debe estar dentro de los 10 kg de aquellos que calibraron el vehículo.

Los sistemas automatizados de roadmeter pueden permitir la operación por el conductor. Sin embargo, el registro de datos y las observaciones pueden resultar dificultosos mientras se está conduciendo.

Una operación de una-persona probablemente es mejor para proyectos que involucran pocas medidas, donde la

---

pérdida de tiempo en parar el vehículo para registrar y organizar las notas de campo, no son un problema.

**b) Inspección.** Antes de la medición, el vehículo debe ser inspeccionado visualmente para asegurar que esté funcionando correctamente. Los enlaces del roadmeter, las presiones de los neumáticos, y la limpieza de las ruedas necesitan ser revisadas a diario en las paradas de descanso. Durante el invierno, debe mantenerse en revisión la acumulación de hielo y nieve en el vehículo. Cuando se opera en condiciones de cubrimiento de lodo, esta acumulación de lodo en las ruedas puede ocasionar problemas.

**c) Tiempo.** No deben hacerse medidas durante lluvia pesada o fuertes, o vientos impetuosos. No deben realizarse medidas sobre carreteras no pavimentadas en las que la superficie es muy húmeda o resbaladiza, debido al efecto del lodo en las ruedas y el efecto de enfriamiento del agua en los amortiguadores de choque.



d) **Control de velocidad.** Es importante que la prueba sea recorrida dentro de un 5% de una velocidad constante, ya que los resultados de rugosidad dependen de la velocidad. El vehículo antes del inicio de la sección de prueba debe ser conducido a una cierta velocidad, durante varios segundos (100m). Generalmente se adopta la velocidad estándar de 80 km/h.

e) **Posicionamiento lateral.** El vehículo debe recorrer consistentemente en las wheeltracks. Hasta donde sea factible, deben evitarse los baches ya que estos pueden dañar el roadmeter e invalidar la calibración. Cuando los baches son incluidos en los caminos de medición, su presencia y su ligera descripción deben ser observados.

f) **Pre calentamiento.** Las paradas de descanso deben mantenerse a un mínimo, y debe permitirse un tiempo de pre calentamiento adecuado del vehículo de 5 a 10 minutos a la velocidad de prueba antes de dar inicio a la prueba. Periodos más largos de pre calentamiento son necesarios cuando se va a realizar mediciones sobre rugosidades que estén excediendo los 8 m/km o durante

el frío o tiempo húmedo. (Para una orientación más específica sobre el tiempo de precalentamiento, observar la sección 3.3.3.)

### 3.3.2. Procesamiento de datos.

El número del roadmeter debe ser convertido a una forma de ARS que sea conveniente para aquel roadmeter en particular, tal como "conteos/km". "pulg/milla", o "mm/km". La ARS se calcula dividiendo los conteos acumulados por el roadmeter, mientras que sobre la sección de prueba para la longitud de la sección. Si la velocidad de prueba difiere de la normalizada, entonces esto también debe ser observado. (Cuando los datos son tomados en varias velocidades, una convención conveniente para indicar la velocidad es añadir una subscripción a la ARS, por ejemplo,  $ARS_{80} = 3.2$ ,  $ARS_{50} = 3.8$ , etc.)

El resultado calibrado se obtiene aplicando la ecuación de calibración (de la Fig. 2).

$$E[IRI] = A + B * ARS + C * ARS^2$$

El valor de  $E[IRI]$  es el estimado de RTRRMS del IRI en la sección medida.

Cuando se han realizado medidas repetidas, se recomienda el promedio sencillo de las medidas de la ARS, antes de la conversión al IRI.

La Fig. 5 muestra una forma de combinación de campo y hoja de trabajo que puede ser usado para ayudar a convertir las lecturas desde el roadmeter hasta las medidas de rugosidad calibrada. En este ejemplo, el procedimiento requiere tres procedimientos repetitivos en cada lugar. La ecuación de calibración mostrada en la parte superior de la figura, también se traza para la conversión gráfica al IRI.

### 3.3.3. Prueba de sensibilidad de temperatura.

La sensibilidad de un RTRRMS a los cambios de rugosidad varía con el "precalentamiento" de los componentes del vehículo cuando cruzan carreteras rugosas. Esta prueba debe ser dirigida para cada RTRRMS cuando este es usado primero para determinar

EVALUACIÓN SUPERFICIAL DE PAVIMENTOS - APLICACION DEL INDICE INTERNACIONAL DE RUGOSIDAD

Unidades RTRRMS: (Cont/km)  
 Fecha :

Conductor : \_\_\_\_\_ Operador : \_\_\_\_\_  
 Tiempo : \_\_\_\_\_

COMENTARIOS:

Lugar	Descripcion	Velocidad (km/h)	Longitud (L) (km)	Roadmeter - 3 velocid.				ARS (conteos/km) S/3L	IRI (m/km) eq. L
				1	2	3	S		
180.a		80	0.5	6	6	7	19	12.67	2.1
180.b		"	0.5	9	8	9	26	17.33	2.7
180.c		"	0.5	12	12	15	39	26.00	3.8
180.d		"	0.5	10	9	10	29	19.33	3.0
200		"	1.0	32	33	<del>64</del>	126	<del>                    </del>	<del>                    </del>
"		"	1.0	32	33	30	95	31.67	4.6
		"	"				0		
							0		
							0		
							0		

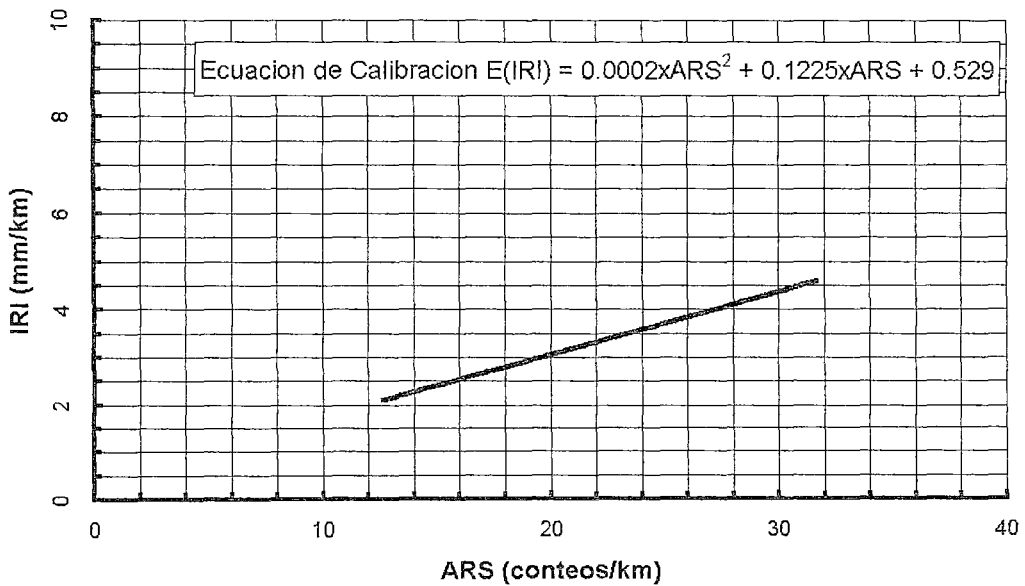


Fig. 5: Ejemplo de pre-impresión de campo medidos y registrados por ARS, convertidos IRI

la cantidad de tiempo de precalentamiento que debe ser permitido para la operación diaria, y también para identificar rápidamente los vehículos inadecuadamente sensibles a la temperatura y además inadecuados para el RTRRMS.

Debe encontrarse una sección de carretera que esté a un nivel más rugoso anticipado en el estudio. Este debe tener una longitud mínima requerida para un lugar de calibración, tal como está definido en la Tabla 2. (El lugar de calibración más rugoso es en realidad una buena ubicación para esta prueba.)

El vehículo debe instrumentarse con un roadmeter y llevar al lugar seleccionado, donde esté permitido enfriar por debajo de un periodo de una a dos horas. El vehículo puede considerarse "enfriado" 15 minutos después de que los amortiguadores y neumáticos ya no se sienten calientes al contacto.

Cuando el vehículo se ha enfriado, "medir" la rugosidad del lugar de prueba del precalentamiento a una velocidad de prueba constante. Registrar el tiempo y la medida del roadmeter. La

conversión a la escala del IRI no es necesaria, como el interés aquí está en el cambio relativo obtenido, inmediatamente se repite la prueba, registrando de nuevo las lecturas del roadmeter y del tiempo. Se continua hasta que las lecturas del roadmeter alcancen un nivel constante en por lo menos cinco corridas consecutivas.

Para alcanzar las lecturas estables siempre debe usarse un tiempo mínimo de precalentamiento. Si la diferencia entre la lectura inicial y la lectura final es mas del 30%, deben de considerarse amortiguadores de choque para el vehículo.

#### 3.3.4. Pruebas de control de tiempo para la estabilidad de RTRRMS.

Los lugares de control son secciones de carretera que se miden sobre una base diaria o semanal para determinar si el RTRRMS a cambiado desde el ultimo control. También pueden utilizarse para determinar y/o monitorear la repetibilidad del RTRRMS y su sensibilidad a las condiciones ambientales. Un ejemplo de cómo la prueba de control puede ser integrado en el procedimiento de operación establecido para un proyecto se

muestra en la Fig. 4. Si las mediciones en las secciones de control no caen dentro de los límites establecidos por el proyecto, entonces pueden revisarse los defectos del RTRRMS y ser corregidos. Se requiere una nueva calibración si al menos puede ser encontrado una razón sencilla para el cambio y corregirlo. Si se determina que los vehículos (o roadmeter) han cambiado, entonces todos los datos coleccionados por el RTRRMS desde la última revisión de control deben de ser descartados.

- a) **Objetivos de la prueba de control.** Las pruebas de control son utilizadas principalmente para tres propósitos:
- 1) Detectar cambios graduales en el RTRRMS que ocasionan distorsiones en los datos.
  - 2) Detectar cambios en la repetibilidad del RTRRMS, el cual resulta en un mayor error de las medidas individuales.
  - 3) Determinar si las condiciones ambientales (lluvia, temperatura, viento, etc.) tienen un impacto en las mediciones.

Las pruebas de control son muchos más sencillas que la prueba de calibración descrita en la sección 4.2, con la finalidad que puedan ser aplicados mas frecuentemente. Son utilizados únicamente para determinar si el RTRRMS a cambiado, y no debe ser utilizados para intentar compensar o calibrar el RTRRMS. De esta manera, el valor de referencia del IRI para un lugar de prueba puede ser proporcionado por el RTRRMS inmediatamente después de una calibración de modo que no se requiere la medición del perfil.

b) **Numero de lugares.** Por lo menos dos lugares de control deben ser usados en cada revisión, abarcando un lugar "liso" y un lugar "rugoso". Esto es por que algunos errores afectan solamente las mediciones rugosas y otros afectan solamente las mediciones medias lisas. El RTRRMS puede ser periódicamente revisado comparando las mediciones a los valores de referencia registrados, y comparando a la variabilidad de mediciones obtenidas en revisiones anteriores.



c) **Ubicación de lugares.** Localizando los lugares entre la ubicación del almacenamiento de otros RTRRMS y las carreteras que son medidas como parte del proyecto, el RTRRMS puede ser revisado diariamente con poco tiempo o esfuerzo. Cuando un RTRRMS se opera sobre una amplia área geográfica, deben de ser identificados las secciones de control convenientes, de modo que los lugares estén disponibles para revisar el RTRRMS cada día.

Tal como los lugares de control, se asume una rugosidad constante con el tiempo y debe tomarse precauciones para asegurar que esta suposición sea razonable. Deben ser porciones de carreteras pavimentadas que son ligeramente recorridas y no son programadas para cualquier mantenimiento sobre el curso del proyecto.

d) **Longitud del lugar.** La longitud para los lugares de control debe de ser consistente con las longitudes de secciones de carretera normalmente medidas en el proyecto. Si el principal interés es solamente la detección de cambios graduales en la sensibilidad del

---

RTRRMS, entonces son preferibles los lugares de control, de 1.5-5km. Pueden usarse secciones más cortas, pero es más difícil de discernir los cambios en la conducta del RTRRMS debido a que la repetibilidad del RTRRMS sufre en las secciones más cortas. En las secciones de 1.6 km de largo, las variaciones normales deben de estar dentro de  $\pm 2\%$ , permitiendo la detección de cambios mas pequeños en el orden de  $\pm 5\%$  en el RTRRMS. En las secciones de control de 320m de largo, las variaciones normales pueden ser de  $\pm 5\%$ , con cambios de  $\pm 10\%$  indicando que el RTRRMS a cambiado.

e) **Medidas repetidas.** Las medidas pueden ser repetidas para discernir los cambios más pequeños en el rendimiento del RTRRMS. Esto es principalmente útil cuando se emplean lugares de control mas cortos (1 km o menos de longitud) y cuando la repetibilidad del RTRRMS esta siendo controlada.

f) **Identificación del lugar.** El inicio y final de los puntos del lugar deben de ser visibles identificables de hitos o marcas semi-permanentes para ese propósito.

---

Inmediatamente después de la calibración todos los lugares de control deben de ser corregidos, exactamente como si serian cualesquiera sección de carretera de prueba. (por ejemplo, velocidad constante, "precalentamiento" del RTRRMS) las medidas deben ser registradas para una referencia futura.

- g) Niveles de aceptación. Las medidas del lugar de control obtenidas con un RTRRMS siempre deben de caer dentro de un rango aceptable donde este rango es determinado por experiencias anteriores con la unidad y por los objetivos del proyecto. Debe de mantenerse en mente que los limites de control tolerados en las secciones de control de prueba en el nivel general de exactitud, puede ser asociado con el sistema del RTRRMS. El rango aceptable para un RTRRMS en particular debe basarse en las medidas iniciales del lugar de control realizado con el RTRRMS indicado. Por lo menos tres aproximaciones pueden ser tomadas para especificar los niveles mínimos y máximos de la ARS que son aceptables para un RTRRMS dado. Usando la
-

notación en la que la  $ARS$  es el valor actual y la  $ARS_{inic}$  es el valor inicial obtenido cuando el lugar de control fue medido primero, estos métodos son:

- 1) Rango de porcentaje, por ejemplo,  $ARS = ARS_{inic} \pm 5\%$
- 2) Rango de decibel (o incremento log), por ejemplo,  $ARS = ARS_{inic} \pm 1dB$ , o  $\log(ARS) = \log(ARS_{inic}) \pm 0.05\log(ARS)$
- 3) Rango  $ARS$  lineal, por ejemplo,  $ARS = ARS_{inic} \pm 5$  "conteos/km"

Los dos primeros son aproximadamente equivalentes en efecto, y son apropiados cuando el error de medición es aproximadamente proporcional a la rugosidad. El tercero es más apropiado cuando el error de medición es equitativamente constante para un rango total de rugosidad abarcado por el proyecto. Cuando el rango de interés abarca principalmente carreteras pavimentadas, y en particular, carreteras pavimentadas más lisas como carreteras principales, entonces es recomendable la tercera forma. Cuando el rango abarca carreteras no pavimentadas o carreteras pavimentadas

extremadamente rugosas, es recomendable una de las dos primeras formas.

h) **Reporte de datos.** Así como con otras áreas de colección de datos, la forma de campo pre-imprimida puede ayudar a reducir el error humano y detectar tendencias cuando estos empiezan a ocurrir.

i) **Frecuencia de prueba.** Existe un intercambio implicado en establecer la frecuencia con la cual las pruebas de control sean realizadas: pruebas de control frecuente ocupan el tiempo que podría sin embargo ser utilizado en obtener datos. Aún, cuando los problemas son descubiertos de una prueba de control, menos datos son descartados si la prueba anterior fue realizada recientemente. Esencialmente, las pruebas de control deben ser repetidas con una frecuencia suficiente, de modo que, los datos deben ser descartados, la pérdida en el tiempo no será demasiado severo para el proyecto.

**CAPITULO IV**  
**ESTIMACIÓN DEL IRI POR**  
**EVALUACION SUBJETIVA (CLASE 4)**

## ESTIMACION DEL IRI POR EVALUACIÓN SUBJETIVA

### (CLASE 4)

#### 4.1. MÉTODO DE EVALUACIÓN DESCRIPTIVA.

Cuando los métodos de clase 1,2 ó 3 para la medición de rugosidad no son factibles, las estimaciones de la rugosidad en la escala IRI pueden ser realizados subjetivamente. Esta aproximación puede ser utilizada en las etapas iniciales de un proyecto para los valores aproximados de la rugosidad, o en situaciones donde un RTRRMS no es disponible. Las descripciones utilizadas también pueden servir para familiarizar al practicante con la escala del IRI, ayudando a visualizar el significado de los valores IRI y las condiciones de la carretera asociadas con ella.

##### 4.1.1. Método.

El método proporciona descripciones adjetivas (y algo cuantitativo) de las condiciones superficiales de la carretera y sensaciones de paseo representativas para varios puntos en la escala IRI. Estas descripciones son proporcionadas por un observador que recorre en un vehículo y ocasionalmente se

---

detiene para revisar la carretera, reconocer las condiciones y estimar la rugosidad. Pueden usarse fotografías eficazmente para apoyar el método, pero estas también pueden ser engañosas debido a que tienden a acentuar defectos visuales y minimizar la forma o variaciones del perfil que se relacionan estrechamente con la rugosidad.

Un método de este tipo no ha sido rigurosamente desarrollado y aprobado, incluso el suceso experimentado con capacidad subjetiva en el IRRE recomienda que los valores del IRI pueden ser calculados con una exactitud que proporciona algunas de las condiciones de la carretera en mano. Por lo tanto la dirección preliminar se mantiene para esta aproximación

La exactitud del método generalmente varia con la experiencia del observador. Los observadores experimentados generalmente calculan la rugosidad con una precisión dentro de 2 a 3m/km, o aproximadamente 30%. Las estimaciones del IRI son por lo tanto aproximadas y este método no debe ser utilizado cuando los medios mecánicos sean disponibles.

---



#### 4.1.2. Descripción de la escala del IRI.

Las figuras 6 y 7 proporcionan una serie de descriptores de los niveles seleccionados en la escala de rugosidad.

La figura 6 se aplica a las superficies de concreto asfáltico o tipos de tratamientos superficial, mientras que la figura 7 se aplica a las superficies de tierra y grava. Estos describen las categorías de defectos superficiales de la carretera, sensación de paseo, y una velocidad de recorrido típico asociado con cada nivel de rugosidad dado. Se espera que el observador use todos estos, para hacer una valoración objetiva de la rugosidad de la carretera mientras está recorriendo a lo largo de ella. La descripción mas objetiva relaciona a los defectos superficiales los cuales son expresados con un rango de tolerancia bajo un borde recto de 3m, esto solamente puede ser evaluado por una inspección del caminante.

Observe que las descripciones del IRI asociado abarcan rangos de condiciones de cada nivel. Esto es necesario debido a

que las combinaciones de defectos y severidades varían ampliamente, y debido a que los pavimentos con un mismo nivel de rugosidad pueden tener apariencias muy diferentes.

Los rangos de escala en las figuras alcanzan desde 0 hasta 24m/km, como este es el rango que ha sido abarcado en el IRRE y en otros proyectos. La escala real puede continuar incluso a niveles mayores aunque la rugosidad es tan severa que el recorrido de las carreteras es casi imposible. Dentro de las descripciones de niveles de referencia (benchmark) de rugosidad, como se realizó en las dos figuras, es útil emplear los siguientes descriptores:

- a) **Categorías típicas de carretera.** Las carreteras son en primer lugar divididas en dos categorías de pavimentadas y no pavimentadas debido a las diferencias entre las características de rugosidad en estos dos tipos. Las descripciones además, se refieren a la calidad de la forma (por ejemplo, perfil longitudinal) el cual puede ser esperado para cada tipo y calidad de construcción. Incluyen la calidad de forma después de la construcción, y la magnitud y tipos de deterioro.

**b) Formas de defectos superficiales.** Es importante

comprender que la rugosidad sólo está relacionada a los cambios verticales en el nivel de la carretera sobre los wheelpaths del vehículo, y que la apariencia superficial de la carretera a veces puede resultar engañosa. Baches en la superficie, o una textura superficial áspera pueden resultar en un ruido fuerte del neumático llevando a un error al observador para sobreestimar la rugosidad. Alternativamente, una superficie libre de defectos o un reciente resellamiento pueden despistar al observador para subestimar la rugosidad si la carretera es muy desigual. El observador debe por consiguiente adaptarse a las irregularidades de la superficie. Las características utilizadas para describir la forma de la superficie, son:

1) Depresiones: hondonadas en forma de disco las wheelpaths apareciendo en el lugar (por corolario, esto incluye los montecillos de similares dimensiones).

2) Arrugas: depresiones de cruce regularmente-espaciadas generalmente a través del ancho completo del

terreno con longitudes de onda en el rango de 0.7 a 3.0 m (también llamadas ondulaciones).

3) Baches: agujeros en la superficie originados por la desintegración y pérdida de material, con dimensiones de más de 250 mm de diámetro y 50mm de profundidad.

El tamaño es indicado por la máxima desviación bajo un borde recto de 3 m de largo, por ejemplo, 6 -20 mm/3 m, similar a una tolerancia de construcción. La frecuencia está dada por:

"ocasional" = 1 a 3 por 50 m en cualquier wheelpath

"moderado" = 3 a 5 por 50 m en cualquier wheelpath

"frecuente" = más de 5 por 50 m en cualquier wheelpath

c) Sensación de paseo. En las Figs. 6 y 7, el paseo cómodo es relativo a un carro sedan tamaño-medio con una suspensión regular de amortiguador de choque independiente. El recorrido varía de carro a carro, tantas descripciones más detalladas, generalmente no son transportables, pero un observador puede rápidamente llegar a ser "calibrado" por un vehículo

dato. La sensación del paseo puede describirse en los términos simples de las ondulaciones y movimientos abruptos experimentados por el observador a una velocidad relacionada al nivel de rugosidad que se define. Estas descripciones pueden ayudar considerablemente pero deben ser desarrollados para condiciones locales y tipos de vehículos.

d) Velocidad de viaje. Esto indica velocidades de recorridos comunes en seco, carreteras rectas sin congestión de tráfico, con consideraciones convenientes de cuidado para el vehículo y la comodidad de los ocupantes.

#### 4.1.3. Personal.

La selección de observadores debe hacerse de aquellos competentes para hacer estimaciones consistentes, legítimas de valuación; típicamente, éstos incluirán a los ingenieros profesionales, personal técnico, etc. Generalmente, solamente se emplea un solo observador, pero la exactitud del resultado puede ser mejorado por dos o tres personas.

#### 4.1.4. Calibración.

Para calibrar a la escala, el observador debe familiarizarse con las características sobresalientes de cada conjunto de descripciones anteriores. Esto podría denominarse una "calibración por descripción". La validez final de tal descripción depende de cuan bien estén unidas las descripciones a las características físicas de la superficie de la carretera.

Cuando sea posible, una valiosa introducción para el observador es manejar encima de unas secciones que cubren una gama amplia de rugosidades y para la cual el IRI se conoce de las medidas físicas. Si el vehículo a ser usado para el estudio es muy diferente en la wheelbase o las características de la suspensión de un automóvil sedán de pasajeros tamaño-medio, deben tomarse especial cuidado para regular las descripciones de paseo utilizadas. Preferentemente, esto debe ser realizado a través de "calibración" en unas secciones físicamente medidas. Alternativamente, puede hacerse por inspecciones de caminata y

una comparación cuidadosa de las medidas de forma con los descriptores.

#### 4.1.5. Inspección.

En las rutas que serán inspeccionadas, el conductor debe instruirse para viajar normalmente a 80 km/h en carreteras pavimentadas y a 50 km/h en carreteras no pavimentadas. A veces el observador puede requerir variar la velocidad para probar la capacidad de paseo con respecto a las descripciones de sensación de paseo. Debe realizarse un cálculo del IRI promedio en intervalos de 1.0 km (50 ó 70 segundos), aunque en rutas largas, uniformes, este intervalo pudiera extenderse a 2 km o 5 km que dependen de la exactitud y el detalle requerido por la inspección. Las paradas ocasionales para las mediciones del lugar son útiles. Tendrán que observarse la velocidad del vehículo, tipo de superficie y las condiciones del tiempo

#### 4.1.6. Procesamiento de datos.

Los cálculos individuales para las secciones pueden promediarse para determinar la rugosidad promedio para la ruta.

Si el rango de niveles de rugosidad es amplio, por 100% por ejemplo, entonces la ruta debe subdividirse nominalmente en segmentos homogéneos para el promedio.

#### 4.2. PANEL DE EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE RECORRIDO.

Se han ejecutado paneles de evaluación de la calidad de paseo en muchos lugares en el pasado. Los pasajeros observadores califican la calidad de paseo de las secciones de la carretera en una escala arbitraria de excelente a muy pobre (intransitable), cuantificándolo a menudo en una escala de 5 a 0. Generalmente, esto se une con el Índice de Serviciabilidad Presente (PSI) desarrollado en la Prueba de Carreteras de la AASHO o un Índice de Comodidad de Paseo. La escala de PSI está limitada en el hecho que se desarrolló para los caminos de calidad relativamente alta, comparado con algunas de las carreteras más pobres cubiertos en el IRRE y representativo de condiciones en países subdesarrollados. Así la escala del PSI, como clásicamente se usó en los estados Unidos, sólo cubre el extremo bajo de rugosidad de la escala del IRI. Los datos que relacionan el PSI al IRI y a otras



medidas de rugosidad objetivas son escasos e inconsistentes, debido en parte a los diferentes métodos que son usados por diferentes agencias para el cálculo del PSI. Algunas de las relaciones son lineales, mientras que otras no lo son. Un valor de PSI de 5 es definido como una superficie perfecta y es entonces equivalente a un 0 en la escala del IRI. Como la rugosidad aumenta, el IRI aumenta, y el PSI disminuye hasta 0 para una superficie totalmente intransitable.

La experiencia ha demostrado que los paneles de evaluación en países o regiones diferentes atribuyen evaluaciones extensamente diferentes a una rugosidad correspondiente dada, con sus expectativas de calidad de paseo. Así las escalas del panel de evaluaciones no son comparables a menos que estén fijos, y esta aproximación no clasifica como un método de Clase 4 a menos que se hagan provisiones específicas para fijar la escala a través de la calibración con respecto al IRI.

La ventaja potencial del método del panel de evaluaciones, es que las evaluaciones asignadas a las carreteras pueden ser

genuinamente representativas de la opinión subjetiva. Sin embargo para la mayoría de aplicaciones de datos de rugosidad, esta no es la principal prioridad. Generalmente es más deseable para usar una escala de rugosidad que tiene el mismo significado de año en año y de región a región. Aunque los paneles de evaluación de tiempo-estable tal como el IRI, el método es costoso e inexacto en comparación a los otros métodos disponibles. Entonces los paneles de evaluación no son recomendados para la obtención de medidas del IRI, ni para cualquier otra aplicación, aparte de los proyectos de investigación donde el público local y/o la opinión profesional es una variable de interés.

**RUGOSIDAD**  
(m/km IRI)

0		
2		Superficie de grava fina o de tierra recientemente perfilada con excelentes perfiles longitudinal y transversal (generalmente hallados en longitudes cortas)
4		Transitabilidad confortable hasta 80 - 100 km/h, percepción de ondulaciones o inclinaciones suaves. Depresiones despreciables (< 5mm / 3m). Sin baches.
6		
8		Transitabilidad confortable hasta 70 - 80 km/h, sin percepción de movimientos puntuales o brinco. Depresiones superficiales moderadas o baches superficiales (6 - 30 mm / 3m con frecuencias de 5 - 10 por cada 50 m). Corrugaciones moderadas (6 - 20 mm / 0.7 - 1.5m).
10		
12		Transitabilidad confortable a 50 km/h (6 40-70 km/h en secciones específicas). Depresiones transversales moderadas y frecuentes (20-40 mm/3-5 a frecuencias de 10-20 por cada 50 m), o depresiones o baches profundos ocasionales (40-80 mm/3m) con frecuencia menor de 5/50m). Corrugaciones fuertes (20 mm/ 0.7-1.5m)
14		
16		Transitabilidad confortable a 30-40 km/h. Depresiones transversales profundas frecuentes y/o baches (40-80 mm/1.5 m a frecuencia de 5-10 por 50 m), ocasionales depresiones muy profundas (80 mm/1.5 m ,con frecuencia menor de 5/50m)con otras depresiones superficiales. No es posible evitar todas las depresiones excepto las peores.
18		
20		
22		Transitabilidad confortable a 20-30 km/h. Velocidades mayores de 40-50 km/h pueden causar disconfort y posibles daños al vehículo. En un perfil general bueno, depresiones profundas frecuentes y/o baches (40-80 mm/1.5 m a frecuencias de 10-15/50m)y ocasionales depresiones muy profundas (80mm/0.6-2 m). En un perfil general pobre, defectos y depresiones moderadas frecuentes (superficie pobre de tierra.)
24		

Fig. 6. escala de Estimación de la Rugosidad para Caminos No Pavimentados con Superficies de Grava o de Tierra

## RUGOSIDAD (m/km IRI)

0		
2	Transitabilidad confortable a 120 km/h. Ondulaciones raramente perceptibles a 80 km/h en el rango de 1.3 a 1.8. no se notan depresiones, baches o corrugaciones las depresiones son < 2 mm/3 m. Asfalto típico de alta calidad: 1.4 a 2.3. tratamiento superficial de alta calidad: 2.0 a 3.0.	
4	Transitabilidad confortable hasta 100 - 120 km/h. A 80 km/h se puede sentir movimientos moderadamente perceptibles o grandes ondulaciones. Superficies defectuosas: con depresiones ocasionales, parches o baches (5 - 15 mm/3m ó 10 - 20 mm/5 m, con frecuencias de 2 - 1 por 50m) o muchos baches superficiales (por ejemplo, tratamientos superficiales con peladuras extensas).	
6	Superficies sin defectos: corrugaciones moderadas o grandes ondulaciones.	
8	Transitabilidad confortable hasta 70 - 90 km/h. Movimientos fuertemente perceptibles e inclinaciones. Usualmente asociados con defectos moderados y depresiones o baches (15 - 20 mm/3 m ó 20 - 40 mm/5 m con frecuencias de 5 - 3 / 50m) o baches ocasionales (3 - 1 / 50m) superficies sin defectos: fuertes ondulaciones o corrugaciones.	
10	Transitabilidad confortable hasta 50 - 60 km/h. Movimientos puntuales o balanceos frecuentes asociados con defectos severos: depresiones profundas frecuentes y parches (20 - 40 mm/3 m ó 40 - 80 mm/5 m, con frecuencia de 5 - 3 / 50m) o baches frecuentes (4 - 6 / 50 m) .	
12	Es necesario reducir la velocidad por debajo de 50 km/h. Muchas depresiones profundas, baches y desintegración severas (40 - 80 mm de profundidad con frecuencia de 8 -16 por 50m)	

Fig. 7. escala de estimación de la rugosidad para caminos pavimentados, con superficies de concreto asfáltico o tratamientos superficiales

**CAPITULO V**  
**EQUIPOS EMPLEADOS PARA LA**  
**MEDICION DE LA RUGOSIDAD**

## EQUIPOS EMPLEADOS PARA LA MEDICION DE RUGOSIDAD

### 5.1. MERLÍN (Machine for Evaluation Roughness using Low-cost Instrumentation).

#### 5.1.1. Introducción.

Debido a que en los países latinoamericanos la oportunidad de empleo de los rugosímetros aún sigue siendo esporádica, lo que no justifica muchas veces el mantenimiento de vehículos ad hoc destinados a la operación de equipos dinámicos y los costos de calibración relativamente altos, o que las redes a ser evaluadas no son de gran extensión, el MERLÍN constituye una buena alternativa, siempre y cuando sea resuelto el problema del bajo rendimiento (uso de métodos adecuados para la medición y cálculo), más aún cuando los resultados que proporciona son más exactos que los de cualquier tipo automatizado. El MERLÍN fue desarrollado por el Laboratorio Británico de Investigación de

Transportes y caminos (TRRL), para ser utilizado por los países en vías de desarrollo. Sus ventajas son:

- Facilidad para su construcción; pueden ser fabricados por los artesanos locales con partes que sean fácilmente disponibles. Los planos pueden ser obtenidos del TRL.
- Robusto; no requiere un cuidado especial en el manejo, aunque evidentemente no debe abusarse por esto.
- Fácilmente calibrado; utilizando un procedimiento sencillo.
- Fácilmente utilizado; el procedimiento de medición es sencillo y un operador puede rápidamente ser entrenado.
- Fácil mantenimiento; uno de sus atributos más importantes.

El MERLÍN puede ser usado ya sea para la medición de la rugosidad o bien para calibrar otros instrumentos "tipo respuesta" tal como el Bump Integrator (BI) montado en un vehículo.

La información más detallada de cómo la máquina trabaja se da en un reporte más reciente del TRL (Cundill 1991) y un mayor análisis de su operación y sensibilidad de longitud de onda, son dados en Cundill (1996). Las orientaciones para conducir y calibrar las mediciones de rugosidad de la carretera son dados por Sayers (1986).

### 5.1.2. Descripción general.

#### 5.1.2.1. Principio de operación.

La Fig. 8 ilustra como el MERLIN mide el desplazamiento vertical entre la superficie del camino y el punto medio de una línea imaginaria de longitud constante. El desplazamiento es conocido como "la desviación respecto a la cuerda promedio". El MERLIN tiene dos pies, separados uno de otro una distancia de 1.8 m, el cual se apoya en la superficie del camino cuya rugosidad será medida a lo largo de la wheeltrack. Un patín de prueba móvil se pone a media-vía sobre la superficie de camino entre los dos pies y el MERLIN mide la distancia vertical "y" entre la superficie del camino y el punto medio de una línea imaginaria de longitud constante que une la base de los dos pies. El resultado se registra



en un formato montado sobre la máquina, tomando medidas repetidas a lo largo de la huella de la rueda cuando se han completado las observaciones, se remueve el formato, en el cual se habrá generado un histograma. El "ancho" del histograma (D), expresado en milímetros representa la rugosidad en la escala del MERLÍN.

#### 5.1.2.2. Diseño.

La Fig. 9 muestra un esquema del MERLIN MKI. Consiste de:

- una viga horizontal de metal de aproximadamente 2 m de longitud
- una rueda de bicicleta en la parte delantera acoplada a la viga por las horquillas delanteras de la bicicleta. La base de la llanta actúa como el pie delantero
- una pata metálica vertical acoplada a la parte trasera de la viga. Una pieza formada de metal en la base de la pata actúa como el pie delantero
- una pata central aproximadamente en la vía central a lo largo de la viga, que se extiende hacia abajo cerca de la superficie del camino

- un brazo móvil acoplado por un pivote al fondo (base) del centro de la pata. El brazo es recorrido para evitar el riesgo de tocar la superficie de carreteras muy rugosas
  - el patín de prueba, una pieza de metal formado como el pie posterior, acoplado a la parte baja del brazo móvil, hace contacto con la vía central de la carretera entre el pie posterior y el delantero
  - un peso acoplado a un extremo del brazo móvil, el cual fuerza a la punta de prueba hasta que haga contacto con la superficie del camino hasta que la parte superior del extremo del brazo alcance su parada final
  - un indicador acoplado en la parte superior del extremo del brazo móvil, el cual se mueve sobre un porta formato. Las dimensiones son tales que un movimiento de la punta de prueba de 1 mm de lugar a un movimiento del indicador de 1 cm
  - un formato de datos preparado, asegurado al porta formato mediante una cinta. El formato consiste de columnas de 5 mm de ancho cada una y dividido en cajas
-

- un estabilizador a un lado de la pata posterior que impide al MERLIN caer cuando se está tomando medidas
- dos brazos en el extremo de la viga que permiten al operador conducir el MERLÍN y la rueda a lo largo de la carretera
- un marcador en la rueda o neumático. Cuando el marcador está en la base, como se indica en la figura, se dice que la rueda está en su "posición normal"

Para facilidades de fabricación, la viga horizontal, las patas posterior y delantera, el brazo móvil, el estabilizador y los mangos son todos hechos de tubería de acero con secciones transversales cuadradas. Las uniones serán soldadas donde sea posible, aunque el estabilizador y los brazos se fijan mediante pernos, de modo que, puedan ser fácilmente retirados para su transporte. Para fortalecer las uniones entre la viga principal y las patas, se emplean puntales adicionales, los cuales no son mostrados en la figura.

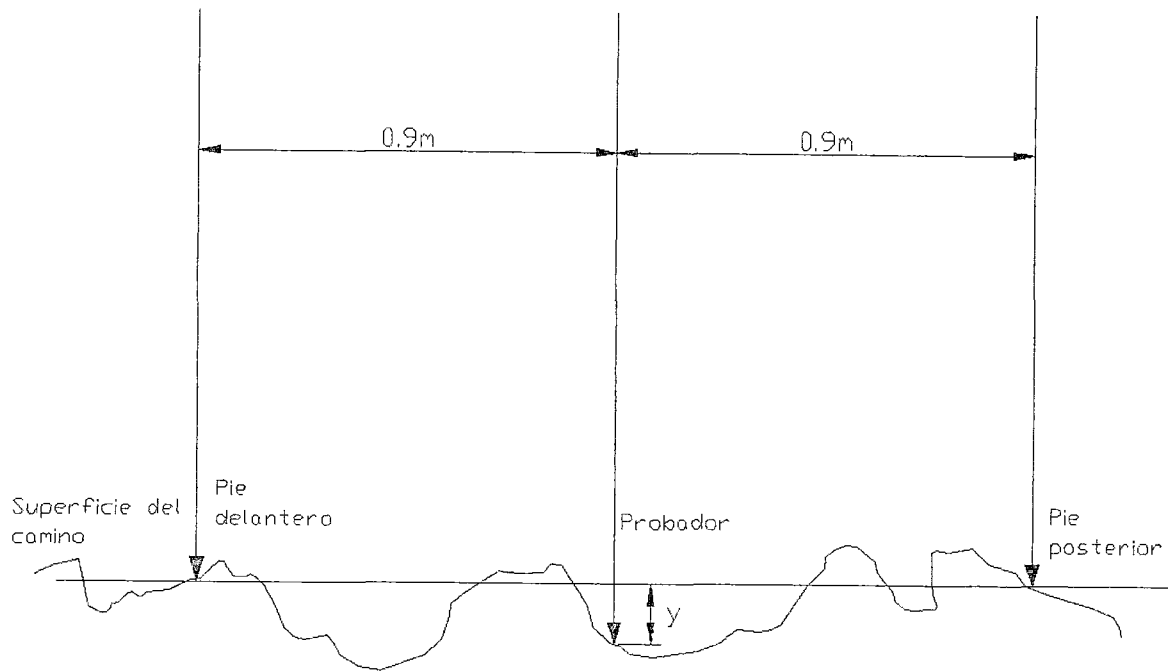


Fig. 8 Medicion del desplazamiento, y

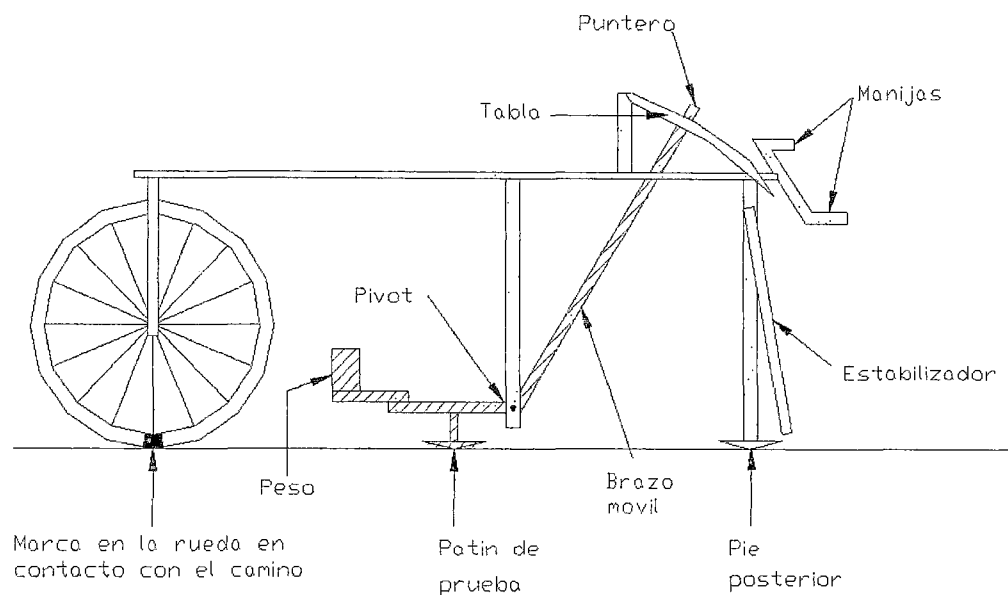


Fig. 9 MERLIN MK1

El diseño original del MERLIN ha sido actualmente mejorado y la versión MK2 se muestra en la Fig. 10, también se construye de tuberías de acero con secciones transversales cuadradas y se utiliza una rueda de bicicleta. Se opera en la misma manera que el MK1, pero el nuevo diseño es más resistente, y aunque parece más complicado, debe en la práctica ser más fácil, para hacer y más fácilmente para que sea alineado. Las principales diferencias son:

- la viga horizontal ha sido reemplazada por dos vigas interconectadas y reducidas para estar al mismo nivel con el cubo de la rueda
- existen dos patas centrales, de modo que es más fácil acoplar el pivote
- el estabilizador se encuentra al lado de la pata central
- la máquina puede ser ensamblada para ser usada por la izquierda o por la derecha

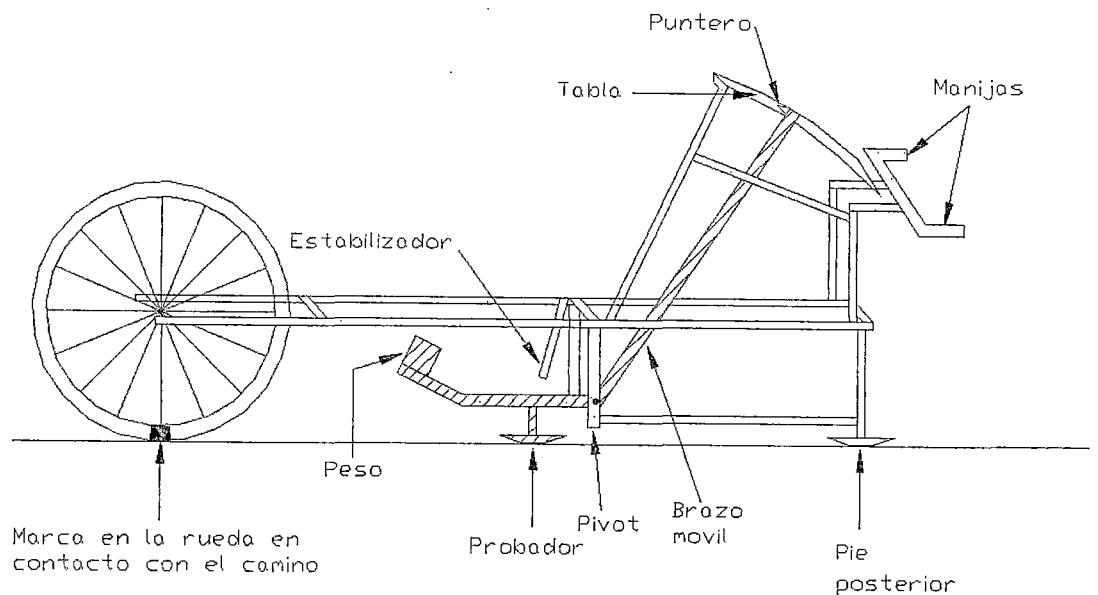


Fig. 10 MERLIN MK2

### 5.1.2.3. Método de uso.

Para la ejecución de los ensayos se requiere de dos personas que trabajen conjuntamente, un operador que conduce el equipo y realiza las lecturas y un auxiliar que los anota. Asimismo, debe seleccionarse un tramo de 400 m de longitud, sobre un determinado carril de una vía. Las mediciones se efectúan siguiendo la huella exterior del tráfico.

Para determinar un valor de rugosidad se deben efectuar 200 observaciones de las "irregularidades que presenta el pavimento" (desviaciones relativas a la cuerda promedio), cada una de las cuales son detectadas por el patín móvil del MERLIN, y que a su vez son indicadas por la posición que adopta el puntero sobre la escala graduada del tablero, generándose de esa manera las lecturas. Las observaciones deben realizarse estacionando el equipo a intervalos regulares, generalmente cada 2 m de distancia, en la práctica esto se resuelve tomando como referencia la circunferencia de la rueda del MERLÍN, que es aproximadamente esa dimensión, es decir, cada ensayo se realiza al cabo de una vuelta de la rueda.

En cada observación el instrumento debe descansar sobre el camino apoyado en tres puntos fijos e invariables: la rueda, el apoyo fijo trasero y el estabilizador para ensayo. La posición que adopta el puntero corresponderá a una lectura entre 1 y 50, la que se anotará en un formato de campo, tal como el mostrado en la Fig. 11. El formato consta de una cuadrícula compuesta por 20 filas y 10

columnas; empezando por el casillero (1,1), los datos se llenan de arriba hacia abajo y de izquierda a derecha.

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

PROYECTO : \_\_\_\_\_ OPERADOR \_\_\_\_\_  
 SECTOR : \_\_\_\_\_ SUPERVISOR \_\_\_\_\_  
 TRAMO : \_\_\_\_\_ FECHA \_\_\_\_\_  
 CARRIL : \_\_\_\_\_

ENSAYO N<sup>o</sup>  KM  HORA

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1											TIPO DE PAVIMENTO
2											
3											
4											Afirmado <input type="checkbox"/>
5											
6											Base granular <input type="checkbox"/>
7											
8											Base imprimada <input type="checkbox"/>
9											
10											Tratamiento bicapa <input type="checkbox"/>
11											
12											Carpeta en frio <input type="checkbox"/>
13											
14											Carpeta en caliente <input type="checkbox"/>
15											
16											Recapeo asfaltico <input type="checkbox"/>
17											
18											Sello <input type="checkbox"/>
19											
20											Otros <input type="checkbox"/>

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

Fig. 11: Formato para la recoleccion de datos de campo

El proceso de medición es continuo y se realiza a una velocidad promedio de 2 km/h. La prueba empieza estacionando el equipo al inicio del trecho de ensayo, el operador espera que el



puntero se estabilice y observa la posición que adopta respecto de la escala colocada sobre el tablero, realizando así la lectura que es anotada por el auxiliar. Paso seguido, el operador toma el instrumento por las manijas, elevándolo y desplazándolo la distancia constante seleccionada para usarse entre un ensayo y otro (una vuelta de la rueda). En la nueva ubicación se repite la operación explicada y así sucesivamente hasta completar las 200 lecturas. El espaciamiento entre los ensayos no es un factor crítico, pero es recomendable que las lecturas se realicen siempre estacionando la rueda en una misma posición, para lo cual se pone una señal o marca llamativa sobre la llanta (con gutapercha fosforescente por ejemplo), la que debe quedar siempre en contacto con el piso. Ello facilita la labor del operador quién, una vez hecha la lectura, levanta el equipo y controla que la llanta gire una vuelta haciendo coincidir nuevamente la marca sobre el piso.

#### 5.1.2.4. Ecuaciones de rugosidad.

Para la tierra, grava, superficie revestida o carreteras de concreto asfáltico, la rugosidad puede determinarse utilizando la ecuación

$$IRI = 0.593 + 0.0471 * D$$

$$(2.4 < IRI > 15.9)$$

donde IRI es la rugosidad en términos del Índice Internacional de Rugosidad (en m/km) y D se mide del tablero del MERLIN (en m). La ecuación fue derivada sobre el rango de valores IRI mostrados y debe ser extrapolado con precaución. Las medidas de valores de IRI por debajo de 3 usualmente no son importantes porque a este nivel, la rugosidad tiene poco efecto en el costo de operación del vehículo.

El error estándar estimado del IRI será aproximadamente 10%. Si se repite la medición para dar una segunda estimación del IRI (asegurándose que los pies no estén exactamente en las mismas posiciones), entonces el error promedio estará alrededor del 8%.

Las ondulaciones en la superficie de un camino consisten en una superposición de ondas de diferentes longitudes de onda en la superficie. La sensibilidad de la escala del IRI varía con las longitudes de onda y esta variación es mayor para longitudes de

onda de alrededor de dos metros. La sensibilidad del MERLIN también es alta en estas longitudes de onda y eso es por qué da una buena estimación del IRI. Sin embargo, en otras longitudes de onda existen diferencias, siendo el MERLÍN más sensible que el IRI para ondas cortas y más sensible para ondas largas.

Algún "hand-laid" en las superficies tiene una proporción mucho más alta que las ondas largas y de esta manera tiene una relación diferente entre IRI y D. Un estudio en Indonesia dio la ecuación siguiente para el Macadán de penetración "hand-laid":

$$\text{IRI} = 1.913 + 0.0490 * D \quad (1)$$

$$(6.7 < \text{IRI} < 11.3) \quad (2)$$

en la sección 5.1.6 se describen las conversiones entre las escalas IRI y BI.

### 5.1.3. Descripción adicional de la máquina.

Deben notarse varios otros detalles del diseño:

- Es importante asegurar que el pie y el patín de prueba estén suficientemente bien alineados, de tal manera que sea posible realizar los ajustes laterales descritos en la

sección 5.1.3.2. Si existe un problema con el alineamiento, se debe revisar para observar si puede ser rectificado regulando la posición de las tuercas del cubo de la rueda. De existir la falla puede ser necesario doblar o girar la estructura para volverlo a su forma.

- La llanta delantera debe tener un modelo de banda rodante uniforme. Cualquier variación en el radio de la rueda más la llanta podría afectar las medidas y para superar esto, todas las mediciones deben ser realizadas con la rueda en la "posición normal". Los radios de la rueda más la llanta deben ser revisadas girando la rueda y observando cuidadosamente su circunferencia cuando pasa por un punto fijo. El marcador debe ser posicionado de tal manera que se evite cualquier sección donde existan fluctuaciones en los radios (el espesor de la rueda con frecuencia varía cerca de la válvula).
- Para reducir la sensibilidad a una micro-textura de la superficie de la carretera. El patín de prueba y el pie trasero deben ser ambos de 12 mm de ancho y redondeados en el plano de la huella de la rueda con un

radio de 100 mm. La redondez también tiende a mantener el punto de contacto del patín de prueba con la carretera en la misma línea vertical. El borde del pie trasero puede ser bastante agudo y para impedir al usuario coger sus espinillas accidentalmente, una pieza protectora se ajusta a la pata trasera para proteger la parte posterior de la pata trasera.

- Una guía de metal se instala cerca del tablero para restringir el brazo de modo que solamente se mueva en un plano vertical sobre la huella de la rueda. Esto protege al pivot impidiendo que el brazo sea accidentalmente golpeado en las vías-laterales. Es importante comprobar que el brazo esté libre y no se friccionen con el guía. Un pedazo de goma se ajusta en un extremo de la guía para actuar como la parada del fin para el brazo móvil cuando el MERLIN es alzado por las manijas.

- Solamente debe utilizarse un estabilizador. Si se instalan estabilizadores en ambos lados del MERLIN existe un peligro en las superficies rugosas,

especialmente con carriles profundos de la rueda. El MERLIN puede descansar en uno de sus estabilizadores con uno de sus pies claramente conectados con el terreno.

#### 5.1.3.1. Alineamiento.

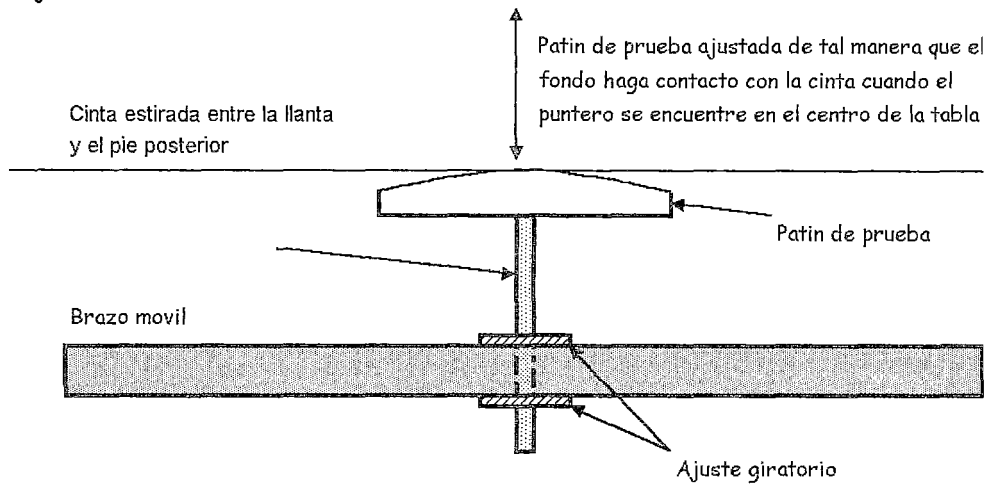
Antes de que el MERLÍN pueda ser utilizado, el patín de prueba tiene que ser regulado tanto vertical como lateralmente de modo que esté correctamente alineado con los pies delanteros y traseros. El montaje del patín de prueba es diseñado de tal manera que estas regulaciones puedan ser realizadas. El patín de prueba se fija a una varilla roscada el cual pasa a través de un orificio en el brazo móvil, y es sostenido en su posición por dos tuercas, uno en cada lado del orificio. La posición vertical del patín de prueba puede ser regulada cambiando la posición de las tuercas. La posición lateral puede ser regulada al mismo tiempo ya que el orificio también se alarga transversalmente.

Para llevar a cabo la alineación:

- Voltar el MERLIN al revés y sostenerlo hacia arriba para que el brazo móvil esté libre.

- Estirar un pedazo de cuerda bien tensado entre la base de la llanta y la base del pie trasero.
- Jalar suavemente hacia abajo el extremo del indicador del brazo móvil. Esto hará elevar lentamente el patín de prueba hacia la cuerda. Luego revisar los dos alineamientos (ver Fig. 12).
- Alineación vertical. Cuando se regula adecuadamente, la base del patín de prueba tocará exactamente la cuerda cuando el indicador esté en el centro del tablero. Si es correcto, los histogramas estarán centrados en el tablero.
- Alineamiento lateral. Cuando la regulación es adecuada, la cuerda correrá a lo largo del centro de la base del patín de prueba. Si es correcto, apoyando el MERLIN de lado a lado cuando se están realizando las observaciones, por ejemplo al descansar en el estabilizador, tendrá poco efecto en la posición del indicador

Ajuste vertical - Vista de canto



Ajuste lateral - Vista superior

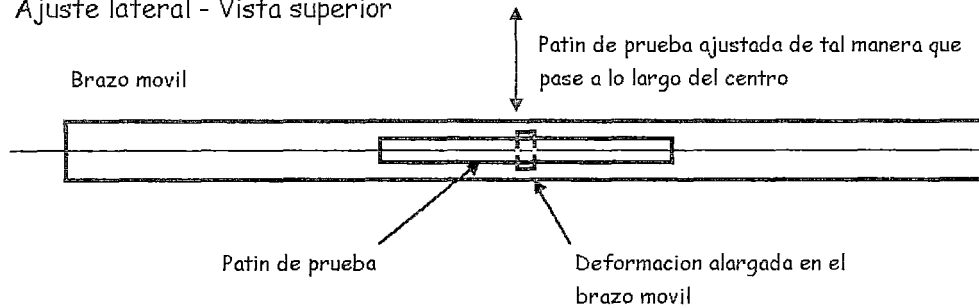


Fig. 12 Prueba de alineamiento

5.1.3.2. Amplificación del brazo móvil.

Normalmente, el brazo móvil tiene una amplificación mecánica alrededor de 10. a medida que la rugosidad de la superficie aumenta, la dispersión de los puntos en el tablero también aumenta. Los puntos se empezarán a coleccionar en las columnas a cualquier extremo del tablero que corresponde a los dos límites del movimiento del brazo. (Observar la figura 13).



SECCION DE PRUEBA	C12
HUELLA DE LA RUEDA	OS
DATO	14/06/90
OPERADOR	

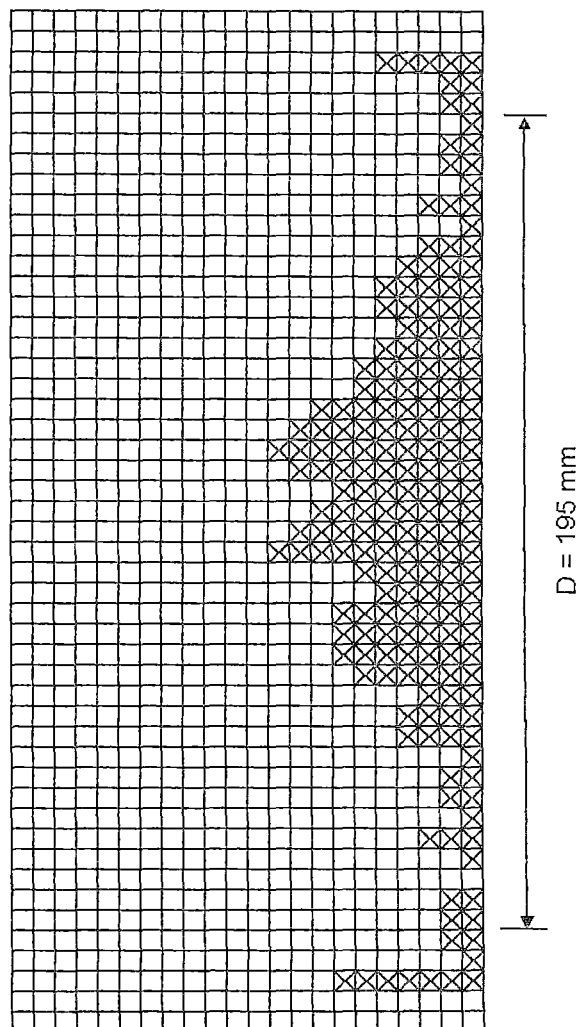
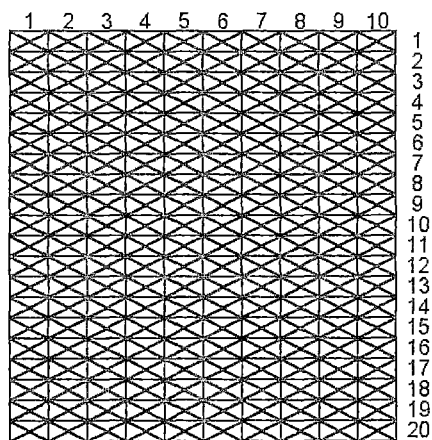


Fig. 13: Grafica que muestra la acumulacion de puntos en los limites

Si el indicador es capaz de desplazarse fuera del extremo del tablero, entonces cualquier punto que cae en esta zona deberá ser graficado en el extremo de la columna. Si el número de puntos en cada límite es de por lo menos 10, el ancho D puede ser medido en

una vía normal, pero si el número de puntos en cualquier límite excede de 10, entonces el tablero no podrá ser utilizado.

Para superar el problema, el patín de prueba puede ser movido a una posición alternativa en el brazo móvil que es el doble de lejos de la distancia del pivote (figura 14). Esto reduce a 5 la amplificación mecánica del brazo y a la mitad el ancho de distribución. Con una amplificación mecánica de 10, la máxima rugosidad que puede ser medida es alrededor de 10 en la escala del IRI; con una amplificación mecánica de 5, el MERLÍN debe poder distribuir normalmente el ancho de los valores altos de rugosidad encontrados. Cuando el patín de prueba está en su posición alternativa, no es precisamente más largo la vía central entre los pies delantero y trasero. Sin embargo, los errores introducidos por este efecto son pequeños y pueden ser ignorados.

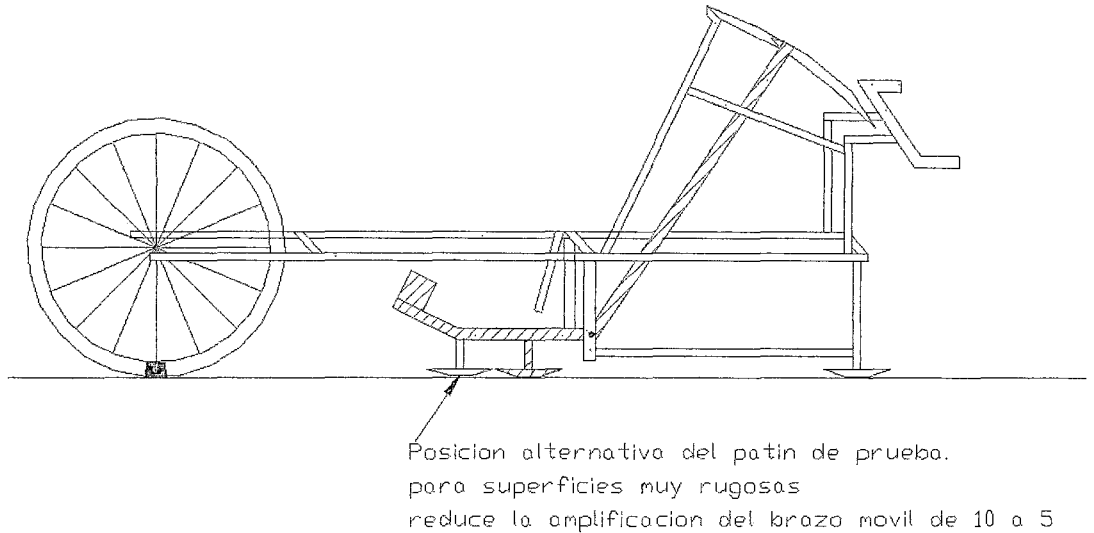


Fig. 14 Posicion alternativa del patin de prueba

### 5.1.3.3. Calibración.

Las ecuaciones (1) y (2) asumen que  $D$  fue derivado usando una amplificación mecánica de 10. En la práctica esto no es cierto, puesto que debido a ciertos errores en la fabricación, la amplificación podría reducirse a 5. Por consiguiente, antes de ser utilizado debe verificarse la amplificación y ajustar el valor de  $D$ . Para hacer esto, el MERLIN debe ser estacionado con el patín de prueba sobre una superficie lisa y la posición del indicador en el

---

tablero debe ser cuidadosamente marcado por una línea. El patín de prueba se levanta y se coloca bajo el un bloque de calibración de espesor conocido, hecho de metal maquinado, y midiendo aproximadamente 50 mm largo, 25 mm ancho y 6 mm de espesor.

Se marca la nueva posición del indicador. El procedimiento debe repetirse para verificar que los valores son consistentes. Si el espacio entre las dos marcas es  $S$  y el espesor del bloque es  $T$ , entonces la medida realizada en el tablero debe ser multiplicada por factor de ajuste:

$$\text{Factor de ajuste} = 10 \cdot T / S \quad (3)$$

#### 5.1.4. Elección de la sección de prueba.

##### 5.1.4.1. Longitud.

Si se toman 200 lecturas, usando una rueda de bicicleta de 26 pulgadas, uno en cada revolución de la rueda, entonces la longitud de la sección evaluada es de 415 m. Para secciones de prueba más largas o más cortas, será requerido un procedimiento diferente de medición. Los principales consejos son:

- Hacer las secciones de prueba por lo menos de 200 metros de longitud
- Tomar alrededor de 200 lecturas por tablero. Con menos lecturas, la precisión disminuirá; con más lecturas, el tablero se desordenará. Si el número de lecturas difiere de 200, entonces el número de cruces contado en de cada extremo de la distribución tendrá que cambiar de acuerdo con; 180 lecturas significarán un conteo de 9 cruces, 220 lecturas significarán un conteo de 11 cruces, etc.
- Siempre se debe de tomar las lecturas con la rueda en la "posición normal". Esto no solamente impide errores debido a las variaciones en el radio sino que también evita complicaciones al operador cuando se solicita tomar medidas en forma aleatoria. Los operadores del MERLIN tienden a menudo evitar tomar las mediciones donde el terreno es desnivelado.
- Tomar las mediciones regularmente-espaciadas sobre una longitud completa de la sección de prueba. Esto permite obtener un resultado más representativo.

- Si se toman medidas repetidas a lo largo de una sección, se debe tratar de evitar tomar las lecturas en los mismos puntos, en los diferentes cruces, iniciar la segunda serie de mediciones a un metro del punto donde se empezó la primera serie.

A continuación damos tres ejemplos:

- Para una sección de prueba de 210 metros de longitud, tomar las medidas en dos cruces, tomando una lectura en cada revolución de la rueda
- Para una sección de prueba de 280 metros de longitud, tomar las lecturas en dos cruces, tomando una lectura en cada revolución de la rueda en el primer cruce y una lectura en cada revolución de la rueda en el segundo cruce
- Para una sección de prueba de 500 metros de longitud, tomar una medida en un cruce, tomando una lectura en cada revolución de la rueda y saltando cada quinta medición

o

---

- En lugar de las lecturas de salto, prolongar la caja de conteo y tomar todas las 240 lecturas. Medir los límites en la tabla contando en 12 en lugar de 10 puntos.

#### 5.1.4.2. Uniformidad y ondulaciones.

Las secciones de prueba deben tener una rugosidad bastante uniforme. Si existen variaciones muy largas, el MERLIN tenderá a sobrestimar cuando es desproporcionadamente afectado por las partes más rugosas. Una manera de comprobar esto es usar cartas en el tablero en los lugares de cruce, para identificar de donde vienen las lecturas. Por ejemplo, si la sección de prueba está siendo medida utilizando 200 lecturas en un solo paso, entonces marcar los primeros 10 resultados con una "A" sobre la base del histograma y en la caja de conteo, los próximos 10 resultados con una "B", etc. Posteriormente se debe verificar que los resultados extremos no estén simplemente viniendo de un lugar particular de la sección de prueba.

Las secciones de prueba que contienen las ondulaciones principales pueden también proporcionar errores y deben ser

evitados. Existen tres problemas principales con superficies onduladas:

- El MERLÍN podría dar una estimación pobre del IRI
- El vehicle-mounted bump integrator podría dar una estimación pobre del IRI
- Las estimaciones de los costos de operación del vehículo podrían verse afectada

#### 5.1.4.3. Identificación de las wheeltracks.

El MERLÍN mide la rugosidad a lo largo de una wheeltrack en un tiempo, y se toma la rugosidad de una división longitudinal como el promedio de la dos wheeltracks separadas. La diferencia entre las wheeltracks generalmente es menor del 20% teniendo el mayor valos de la huella externa. Sin embargo, la diferencia puede ser mayor, especialmente en carreteras de grava, y la huella lateral cercana puede ser más rugosa, especialmente en carreteras de superficies revestidas. Para medir la rugosidad de la carretera de múltiple vía de tráfico, será necesario medir la rugosidad de cada vía de tráfico por separado.

---



Cuando se usa el MERLIN para medir la rugosidad de una sección de prueba para calibración de un vehicle-mounted bump integrator, es importante asegurar que ambos equipos de medición estén trabajando en la misma wheeltracks. También es preferible evitar las wheeltracks que tienen una rugosidad muy diferente. Al emplear el MERLIN sobre su propio medida de rugosidad, las posiciones de las wheeltracks usadas por tráfico de carretera normal necesitan ser identificadas. Pueden ser evidentes de los baches o puede ser necesario observar el comportamiento del tráfico.

Si el IRI se deriva como la rugosidad promedio de "n" wheeltracks diferentes, entonces el error será de  $10/\sqrt{n}$  %.

#### **5.1.5. Consideraciones prácticas.**

##### **5.1.5.1. Numero de operadores.**

La manera más conveniente de usar el MERIN es compartir el trabajo entre dos operadores, uno transportando la máquina y el otro tomando las lecturas. El segundo operador, parado a un lado,

puede ver mejor si hay cualquier problema con el patín de prueba o el brazo móvil y puede verificar que las máquinas están siguiendo correctamente el recorrido de la rueda. Alternando los trabajos, los dos operadores pueden mantenerse trabajando por mucho tiempo.

#### 5.1.5.2. Seguridad.

Para proteger del tráfico a los operadores del MERLIN, un número de medidas de seguridad debe ser considerado:

- colocar señales para advertir la aproximación de tráfico a la sección de prueba
- tomar mediciones con el revestimiento del MERLIN de frente al tráfico
- asegurarse que los operadores lleven los chalecos de seguridad fosforescentes
- en lugares ocupados, segregar la sección de prueba con conos de tráfico (los conos también son útiles para marcar los extremos de las wheeltracks).

### 5.1.5.3. Comprobación cero.

Para comprobar que no ha habido movimiento no deseado en el MERLIN, por ejemplo por el patín de prueba o el pivote que viene suelto durante una sesión de medición, se recomienda que, de ser posible llevar a cabo la "comprobación cero".

Para hacer esto:

- Encintar firmemente con un pedazo de papel el porta formato, permaneciendo bajo el porta formato durante la sesión de medición.
- Instalar el MERLIN en una sección de carretera uniforme con la rueda en la posición normal
- Marcar la posición del indicador en el papel
- de rato en rato durante la sesión, retornar el MERLIN a las marcas de tiza y, con la rueda en la posición normal, verificar que la posición del indicador no ha cambiado

### 5.1.6. Conversión entre las escalas IRI y BI.

Para convertir la medida de rugosidad de la escala BI (quinta rueda remolcada Bump Integrator recorriendo a 50 km/h) a la

---

escala de rugosidad IRI, se recomienda la siguiente ecuación sencilla:

$$IRI = 1 + 1.05 * (BI / 1000) \quad (4)$$

Aunque la ecuación de conversión no pasa a través del origen, esto solamente ocasionará problemas en valores muy bajos de rugosidad.

Una conversión más exacta para tipos de superficies colocadas en máquinas individuales, se da en la Tabla B. La Tabla también muestra el rango de los valores BI sobre el cual las ecuaciones han sido establecidas.

**TABLA B**  
Ecuaciones de Conversión de Rugosidad  
 $IRI = A0 + A1 * ( BI / 1000 )$

Tipos de superficie	A0	A1	BI (min)	BI(max)
Concreto asfáltico	0.32	1.45	1.270	5.370
Revestimiento Superficial	-0.05	1.25	2.145	4.920
Grava	1.25	1.13	2.010	12.225
Tierra	1.47	0.92	2.935	16.750

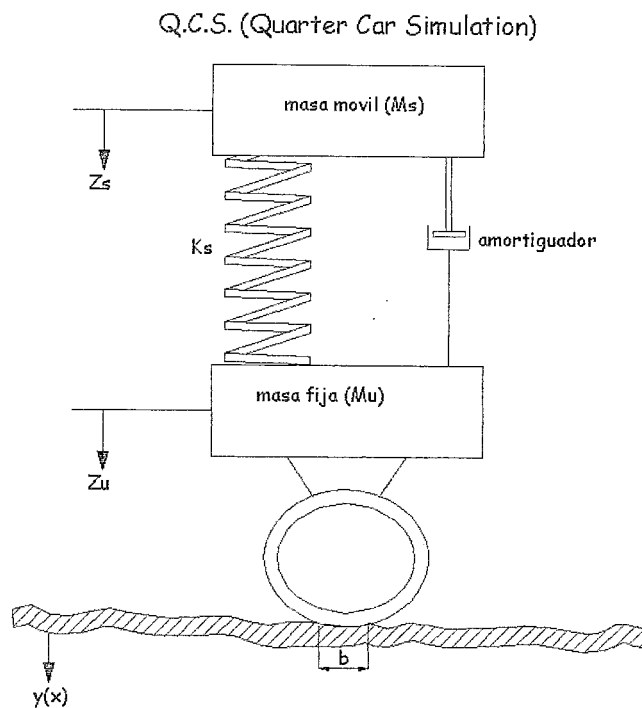
## 5.2. ARAN (Automatic Road Analyzer).

### 5.2.1. Introducción.

El vehículo ARAN para la medición del perfil longitudinal está equipado con detectores láser y acelerómetros. Los láser se utilizan para la medición del desplazamiento vertical; los acelerómetros, en cambio, registran la influencia de las aceleraciones verticales de los láser montados en el vehículo. Los dos acelerómetros están montados encima del láser, solidariamente a los mismos. El emparejamiento de los dos sistemas (láser y acelerómetros) permite adquirir, con extremo cuidado de medición, el levantamiento de la superficie de la carretera en términos de dominio espacial, registrando todas las irregularidades presentes en la superficie de la carretera, dichas irregularidades vienen luego elaboradas en forma separada, para cada una de las "wheel path". El "output" de los datos se puede producir en tiempo real, también el perfil longitudinal de la carretera y el cálculo del IRI.

El cálculo del IRI a partir del perfil longitudinal de la carretera está fundamentalmente basado en el modelo

matemático, llamado Quarter Car Simulation (QCS), que representa la simulación matemática de la respuesta de una rueda singular de un carro sujeto al perfil longitudinal calculado (ver figura).



En la figura esta representado esquemáticamente el modelo QCS, que proporciona la siguiente interpretación mecánica del fenómeno: la interacción del cuerpo del vehículo-prueba es

representada por las dos masas  $m_s$  (móvil) y  $m_u$  (fija), del sistema de resortes con constantes  $k_s$  y  $k_t$  y un amortiguador lineal. El modelo matemático se puede describir mediante un sistema de ecuaciones diferenciales de 2° orden de las cuales, conocido el perfil longitudinal  $Y(x)$ , es posible deducir los desplazamientos relativos ( $Z_m - Z_f$ ) de las dos masas, con relación al intervalo recorrido.

$$Z_s - Z_u = RS \text{ (inclinación)}$$

$$IRI = RS / (n - 1)$$

La integración analítica de las ecuaciones diferenciales implica indirectamente la asunción de una "velocidad de simulación" del fenómeno que, naturalmente influye en los resultados. Por motivos de estandarización ha sido asumida una velocidad de simulación del fenómeno de 80 km/h. De esto deriva que el IRI cual índice de regularidad obtenida del perfil longitudinal de la carretera aplicado al modelo matemático-mecánico QCS, se refiere a la misma velocidad de simulación del fenómeno, es decir 80 km/h.



### 5.2.2. Descripción detallada del equipo ARAN.

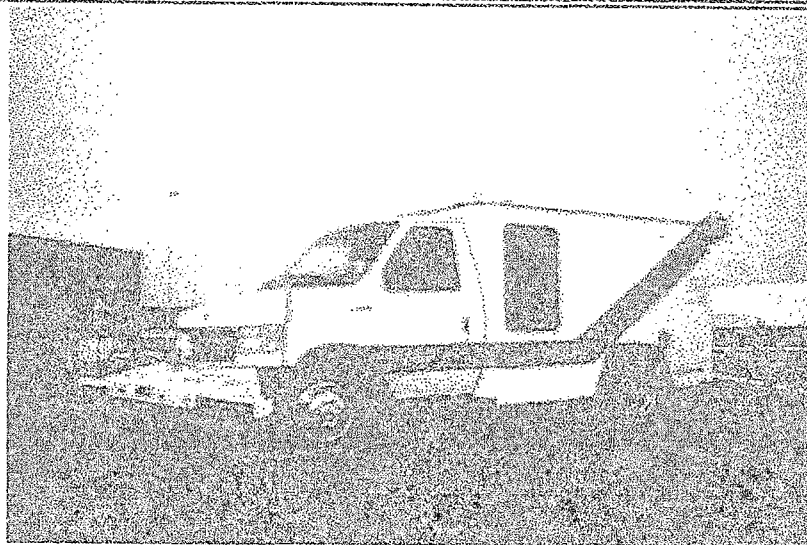
El ARAN permite efectuar medidas a elevadas velocidades (30 - 120 km/h), requisito fundamental para poder recoger datos sobre una vasta red de carreteras y en proceso de tráfico.

El sistema ARAN (de alto rendimiento) está compuesto por un vehículo adaptado en el cual está integrados varios subsistemas de adquisición de datos, y una estación de trabajo (workstation) en la cual se analizan posteriormente, todos los datos recogidos con un software especializado. En esta sección daremos algunas referencias técnicas inherentes a la recolección de datos realizada utilizando el ARAN.

A continuación hacemos una concisa descripción del ARAN y sus subsistemas de medición:

- los distintos componentes que constituye el ARAN
- la tolerancia y la precisión de los principales instrumentos que forman parte de cada subsistema
- el "output" obtenible por medio de dichos subsistemas

Equipo vehículo "4900 ARAN Ford Cube"



Se incluyen los siguientes subsistemas:

- ARAN Central data Acquisition Computer (CDAC)
- Distance Measuring System (DMI u Odómetro)
- Roughness Subsystem
- Orientation Subsystem
- Smart Bar Subsystem
- Videolog Subsystem

#### **ARAN Central Data Acquisition Computer (CDAC).**

El CDAC coordina la adquisición de datos de todos los subsistemas de adquisición y almacena todos los datos a excepción de las imágenes inherentes a las cintas de video.

Se trata de un ordenador industrial 486 a 33Mhz, con 4MB de RAM, un hard disk de 120MB y 2 drives de 3.5", que ha sido diseñados para resistir a las vibraciones, golpes y variaciones de temperatura.

### Distance Measuring System (DMI u Odómetro).

El Distance Measuring System se basa en un sistema que tiene en cuenta las variaciones de velocidad y por este motivo resulta ser más preciso que otros instrumentos que se usan en analizadores similares basados en el diseño temporal.

El DMI está conectado a la instrumentación ensamblada sobre la rueda posterior a través de un cable transductor que envía el CDAC 180 impulsos por cada ciclo de revolución de la misma rueda.

Estos impulsos son contados por el CDAC para producir la progresiva que usa el ARAN como base de referencia para todos los datos que constituyen el "output" del mismo.

---

A causa de su fundamental importancia se realiza un "test" de calibración de DMI u Odómetro antes de iniciar un nuevo levantamiento.

- **Longitud progresiva.** La longitud progresiva puede ser registrada utilizando dos unidades de medida ( km o millas ) según opciones de distinto tipo:
  - Intervalo de muestreo de 10 m (típico) y sus múltiplos
  - Se inicia a contar desde el valor 0
  - Se inicia a contar desde un valor predefinido
  - Progresiva medida según una escala creciente o decreciente.

Además se puede realizar el conteo automáticamente utilizando el AUTOSTAR. Efectivamente, utilizando el sistema de AUTOSTAR es posible marcar manualmente sobre la pavimentación, un punto de referencia utilizando una faja de material que se refleja a la luz y es relevada por un sensor colocado sobre la parte

---

derecha del vehículo. Al momento del paso del ARAN, el conteo de la progresiva parte automáticamente.

- **Precisión del Odómetro.** El Odómetro da una precisión de 1 m por km

### **Roughness Subsystem (Laser SDP Subsystem)**

El Roughness Subsystem se basa en 5 componentes:

- 1 Roughness Computer
- 2 Accelerometers (uno para el área de canalización del tráfico de izquierda y derecha)
- 2 Roughness Laser (uno para el área de canalización del tráfico de izquierda y derecha)

El Roughness Subsystem ha sido proyectado para medir el perfil longitudinal de la superficie de la vía y para realizar en tiempo real, el cálculo del IRI. A continuación describiremos dichos componentes:

- **Roughness Computer.** El Roughness Computer es una 486 compatible, instalado en la parte posterior del ARAN, que lee cada uno de los acelerómetros cada 50 ó 100 mm (2 ó 4 pulg) y filtra numéricamente estas
-

lecturas con la finalidad de eliminar longitudes de onda que resulten ser:

- Menores de 0.3 m y mayores de 91 m (o más); si se selecciona esta opción, los datos relativos al perfil se registran cada 100 mm
- Menores de 0.6 m y mayores de 91 m(o más); si se selecciona esta opción, los datos relativos al perfil se registran cada 200 mm

Luego que el Roughness Computer ha completado sus cálculos, los datos son enviados al CDAC

- **Accelerometer.** El Roughness Subsystem del ARAN utiliza dos acelerómetros para medir la adherencia de la carretera. Además mide la respuesta del vehículo con el fin de eliminar de la medición de la adherencia, los componentes especiales y consiguientes errores debidos al movimiento del vehículo.
- **Roughness Laser.** Los dos Roughness Laser (colocado en la parte inferior del vehículo sobre ambos lados) miden el perfil longitudinal para el área de canalización del tráfico sean en el lado izquierdo o el derecho.

Gracias a esta información inherente al perfil, pueden determinarse múltiples indicadores de adherencia, inclusive el International Roughness Index (IRI) y el Ride Comfort Index (RCI).

Es importante notar que el IRI se puede calcular siempre en tiempo real. El empleo de los laser SDP ofrece la posibilidad de relevar múltiples anomalías de la superficie vial de amplio espectro, como por ejemplo causadas por vibraciones del vehículo debido a la velocidad.

Utilizando un intervalo de muestreo de 2" es posible obtener una exactitud de 1/32" conforme a la Clase 1

#### **Orientation Subsystem.**

El Orientation Subsystem se utiliza para medir la posición del ARAN respecto a los planos vertical, horizontal y con la dirección de marcha.

El ARAN necesita estos planos para poder recibir la información inherente a la orientación (información de roll, pitch y heading). Los instrumentos que el ARAN utiliza para determinar esta información son tres giroscopios típicos de la tecnología aeronáutica. A continuación describiremos dichos instrumentos:

- **Giroscopios verticales.** Los giroscopios verticales son en número de dos, el giroscopio del pitch y el giroscopio roll, y están instalados dentro de la misma cápsula montada en la parte posterior del vehículo.

El giroscopio roll determina los cambios de orientación transversal del vehículo y de la Smart Bar, los datos leídos por el giroscopio de roll se utilizan para corregir el horizonte real, con la finalidad de calcular en modo seguro tanto la pendiente transversal como el perfil transversal.

El giroscopio pitch determina los cambios en la alineación vertical del vehículo; en base a estos cambios puede calcularse la pendiente promedio de la carretera.



- **Giroscopio Direccional.** El giroscopio direccional es llamado el giroscopio de heading y determina los cambios en la dirección del vehículo.

El radio de curvatura se calcula a partir de las lecturas realizadas por dicho giroscopio, también la sobre-elevación de una curva se calcula a partir de esta información en unión con la derivada de las lecturas del giroscopio vertical.

- **Precisión de los parámetros de la carretera.** La información inherente a la orientación se utiliza para determinar parámetros geométricos como la inclinación y el perfil transversal, la inclinación porcentual, la sobre-elevación y el radio de curvatura con una precisión del 0.1%

#### **Smart Bar Subsystem.**

Los datos recolectados por el Smart Bar Subsystem se utilizan para medir el perfil transversal (junto con los datos derivados del Giroscopio Roll) y la profundidad de las grietas o fisuras.

El Smart Bar Subsystem se basa en 4 componentes esenciales:

- Smart bar computer
- Ultrasonic Controller
- Smart Bar Principal con dos alas extensibles dotadas de sensores
- 37 Sensores Ultrasónicos

A continuación describiremos dichos componentes:

- **Smart Bar Computer.** El Smart Bar Computer se instala con una cápsula situada detrás de la parte central del Smart Bar Principal. El Smart Bar Computer mide el tiempo que transcurre entre la transición y la recepción de las señales para cada uno de los sensores a ultrasonido. Sucesivamente calcula la distancia entre sensores y superficie de la carretera (basándose en la velocidad del sonido) y la profundidad de las grietas o fisuras en las áreas de canalización del tráfico sea al lado izquierdo como al lado derecho. La lectura de los sensores y los datos inherentes a la profundidad de las grietas o fisuras se transmiten al CDAC

- **Ultrasonic Controller.** El Ultrasonic Controller es el circuito que tiene la tarea de temporizar la acción de los sensores ultrasónicos.
  
- **Main Smart and Retractable Extension Wings.** la Smart Bar Principal es una barra montada en la parte superior al ARAN en lugar del parachoque anterior. En la parte inferior de la misma se hallan 19 sensores ultrasónicos colocados a una distancia de 100 mm de centro a centro. En la parte posterior de la barra se coloca otro sensor ultrasónico que funciona como calibrador automático de todos los otros.

Las dos alas laterales extensibles se utilizan para aumentar la longitud de la barra principal. En la parte inferior de cada una de ellas se encuentra un máximo de 9 sensores ultrasónicos, es decir, el ala izquierda y derecha combinadas con la barra principal permitan medir una mano en toda su extensión, es decir hasta el límite máximo de 3.6 m

La configuración de las alas extensible es, en consecuencia, extremadamente flexible, de modo de

---

poder elegir el apropiado número de sensores a utilizar según el ancho del carril, la posición de las grietas o fisuras y de los niveles de tráfico de la carretera a examinar.

➤ **Sensores Ultrasónicos.** Estos instrumentos son utilizados por el ARAN par medir el perfil transversal.

Su tarea consiste en enviar las ondas sensoras que son reflejadas por la superficie vial y vuelven a los sensores mismos en forma de eco. El tiempo transcurrido entre la emisión de la onda y el retorno del eco pasa por el Smart Bar Computer para determinar el perfil transversal y la profundidad de las grietas o fisuras.

El sensor ultrasónico que se usa como calibrador automático es utilizado en el Smart Bar Subsystem para regular y calibrar cada uno de los otros sensores ultrasónicos.

➤ **Precisión de las medidas del Smart Bar Subsystem.**

El Smart Bar Subsystem puede identificar grietas o fisuras de la superficie con una precisión de 1.0 mm, permitiendo obtener medidas precisas del perfil

---

transversal y de la profundidad de las mismas fisuras que la información auxiliar a nivel de proyecto (por ejemplo, pueden recabarse automáticamente la cantidad de material necesario para restaura la pendiente transversal de la carretera).

### Videolog Subsystem.

El Videolog Subsystem combina los datos con la progresiva y con la información-comentario cargada por el usuario, con la finalidad de obtener una representación completa de las condiciones de la carretera examinada.

La instrumentación del Videolog Subsystem incluye:

- 2 cámaras filmadoras
- 2 video grabadoras
- 1 Smart Video Controller Computer
- 1 pantalla (video monitor)

A continuación una representación de estos componentes:

➤ **cámaras filmadoras.** A bordo del ARAN se ha instalado

2 cámaras filmadoras; una sobre el techo de la cabina de

---

conducir (R.O.W. camera) mientras la otra se ubica en la parte posterior (pavement camera). La R.O.W. camera está dirigido en dirección al parabrisas anterior, en modo de filmar íntegramente la vista delantera de la carretera, incluso la señalización horizontal y vertical, etc.

Las principales características de la R.O.W. camera son:

- Cámara filmadora a colores marca SONY
- Resolución horizontal: 720 líneas
- Velocidad de obturador: 1/10.00 seg

La Pavement camera, en cambio, está dirigida hacia abajo, en dirección a la superficie vial; esta vista suministra una filmación detallada de las condiciones superficiales de la carretera. La cámara apunta a tierra con una inclinación fija para filmar el carril entero de marcha.

Las principales características de la Pavement camera son:

- Cámara filmadora a colores marca SONY
  - Resolución horizontal: 570 líneas
-

- Velocidad de obturador: 1/3 580.000 seg
- Videograbadoras. En el vehículo se han instalado también dos videograbadoras; una conectada a la R.O.W. y la otra a la Pavement camera. Ambas son videograbadoras SVHS de alta resolución.  
  
Las dos videograbadoras son controladas por el Smart Bar Video Controller Computer.
- Smart Video Controller Computer. El Smart Bar Video Controller Computer realiza las siguientes funciones:
  - Controla las dos videograbadoras y registra sobre cintas el número de cinta y los números de los cuadros
  - Envía la información inherente al número de cuadro al CDAC el cual a su vez registra este número en el file de datos principales del ARAN de modo tal que la información de video relativa a un cierto es correlativa a la información proveniente de los otros subsistemas.
- Video Monitor. En el vehículo se ha instalado una pantalla a colores y de alta resolución. La misma puede mostrar las imágenes de las cámaras R.O.W. o de la Pavement camera como una imagen combinada de ambas,

una en la parte superior de la pantalla y la otra en la mitad inferior.



### 5.3. BI (BUMP INTEGRATOR).

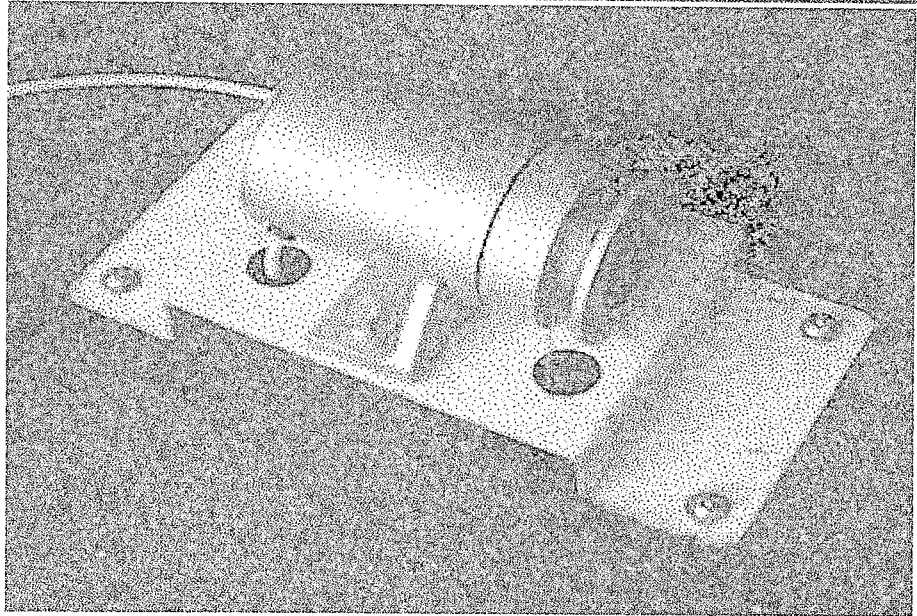
#### 5.3.1. INTRODUCCIÓN.

Los Ingenieros de carreteras están interesados en la rugosidad de la carretera puesto que es un buen indicador global de la calidad de un pavimento y su influencia en la satisfacción del usuario y costos de operación del vehículo . ROMDAS BI se desarrolló originalmente para los estudios de rugosidad y éste todavía es uno de sus más grandes fortalezas.

#### 5.3.2. MEDIDOR DE RUGOSIDAD.

ROMDAS BI está diseñado para trabajar como un medidor de rugosidad tipo-respuesta. Estos tienen dispositivos mecánicos que miden el movimiento de suspensión del vehículo relativo al suelo. La siguiente fotografía muestra al ROMDAS Bump Integrator (BI).

Normalmente se tiene cuatro tipos de medidores de rugosidad tipo-respuesta, en servicio, y ROMDAS se ha usado con cada uno:



- ROMDAS BI
- Farnell BI
- South African Linear Displacement Integrator (LDI)
- Australian NAASRA meter

El ROMDAS BI se ha diseñado para ser superior a los otros, particularmente sobre carreteras uniformes donde la sensibilidad reducida de los otros instrumentos significa que pueden haber diferencias significantes en la rugosidad entre las secciones debido a la tosquedad de sus lecturas.

En una reciente prueba independiente de campo en Indonesia "Lea Consultants" comparó el ROMDAS BI contra dos Farnell BI. Encontrando que:

"El [ROMDAS BI] tiene un agrupamiento mejor de datos y de esta manera genera un nivel más alto de confianza (aproximadamente alrededor de 4-5% mejor). Esto era muy prevaeciente en los bajos IRI de las secciones de prueba. (Esto se debía en parte a las diferencias de la rueda/suspensión, pero también) el ROMDAS BI genera un número de choques de diez pliegues por sección de prueba. El dígito adicional (aumenta la sensibilidad) en las secciones de bajos IRI contribuye a un agrupamiento más firme de los datos y a un nivel más alto de confianza."

### 5.3.3. INSTALACION Y CALIBRACION DEL MEDIDOR DE RUGOSIDAD.

La instalación del medidor de rugosidad depende del tipo de suspensión en el vehículo. Si el vehículo tiene un eje trasero sólido

---

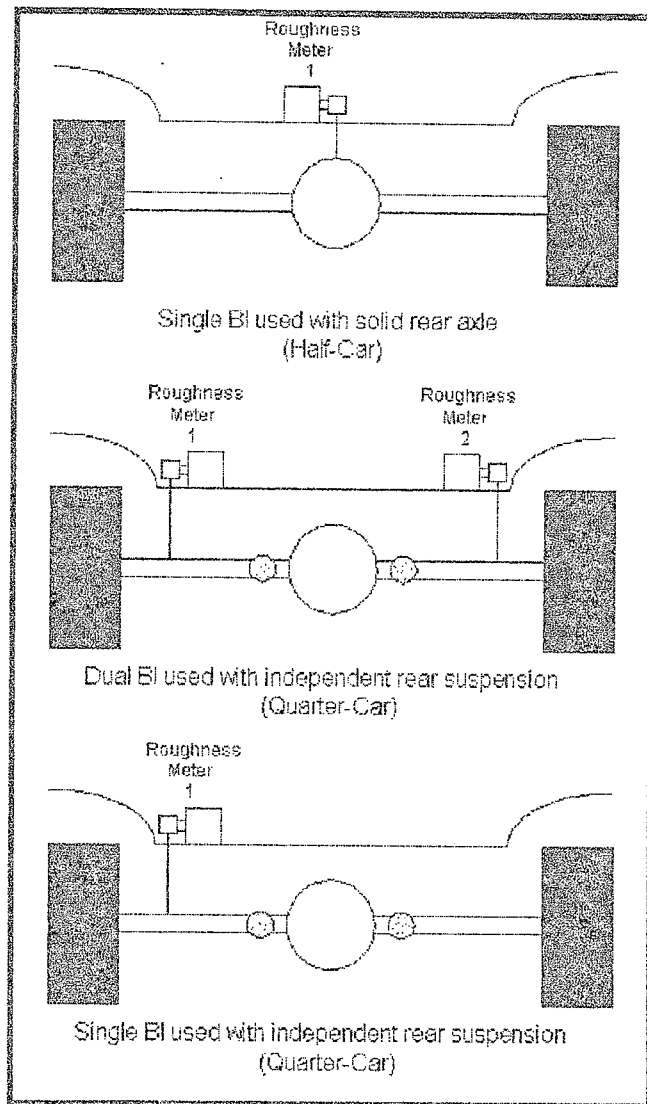
es común instalar el medidor encima del centro del eje. La figura muestra las dimensiones de un "Half-car" terminado. Con suspensiones independientes es mejor medir dos "Quarter-Cars" y promediar las lecturas de los dos instrumentos. Esto tiene una mejor correlación con el Índice Internacional de Rugosidad (IRI) que está basado en la simulación de un "Quarter-Car". Debe notarse que incluso con ejes sólidos que usan dos medidores para las medidas del "quarter-car" proporcionará una mejor exactitud sobre un solo medidor del "half-car".

Una opción menos deseable para las suspensiones independientes es usar un solo medidor de rugosidad. Esto no dará un resultado tan exacto como con dos instrumentos ya que la rugosidad del wheelpath siempre es diferente entre la parte posterior y la rugosidad de la línea central.

La siguiente fotografía muestra un ejemplo de un solo ROMDAS BI instalado en un vehículo con su tapa proteccionista quitada.



Puesto que cada vehículo responde diferentemente ala rugosidad, el medidor de rugosidad debe calibrarse comparando con una rugosidad de la referencia conocida. Esto es realizado usando un instrumento de referencia para determinar con precisión el número de secciones de prueba del perfil y establecer el IRI. El vehículo de rugosidad se maneja sobre estas secciones y se desarrolla una ecuación de regresión que relaciona la rugosidad "bruta" con el IRI.



---

### 5.3.4. PREPARACIÓN DEL ROMDAS BI PARA LA EVALUACION DE LA RUGOSIDAD.

La evaluación de la rugosidad será realizada más rápidamente siempre y cuando los operadores se encuentren instruidos y además esto contribuirá a emplear menos tiempo en el procesamiento de datos. Generalmente cada hora empleada en preparar a los operadores para la evaluación de la rugosidad contribuirá a una disminución de 5 a más horas de procesamiento.

- **Planificación.** Las rutas a ser medidas deben trazarse sobre planos. Dependiendo del país y las condiciones del camino, se puede medir de 150 a 300 km/día de modo que la planificación debe basarse en los planos trazados. Es frecuentemente mejor planificar para módulos de 150 km que pueden después combinarse a los módulos más grandes si las condiciones lo permiten.
- **LRPs.** La ubicación de la referencia es esencial para la ejecución exitosa de cualquier evaluación.

- **Road ID.** ROMDAS BI está diseñada para hacer uso de la información "Road ID". Esta es la cadena de símbolos que definen una sección a ser evaluada. El archivo "Road Description" (Descripción del Camino) de ROMDAS puede ser creado para asociar información importante comparado con el "Road ID", puesto que el archivo nombrado guarda la información, la descripción del camino, LRP restaurador de opciones etc. todos los operadores ingresan los requerimientos en el Road ID y estos datos adicionales se suministran automáticamente. Esto asegura la consistencia y la calidad de los datos.

### 5.3.5. EJECUTANDO LA EVALUACIÓN DE RUGOSIDAD.

Los estudios de rugosidad deben ser realizados manejando el vehículo a una velocidad constante. Si es necesario operar en un rango de velocidades deben establecerse velocidades diferentes para cubrir este rango. El operador del ROMDAS aplicará la velocidad apropiada dada la velocidad de la evaluación.

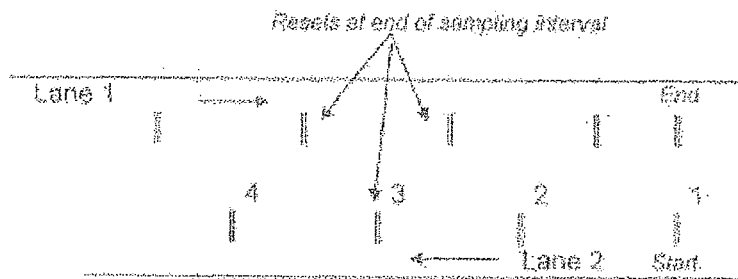
---



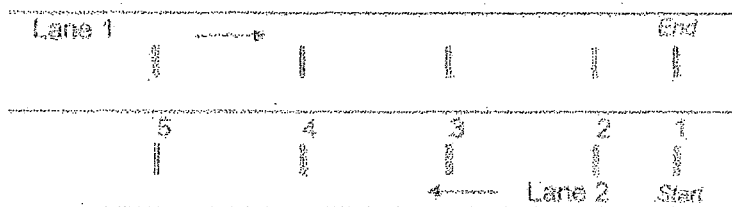
Es conveniente ejecutar un control regular de los datos. Esto consiste en ejecutar semanalmente la medida en una sección de camino y verificar para confirmar que los resultados no son notablemente diferentes. El vehículo también debe ser recalibrado a intervalos de 5 a 10 km.

Los datos de conteo son acumulados en lo que se llama un intervalo de muestreo. Este intervalo es típicamente 100 m, aunque puede ser en cualquier parte desde 50 a 5000 m. La suma de conteos es sumada en el intervalo de muestreo y se da un único valor, por ejemplo 120 conteos/100 m. Al final del intervalo la suma de conteos se restablece a 0 y se suma para el siguiente intervalo. Cuando los datos de conteo se convierten a IRI las sumas de conteos se ajustan a una base por km. En lugar de usar intervalos regulares como 100 m el operador opcionalmente puede definir manualmente el extremo del intervalo. Esto normalmente se hace cuando hay marcadores de km y la suma de conteos entre los marcadores es de 1000, pero no es la práctica recomendada. Cuando se esté midiendo carreteras de doble carril, a menudo es necesario medir ambos carriles. Cuando

se está completando un estudio se le ofrece al usuario la opción de efectuar el Otro Carril. Este es determinado por el Investig en una carretera de doble carril y los intervalos de muestreo son puestos en Investigaci. Esto significa que el primer intervalo de muestreo en la dirección opuesta es un intervalo más corto que el Inves, Investigaci el mismo juego de intervalos de muestreo (ve el (b) debajo de). Si esto no se hiciera la superficie de la figura (a) se



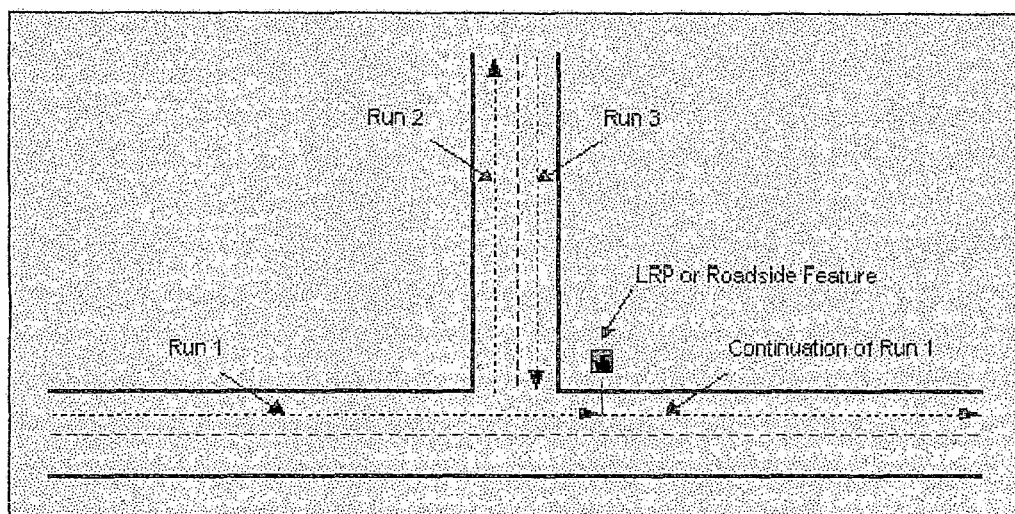
(a) Example of Adjacent Lanes With Shortened Interval at End of First Lane



(b) ROMDAS Approach

elevaría, Esta característica se usa cuando no se restablece el LRP.

Uno de los componentes más dificultosos en la investigación de la evaluación de investigación es la investigación de la evaluación. Es investigación necesario interrumpir lo que debe ser una carrera continua para medir caminos que se escapan de la ruta de evaluación primaria. Esto puede manejarse investigación con ROMDAS, y un ejemplo de esto se muestra en la figura siguiente.



Los operadores deben concluir el estudio investigación de un LRP o resaltar otro borde del camino de manera que sea inves volver a ejecutar (run 1), investigación se recomienda que este se encuentre más allá del punto de inicio de las otras evaluaciones. De esta

---

manera se pueden ejecutar las otras evaluaciones (run 2 y run 3).

Investiga a donde se terminó la evaluación ingresando en el mismo Road ID como se usó Investigaci. Entonces se dará la opción para que se pueda continuar la carrera (run) anterior. Se comenzará con la recolección de datos en el lugar donde se salió del recorrido y, una vez procesados, se integrarán ambos componentes de Run 1.

No siempre es práctico ejecutar una evaluación separada LRP antes de la evaluación de la Investigaci. Si éste es el caso, se puede crear los LRPs durante la evaluación de la Investigaci usando la Investigac opcional del LRP. En cada LRP el operador aprieta la llave de Investigaci y de esta manera se induce para clasificar el nombre del LRP. Opcionalmente, los LRPs pueden ser predefinidos y puede usarse un código de Investigaci corto (por ejemplo 100, para 100 km). Si se está definiendo los LRPs el operador puede concluir la evaluación y definir el LRP final en el mismo punto apretando la tecla F9.

Algunas veces es deseable no medir la  $I_{\text{Investiga}}$  sobre algunas secciones, por ejemplo si el estudio se encuentra con un pavimento que está reconstruyéndose. En este caso apretando la tecla F5 las dimensiones del medidor de  $I_{\text{Investiga}}$  se apagarán hasta que la tecla se apriete de nuevo. El  $I_{\text{Investiga}}$  opcionalmente calculará la  $I_{\text{Investiga}}$  Equivalente que simplemente es la  $I_{\text{Investiga}}$  sobre el intervalo que era medido, factorizada a cubrir el intervalo total. Si existe la  $I_{\text{Investigació}}$  que el vehículo viaje a  $I_{\text{Investigaci}}$  bajas, debido a cualquier congestión o a tener que detener a LRP's para las medidas/fotos, entonces debe usarse la opción para emplear la "Investigacion Equivalente" a investigaciones bajas. Esta opción observa las medidas de investigaciones ajustadas cuando la investigacion está debajo de una investigacion mínima "user-specified" (especificada por el usuario) basada en medidas a  $I_{\text{Investigaci}}$  más superiores.

Uno de los más grandes problemas que se encuentra cuando se están dirigiendo las evaluaciones anuales está en ajustar las  $I_{\text{Investigac}}$  del estudio. Esto es porque a pesar del sumo cuidado, las  $I_{\text{Investigac}}$  medidas nunca serán idénticas en dos estudios

sucesivos. En un primer año el camino puede ser de 41.153 km de largo; en un segundo año será de 41.168 km mientras que en un tercer año puede ser 40.952 km. Puesto que los sistemas correlativos esperan la base de datos de todos los caminos para tener los mismos puntos de partida y llegada que es un requisito para "rubber band" (cuadrilla de partida) de manera que todos los datos se emparejen. ROMDAS está diseñado para efectuar esta "rubber band" (cuadrilla de partida) en tiempo real. Cuando los datos se restablecen al LRP la distancia medida se reemplaza con la distancia en el archivo de LRP y en consecuencia los datos se ajustados. En consecuencia, cada año, cada estudio tendrá la mismos puntos de inicio y llegada que los LRP eliminan los datos con relación a la investigación en cualquier post-proceso.

**CAPITULO VI**  
**EVALUACION SUPERFICIAL DEL**  
**PAVIMENTO DE LA PANAMERICANA**  
**SUR**

## EVALUACIÓN SUPERFICIAL DE LA PANAMERICANA SUR

### 6.1. INTRODUCCION:

La evaluación superficial del pavimento de la panamericana sur fue desarrollada por AIC PROGETTI / SIPROMA en 1998, empleando el ARAN (Automatic Road Analyzer) como parte de la evaluación integral del pavimento de la Panamericana Sur, Panamericana Norte y Carretera Central

### 6.2. INDICES UTILIZADOS:

1) INDICE DE CALIDAD: Para facilitar el análisis de los datos relativos a la condición de regularidad de la pavimentación generalmente se fijan determinados "estándar de calidad" y la subdivisión de los datos relevados en intervalos de límites dependientes del estado de la pavimentación.

La tabla siguiente da en particular la subdivisión adoptada en intervalos de límites, para la medición de la regularidad longitudinal según las indicaciones del W. B. Technical Paper N°46.



Escala de la Regularidad Longitudinal

Indice Internacional de Rugosidad (IRI)	Calidad	Comentario
$IRI < 2.0$	Bueno	Ausencia o presencia de algunas irregularidades
$2.0 \leq IRI < 3.0$	Regular	Presencia de algunas irregularidades
$3.0 \leq IRI < 4.0$	Razonable	Irregularidades importantes
$4.0 \leq IRI$	Inapropiado	Irregularidades no aceptables

Indice de Serviciabilidad Presente

PSI	Calidad
5.0 - 4.0	Muy bueno
4.0 - 3.0	Bueno
3.0 - 2.0	Medio
2.0 - 1.0	Mediocre
1.0 - 0.0	Pésimo

Puntaje de Condición Superficial Total del Pavimento

PC	Calidad
100 - 90	Excelente
90 - 65	Bueno
65 - 40	Regular
40 - 20	Malo
20 - 0	Pésimo

**2) INDICE DE PRIORIDAD (IP):** Se define Indice de Prioridad (IP) al parámetro que permite establecer una escala jerárquica de una red vial con el objetivo de programar científicamente decisiones en función del estado de la carretera misma y de su utilización.

La determinación del nivel de prioridad se efectúa mediante la utilización de una curva de regresión apropiada, que contiene todos los parámetros representativos de las condiciones globales. El Indice de prioridad (IP) es un valor numérico variable de 1 a 10. El valor mínimo "1" indica la mas alta prioridad (nivel pésimo), mientras el valor máximo "10" representa la mínima prioridad (nivel excelente).

La curva de regresión adoptada para la determinación del Indice de Prioridad (IP), presenta una estructura matemática del siguiente tipo:

$$IP = A - B \times \text{Log} (\text{IMDA}) + C \times \text{PSI} + D \times \text{Deterioro}$$

donde los valores de los parámetros A, B, C y D son coeficientes determinados por el análisis factorial, mientras el parámetro IMDA, que representa el tráfico medio diario de cada tramo ha sido determinado a partir de los datos existentes. Este algoritmo permite actualizar dicho IP al variar los valores de los diferentes parámetros. Para el presente estudio los valores de los parámetros adoptados han sido los siguientes: A = -13.63, B = 0.27, C = 3.92, D = 9.8; con lo cual el Índice de Prioridad (IP) quedaría:

$$IP = 13.63 - 0.273 \times \log(IMDA) - 3.92 \times PSI + 9.8 \times (\text{Deterioro})$$

$$\text{Donde : Deterioro} = PC/50 - 1$$

Para el resultado de  $IP < 1$  se considera 1.

La escala del IP va de 1 a 10 con intervalos enteros. Para cada intervalo ha sido establecido el tipo de intervención y frecuencia de realización y las recomendaciones preliminares siguientes:

INDICE	INTERVENCIÓN		Recomendaciones Preliminares
	Tipo	Per / freq	
1	Evaluación Estructural con deflectómetro de impacto (*)	Inmediata	Rehabilitación o reconstrucción
2	Evaluación Estructural con deflectómetro de impacto (*)	En el año	Rehabilitación
3	Evaluación Estructural con deflectómetro de impacto (*)	A partir del año	Rehabilitación o refuerzo
4	Monitoreo del deterioro (IRI-Deterioro)	Semestral	Refuerzo asfáltico cuando el IRI alcanza 4.0 o el P.C. 40
5	Monitoreo (IRI - Deterioro)	Semestral	Refuerzo asfáltico cuando el IRI alcanza 4.0 o el P.C. 40
6	Medición IRI y Deterioro	Anual	Sellos y tratamiento superficial slurry seal
7	Medición IRI y Deterioro	Anual	Sellos y parchados
8	Medición IRI y Deterioro	Anual	Sellos
9	Medición IRI y Deterioro	C./1.5 años	Mantenimiento normal
10	Medición IRI y Deterioro	C./1.5 años	Mantenimiento normal

**3) INDICE DE SERVICIABILIDAD PRESENTE (PSI):** Las características funcionales de un pavimento vial representan el grado de cómo estas pueden servir a los usuarios. De estas características la calidad y el confort del recorrido son los aspectos más representativos. La asociación de estos aspectos está basada en la relación "serviciabilidad / prestación" de un pavimento y se fundamenta sobre los conceptos siguientes:

- La red vial es un pilar en las actividades de los usuarios
- La estimación del confort y de la comodidad en la utilización de una carretera es una opinión del usuario

- La serviciabilidad se indica como promedio de las varias estimaciones manifestadas por los usuarios
- Existen características físicas de una pavimentación que se pueden medir de manera objetiva y que se pueden relacionar a una evaluación subjetiva, lo que permite definir un índice de serviciabilidad objetivo
- Las características de un pavimento pueden ser representados por la historia de su serviciabilidad

La serviciabilidad del pavimento se define como Present Serviceability Index, PSI. El que se determina por mediciones de la rugosidad, deterioro, fallas, parchados y ahuellamientos en un determinado periodo de la vida de servicio del pavimento. La rugosidad es el parámetro más representativo en la definición del PSI, por lo tanto su medición necesita un método confiable. Para el presente estudio se ha utilizado la correlación que al respecto da la AASHTO:

$$PSI = \frac{5}{e^{(IRI / 5.5)}}$$

4) **INDICE DE CONDICION (PC):** El Indice de Condición se presenta como Puntaje de Condición (PC) y representa el grado de deterioro superficial. Su determinación se realiza atribuyendo a cada tipología de deterioro un puntaje en función de su calidad según las siguientes escalas de valores establecidos para el presente estudio:

a) Aspecto superficial estructural del pavimento:

0 - 25 puntos

- Bueno : 0 - 4 puntos
- Regular : 5 - 10 puntos
- Malo : 5 - 25 puntos

b) Reparaciones existentes por Km en el pavimento:

0 - 15 puntos

- 1 a 20 zonas reparadas : 0 - 5 puntos
- 2 a 50 zonas reparadas : 6 - 10 puntos
- más de 50 zonas reparadas : 6 - 25 puntos

c) Ahuellamientos: \* 0 - 25 puntos

- Menos de 5 mm : 0 - 5 puntos
- Entre 6 a 12 mm : 6 - 12 puntos
- Mayor de 12 mm : 13 - 25 puntos

---

d) Defectos varios del pavimento:	0 - 15 puntos
➤ Escasa	: 0 - 5 puntos
➤ Intermedio	: 6 - 10 puntos
➤ Extensa	: 11 - 15 puntos
e) Drenaje:	0 - 10 puntos
➤ Sin deficiencias	: 0 puntos
➤ Con deficiencias	: 1 - 10 puntos
f) Comodidad de manejo (Transitabilidad)	0 - 10 puntos
➤ Excelente	: 0 - 2 puntos
➤ Bueno	: 2 - 4 puntos
➤ Regular	: 4 - 6 puntos
➤ Malo	: 6 - 8 puntos
➤ Pésimo	: 8 - 10 puntos
Puntaje máximo	: 100 puntos

Puntaje de Condición =  $100 - \sum \text{defectos encontrados}$ .

\*la evaluación de los ahuellamientos ha sido determinada automáticamente con el sistema ARAN.

**6.3. SECCIONES DEL ESTUDIO.** Las secciones del estudio de la red vial para la determinación de las irregularidades

---

superficiales o rugosidades han sido divididas en sub-tramos homogéneos y luego estos en Unidades Muestra.

a) **SUB-TRAMOS HOMOGENEOS.** Se define Sub-tramo Homogéneo a la sección de carretera caracterizada por un valor IRI más o menos constante. La delimitación de las secciones se hizo a partir del IRI de la huella derecha, condición crítica como anteriormente fue explicado, y utilizando un programa software específico de tipo ARAN que efectúa una división automática en subsecciones estadísticamente uniformes.

El programa posee un ciclo interactivo que verifica la distribución estadística de datos y los divide en subsecciones uniformes con distribución logarítmica y en base a un nivel de confianza ya decidido (Lebas, Deybernard. & Carte "Método de traitement degrense ignements de mesure de densidad en continue" Bolletin de Livison Laboratoires des Ponts et Chaussees, 114, 1981).

Las secciones han sido calculadas para cada carretera y para cada carril. Para cada sub-tramo homogéneo se ha calculado el valor del IRI medio y de la desviación estándar. Sucesivamente



han sido determinados los "outliers" de cada sección asumiendo un nivel de confianza del 95%. Como posterior análisis del significado de la muestra, se ha efectuado también el análisis al interior de cada sección, calculando la distribución porcentual con relación a la longitud en función de las distintas clases del IRI según los criterios del Banco Mundial.

b) **UNIDAD MUESTRA.** Cada sub-tramo homogéneo ha sido subdividido en unidades de 250 m de longitud. Las unidades de cada sub-tramo que han sido elegidos para definir el deterioro representan las Unidades Muestra. Es decir la Unidad Muestra es una sección de pavimento designada únicamente para la inspección del deterioro.

La determinación del número de Unidades Muestra a analizar al interior de cada sub-tramo homogéneo han sido definidos sobre consideraciones estadísticas aplicadas a la ingeniería vial, que jerárquicamente prevé dos metodologías: una utilizada a nivel de red (network level) otra utilizada a nivel de proyecto (project level).

En el marco del presente estudio ha sido aplicado el método por el levantamiento a nivel de red conforme a la norma ASTM D 5340/93. esta norma permite determinar el número mínimo de Unidades Muestras (n) que hay que analizar para obtener una evaluación de las secciones a donde se calcula el PCI (Paviment Condition Index) por medio de la fórmula siguiente:

$$n = [N \times S^2] / [(e^2/4)(N - 1) + S^2]$$

Donde:

n: Número total de Unidades Muestra del sub-tramo homogéneo

e: coeficiente que representa el error admisible en la evaluación del PCI del sub-tramo homogéneo en análisis.

S: desviación estándar del PCI

Tratándose de un levantamiento a nivel de red se han adoptado para el error admisible y la desviación estándar, un valor de 5. los parámetros de base aplicados en el estudio se presentan en el cuadro siguiente:

Unidades Muestra del sub-tramo (N)	Unidades Muestra a inspeccionar (n)
1	1
2 - 4	2
5 - 20	3
Más de 20	4

**6.4. DETERIORO.** El deterioro observado durante las investigaciones está caracterizado particularmente por las siguientes fallas:

- Superficie excesivamente lisa y pulida
- Fisuras ramificadas (piel de cocodrilo)
- Peladura del tratamiento superficial
- Exudación del ligante
- Ahuellamiento
- Microfisuraciones de construcción
- Deficiencias de drenaje
- Arenamiento (tramos en zonas desérticas)
- Fallas de asentamiento

**6.5. PROCEDIMIENTO DE LEVANTAMIENTO.** El subsistema de video SVHS del ARAN graba, durante el recorrido del levantamiento, además de la superficie del pavimento, también el campo vial de la carretera en análisis, por eso se utilizan dos cámaras filmadoras SVHS uno para la vista frontal y otra para la superficie misma.

Las imágenes frontales marcadas fotograma por fotograma en modo progresivo, se graban y luego se analizan en post-procesing en la work station mediante software semiautomático DISTRESS para la definición del deterioro superficial; lo que ha permitido registrar dicho deterioro en modo continuo con pasadas constantes, con el fin de garantizar la máxima objetividad de la medición misma.

El programa específico tiene un algoritmo de tratamiento de las imágenes que permite asociar a cada una de las tipologías de deterioro y determinar el Índice de Deterioro según los criterios fijados.

#### 6.6. CALCULOS Y RESULTADOS DE LAS MEDICIONES.

La utilización del equipo ARAN ha permitido realizar una campaña de investigación más detallada y global, que una investigación con el método tradicional, lo que ha permitido a la vez determinación del deterioro superficial libre de los errores típicos de la observación directa. En efecto la tecnología aplicada en este estudio permite integrar en el análisis de los datos varios factores

---

en un ambiente de oficina y alcanzar resultados más confiables y además el manejo de los datos en la futura gestión.

En el cuadro siguiente se presenta una comparación sintética para evidenciar la diferencia de toma de datos, entre la tecnología adoptada en el estudio (ARAN) y aquella tradicional.

Descripción	Tecnología Tradicional (TR)	Tecnología Adoptada (ARAN)
Registro de mediciones IRI	Cada 250m	Cada 25m
Evaluación visual	visual	Con video *
Longitud evaluada para cada km	100 m (10%) toda la calzada	Min. 200m (20%) En cada carril
Cálculo del PSI	No	Si
Mediciones adicionales		
• Perfil transversal	No	Si
• Radio de curvatura	No	Si
• Ahuellamientos	Cada km	Cada 25m
• Pendiente longitudinal	No	Si
Data base	Si	Si

\* los datos obtenidos por medio del video queda como parte integrante del data BASE

Las aplicaciones de las recomendaciones indicadas en el cuadro de arriba, necesitan de investigaciones suplementarias en particular modo a la identificación de la capacidad portante del pavimento. Esta investigación actualmente se realiza por el método del deflectómetro de impacto o, FWD (Falling Weight

Deflectometer), que frente a los métodos tradicionales, eso resulta más rápido y completo y además en cada punto de aplicación se investiga la respuesta de toda la estructura, incluido el estado a nivel de subrasante, sobre un área de una zona.

## 6.7. DISTRIBUCIÓN DE TRAMOS PARA LA EVALUACIÓN DEL PAVIMENTO.

CODIGO CTRA	CARRETERA PANAMERICANA SUR	LONGITUD (km)
S010	Pte. Pucusana - Dv. Quilmana	63.90
S020	Dv. Quilmana - Pte. Huamaní	106.50
S030	Pte. Huamaní - Ac. Microondas	118.95
S040	Ac. Microondas - Palpa	43.00
S050	De Variante Palpa	12.62
S060	Palpa - Dv. Lomas	140.00
S070	Dv. Lomas - Pto. Viejo	117.00
S080	Pto. Viejo - km. 175	68.00
S090	Km. 175 - Pte. Haway	94.50
S100	Pte. Haway - Ac. Microondas	88.00
S110	Ac. Microondas - Dv. Mollendo	84.50
S120	Dv. Mollendo - El Fiscal	59.00
S130	El Fiscal - Pte. Montalvo	100.00
S140	Pte. Montalvo - Pte. Camiara	73.00
S150	Pte. Camiara - Tacna	81.00
S160	Tacna - La Concordia	37.07

## 6.8. RESUMEN DE RESULTADOS.

## SUB-TRAMOS HOMOGENEOS DE CARRILES CON I.P. 1 Y 2

Código	Dir.	De	a	Inicio	Fin	Long.	I.P.
S010	N	Pte. Pucusana	Dv. Quilmaná	58+000	61+400	3+400	2
S010	N	Pte. Pucusana	Dv. Quilmaná	60+750	63+250	2+500	2
S010	S	Pte. Pucusana	Dv. Quilmaná	58+000	61+025	3+025	2
S010	S	Pte. Pucusana	Dv. Quilmaná	58+000	60+900	2+900	1
S010	S	Pte. Pucusana	Dv. Quilmaná	66+950	71+450	4+500	2
S020	N	Dv. Quilmaná	Pte. Huamaní	194+275	196+775	2+500	1
S040	N	Ac. Microondas	Palpa	351+675	354+175	2+500	1
S040	N	Ac. Microondas	Palpa	386+550	390+000	3+450	1
S040	S	Ac. Microondas	Palpa	384+950	387+450	2+500	2
S040	S	Ac. Microondas	Palpa	387+450	390+000	2+550	1
S070	N	Dv. Lomas	Pte. Viejo	568+525	576+475	7+950	1
S070	N	Dv. Lomas	Pte. Viejo	593+300	597+050	3+750	2
S070	S	Dv. Lomas	Pte. Viejo	558+475	561+600	3+125	1
S070	S	Dv. Lomas	Pte. Viejo	567+675	570+600	2+925	1
S070	S	Dv. Lomas	Pte. Viejo	570+600	573+225	2+625	1
S070	S	Dv. Lomas	Pte. Viejo	573+225	576+100	2+875	1
S080	N	Pte. Viejo	Km 715	647+000	649+925	2+925	1
S080	N	Pte. Viejo	Km 715	649+925	652+750	2+825	1
S080	N	Pte. Viejo	Km 715	652+750	657+000	4+250	2
S080	N	Pte. Viejo	Km 715	659+775	663+050	3+275	2
S080	N	Pte. Viejo	Km 715	663+050	666+650	3+600	1
S080	N	Pte. Viejo	Km 715	666+650	669+150	2+500	2
S080	N	Pte. Viejo	Km 715	669+150	672+000	2+850	2
S080	N	Pte. Viejo	Km 715	680+150	687+075	6+925	1
S080	N	Pte. Viejo	Km 715	687+075	694+275	7+200	2
S080	N	Pte. Viejo	Km 715	698+075	702+500	4+425	2
S080	N	Pte. Viejo	Km 715	709+325	712+125	2+800	2
S080	S	Pte. Viejo	Km 715	647+000	650+000	3+000	1
S080	S	Pte. Viejo	Km 715	655+450	658+075	2+625	2
S080	S	Pte. Viejo	Km 715	664+475	667+425	2+950	2
S080	S	Pte. Viejo	Km 715	680+175	682+675	2+500	1
S080	S	Pte. Viejo	Km 715	682+675	686+200	3+525	1
S080	S	Pte. Viejo	Km 715	686+200	689+500	3+300	2
S080	S	Pte. Viejo	Km 715	689+500	693+225	3+725	2
S080	S	Pte. Viejo	Km 715	697+825	702+675	4+850	2
S090	N	Km 715	Pte. Hawaii	744+350	749+275	4+925	2
S090	S	Km 715	Pte. Hawaii	721+975	724+725	2+750	2
S090	S	Km 715	Pte. Hawaii	759+500	762+225	2+725	2
S090	S	Km 715	Pte. Hawaii	762+225	765+925	3+700	2
S100	N	Pte. Hawaii	Ac. Microndas	868+400	762+225	2+500	2



EVALUACIÓN SUPERFICIAL DE PAVIMENTOS - APLICACION DEL INDICE INTERNACIONAL DE RUGOSIDAD

Código	Dir.	De	a	Inicio	Fin	Long.	I. P.
S100	N	Pte. Hawai	Ac. Microondas	876+275	881+075	4+800	2
S110	N	Ac. Microondas	Dv. Mollendo	897+500	901+025	3+325	2
S110	N	Ac. Microondas	Dv. Mollendo	916+200	919+525	3+525	1
S110	N	Ac. Microondas	Dv. Mollendo	923+175	926+200	3+025	2
S110	N	Ac. Microondas	Dv. Mollendo	926+200	928+775	2+575	2
S110	N	Ac. Microondas	Dv. Mollendo	933+225	935+800	2+575	2
S110	N	Ac. Microondas	Dv. Mollendo	944+700	949+400	4+700	2
S110	N	Ac. Microondas	Dv. Mollendo	949+400	951+900	2+500	1
S110	N	Ac. Microondas	Dv. Mollendo	951+900	955+575	3+675	1
S110	N	Ac. Microondas	Dv. Mollendo	955+575	958+425	2+850	1
S110	N	Ac. Microondas	Dv. Mollendo	958+425	962+950	4+525	1
S110	S	Ac. Microondas	Dv. Mollendo	897+500	901+750	4+250	2
S110	S	Ac. Microondas	Dv. Mollendo	915+625	918+125	2+500	2
S110	S	Ac. Microondas	Dv. Mollendo	918+125	921+075	2+950	2
S110	S	Ac. Microondas	Dv. Mollendo	944+975	947+475	2+500	2
S110	S	Ac. Microondas	Dv. Mollendo	947+475	952+575	5+100	1
S110	S	Ac. Microondas	Dv. Mollendo	955+250	958+800	3+550	1
S110	S	Ac. Microondas	Dv. Mollendo	958+800	961+425	2+625	2
S110	S	Ac. Microondas	Dv. Mollendo	961+425	963+925	2+500	1
S130	N	El Fiscal	Pte. Montalvo	1040+000	1042+950	2+950	2
S130	N	El Fiscal	Pte. Montalvo	1046+300	1049+450	3+150	1
S130	N	El Fiscal	Pte. Montalvo	1049+450	1051+950	2+500	1
S130	N	El Fiscal	Pte. Montalvo	1055+175	1058+750	3+575	2
S130	S	El Fiscal	Pte. Montalvo	1042+675	1047+300	4+625	1
S130	S	El Fiscal	Pte. Montalvo	1047+300	1050+200	2+900	1
S130	S	El Fiscal	Pte. Montalvo	1050+200	1052+700	2+500	1
S160	N	Tacna	La Concordia	1294+000	1297+975	3+975	1
S160	N	Tacna	La Concordia	1297+975	1300+650	2+675	1
S160	N	Tacna	La Concordia	1308+150	1311+850	3+700	1
S160	N	Tacna	La Concordia	1311+850	1314+450	2+600	1
S160	N	Tacna	La Concordia	1314+450	1317+200	2+750	1
S160	N	Tacna	La Concordia	1317+200	1319+850	2+650	1
S160	S	Tacna	La Concordia	1294+000	1298+100	4+100	1
S160	S	Tacna	La Concordia	1308+075	1312+250	4+175	1
S160	S	Tacna	La Concordia	1312+250	1315+975	3+725	1
S160	S	Tacna	La Concordia	1315+975	1318+475	2+500	1

## RESUMEN DE LA EVALUACION SUPERFICIAL DE PAVIMENTOS

**TRAMO:** S010 De Pte. Pucusana a Dv. quilmaná

a. Parámetros Técnicos:

a.1. I.R.I. (International Roughness Index)

Dirección	Longitud Carril	Clases I.R.I. en (%)			
		IRI < 2.0 Bueno	2.0 ≤ IRI < 3.0 Regular	3.0 ≤ IRI < 4.0 Razonable	IRI ≥ 4.0 Inapropiado
N	63.575	53.3	41.3	5.3	0.0
S	63.550	49.6	45.9	4.1	0.0
TOTAL	127.125	51.4	43.6	5.0	0.0

a.2. P.S.I. (Present Serviciability Index)

Dirección	Longitud Carril	Clases P.S.I. en (%)				
		5.0 > PSI ≥ 4.0 Muy Bueno	4.0 > PSI ≥ 3.0 Bueno	3.0 > PSI ≥ 2.0 Medio	2.0 > PSI ≥ 1.0 Mediocre	1.0 > PSI ≥ 0.0 Pesimo
N	63.575	0.0	90.5	9.5	0.0	0.0
S	63.550	0.0	91.4	8.6	0.0	0.0
TOTAL	127.125	0.0	90.4	9.1	0.0	0.0

a.3. P.C. (Puntaje de Condición)

Dirección	Número de U.M.	Puntaje de Condición Superficial Total de Pavimento (Número de U.M.)									
		100 > PC ≥ 90 Excelente		90 > PC ≥ 65 Bueno		65 > PC ≥ 40 Regular		40 > PC ≥ 20 Malo		20 > PC ≥ 0 Pesimo	
		Nº de Secc	%Nº de Secc.	Nº de Secc	%Nº de Secc.	Nº de Secc	%Nº de Secc.	Nº de Secc	%Nº de Secc.	Nº de Secc	%Nº de Secc.
N	13	0	0.0	13	100.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0
S	19	0	0.0	19	100.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0
TOTAL	32	0	0.0	32	100.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0

b. Conclusión

b.1. I.P. (Indice de Prioridad)

Dirección	Número de U.M.	INDICE DE PRIORIDAD									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
N	13	0	1	4	2	1	3	2	0	0	0
S	19	1	1	3	1	2	5	6	0	0	0
TOTAL	32	1	2	7	3	3	8	8	0	0	0

b.2. Intervención y Recomendaciones

INDICE	INTERVENCIÓN		Recomendaciones Preliminares
	Tipo	Per / freq	
1	Evaluación Estructural con deflectómetro de impacto (*)	Inmediata	Rehabilitación o reconstrucción
2	Evaluación Estructural con deflectómetro de impacto (*)	En el año	Rehabilitación
3	Evaluación Estructural con deflectómetro de impacto (*)	A partir del año	Rehabilitación o refuerzo
4	Monitoreo del deterioro (IRI-Deterioro)	Semestral	Refuerzo asfáltico cuando el IRI alcanza 4.0 o el P.C. 40
5	Monitoreo (IRI - Deterioro)	Semestral	Refuerzo asfáltico cuando el IRI alcanza 4.0 o el P.C. 40
6	Medición IRI y Deterioro	Anual	Sellos y tratamiento superficial slurry seal
7	Medición IRI y Deterioro	Anual	Sellos y parchados
8	Medición IRI y Deterioro	Anual	Sellos
9	Medición IRI y Deterioro	C./1.5 años	Mantenimiento normal
10	Medición IRI y Deterioro	C./1.5 años	Mantenimiento normal

(\*) Se recomienda deflectometría con FWD

UM: Unidad Muestra

**TRAMO: S020 De Dv. Quilmaná a Pte. Huamaní**

**a. Parámetros Técnicos:**

**a.1. I.R.I. (International Roughness Index)**

Dirección	Longitud Carril	Clases I.R.I. en (%)			
		IRI < 2.0 Bueno	2.0 ≤ IRI < 3.0 Regular	3.0 ≤ IRI < 4.0 Razonable	IRI ≥ 4.0 Inapropiado
N	105.50	84.1	13.6	2.4	0.0
S	106.05	76.0	24.0	0.0	0.0
TOTAL	211.55	80.1	18.8	1.2	0.0

**a.2. P.S.I. (Present Serviceability Index)**

Dirección	Longitud Carril	Clases P.S.I. en (%)				
		5.0 > PSI ≥ 4.0 Muy Bueno	4.0 > PSI ≥ 3.0 Bueno	3.0 > PSI ≥ 2.0 Medio	2.0 > PSI ≥ 1.0 Mediocre	1.0 > PSI ≥ 0.0 Pésimo
N	105.50	15.5	82.2	2.4	0.0	0.0
S	106.05	11.3	88.7	0.0	0.0	0.0
TOTAL	211.55	13.4	85.5	1.2	0.0	0.0

**a.3. P.C. (Puntaje de Condición)**

Dirección	Número de U.M.	Puntaje de Condición Superficial Total de Pavimento (Número de U.M.)									
		100 > PC ≥ 90 Excelente		90 > PC ≥ 65 Bueno		65 > PC ≥ 40 Regular		40 > PC ≥ 20 Malo		20 > PC ≥ 0 Pésimo	
		Nº de Secc.	%Nº de Secc.	Nº de Secc.	%Nº de Secc.	Nº de Secc.	%Nº de Secc.	Nº de Secc.	%Nº de Secc.	Nº de Secc.	%Nº de Secc.
N	32	0	0.0	32	100.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0
S	31	0	0.0	31	100.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0
TOTAL	63	0	0.0	63	100.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0

**b. Conclusión**

**b.1. I.P. (Índice de Prioridad)**

Dirección	Número de U.M.	INDICE DE PRIORIDAD									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
N	32	1	0	2	2	5	6	8	6	1	1
S	31	0	0	1	4	5	10	6	4	1	0
TOTAL	63	1	0	3	6	10	16	14	10	2	1

**b.2. Intervención y Recomendaciones**

INDICE	INTERVENCIÓN		Recomendaciones Preliminares
	Tipo	Per / freq	
1	Evaluación Estructural con deflectómetro de impacto (*)	Inmediata	Rehabilitación o reconstrucción
2	Evaluación Estructural con deflectómetro de impacto (*)	En el año	Rehabilitación
3	Evaluación Estructural con deflectómetro de impacto (*)	A partir del año	Rehabilitación o refuerzo
4	Monitoreo del deterioro (IRI-Deterioro)	Semestral	Refuerzo asfáltico cuando el IRI alcanza 4.0 o el P.C. 40
5	Monitoreo (IRI - Deterioro)	Semestral	Refuerzo asfáltico cuando el IRI alcanza 4.0 o el P.C. 40
6	Medición IRI y Deterioro	Anual	Sellos y tratamiento superficial slurry seal
7	Medición IRI y Deterioro	Anual	Sellos y parchados
8	Medición IRI y Deterioro	Anual	Sellos
9	Medición IRI y Deterioro	C./1.5 años	Mantenimiento normal
10	Medición IRI y Deterioro	C./1.5 años	Mantenimiento normal

(\*) Se recomienda deflectometría con FWD

UM: Unidad Muestra

**TRAMO: S030 De Pte. Huamaní a Acc. Microondas**

**a. Parámetros Técnicos:**

**a.1. I.R.I. (International Roughness Index)**

Dirección	Longitud Carril	Clases I.R.I. en (%)			
		IRI < 2.0 Bueno	2.0 ≤ IRI < 3.0 Regular	3.0 ≤ IRI < 4.0 Razonable	IRI ≥ 4.0 Inapropiado
N	118.80	89.0	11.0	0.0	0.0
S	118.95	85.8	14.2	0.0	0.0
TOTAL	237.75	87.4	12.6	0.0	0.0

**a.2. P.S.I. (Present Serviciability Index)**

Dirección	Longitud Carril	Clases P.S.I. en (%)				
		5.0 > PSI ≥ 4.0 Muy Bueno	4.0 > PSI ≥ 3.0 Bueno	3.0 > PSI ≥ 2.0 Medio	2.0 > PSI ≥ 1.0 Mediocre	1.0 > PSI ≥ 0.0 Pésimo
N	118.80	2.1	97.9	0.0	0.0	0.0
S	118.95	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0
TOTAL	237.75	1.1	98.9	0.0	0.0	0.0

**a.3. P.C. (Puntaje de Condición)**

Dirección	Número de U.M.	Puntaje de Condición Superficial Total de Pavimento (Número de U.M.)									
		100 > PC ≥ 90 Excelente		90 > PC ≥ 65 Bueno		65 > PC ≥ 40 Regular		40 > PC ≥ 20 Malo		20 > PC ≥ 0 Pésimo	
		Nº de Secc	%Nº de Secc.	Nº de Secc	%Nº de Secc.	Nº de Secc	%Nº de Secc.	Nº de Secc	%Nº de Secc.	Nº de Secc	%Nº de Secc.
N	34	0	0.0	34	100.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0
S	32	0	0.0	32	100.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0
TOTAL	66	0	0.0	66	100.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0

**b. Conclusión**

**b.1. I.P. (Índice de Prioridad)**

Dirección	Número de U.M.	INDICE DE PRIORIDAD									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
N	34	0	0	0	6	6	18	4	0	0	0
S	32	0	0	0	4	7	11	9	1	0	0
TOTAL	66	0	0	0	10	13	29	13	1	0	0

**b.2. Intervención y Recomendaciones**

INDICE	INTERVENCIÓN		Recomendaciones Preliminares
	Tipo	Per / freq	
1	Evaluación Estructural con deflectómetro de impacto (*)	Inmediata	Rehabilitación o reconstrucción
2	Evaluación Estructural con deflectómetro de impacto (*)	En el año	Rehabilitación
3	Evaluación Estructural con deflectómetro de impacto (*)	A partir del año	Rehabilitación o refuerzo
4	Monitoreo del deterioro (IRI-Deterioro)	Semestral	Refuerzo asfáltico cuando el IRI alcanza 4.0 o el P.C. 40
5	Monitoreo (IRI - Deterioro)	Semestral	Refuerzo asfáltico cuando el IRI alcanza 4.0 o el P.C. 40
6	Medición IRI y Deterioro	Anual	Sellos y tratamiento superficial slurry seal
7	Medición IRI y Deterioro	Anual	Sellos y parchados
8	Medición IRI y Deterioro	Anual	Sellos
9	Medición IRI y Deterioro	C./1.5 años	Mantenimiento normal
10	Medición IRI y Deterioro	C./1.5 años	Mantenimiento normal

(\*) Se recomienda deflectometría con FWD

UM: Unidad Muestra

**TRAMO:** SO40 De Acc. Microondas a Palpa

**a. Parámetros Técnicos:**

**a.1. I.R.I. (International Roughness Index)**

Dirección	Longitud Carril	Clases I.R.I. en (%)			
		IRI < 2.0 Bueno	2.0 ≤ IRI < 3.0 Regular	3.0 ≤ IRI < 4.0 Razonable	IRI ≥ 4.0 Inapropiado
N	43.0	48.6	43.4	0.0	8.0
S	43.0	49.6	44.5	0.0	5.9
TOTAL	86.0	49.1	43.9	0.0	7.0

**a.2. P.S.I. (Present Serviciability Index)**

Dirección	Longitud Carril	Clases P.S.I. en (%)				
		5.0 > PSI ≥ 4.0 Muy Bueno	4.0 > PSI ≥ 3.0 Bueno	3.0 > PSI ≥ 2.0 Medio	2.0 > PSI ≥ 1.0 Mediocre	1.0 > PSI ≥ 0.0 Pésimo
N	43.0	0.0	86.2	5.8	0.0	8.0
S	43.0	0.0	94.1	0.0	0.0	5.9
TOTAL	86.0	0.0	90.1	2.9	0.0	7.0

**a.3. P.C. (Puntaje de Condición)**

Dirección	Número de U.M.	Puntaje de Condición Superficial Total de Pavimento (Número de U.M.)									
		100 > PC ≥ 90 Excelente		90 > PC ≥ 65 Bueno		65 > PC ≥ 40 Regular		40 > PC ≥ 20 Malo		20 > PC ≥ 0 Pésimo	
		Nº de Secc.	%Nº de Secc.	Nº de Secc.	%Nº de Secc.	Nº de Secc.	%Nº de Secc.	Nº de Secc.	%Nº de Secc.	Nº de Secc.	%Nº de Secc.
N	11	0	0.0	10	90.9	0	0.0	1	9.1	0	0.0
S	10	0	0.0	9	90.0	1	10.0	0	0.0	0	0.0
TOTAL	21	0	0.0	19	90.5	1	4.8	1	4.8	0	0.0

**b. Conclusión**

**b.1. I.P. (Indice de Prioridad)**

	Número de U.M.	INDICE DE PRIORIDAD									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
N	11	2	0	2	5	2	0	0	0	0	0
S	10	1	1	1	4	3	0	0	0	0	0
TOTAL	21	3	1	3	9	5	0	0	0	0	0

**b.2. Intervención y Recomendaciones**

INDICE	INTERVENCIÓN		Recomendaciones Preliminares
	Tipo	Per / freq	
1	Evaluación Estructural con deflectómetro de impacto (*)	Inmediata	Rehabilitación o reconstrucción
2	Evaluación Estructural con deflectómetro de impacto (*)	En el año	Rehabilitación
3	Evaluación Estructural con deflectómetro de impacto (*)	A partir del año	Rehabilitación o refuerzo
4	Monitoreo del deterioro (IRI-Deterioro)	Semestral	Refuerzo asfáltico cuando el IRI alcanza 4.0 o el P.C. 40
5	Monitoreo (IRI - Deterioro)	Semestral	Refuerzo asfáltico cuando el IRI alcanza 4.0 o el P.C. 40
6	Medición IRI y Deterioro	Anual	Sellos y tratamiento superficial slurry seal
7	Medición IRI y Deterioro	Anual	Sellos y parchados
8	Medición IRI y Deterioro	Anual	Sellos
9	Medición IRI y Deterioro	C./1.5 años	Mantenimiento normal
10	Medición IRI y Deterioro	C./1.5 años	Mantenimiento normal

(\*) Se recomienda deflectometría con FWD

UM: Unidad Muestra

**TRAMO: S050 De Variante Palpa**

**a. Parámetros Técnicos:**

**a.1. I.R.I. (International Roughness Index)**

Dirección	Longitud Carril	Clases I.R.I. en (%)			
		IRI < 2.0 Bueno	2.0 ≤ IRI < 3.0 Regular	3.0 ≤ IRI < 4.0 Razonable	IRI ≥ 4.0 Inapropiado
N	15.625	21.2	78.8	0.0	0.0
S	12.625	0.0	100.0	0.0	0.0
TOTAL	25.250	10.6	98.4	0.0	0.0

**a.2. P.S.I. (Present Serviciability Index)**

Dirección	Longitud Carril	Clases P.S.I. en (%)				
		5.0 > PSI ≥ 4.0 Muy Bueno	4.0 > PSI ≥ 3.0 Bueno	3.0 > PSI ≥ 2.0 Medio	2.0 > PSI ≥ 1.0 Mediocre	1.0 > PSI ≥ 0.0 Pésimo
N	15.625	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0
S	12.625	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0
TOTAL	25.250	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0

**a.3. P.C. (Puntaje de Condición)**

Dirección	Número de U.M.	Puntaje de Condición Superficial Total de Pavimento (Número de U.M.)									
		100 > PC ≥ 90 Excelente		90 > PC ≥ 65 Bueno		65 > PC ≥ 40 Regular		40 > PC ≥ 20 Malo		20 > PC ≥ 0 Pésimo	
		Nº de Secc.	%Nº de Secc.	Nº de Secc.	%Nº de Secc.	Nº de Secc.	%Nº de Secc.	Nº de Secc.	%Nº de Secc.	Nº de Secc.	%Nº de Secc.
N	4	0	0.0	4	100.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0
S	3	0	0.0	3	100.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0
TOTAL	7	0	0.0	7	100.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0

**b. Conclusión**

**b.1. I.P. (Indice de Prioridad)**

Dirección	Número de U.M.	INDICE DE PRIORIDAD									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
N	4	0	0	1	3	0	0	0	0	0	0
S	3	0	0	0	2	1	0	0	0	0	0
TOTAL	7	0	0	1	5	1	0	0	0	0	0

**b.2. Intervención y Recomendaciones**

INDICE	INTERVENCIÓN		Recomendaciones Preliminares
	Tipo	Per / freq	
1	Evaluación Estructural con deflectómetro de impacto (*)	Inmediata	Rehabilitación o reconstrucción
2	Evaluación Estructural con deflectómetro de impacto (*)	En el año	Rehabilitación
3	Evaluación Estructural con deflectómetro de impacto (*)	A partir del año	Rehabilitación o refuerzo
4	Monitoreo del deterioro (IRI-Deterioro)	Semestral	Refuerzo asfáltico cuando el IRI alcanza 4.0 o el P.C. 40
5	Monitoreo (IRI - Deterioro)	Semestral	Refuerzo asfáltico cuando el IRI alcanza 4.0 o el P.C. 40
6	Medición IRI y Deterioro	Anual	Sellos y tratamiento superficial slurry seal
7	Medición IRI y Deterioro	Anual	Sellos y parchados
8	Medición IRI y Deterioro	Anual	Sellos
9	Medición IRI y Deterioro	C./1.5 años	Mantenimiento normal
10	Medición IRI y Deterioro	C./1.5 años	Mantenimiento normal

(\*) Se recomienda deflectometría con FWD

UM: Unidad Muestra

**TRAMO: S060 De Palpa a Dv. Lomas**

**a. Parámetros Técnicos:**

**a.1. I.R.I. (International Roughness Index)**

Dirección	Longitud Carril	Clases I.R.I. en (%)			
		IRI < 2.0 Bueno	2.0 ≤ IRI < 3.0 Regular	3.0 ≤ IRI < 4.0 Razonable	IRI ≥ 4.0 Inapropiado
N	140.0	97.6	2.4	0.0	0.0
S	140.0	91.6	8.4	0.0	0.0
TOTAL	280.0	94.1	5.4	0.0	0.0

**a.2. P.S.I. (Present Serviceability Index)**

Dirección	Longitud Carril	Clases P.S.I. en (%)				
		5.0 > PSI ≥ 4.0 Muy Bueno	4.0 > PSI ≥ 3.0 Bueno	3.0 > PSI ≥ 2.0 Medio	2.0 > PSI ≥ 1.0 Mediocre	1.0 > PSI ≥ 0.0 Pésimo
N	140.0	28.3	71.7	0.0	0.0	0.0
S	140.0	16.0	84.0	0.0	0.0	0.0
TOTAL	280.0	22.1	77.9	0.0	0.0	0.0

**a.3. P.C. (Puntaje de Condición)**

Dirección	Número de U.M.	Puntaje de Condición Superficial Total de Pavimento (Número de U.M.)									
		100 > PC ≥ 90 Excelente		90 > PC ≥ 65 Bueno		65 > PC ≥ 40 Regular		40 > PC ≥ 20 Malo		20 > PC ≥ 0 Pésimo	
		Nº de Secc	%Nº de Secc.	Nº de Secc	%Nº de Secc.	Nº de Secc	%Nº de Secc.	Nº de Secc	%Nº de Secc.	Nº de Secc	%Nº de Secc.
N	37	0	0.0	37	100.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0
S	38	0	0.0	38	100.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0
TOTAL	75	0	0.0	75	100.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0

**b. Conclusión**

**b.1. I.P. (Índice de Prioridad)**

Dirección	Número de U.M.	INDICE DE PRIORIDAD									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
N	37	0	0	1	2	4	7	13	10	0	0
S	38	0	0	0	4	13	15	6	0	0	0
TOTAL	75	0	0	1	6	17	22	19	10	0	0

**b.2. Intervención y Recomendaciones**

INDICE	INTERVENCIÓN		Recomendaciones Preliminares
	Tipo	Per / freq	
1	Evaluación Estructural con deflectómetro de impacto (*)	Inmediata	Rehabilitación o reconstrucción
2	Evaluación Estructural con deflectómetro de impacto (*)	En el año	Rehabilitación
3	Evaluación Estructural con deflectómetro de impacto (*)	A partir del año	Rehabilitación o refuerzo
4	Monitoreo del deterioro (IRI-Deterioro)	Semestral	Refuerzo asfáltico cuando el IRI alcanza 4.0 o el P.C. 40
5	Monitoreo (IRI - Deterioro)	Semestral	Refuerzo asfáltico cuando el IRI alcanza 4.0 o el P.C. 40
6	Medición IRI y Deterioro	Anual	Sellos y tratamiento superficial slurry seal
7	Medición IRI y Deterioro	Anual	Sellos y parchados
8	Medición IRI y Deterioro	Anual	Sellos
9	Medición IRI y Deterioro	C./1.5 años	Mantenimiento normal
10	Medición IRI y Deterioro	C./1.5 años	Mantenimiento normal

(\*) Se recomienda deflectometría con FWD

UM: Unidad Muestra

**TRAMO: S070 De Dv. Lomas a Pto. Viejo**

**a. Parámetros Técnicos:**

**a.1. I.R.I. (International Roughness Index)**

Dirección	Longitud Carril	Clases I.R.I. en (%)			
		IRI < 2.0 Bueno	2.0 ≤ IRI < 3.0 Regular	3.0 ≤ IRI < 4.0 Razonable	IRI ≥ 4.0 Inapropiado
N	117.0	65.9	27.3	6.8	0.0
S	117.0	46.1	41.3	7.9	4.7
TOTAL	234.0	56.0	34.3	7.7	2.4

**a.2. P.S.I. (Present Serviceability Index)**

Dirección	Longitud Carril	Clases P.S.I. en (%)				
		5.0 > PSI ≥ 4.0 Muy Bueno	4.0 > PSI ≥ 3.0 Bueno	3.0 > PSI ≥ 2.0 Medio	2.0 > PSI ≥ 1.0 Mediocre	1.0 > PSI ≥ 0.0 Pésimo
N	117.0	0.0	90.0	10.0	0.0	0.0
S	117.0	0.0	87.4	10.1	2.5	0.0
TOTAL	234.0	0.0	88.7	10.1	1.2	0.0

**a.3. P.C. (Puntaje de Condición)**

Dirección	Número de U.M.	Puntaje de Condición Superficial Total de Pavimento (Número de U.M.)									
		100 > PC ≥ 90 Excelente		90 > PC ≥ 85 Bueno		85 > PC ≥ 80 Regular		80 > PC ≥ 70 Malo		70 > PC ≥ 60 Pésimo	
		Nº de Secc.	%Nº de Secc.	Nº de Secc.	%Nº de Secc.	Nº de Secc.	%Nº de Secc.	Nº de Secc.	%Nº de Secc.	Nº de Secc.	%Nº de Secc.
N	30	0	0.0	30	100.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0
S	32	0	0.0	32	100.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0
TOTAL	62	0	0.0	62	100.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0

**b. Conclusión**

**b.1. I.P. (Índice de Prioridad)**

Dirección	Número de U.M.	INDICE DE PRIORIDAD									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
N	30	1	1	2	5	5	10	4	2	0	0
S	32	4	0	4	5	10	4	5	0	0	0
TOTAL	62	5	1	6	10	15	14	9	2	0	0

**b.2. Intervención y Recomendaciones**

INDICE	INTERVENCIÓN		Recomendaciones Preliminares
	Tipo	Per / freq	
1	Evaluación Estructural con deflectómetro de impacto (*)	Inmediata	Rehabilitación o reconstrucción
2	Evaluación Estructural con deflectómetro de impacto (*)	En el año	Rehabilitación
3	Evaluación Estructural con deflectómetro de impacto (*)	A partir del año	Rehabilitación o refuerzo
4	Monitoreo del deterioro (IRI-Deterioro)	Semestral	Refuerzo asfáltico cuando el IRI alcanza 4.0 o el P.C. 40
5	Monitoreo (IRI - Deterioro)	Semestral	Refuerzo asfáltico cuando el IRI alcanza 4.0 o el P.C. 40
6	Medición IRI y Deterioro	Anual	Sellos y tratamiento superficial slurry seal
7	Medición IRI y Deterioro	Anual	Sellos y parchados
8	Medición IRI y Deterioro	Anual	Sellos
9	Medición IRI y Deterioro	C./1.5 años	Mantenimiento normal
10	Medición IRI y Deterioro	C./1.5 años	Mantenimiento normal

(\*) Se recomienda deflectometría con FWD

UM: Unidad Muestra



**TRAMO:** S080 De Pto. Viejo a Km 715

a. Parámetros Técnicos:

a.1. I.R.I. (International Roughness Index)

Dirección	Longitud Carril	Clases I.R.I. en (%)			
		IRI < 2.0 Bueno	2.0 ≤ IRI < 3.0 Regular	3.0 ≤ IRI < 4.0 Razonable	IRI ≥ 4.0 Inapropiado
N	68.0	0.0	31.3	68.7	0.0
S	68.0	0.0	67.1	42.9	0.0
TOTAL	136.0	0.0	44.2	55.8	0.0

a.2. P.S.I. (Present Serviciability Index)

Dirección	Longitud Carril	Clases P.S.I. en (%)				
		5.0 > PSI ≥ 4.0 Muy Bueno	4.0 > PSI ≥ 3.0 Bueno	3.0 > PSI ≥ 2.0 Medio	2.0 > PSI ≥ 1.0 Mediocre	1.0 > PSI ≥ 0.0 Pésimo
N	68.0	0.0	27.6	72.4	0.0	0.0
S	68.0	0.0	36.9	63.1	0.0	0.0
TOTAL	136.0	0.0	32.3	67.7	0.0	0.0

a.3. P.C. (Puntaje de Condición)

Dirección	Número de U.M.	Puntaje de Condición Superficial Total de Pavimento (Número de U.M.)									
		100 > PC ≥ 90 Excelente		90 > PC ≥ 85 Bueno		85 > PC ≥ 80 Regular		80 > PC ≥ 75 Malo		75 > PC ≥ 70 Pésimo	
		Nº de Secc.	%Nº de Secc.	Nº de Secc.	%Nº de Secc.	Nº de Secc.	%Nº de Secc.	Nº de Secc.	%Nº de Secc.	Nº de Secc.	%Nº de Secc.
N	19	0	0.0	19	100.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0
S	20	0	0.0	20	100.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0
TOTAL	39	0	0.0	39	100.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0

b. Conclusión

b.1. I.P. (Indice de Prioridad)

Dirección	Número de U.M.	INDICE DE PRIORIDAD									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
N	19	4	7	6	2	0	0	0	0	0	0
S	20	3	5	7	5	0	0	0	0	0	0
TOTAL	39	7	12	13	7	0	0	0	0	0	0

b.2. Intervención y Recomendaciones

INDICE	INTERVENCIÓN		Recomendaciones Preliminares
	Tipo	Per / freq	
1	Evaluación Estructural con deflectómetro de impacto (*)	Inmediata	Rehabilitación o reconstrucción
2	Evaluación Estructural con deflectómetro de impacto (*)	En el año	Rehabilitación
3	Evaluación Estructural con deflectómetro de impacto (*)	A partir del año	Rehabilitación o refuerzo
4	Monitoreo del deterioro (IRI-Deterioro)	Semestral	Refuerzo asfáltico cuando el IRI alcanza 4.0 o el P.C. 40
5	Monitoreo (IRI - Deterioro)	Semestral	Refuerzo asfáltico cuando el IRI alcanza 4.0 o el P.C. 40
6	Medición IRI y Deterioro	Anual	Sellos y tratamiento superficial slurry seal
7	Medición IRI y Deterioro	Anual	Sellos y parchados
8	Medición IRI y Deterioro	Anual	Sellos
9	Medición IRI y Deterioro	C./1.5 años	Mantenimiento normal
10	Medición IRI y Deterioro	C./1.5 años	Mantenimiento normal

(\*) Se recomienda deflectometría con FWD

UM: Unidad Muestra

**TRAMO:** S090 De km 175 a Pte. Haway

**a. Parámetros Técnicos:**

**a.1. I.R.I. (Internatíonal Roughness Index)**

Dirección	Longitud Carril	Clases I.R.I. en (%)			
		IRI < 2.0 Bueno	2.0 ≤ IRI < 3.0 Regular	3.0 ≤ IRI < 4.0 Razonable	IRI ≥ 4.0 Inapropiado
N	94.0	14.1	70.4	15.5	0.0
S	94.35	21.8	64.5	13.8	0.0
TOTAL	188.85	17.9	63.5	14.6	0.0

**a.2. P.S.I. (Present Serviciability Index)**

Dirección	Longitud Carril	Clases P.S.I. en (%)				
		5.0 > PSI ≥ 4.0 Muy Bueno	4.0 > PSI ≥ 3.0 Bueno	3.0 > PSI ≥ 2.0 Medio	2.0 > PSI ≥ 1.0 Mediocre	1.0 > PSI ≥ 0.0 Pésimo
N	94.0	0.0	74.0	26.0	0.0	0.0
S	94.35	0.0	77.7	22.3	0.0	0.0
TOTAL	188.85	0.0	75.9	24.1	0.0	0.0

**a.3. P.C. (Puntaje de Condición)**

Dirección	Número de U.M.	Puntaje de Condición Superficial Total de Pavimento (Número de U.M.)									
		100 > PC ≥ 90 Excelente		90 > PC ≥ 65 Bueno		65 > PC ≥ 40 Regular		40 > PC ≥ 20 Malo		20 > PC ≥ 0 Pésimo	
		Nº de Secc.	%Nº de Secc.	Nº de Secc.	%Nº de Secc.	Nº de Secc.	%Nº de Secc.	Nº de Secc.	%Nº de Secc.	Nº de Secc.	%Nº de Secc.
N	28	0	0.0	28	100.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0
S	26	0	0.0	26	100.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0
TOTAL	54	0	0.0	54	100.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0

**b. Conclusión**

**b.1. I.P. (Índice de Prioridad)**

Dirección	Número de U.M.	INDICE DE PRIORIDAD									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
N	28	0	1	9	8	9	1	0	0	0	0
S	26	0	3	4	8	6	5	0	0	0	0
TOTAL	54	0	4	13	16	15	6	0	0	0	0

**b.2. Intervención y Recomendaciones**

INDICE	INTERVENCIÓN		Recomendaciones Preliminares
	Tipo	Per / freq	
1	Evaluación Estructural con deflectómetro de impacto (*)	Inmediata	Rehabilitación o reconstrucción
2	Evaluación Estructural con deflectómetro de impacto (*)	En el año	Rehabilitación
3	Evaluación Estructural con deflectómetro de impacto (*)	A partir del año	Rehabilitación o refuerzo
4	Monitoreo del deterioro (IRI-Deterioro)	Semestral	Refuerzo asfáltico cuando el IRI alcanza 4.0 o el P.C. 40
5	Monitoreo (IRI - Deterioro)	Semestral	Refuerzo asfáltico cuando el IRI alcanza 4.0 o el P.C. 40
6	Medición IRI y Deterioro	Anual	Sellos y tratamiento superficial slurry seal
7	Medición IRI y Deterioro	Anual	Sellos y parchados
8	Medición IRI y Deterioro	Anual	Sellos
9	Medición IRI y Deterioro	C./1.5 años	Mantenimiento normal
10	Medición IRI y Deterioro	C./1.5 años	Mantenimiento normal

(\*) Se recomienda deflectometría con FWD

UM: Unidad Muestra

**TRAMO: S100 De Pte. Hawai a Acc. Microondas**

**a. Parámetros Técnicos:**

**a.1. I.R.I. (International Roughness Index)**

Dirección	Longitud Carril	Clases I.R.I. en (%)			
		IRI < 2.0 Bueno	2.0 ≤ IRI < 3.0 Regular	3.0 ≤ IRI < 4.0 Razonable	IRI ≥ 4.0 Inapropiado
N	87.5	40.4	59.6	0.0	0.0
S	88.0	41.1	58.9	0.0	0.0
TOTAL	175.5	40.8	59.2	0.0	0.0

**a.2. P.S.I. (Present Serviciability Index)**

Dirección	Longitud Carril	Clases P.S.I. en (%)				
		5.0 > PSI ≥ 4.0 Muy Bueno	4.0 > PSI ≥ 3.0 Bueno	3.0 > PSI ≥ 2.0 Medio	2.0 > PSI ≥ 1.0 Mediocre	1.0 > PSI ≥ 0.0 Pésimo
N	87.5	0.0	94.0	6.0	0.0	0.0
S	88.0	0.0	88.6	11.4	0.0	0.0
TOTAL	175.5	0.0	91.6	8.7	0.0	0.0

**a.3. P.C. (Puntaje de Condición)**

Dirección	Número de U.M.	Puntaje de Condición Superficial Total de Pavimento (Número de U.M.)									
		100 > PC ≥ 90 Excelente		90 > PC ≥ 65 Bueno		65 > PC ≥ 40 Regular		40 > PC ≥ 20 Malo		20 > PC ≥ 0 Pésimo	
		Nº de Secc.	%Nº de Secc.	Nº de Secc.	%Nº de Secc.	Nº de Secc.	%Nº de Secc.	Nº de Secc.	%Nº de Secc.	Nº de Secc.	%Nº de Secc.
N	26	1	3.8	25	96.3	0	0.0	0	0.0	0	0.0
S	28	0	0.0	28	100.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0
TOTAL	54	1	1.9	53	98.1	0	0.0	0	0.0	0	0.0

**b. Conclusión**

**b.1. I.P. (Indice de Prioridad)**

Dirección	Número de U.M.	INDICE DE PRIORIDAD									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
N	26	0	2	1	10	6	5	1	1	0	0
S	28	0	0	4	7	5	8	4	0	0	0
TOTAL	54	0	2	5	17	11	13	5	1	0	0

**b.2. Intervención y Recomendaciones**

INDICE	INTERVENCIÓN		Recomendaciones Preliminares
	Tipo	Per / freq	
1	Evaluación Estructural con deflectómetro de impacto (*)	Inmediata	Rehabilitación o reconstrucción
2	Evaluación Estructural con deflectómetro de impacto (*)	En el año	Rehabilitación
3	Evaluación Estructural con deflectómetro de impacto (*)	A partir del año	Rehabilitación o refuerzo
4	Monitoreo del deterioro (IRI-Deterioro)	Semestral	Refuerzo asfáltico cuando el IRI alcanza 4.0 o el P.C. 40
5	Monitoreo (IRI - Deterioro)	Semestral	Refuerzo asfáltico cuando el IRI alcanza 4.0 o el P.C. 40
6	Medición IRI y Deterioro	Anual	Sellos y tratamiento superficial slurry seal
7	Medición IRI y Deterioro	Anual	Sellos y parchados
8	Medición IRI y Deterioro	Anual	Sellos
9	Medición IRI y Deterioro	C./1.5 años	Mantenimiento normal
10	Medición IRI y Deterioro	C./1.5 años	Mantenimiento normal

(\*) Se recomienda deflectometría con FWD

UM: Unidad Muestra

**TRAMO: S110 De Acc. Microondas a Dv. Mollendo**

**a. Parámetros Técnicos:**

**a.1. I.R.I. (International Roughness Index)**

Dirección	Longitud Carril	Clases I.R.I. en (%)			
		IRI < 2.0 Bueno	2.0 ≤ IRI < 3.0 Regular	3.0 ≤ IRI < 4.0 Razonable	IRI ≥ 4.0 Inapropiado
N	83.9	9.7	64.7	25.6	0.0
S	84.0	3.1	82.8	14.1	0.0
TOTAL	168.40	6.4	73.7	19.8	0.0

**a.2. P.S.I. (Present Serviciability Index)**

Dirección	Longitud Carril	Clases P.S.I. en (%)				
		5.0 > PSI ≥ 4.0 Muy Bueno	4.0 > PSI ≥ 3.0 Bueno	3.0 > PSI ≥ 2.0 Medio	2.0 > PSI ≥ 1.0 Mediocre	1.0 > PSI ≥ 0.0 Pésimo
N	83.9	0.0	70.2	29.8	0.0	0.0
S	84.0	0.0	73.9	26.1	0.0	0.0
TOTAL	168.40	0.0	72.1	27.9	0.0	0.0

**a.3. P.C. (Puntaje de Condición)**

Dirección	Número de U.M.	Puntaje de Condición Superficial Total de Pavimento (Número de U.M.)									
		100 > PC ≥ 90 Excelente		90 > PC ≥ 65 Bueno		65 > PC ≥ 40 Regular		40 > PC ≥ 20 Malo		20 > PC ≥ 0 Pésimo	
		Nº de Secc.	%Nº de Secc.	Nº de Secc.	%Nº de Secc.	Nº de Secc.	%Nº de Secc.	Nº de Secc.	%Nº de Secc.	Nº de Secc.	%Nº de Secc.
N	25	0	0.0	25	100.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0
S	26	0	0.0	26	100.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0
TOTAL	51	0	0.0	51	100.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0

**b. Conclusión**

**b.1. I.P. (Índice de Prioridad)**

Dirección	Número de U.M.	INDICE DE PRIORIDAD									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
N	25	5	5	8	5	2	0	0	0	0	0
S	26	3	5	10	7	1	0	0	0	0	0
TOTAL	51	8	10	18	12	3	0	0	0	0	0

**b.2. Intervención y Recomendaciones**

INDICE	INTERVENCIÓN		Recomendaciones Preliminares
	Tipo	Per / freq	
1	Evaluación Estructural con deflectómetro de impacto (*)	Inmediata	Rehabilitación o reconstrucción
2	Evaluación Estructural con deflectómetro de impacto (*)	En el año	Rehabilitación
3	Evaluación Estructural con deflectómetro de impacto (*)	A partir del año	Rehabilitación o refuerzo
4	Monitoreo del deterioro (IRI-Deterioro)	Semestral	Refuerzo asfáltico cuando el IRI alcanza 4.0 o el P.C. 40
5	Monitoreo (IRI - Deterioro)	Semestral	Refuerzo asfáltico cuando el IRI alcanza 4.0 o el P.C. 40
6	Medición IRI y Deterioro	Anual	Sellos y tratamiento superficial slurry seal
7	Medición IRI y Deterioro	Anual	Sellos y parchados
8	Medición IRI y Deterioro	Anual	Sellos
9	Medición IRI y Deterioro	C./1.5 años	Mantenimiento normal
10	Medición IRI y Deterioro	C./1.5 años	Mantenimiento normal

(\*) Se recomienda deflectometría con FWD

UM: Unidad Muestra

**TRAMO:** S120 De Dv. Mollendo a El Fiscal

a. Parámetros Técnicos:

a.1. I.R.I. (Internacional Roughness Index)

Dirección	Longitud Carril	Clases I.R.I. en (%)			
		IRI < 2.0 Bueno	2.0 ≤ IRI < 3.0 Regular	3.0 ≤ IRI < 4.0 Razonable	IRI ≥ 4.0 Inapropiado
N	58.0	77.4	23.6	0.0	0.0
S	57.675	67.7	32.3	0.0	0.0
TOTAL	115.675	72.6	27.4	0.0	0.0

a.2. P.S.I. (Present Serviciability Index)

Dirección	Longitud Carril	Clases P.S.I. en (%)				
		5.0 > PSI ≥ 4.0 Muy Bueno	4.0 > PSI ≥ 3.0 Bueno	3.0 > PSI ≥ 2.0 Medio	2.0 > PSI ≥ 1.0 Mediocre	1.0 > PSI ≥ 0.0 Pésimo
N	58.0	0.0	94.7	5.3	0.0	0.0
S	57.675	0.0	95.6	4.4	0.0	0.0
TOTAL	115.675	0.0	95.1	4.9	0.0	0.0

a.3. P.C. (Puntaje de Condición)

Dirección	Número de U.M.	Puntaje de Condición Superficial Total de Pavimento (Número de U.M.)									
		100 > PC ≥ 90 Excelente		90 > PC ≥ 65 Bueno		65 > PC ≥ 40 Regular		40 > PC ≥ 20 Malo		20 > PC ≥ 0 Pésimo	
		Nº de Secc.	%Nº de Secc.	Nº de Secc.	%Nº de Secc.	Nº de Secc.	%Nº de Secc.	Nº de Secc.	%Nº de Secc.	Nº de Secc.	%Nº de Secc.
N	14	0	0.0	14	100.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0
S	18	0	0.0	18	100.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0
TOTAL	32	0	0.0	32	100.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0

b. Conclusión

b.1. I.P. (Índice de Prioridad)

Dirección	Número de U.M.	INDICE DE PRIORIDAD									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
N	14	0	0	1	2	1	4	5	1	0	0
S	18	0	0	2	1	3	6	6	0	0	0
TOTAL	32	0	0	3	3	4	10	11	1	0	0

b.2. Intervención y Recomendaciones

INDICE	INTERVENCIÓN		Recomendaciones Preliminares
	Tipo	Per / freq	
1	Evaluación Estructural con deflectómetro de impacto (*)	Inmediata	Rehabilitación o reconstrucción
2	Evaluación Estructural con deflectómetro de impacto (*)	En el año	Rehabilitación
3	Evaluación Estructural con deflectómetro de impacto (*)	A partir del año	Rehabilitación o refuerzo
4	Monitoreo del deterioro (IRI-Deterioro)	Semestral	Refuerzo asfáltico cuando el IRI alcanza 4.0 o el P.C. 40
5	Monitoreo (IRI - Deterioro)	Semestral	Refuerzo asfáltico cuando el IRI alcanza 4.0 o el P.C. 40
6	Medición IRI y Deterioro	Anual	Sellos y tratamiento superficial slurry seal
7	Medición IRI y Deterioro	Anual	Sellos y parchados
8	Medición IRI y Deterioro	Anual	Sellos
9	Medición IRI y Deterioro	C./1.5 años	Mantenimiento normal
10	Medición IRI y Deterioro	C./1.5 años	Mantenimiento normal

(\*) Se recomienda deflectometría con FWD

UM: Unidad Muestra

**TRAMO: S130 De El Fiscal a Pte. Montalvo**

**a. Parámetros Técnicos:**

**a.1. I.R.I. (Internatinal Roughness Index)**

Dirección	Longitud Carril	Clases I.R.I. en (%)			
		IRI < 2.0 Bueno	2.0 ≤ IRI < 3.0 Regular	3.0 ≤ IRI < 4.0 Razonable	IRI ≥ 4.0 Inapropiado
N	100.0	38.7	45.8	12.4	3.2
S	100.0	40.3	47.5	9.6	2.9
TOTAL	200.0	39.5	46.5	11.0	3.0

**a.2. P.S.I. (Present Serviciability Index)**

Dirección	Longitud Carril	Clases P.S.I. en (%)				
		5.0 > PSI ≥ 4.0 Muy Bueno	4.0 > PSI ≥ 3.0 Bueno	3.0 > PSI ≥ 2.0 Medio	2.0 > PSI ≥ 1.0 Mediocre	1.0 > PSI ≥ 0.0 Pésimo
N	100.0	0.0	84.5	15.5	0.0	0.0
S	100.0	0.0	80.2	16.9	2.9	0.0
TOTAL	200.0	0.0	82.3	16.2	1.5	0.0

**a.3 P.C. (Puntaje de Condición)**

Dirección	Número de U.M.	Puntaje de Condición Superficial Total de Pavimento (Número de U.M.)									
		100 > PC ≥ 90 Excelente		90 > PC ≥ 65 Bueno		65 > PC ≥ 40 Regular		40 > PC ≥ 20 Malo		20 > PC ≥ 0 Pésimo	
		Nº de Secc	%Nº de Secc.	Nº de Secc	%Nº de Secc.	Nº de Secc	%Nº de Secc.	Nº de Secc	%Nº de Secc.	Nº de Secc	%Nº de Secc.
N	29	0	0.0	29	100.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0
S	30	0	0.0	30	100.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0
TOTAL	59	0	0.0	59	100.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0

**b. Conclusión**

**b.1. I.P. (Índice de Prioridad)**

Dirección	Número de U.M.	INDICE DE PRIORIDAD									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
N	29	2	2	5	7	8	4	1	0	0	0
S	30	3	0	4	9	11	2	1	0	0	0
TOTAL	59	5	2	9	16	19	6	1	0	0	0

**b.2. Intervención y Recomendaciones**

INDICE	INTERVENCIÓN		Recomendaciones Preliminares
	Tipo	Per / freq	
1	Evaluación Estructural con deflectómetro de impacto (*)	Inmediata	Rehabilitación o reconstrucción
2	Evaluación Estructural con deflectómetro de impacto (*)	En el año	Rehabilitación
3	Evaluación Estructural con deflectómetro de impacto (*)	A partir del año	Rehabilitación o refuerzo
4	Monitoreo del deterioro (IRI-Deterioro)	Semestral	Refuerzo asfáltico cuando el IRI alcanza 4.0 o el P.C. 40
5	Monitoreo (IRI - Deterioro)	Semestral	Refuerzo asfáltico cuando el IRI alcanza 4.0 o el P.C. 40
6	Medición IRI y Deterioro	Anual	Sellos y tratamiento superficial slurry seal
7	Medición IRI y Deterioro	Anual	Sellos y parchados
8	Medición IRI y Deterioro	Anual	Sellos
9	Medición IRI y Deterioro	C./1.5 años	Mantenimiento normal
10	Medición IRI y Deterioro	C./1.5 años	Mantenimiento normal

(\*) Se recomienda deflectometría con FWD

UM: Unidad Muestra

**TRAMO: S140 De Pte. Montalvo a Pte. Camiara**

**a. Parámetros Técnicos:**

**a.1. I.R.I. (Internacional Roughness Index)**

Dirección	Longitud Carril	Clases I.R.I. en (%)			
		IRI < 2.0 Bueno	2.0 ≤ IRI < 3.0 Regular	3.0 ≤ IRI < 4.0 Razonable	IRI ≥ 4.0 Inapropiado
N	72.35	85.0	15.0	0.0	0.0
S	72.70	73.0	27.0	0.0	0.0
TOTAL	145.55	79.0	21.0	0.0	0.0

**a.2. P.S.I. (Present Serviciability Index)**

Dirección	Longitud Carril	Clases P.S.I. en (%)				
		5.0 > PSI ≥ 4.0 Muy Bueno	4.0 > PSI ≥ 3.0 Bueno	3.0 > PSI ≥ 2.0 Medio	2.0 > PSI ≥ 1.0 Mediocre	1.0 > PSI ≥ 0.0 Pésimo
N	72.35	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0
S	72.70	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0
TOTAL	145.55	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0

**a.3. P.C. (Puntaje de Condición)**

Dirección	Número de U.M.	Puntaje de Condición Superficial Total de Pavimento (Número de U.M.)									
		100 > PC ≥ 90 Excelente		90 > PC ≥ 65 Bueno		65 > PC ≥ 40 Regular		40 > PC ≥ 20 Malo		20 > PC ≥ 0 Pésimo	
		Nº de Secc	%Nº de Secc.	Nº de Secc	%Nº de Secc.	Nº de Secc	%Nº de Secc.	Nº de Secc	%Nº de Secc.	Nº de Secc	%Nº de Secc.
N	15	0	0.0	15	100.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0
S	21	0	0.0	21	100.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0
TOTAL	36	0	0.0	36	100.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0

**b. Conclusión**

**b.1. I.P. (Indice de Prioridad)**

Dirección	Número de U.M.	INDICE DE PRIORIDAD									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
N	15	0	0	1	4	7	3	0	0	0	0
S	21	0	0	5	8	6	2	0	0	0	0
TOTAL	36	0	0	6	12	13	5	0	0	0	0

**b.2. Intervención y Recomendaciones**

INDICE	INTERVENCIÓN		Recomendaciones Preliminares
	Tipo	Per / freq	
1	Evaluación Estructural con deflectómetro de impacto (*)	Inmediata	Rehabilitación o reconstrucción
2	Evaluación Estructural con deflectómetro de impacto (*)	En el año	Rehabilitación
3	Evaluación Estructural con deflectómetro de impacto (*)	A partir del año	Rehabilitación o refuerzo
4	Monitoreo del deterioro (IRI-Deterioro)	Semestral	Refuerzo asfáltico cuando el IRI alcanza 4.0 o el P.C. 40
5	Monitoreo (IRI - Deterioro)	Semestral	Refuerzo asfáltico cuando el IRI alcanza 4.0 o el P.C. 40
6	Medición IRI y Deterioro	Anual	Sellos y tratamiento superficial slurry seal
7	Medición IRI y Deterioro	Anual	Sellos y parchados
8	Medición IRI y Deterioro	Anual	Sellos
9	Medición IRI y Deterioro	C./1.5 años	Mantenimiento normal
10	Medición IRI y Deterioro	C./1.5 años	Mantenimiento normal

(\*) Se recomienda deflectometría con FWD

UM: Unidad Muestra

TRAMO: S150 De Pte. Camiara a Tacna

a. Parámetros Técnicos:

a.1. I.R.I. (International Roughness Index)

Dirección	Longitud Carril	Clases I.R.I. en (%)			
		IRI < 2.0 Bueno	2.0 ≤ IRI < 3.0 Regular	3.0 ≤ IRI < 4.0 Razonable	IRI ≥ 4.0 Inapropiado
N	78.0	96.8	3.2	0.0	0.0
S	78.3	100.0	0.0	0.0	0.0
TOTAL	156.3	98.4	1.6	0.0	0.0

a.2. P.S.I. (Present Serviciability Index)

Dirección	Longitud Carril	Clases P.S.I. en (%)				
		5.0 > PSI ≥ 4.0 Muy Bueno	4.0 > PSI ≥ 3.0 Bueno	3.0 > PSI ≥ 2.0 Medio	2.0 > PSI ≥ 1.0 Mediocre	1.0 > PSI ≥ 0.0 Pésimo
N	78.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0
S	78.3	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0
TOTAL	156.3	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0

a.3. P.C. (Puntaje de Condición)

Dirección	Número de U.M.	Puntaje de Condición Superficial Total de Pavimento (Número de U.M.)									
		90 > PC ≥ 65 Excelente		90 > PC ≥ 65 Bueno		65 > PC ≥ 40 Regular		40 > PC ≥ 20 Malo		20 > PC ≥ 0 Pésimo	
		Nº de Secc.	%Nº de Secc.	Nº de Secc.	%Nº de Secc.	Nº de Secc.	%Nº de Secc.	Nº de Secc.	%Nº de Secc.	Nº de Secc.	%Nº de Secc.
N	20	0	0.0	20	100.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0
S	17	0	0.0	17	100.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0
TOTAL	37	0	0.0	37	100.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0

b. Conclusión

b.1. I.P. (Índice de Prioridad)

Dirección	Número de U.M.	INDICE DE PRIORIDAD									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
N	20	0	0	1	0	9	9	1	0	0	0
S	17	0	0	0	3	9	5	0	0	0	0
TOTAL	37	0	0	1	3	18	14	1	0	0	0

b.2. Intervención y Recomendaciones

INDICE	INTERVENCIÓN		Recomendaciones Preliminares
	Tipo	Per / freq	
1	Evaluación Estructural con deflectómetro de impacto (*)	Inmediata	Rehabilitación o reconstrucción
2	Evaluación Estructural con deflectómetro de impacto (*)	En el año	Rehabilitación
3	Evaluación Estructural con deflectómetro de impacto (*)	A partir del año	Rehabilitación o refuerzo
4	Monitoreo del deterioro (IRI-Deterioro)	Semestral	Refuerzo asfáltico cuando el IRI alcanza 4.0 o el P
5	Monitoreo (IRI - Deterioro)	Semestral	Refuerzo asfáltico cuando el IRI alcanza 4.0 o el P
6	Medición IRI y Deterioro	Anual	Sellos y tratamiento superficial slurry seal
7	Medición IRI y Deterioro	Anual	Sellos y parchados
8	Medición IRI y Deterioro	Anual	Sellos
9	Medición IRI y Deterioro	C./1.5 años	Mantenimiento normal
10	Medición IRI y Deterioro	C./1.5 años	Mantenimiento normal

(\*) Se recomienda deflectometría con FWD

UM: Unidad Muestra



**TRAMO: S160 De Tachá a La Concordia**

**a. Parámetros Técnicos:**

**a.1. I.R.I. (International Roughness Index)**

Dirección	Longitud Carril	Clases I.R.I. en (%)			
		IRI < 2.0 Bueno	2.0 ≤ IRI < 3.0 Regular	3.0 ≤ IRI < 4.0 Razonable	IRI ≥ 4.0 Inapropiado
N	33.95	0.0	45.9	30.4	23.6
S	33.95	7.4	49.9	31.7	11.0
TOTAL	67.90	3.7	47.9	31.1	17.3

**a.2. P.S.I. (Present Serviciability Index)**

Dirección	Longitud Carril	Clases P.S.I. en (%)				
		5.0 > PSI ≥ 4.0 Muy Bueno	4.0 > PSI ≥ 3.0 Bueno	3.0 > PSI ≥ 2.0 Medio	2.0 > PSI ≥ 1.0 Mediocre	1.0 > PSI ≥ 0.0 Pésimo
N	33.95	0.0	46.4	46.4	7.7	0.0
S	33.95	0.0	57.3	31.7	11.0	0.0
TOTAL	67.90	0.0	51.6	39.1	9.3	0.0

**a.3. P.C. (Puntaje de Condición)**

Dirección	Número de U.M.	Puntaje de Condición Superficial Total de Pavimento (Número de U.M.)									
		100 > PC ≥ 90 Excelente		90 > PC ≥ 65 Bueno		65 > PC ≥ 40 Regular		40 > PC ≥ 20 Malo		20 > PC ≥ 0 Pésimo	
		Nº de Secc	%Nº de Secc.	Nº de Secc	%Nº de Secc.	Nº de Secc	%Nº de Secc.	Nº de Secc	%Nº de Secc.	Nº de Secc	%Nº de Secc.
N	10	0	0.0	10	100.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0
S	10	0	0.0	10	100.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0
TOTAL	20	0	0.0	20	100.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0

**b. Conclusión**

**b.1. I.P. (Índice de Prioridad)**

Dirección	Número de U.M.	INDICE DE PRIORIDAD									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
N	10	6	0	3	1	0	0	0	0	0	0
S	10	4	0	3	2	1	0	0	0	0	0
TOTAL	20	10	0	6	3	1	0	0	0	0	0

**b.2. Intervención y Recomendaciones**

INDICE	INTERVENCIÓN		Recomendaciones Preliminares
	Tipo	Per / freq	
1	Evaluación Estructural con deflectómetro de impacto (*)	Inmediata	Rehabilitación o reconstrucción
2	Evaluación Estructural con deflectómetro de impacto (*)	En el año	Rehabilitación
3	Evaluación Estructural con deflectómetro de impacto (*)	A partir del año	Rehabilitación o refuerzo
4	Monitoreo del deterioro (IRI-Deterioro)	Semestral	Refuerzo asfáltico cuando el IRI alcanza 4.0 o el P.C. 40
5	Monitoreo (IRI - Deterioro)	Semestral	Refuerzo asfáltico cuando el IRI alcanza 4.0 o el P.C. 40
6	Medición IRI y Deterioro	Anual	Sellos y tratamiento superficial slurry seal
7	Medición IRI y Deterioro	Anual	Sellos y parchados
8	Medición IRI y Deterioro	Anual	Sellos
9	Medición IRI y Deterioro	C./1.5 años	Mantenimiento normal
10	Medición IRI y Deterioro	C./1.5 años	Mantenimiento normal

(\*) Se recomienda deflectometría con FWD

UM: Unidad Muestra

## RESUMEN PORCENTUAL

## a. Parámetros Técnicos:

## a.1. I.R.I. (International Roughness Index)

Dirección	Longitud Carril	Clases I.R.I. en (%)						
		0 - 2	2 - 4	4 - 6	6 - 8	8 - 10	10 - 12	>12
N-S	1277.20	59.19	36.56	3.34	0.55	0.18	0.05	0.13
S-N	1287.65	57.10	38.90	3.06	0.625	0.19	0.06	0.07
TOTAL	2555.65	58.15	37.73	3.20	0.59	0.19	0.06	0.10

## a.2. P.S.I. (Present Serviceability Index)

Dirección	Longitud Carril	Clases P.S.I. en (%)				
		5.0 >PSI ≥4.0 Muy Bueno	4.0 >PSI ≥3.0 Bueno	3.0 >PSI ≥2.0 Medio	2.0 >PSI ≥1.0 Mediocre	1.0 >PSI ≥0.0 Pésimo
N	1277.20	4.58	82.34	12.61	0.20	0.27
S	1287.65	2.69	85.15	11.22	0.74	0.20
TOTAL	2555.65	3.63	83.74	11.92	0.47	0.23

## a.3. P.C. (Puntaje de Condición)

	Número de U.M.	Puntaje de Condición Superficial Total de Pavimento (Número de U.M.) Puntaje				
		100 > PC ≥ 90 Excelente	90 > PC ≥ 65 Bueno	65 > PC ≥ 40 Regular	40 > PC ≥ 20 Malo	20 > PC ≥ 0 Pésimo
N-S	347	0.29	86.46	0.00	0.29	0.00
S-N	361	0.00	99.72	0.28	0.00	0.00
TOTAL	708	0.14	99.58	0.14	0.14	0.00

## b. Conclusión

## b.1. I.P. (Índice de Prioridad)

Dirección	Número de U.M.	INDICE DE PRIORIDAD									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
N	347	6.05	5.48	13.54	18.44	18.73	20.17	11.24	6.96	0.29	0.29
S	361	5.26	4.16	13.30	20.50	23.99	20.22	11.77	1.89	0.28	0.00
TOTAL	708	5.65	4.80	13.42	19.49	20.90	20.20	11.58	3.53	0.28	0.14

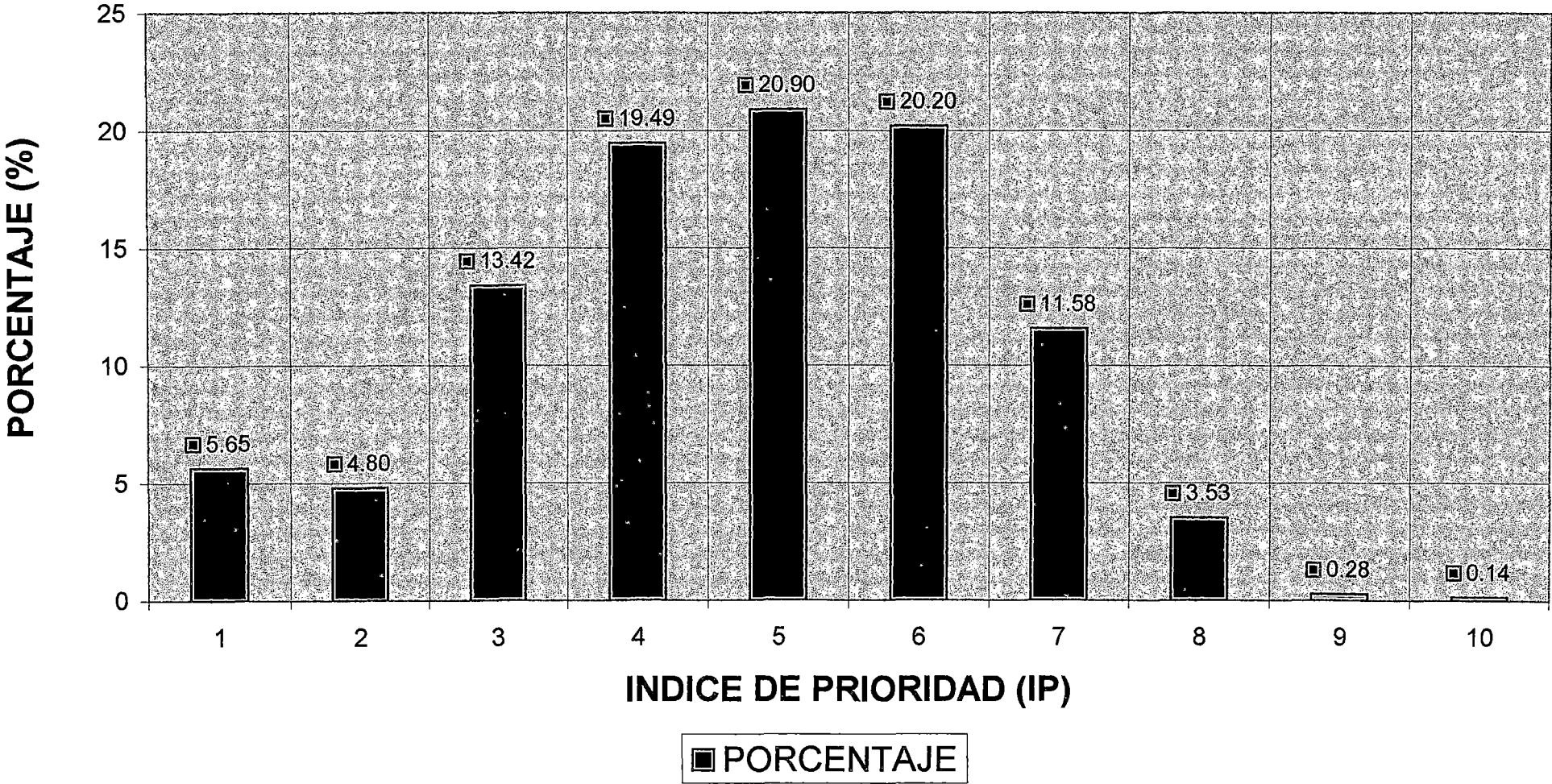
## b.2. Intervención y Recomendaciones

INDICE	INTERVENCIÓN		Recomendaciones Preliminares
	Tipo	Per / freq	
1	Evaluación Estructural con deflectómetro de impacto (*)	Inmediata	Rehabilitación o reconstrucción
2	Evaluación Estructural con deflectómetro de impacto (*)	En el año	Rehabilitación
3	Evaluación Estructural con deflectómetro de impacto (*)	A partir del año	Rehabilitación o refuerzo
4	Monitoreo del deterioro (IRI-Deterioro)	Semestral	Refuerzo asfáltico cuando el IRI alcanza 4.0 o el P.C. 40
5	Monitoreo (IRI - Deterioro)	Semestral	Refuerzo asfáltico cuando el IRI alcanza 4.0 o el P.C. 40
6	Medición IRI y Deterioro	Anual	Sellos y tratamiento superficial slurry seal
7	Medición IRI y Deterioro	Anual	Sellos y parchados
8	Medición IRI y Deterioro	Anual	Sellos
9	Medición IRI y Deterioro	C./1.5 años	Mantenimiento normal
10	Medición IRI y Deterioro	C./1.5 años	Mantenimiento normal

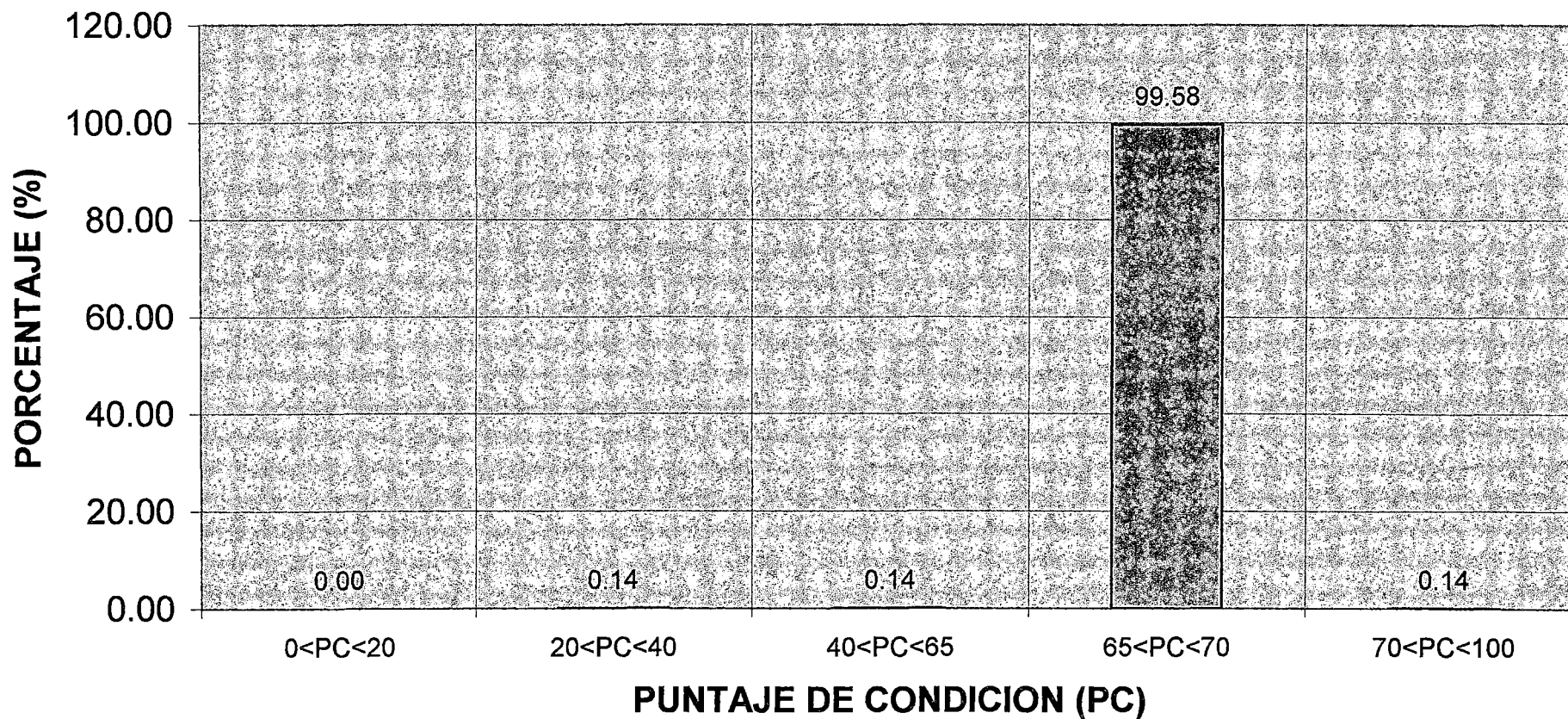
(\*) Se recomienda deflectometría con FWD

UM: Unidad Muestra

# RESUMEN PORCENTUAL INDICE DE PRIORIDAD

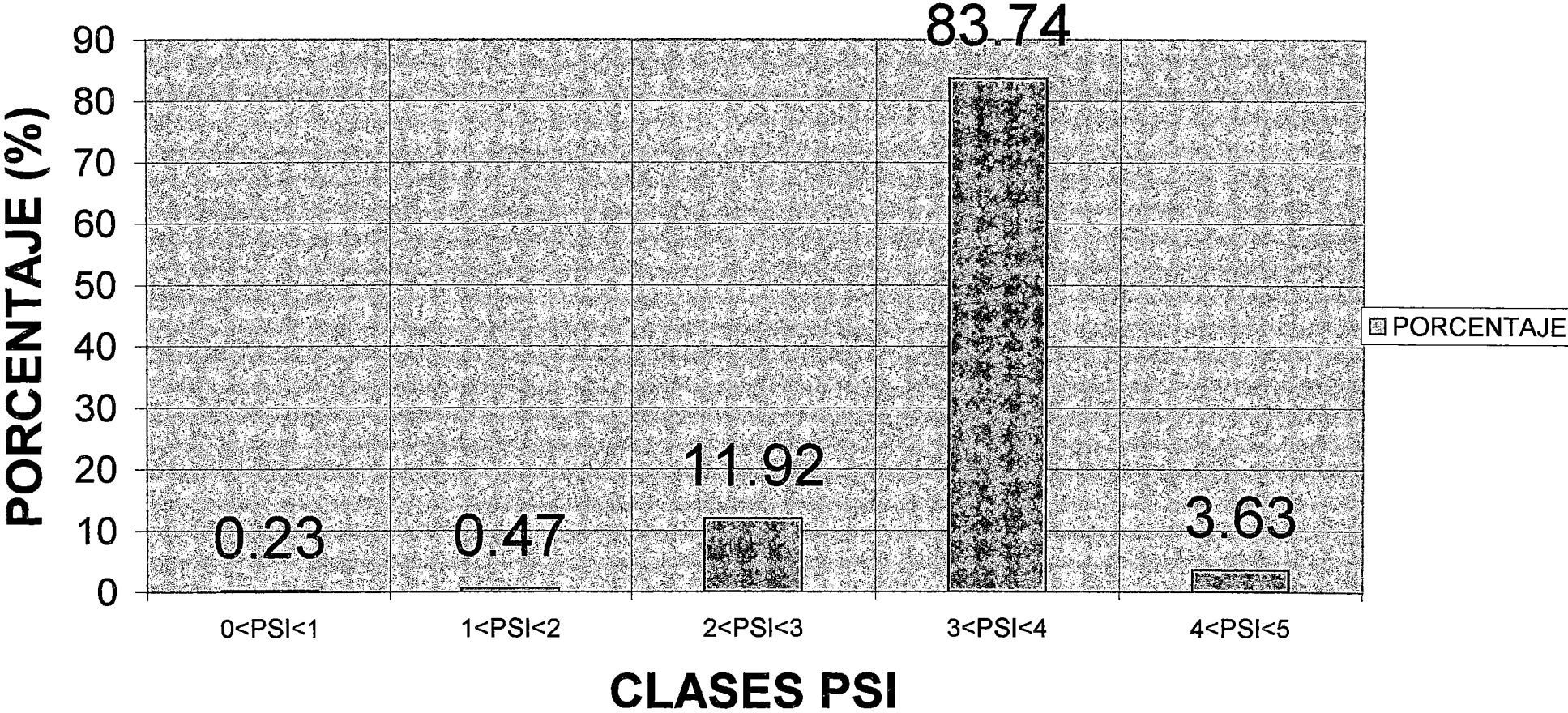


## RESUMEN PORCENTUAL PUNTAJES DE CONDICION

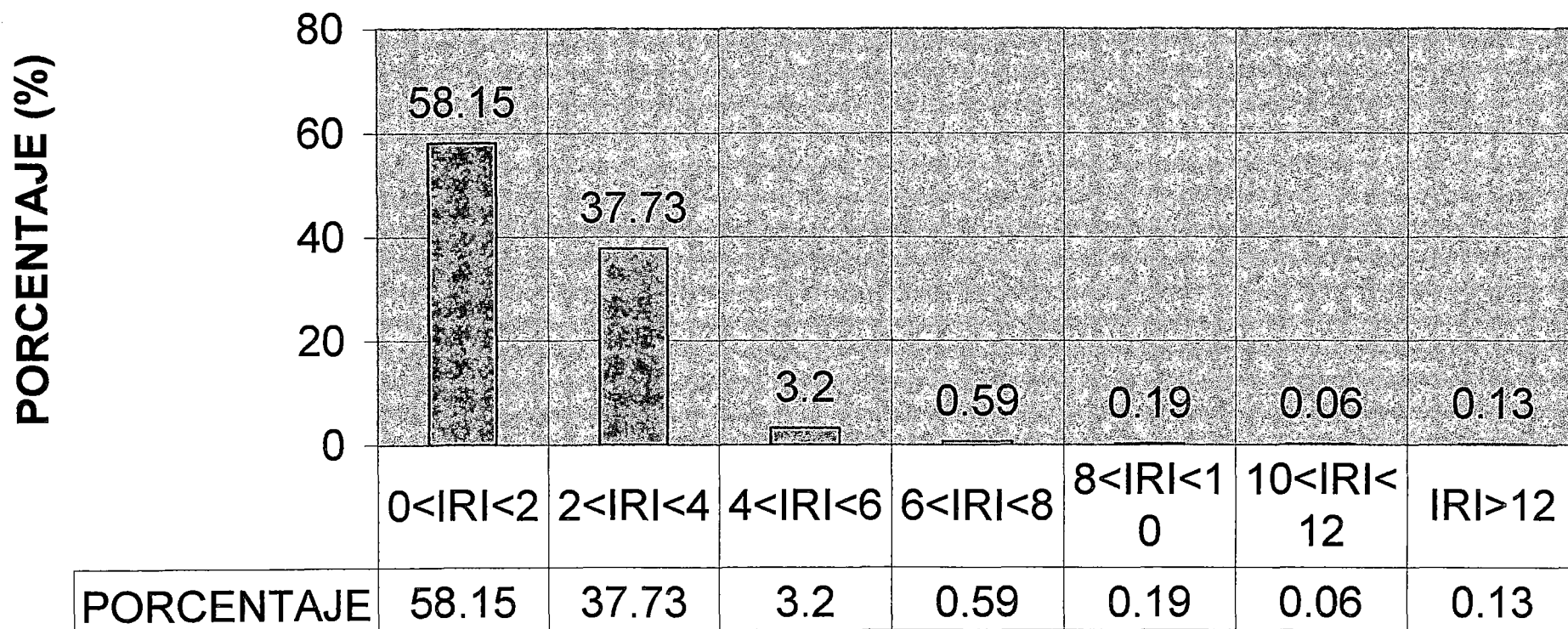


■ PORCENTAJE

# RESUMEN PORCENTUAL CLASES PSI



## RESUMEN PORCENTUAL DE CLASES IRI



**CLASES IRI**

■ PORCENTAJE

**CAPITULO VII  
CONCLUSIONES Y  
RECOMENDACIONES**

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1) La ingeniería de pavimentos en el Perú ha experimentado un gran avance en el último lustro, con la incorporación de las nuevas técnicas para la evaluación de la rugosidad y serviciabilidad de los pavimentos.

La existencia de equipos, métodos de medición, contexto teórico y especificaciones de rugosidad, definen un estado del arte sumamente completo y en continua evolución.

La experiencia y los resultados obtenidos han permitido la elaboración de formulaciones teóricas propias, como consecuencia del cuestionamiento técnico a la tecnología importada, por la necesidad de lograr una mejor calibración entre los resultados y la realidad física tangible.

El estado del arte en el campo de la medición de la rugosidad, como parte de la evaluación superficial de pavimentos, permite concluir que en la actualidad se cuenta con una herramienta de trabajo sumamente valiosa y confiable, lo que

---



redundará en la optimización de la capacidad de servicio de los pavimentos, disminución de los costos de operación vehicular, una mayor seguridad en las carreteras y la prolongación de la vida útil de la red vial.

2) La ecuación de correlación proporcionada por el Laboratorio Británico de Investigación de Transportes y Caminos (TRRL), para el cálculo de la rugosidad en unidades IRI, utilizando los resultados obtenidos con el rugosímetro MERLÍN, no es aplicable para valores menores de 2.5 IRI.

En particular, la correlación no es aplicable para la evaluación de pavimentos asfálticos nuevos, en donde la rugosidad esperada se encuentra por debajo de los 2 IRI.

3) Para el caso de pavimentos asfálticos o rehabilitados, la rugosidad o regularidad superficial se deberá controlar calculando el parámetro denominado IRI Característico, el cual es definido por la siguiente expresión:

$$IRI_c = IRI_p + 1.645\sigma$$

Donde:

$IRI_c$  : IRI característico

$IRI_p$  : IRI promedio

$\sigma$  : Desviación estándar

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

Calculando el IRI característico, el sector o tramo será aceptado si cumple con las siguientes conditions:

- Para pavimentos asfálticos nuevos, el IRI, deberá ser menor o igual a 2.0 m/km
- Para pavimentos con recapado asfáltico, el IRI, deberá ser menor o igual a 2.5m/km
- Para pavimentos con sellado asfáltico, el IRI, deberá ser menor o igual a 3.0m/km

En caso de no cumplirse con estos límites, el tramo o sector deberá subdividirse es secciones de rugosidad homogénea, y

se calculará el IRI característico para cada una de ellas, los que deberán cumplir los límites indicados.

4) La práctica de la evaluación de la rugosidad de los pavimentos nuevos y pavimentos en servicio, es una tarea que debe hacerse extensiva a todos los proyectos viales en el Perú.

Los proyectistas deben de comprender la importancia de incorporar los controles de rugosidad, como parte del proceso constructivo de los pavimentos condicionando la recepción de las obras al cumplimiento estricto de las especificaciones dadas para tal fin.

Las empresas constructoras y consultoras, a través de sus cuadros profesionales y técnicos deben asumir el reto de actualizarse en cuanto al estado del arte de la medición de la rugosidad, como una manera de coadyuvar al mejor desarrollo de los proyectos y a la obtención de productos finales de óptima calidad.

Las asociaciones técnicas afines con la tecnología de pavimentos y carreteras en general, deben promover la ejecución de investigaciones y eventos de capacitación, a fin de desarrollar el tema de rugosidad, buscando entre otros objetivos, el uso eficiente y confiable de los diversos tipos de equipos y métodos que existen en el Perú.

Un proyecto específico que se hace sumamente necesario en el Perú, es el consolidar una base de datos sobre resultados de rugosidad, con los aportes de todas las entidades que han tenido injerencia en dicho asunto, con la finalidad de establecer un punto de partida para el control sistemático de la red vial nacional y secundaria.

5) de la Evaluación de la Panamericana Sur:

- a) A partir de los Indices de Prioridad (IP), ha sido definido el tipo de intervención, el periodo y la frecuencia de ejecución y las operaciones (recomendaciones) necesarias para garantizar una

pavimentación en las conditions de funcionalidad óptima desde el punto de vista técnico y económico.

b) La longitud de la carretera que requiere una investigación estructural inmediata (IP = 1) y una evaluación estructural en el año (IP = 2) sera:

Autopista: Dirección Norte 19.250 km

Dirección Sur 13.525 km

Carretera: 284.800 km 317.325 km

c) Finalmente se puede concluir que el 23.87% de la carretera requiere una rehabilitación, el 40.39% requerirá un refuerzo cuando el IRI alcance 4.0 o el Pc 40, el 35.71% requiere un sello o tratamiento superficial , y el 0.42% solamente requiere una mantenimiento normal o rutinario.

**CAPITULO VIII**  
**BIBLIOGRAFIA**

## BIBLIOGRAFIA

1) MICHAEL W. SAYERS, THOMAS D. GILLESPIE, AND WILLIAM D. O. PATERSON. "Guidelines for Conducting and Calibrating Road Roughness Measurements". World Bank Technical Paper Number 46. Washington D.C., 1986.

2) CUNDILL, M.A. "The MERLIN Road Roughness Machine User Guide". Transport Research Laboratory TRL Report 229. 1996.

3) DEL AGUILA, P.M. "Estado del Arte Sobre la Medición de la Rugosidad de Pavimentos en el Perú". Trabajo presentado al II Congreso Nacional del Asfalto. Lima, 1998.

4) DEL AGUILA, P.M. "Metodología para la determinación de la Rugosidad de los Pavimentos con Equipo de Bajo Costo y gran Precisión". Trabajo presentado al III Congreso Nacional del Asfalto. Lima, 1999.

5) DEL AGUILA, P.M. "Desarrollo de la ecuación de Correlación para la Determinación de la Rugosidad de Pavimentos

Asfálticos Nuevos, Utilizando el Equipo MERLIN ". trabajo presentado al II Congreso Nacional del Asfalto. Lima, 1998.

6) VIVAR, G.R. "Comentarios Sobre la Medición e interpretación de la Rugosidad en los Pavimentos del Perú". Trabajo presentado al II Congreso Nacional Del Asfalto. Lima, 1998.

7) HUAMAN, G.N. "Pavimentos Flexibles". Universidad Nacional de Ingeniería. Lima, 1999.

8) "AASHTO Guide for Design of Pavement Structures 1993". Published by the American Association of State Highway and Transportation Officials.

9) PROYECTO ESPECIAL DE REHABILITACION INFRAESTRUCTURA DE TRANSPORTES - PERT. "Estudio de Evaluación Superficial de Pavimentos- Contrato N° 198-97-MTC/15.03.PERT.01". Lima, 1998.



# **ANEXO 1**

## GLOSARIO

### PRECISION.

Es el valor promedio de la raíz cuadrada del error cuando se comparan las medidas de un método particular con las del método de referencia.

### TRAILER APL.

Perfilómetro de alta velocidad desarrollado y operado por el French Laboratoire Central des Ponts et Chaussees. El trailer utiliza un sistema mecánico para medir el perfil de la superficie de una sola wheeltrack sobre un rango de frecuencia de 0.5 a 20 Hz.

### ANALISIS DE WAVEBAND APL 72.

Un análisis aplicado a la señal del perfil obtenido del trailer operado a 72 km/h. El perfil se filtra en bandas de onda larga. El contenido puede ser expresado como:

- a) La Energía ( $W$ ) del APL 72, que es el valor promedio-cuadrado del perfil filtrado en cada banda de onda,
- b) La "Amplitud Equivalente" del APL 72, que es la amplitud de del seno de la onda teniendo la misma energía ( $E$ ),
- c) El Indice APL 72, que es un valor entre 1 (en el peor de los casos) y 10 (en el mejor de los casos) indicando la calidad relativa de la carretera.

El valor numérico de la onda-corta es más estrechamente correlacionado a las medidas del IRI y RTRRMS. Un conjunto similar de tres valores numéricos wavebands (CP) es usado por el Centre de Recherches Routieres in Belgium (Centro de Investigación de Carreteras en Bélgica).

**APL 25.**

Ver CAPL 25.

**ARS<sub>v</sub>.**

Promedio Rectificado de Inclinación medido por un RTRRMS a una velocidad  $V$ . Las unidades recomendadas son "pulg/milla" y

---

"mm/km" son también las más usadas. Es el desplazamiento de suspensión RTRRMS total (en ambas direcciones) dividida por la distancia recorrida durante la medición de la rugosidad. Los Roadmeter basados en el BPR Roughometer produce medidas de diseño de ARS/2, cuando ellos acumulan el desplazamiento en una sola dirección.

### ARV<sub>v</sub>.

El Promedio Rectificado de Velocidad medido por un RTRRMS. Es la velocidad de recorrido promedio de la suspensión de la suspensión del vehículo durante una medición de rugosidad. El ARV es una medida directa de la rugosidad del vehículo de respuesta, tal que el ARV aumentado siempre aumentos del ARV indica aumentos en las vibraciones del vehículo, sin tener en cuenta la medida de la velocidad o las fuentes de vibraciones.  $ARV = ARS$  \* velocidad, con la velocidad expresada en unidades apropiadas.

### BI.

Abreviación para Bump Integrator, el roadmeter utilizado por la British TRRL, que es una derivación del sistema de embrague

---

rotacional utilizado anteriormente con el BPR Roughometer. Las medidas son generalmente expresadas en "mm/km". La medida "bruta" corresponde a la mitad de deflexión de la suspensión total acumulada.: de esta manera los resultados del BI deben ser duplicados para obtener el ARS.

### **TRAILER BI.**

Un RTRRMS que consiste en un remolque solo-de ruedas especiales instrumentado con un roadmeter del BI. El trailer ha sido desarrollado por el TRRL, basado en el diseño anterior del BPR Roughometer. En el pasado el trailer BI ha sido utilizado solamente a la velocidad de 32 km/h; sin embargo, los resultados del IRRE demuestran que puede ser satisfactoriamente utilizado a velocidades mayores.

### **BPR ROUGHOMETER.**

Un RTRRMS antiguo desarrollado por el Bureau of Public Roads (Agencia Pública de Caminos). Es un trailer de una sola rueda equipado con un roadmeter mecánico empleando un embrague de una sola dirección, e históricamente han sido operados a 32km/h.

El BPR Roughometer es conceptualmente similar al trailer BI, pero típicamente no es tan resistente o tan normalizado.

### CAPL 25.

Un resultado numérico obtenido con un trailer APL cuando es operado a 21.6 km/h. Incluye un procedimiento de prueba/análisis utilizado ampliamente en Francia para la evaluación de carreteras construidas recientemente. El resultado numérico CAPL 25 se calcula para cada 25 m de longitud de carretera.

### CONTEOS/KM, CONTEOS/MILLA.

Los nombres utilizados para referirse a la estadística ARS. El "conteo" normalmente está asociado con un cierto incremento de deflexión de suspensión medido por el roadmeter. Estos nombres también han sido usados para referirse a las estadísticas PCA suma-de-cuadrados, que es bastante diferente del ARS.

### CP.

Coeficientes de igualdad, usados por el Centre de Recherches Routieres in Belgium (CRR) como una medida de

---

rugosidad.  $CP$  es el promedio rectificado del valor de un perfil que ha sido filtrado con un movimiento promedio. Tiene unidades de  $50 CP = 1 \text{ mm}$ . El resultado numérico  $CP$  utilizan longitudes base de aproximadamente 2.5, 10, y 40 m cuando es calculado de los perfiles APL 72, y longitudes base de 2.5 y 15 m cuando es calculado de los perfiles del APL 25. Los resultados numéricos del  $CP(2.5)$   $P(10)$  pueden ser obtenidos usando otros métodos de medición del perfil, con tal de que se utilice un pequeño intervalo de muestra. El  $CP(2.5)$  es altamente correlacionado con las medidas del IRI y el RTRRMS:

#### PERFILOMETRO INERCIAL TIPO GMR.

Un vagón de carga instrumentado, desarrollado por General Motors Research, y comercialmente vendido por K.J. Law Engineers, Inc., para medir perfiles de carretera a velocidades altas.

Los primeros perfilómetros usaron un acelerómetro, ueda del camino-seguidor instrumentada, y electrónica analógica para medir el perfil. Los modelos más recientes utilizan los sistemas

road-followersin contacto y métodos de procesamiento de señal digital. Desde 1979, han sido equipados con software para calcular el IRI en el tiempo de medición. El programa de cálculo es denominado la Mays Meter Simulation.

### **Pulgadas/milla.**

Nombre utilizado para referirse a una medida de rugosidad ARS. Indica las pulgadas de deflexión de suspensión por milla de distancia recorrida.  $1 \text{ m/km} = 63.36 \text{ pulg/milla}$ .

### **IRI.**

Indice Internacional de Rugosidad, equivalente al ARS calculado usando una referencia matemática RTRRMS para una velocidad estándar de 80 km/h. Es una propiedad matemática del perfil de una sola wheeltrack. Está basado en una calibración de referencia desarrollado en un programa NCHRP, que fue posteriormente encontrado para que sea el índice de rugosidad más adecuado para el uso internacional en el IRRE.

### **IRRE.**

---



Experimento Internacional de Rugosidad en Carreteras sostenido en Brasilia en 1982. el IRRE fue dirigido por equipos de investigación de Brasil, Inglaterra, Francia, Bélgica, y los Estados Unidos.

#### **Perfilómetros K.J. Law.**

Ver perfilómetro inercial tipo GMR.

#### **Mays Meter.**

Un roadmeter comercial fabricado por Rainhart Company. El transductor emplea un codificador óptico para producir pulsos eléctricos que son acumulados mecánicamente por un motor de paso a paso de una dirección conectado a un registrador de cinta. El meter mide la acumulación del recorrido de suspensión con unidades de pulg/6.4, indicados por el avance del papel en el registrador de cinta. Esta medida es entonces convertida a pulg/milla por la mayoría de los practicantes. Aunque el transductor trabaja correctamente en carreteras de todos los niveles de rugosidad, el motor de paso a paso tiene límites de

---

respuesta que causan conteos inapropiados en altos niveles de rugosidad.

### **Mays Meter Simulation.**

U programa de cómputo comercial ofrecido por K. J. Law Engineers, Inc. Con el perfilómetro tipo GMR. En algunas versiones, el programa acopla exactamente el IRI (usando unidades de pulg/milla en lugar de m/km); en otros, el programa utiliza los parámetros de carro del IRI con una simulación half-car, en lugar del quarter-car especificado para el IRI.

### **Mm/km.**

Un nombre usado para describir la mitad del ARS. Es comúnmente usado con el Trailer BI. Las medidas del roadmeter BI son generalmente reportados con la mitad del valor que sería utilizado por el ARS. De esta manera,  $1 \text{ m/km ARS} = 500 \text{ mm/km BI}$ .

### **Movimiento Promedio.**

Un método de análisis utilizado para calcular un índice de rugosidad de un perfil medido. El análisis aproxima el perfil

---

reemplazando cada punto con el promedio de los puntos adyacentes. En concepto, QI es idéntico a IRI, y en la práctica, los dos índices son favorablemente muy correlacionados. Es una mitad de ARS con unidades arbitrarias de conteos/km y se basa en una simulación antigua de referencia de un RTRRMS. El QI original tiene una abreviación para Quarter-car index, y está basado en las lecturas tomadas de una pieza particular de hardware tal como se operó sobre carreteras pavimentadas en Brasil. Debido a un número de errores y defectos del equipo en la metodología de calibración, la medida QI original no puede ser reproducido hoy en día usando el mismo método. Desde el principio del proyecto de PICR, ha habido tres tipos de datos QI:

- 1)  $QI_r$ . Una estadística de rugosidad del perfil-basado por Queiroz y otros investigadores Brasileños para reemplazar la escala de calibración de QI. El  $QI_r$  se calcula estáticamente de un solo perfil medido, típicamente obtenido con el método del nivel y la varilla, utilizando una suma ponderada de dos estadísticas de RMSVA calculados de las longitudes base de 1.0 y 2.5 m.

---

$$QI_r = -8.54 + 6.17 * RMSVA_{1.0} + 19.38 * RMSVA_{2.5}$$

La ecuación líneas arriba requiere las medidas de RMSVA para tener las unidades de 1/km (0.001/M), tal como es obtenido cuando la elevación del perfil es medida en mm. Diseñando con la perfilometría en mente del nivel y la varilla,  $QI_r$  no puede ser medido con tantos métodos como el IRI. También, las correlaciones con el RTRRMSs no son tan buenas realmente para las mismas condiciones.

- 2)  $QI^*$ . Las medidas "calibradas" del RTRRMS, usados para todos los datos medidos en el proyecto PICR, tal como se reportó y almacenó en los archivos de datos de computo Brasileño. La calibración usada no está competa y no son correctas las medidas a la escala  $QI$  para todos los tipos de superficies. Sobre carreteras de concreto asfáltico,  $QI^*$  es equivalente a  $QI_r$ ; sin embargo, los resultados numéricos de  $QI^*$  son más grandes que los correspondientes  $QI_r$  medidos sobre carreteras no pavimentadas, y sustancialmente más alto (algunas veces

por 100%) sobre tratamientos superficiales de carreteras.

- 3)  $QI_w^*$ . Los Ingenieros Consultores para el Banco Mundial han reprocesado los datos de rugosidad obtenidos durante el Proyecto ICR. Las ecuaciones de costo resultante, cuando sea publicado, diferirán de aquellos originales, así como han sido redimensionados para producir la estadística  $QI_w$ , más próximo a la estadística  $QI_r$  en todos los tipos de carreteras.

#### **NAASRA Meter.**

Un roadmeter desarrollado y usado por el Australian Road Research Board (ARRB, Junta de Investigación de Carreteras Australiana), junto con un vehículo de referencia para definir a NAASRA RTRRMS. El roadmeter NAASRA fue encontrado capaz de medir las estadísticas de ARV y ARS sobre el rango de rugosidad completo. El NAASRA RTRRMS usado en Australia ha sido "calibrado" sosteniendo un RTRRMS en almacenamiento como una referencia, y poniendo en correlación los otros RTRRMSs con él.

---

### **PCA Meter.**

Un instrumento similar a un roadmeter en el cual los niveles discretos de desplazamiento de suspensión se suman independientemente. La mayoría de PCA Meters también pueden ser usados como simples roadmeters, simplemente añadiendo las lecturas de todos los contadores juntos.

### **PCA suma-de-cuadrados.**

Una medida obtenida de un PCA Meter, donde las lecturas de los contadores diferentes son cada uno ponderados antes que sean añadidas. Se pensaba que la medida resultante era indicativa de una respuesta mean-square (promedio-cuadrado), pero ha sido demostrado que la suma ponderada no tiene relación a alguna variable física. El uso de esta medidas no es recomendable.

### **Profilometer.**

Un instrumento móvil usado para medir el perfil longitudinal de la carretera. Un perfilómetro tiene sus propios medios para la calibración, aparte de los métodos de regresión empíricos

---

necesitados por el RTRRMS. El perfil medido no puede ser real en el sentido que no puede incluir todas las longitudes de onda, aún puede ser válida para aplicaciones en la calibración y medición de rugosidad de la carretera. Dependiendo del instrumento, el perfil no puede ser almacenado y/o procesado en la tarjeta del perfilómetro para producir resultados numéricos de resumen durante la medición. Los perfilómetros de alta velocidad son instrumentos que pueden ser utilizados a velocidades normales de carretera, considerando que los perfilómetros son usados a velocidades de caminata (o más lento).

#### QCS.

Quarter Car Simulation. Un modelo matemático de un vehículo que tiene un cuerpo y una sola llanta. Calcula la respuesta de un vehículo de referencia de la entrada del perfil medido.

#### QI.

La estadística original de rugosidad de carretera adoptada para el uso como una Norma de Calibración en el proyecto user-cost (usuario-cost) PICR Brasileño iniciado con la consideración

---

de que QI es una versión anterior del IRI. Aunque las definiciones originales de QI son difíciles de aplicar con confianza en muchos casos, los datos de IRRE indican que para todos los propósitos prácticos, QI puede ser considerado para ser el IRI con unidades diferentes y una compensación. La ecuación de conversión recomendada es:

$$E \text{ [QI] "conteos/km"} = 14 * \text{IRI (m/km)} - 10$$

#### **RARS<sub>80</sub>.**

Referencia de un promedio rectificado de inclinación a 80km/h. Este es el nombre más técnico para el IRI.

#### **RARV.**

una abreviación para la referencia ARV.  $RARV = ARS * \text{velocidad}$ , donde la ARS es obtenido de QCS del vehículo de referencia.

#### **Repetibilidad.**



La desviación estándar esperada de la medida obtenida en pruebas repetidas, usando el mismo instrumento sobre una sola carretera seleccionada aleatoriamente.

#### **Reproducibilidad.**

La desviación estándar del error incluido en una sola medición, relativo a la media de referencia. La reproducibilidad de un instrumento incluye los errores que son sistemáticos con respecto a aquel instrumento, pero aleatorio con respecto a una prueba particular.

#### **Resolución.**

El incremento más pequeño que puede ser medido con un instrumento particular, debido a su diseño.

#### **Ridometer.**

Un paquete de instrumentación que es instalado en un vehículo para medir las vibraciones. A veces, la palabra Ridometer es usado en otros documentos como un sustituto para la palabra Roadmeter; otras veces la palabra Ridometer es aplicado al

---

instrumento que mide la respuesta del vehículo para determinar la calidad del recorrido, en lugar de la rugosidad de la carretera.

### RMSVA.

Abreviación para las palabras "Root Mean Square Vertical Acceleration" (raíz cuadrada promedio de la aceleración vertical). Esta medida fue propuesta por Mckenzie y Srinarawat como una referencia de calibración del profile-based (perfil-basado). La estadística es un a señal del perfil medido, junto con un solo parámetro de longitud base. El VA (aceleración vertical) es definido en la posición longitudinal como:

$$VA_b = [ Y(x+b) + Y(x-b) - 2 * Y(x) ] / b^2$$

Donde  $Y(x)$  es la amplitud de la señal (elevación del perfil) en la posición  $x$ , y  $b$  es el parámetro de longitud base. Tal como definido la ecuación anterior, RMSVA tiene unidades de aceleración vertical, pero no tiene relación con la aceleración espacial actual del perfil. En cambio, es simplemente una medida de la desviación de mid-chord (cordón central) con un factor de escala

de  $2 / b^2$ . La estadística RMSVA era utilizado para definir la norma de calibración del QI<sub>r</sub> en el proyecto PICR, y también ha sido usado para definir la norma de calibración de un RTRRMS para su uso en Texas.

### Roadmeter.

Un instrumento que es instalado en un vehículo para transducir y acumular las deflexiones de suspensión que ocurren cuando el vehículo recorre una carretera. La medida resultante es proporcional a la deflexión de suspensión total acumulada que ocurre durante la prueba.

### Rugosidad de una carretera.

La variación en la elevación de la superficie a lo largo de una carretera que causa vibraciones durante el recorrido del vehículo. La estadística de resumen estándar que cuantifica esta variación es el IRI.

---

## **RTRRMS.**

Sistema de Medición de la Rugosidad de la Carretera tipo-respuesta. Estos sistemas consisten en un carro de pasajeros o en un remolque que tiene ya sea una o dos ruedas, más un roadmeter instalado para medir las deflexiones de suspensión.

## **Single-track RTRRMS.**

Un remolque soportado por una sola rueda, instrumentado con un roadmeter. La medida de rugosidad obtenida solamente se aplica para una sola wheeltrack.

## **Variación de Inclinación (SV).**

Una medida de la rugosidad de la carretera que es la variación de una señal producida anteriormente por el perfilómetro AASHTO y el perfilómetro CHLOE. Tal como se describe la rugosidad, la Variación de la Inclinación se refiere a la variación de una señal o "perfil" obtenida por un método específico. La Variación de Inclinación es más sensible a los elección del método de medición del perfil que a la rugosidad, y no describe una medida de rugosidad estándar. (la variación "real" de la onclinación del

---

perfil de una carretera es infinita, ya que el perfil real incluye efectos de textura). Aunque la geometría simple de los "perfilómetros" anteriores implica que la variación de Inclinación puede ser fácilmente calculada matemáticamente de las medidas más exactas del perfil, los sistemas de instrumentación anteriores tuvieron peculiaridades y complejidades que no han sido bien documentadas, de modo que las estimaciones de la variación de Pendiente realizados de los perfiles medidos no son equivalentes a las salidas de los instrumentos antiguos. Las medidas de la Variación de Inclinación nunca han sido encontradas por ser muy compatible con las medidas del ARS y ARV obtenidos con RTRRMSs.

### **Viga TRRL.**

Un perfilómetro cuasi-estático desarrollado por TRRL que mide perfiles en secciones de 3.0 m (la longitud del instrumento). La viga se diseña con entornos del país en vías de desarrollo en mente, y es ligero, portátil, y auto-contenido. Incluye una microcomputadora activada por una batería que controla el proceso

de medición y puede automáticamente calcular las estadísticas de la rugosidad.

### **Perfilómetro Láser TRRL.**

Un perfilómetro de alta velocidad desarrollado y operado por TRRL. El perfilómetro utiliza varios sensores láser sin contacto de altura, espaciados sobre la longitud del remolque, para calcular el perfil de la superficie mientras el remolque se remolca a velocidades de la carretera.

### **Two-track RTRRMS.**

Un RTRRMS basado en un carro de pasajeros, camión liviano, o remolque de dos ruedas. La medida obtenida está en función la rugosidad de las dos wheeltracks.

### **Perfilómetro Láser VTI.**

Perfilómetro furgón desarrollado y operado por swedish VTI. Este perfilómetro opera a velocidades normales de carretera y usa una combinación de acelerómetros, sensores sin altura de contacto, y cálculo digital para medir un número de perfiles

---

longitudinales paralelos distribuidos a través de un ancho de 2.5m a 3.5m del terreno de la carretera.

### **Waveband.**

Un rango de frecuencia espaciales (número de onda =  $1 /$  longitud de onda). La waveband incluye solamente el número de ondas que estén dentro de su rango.

### **Wheeltrack.**

La trayectoria seguida por la llanta de un vehículo que atraviesa una carretera. Cada terreno tiene dos wheeltracks recorridas. Cuando se mide la rugosidad, la wheeltrack debe en la medida que sea posible ser paralela a la línea central.

## **ANEXO 2**



## ESPECIFICACIONES TECNICAS PARA LAS LABORES DE REHABILITACIÓN

### 2.1. TRATAMIENTO DE FISURAS LECHADA

#### ASFALTICA (SLURRY SEAL)

##### 2.1.1. DESCRIPCIÓN.

La lechada asfáltica (slurry bituminoso) es una mezcla compuesta por una emulsión asfáltica estable, agregado fino bien graduado y agua potable, en proporción tal que se pueda conseguir adecuada consistencia para una buena penetración en las fisuras y extensión en capa continua.

La mezcla debe resultar fluida homogénea y no debe contener grumos y una vez producida la rotura de la emulsión y eliminada el agua, se puede conseguir una capa de mortero bituminoso estable, resistente a la abrasión del tráfico e impermeable.

### 2.1.2. MATERIALES.

La emulsión será catiónica de rotura media debiendo cumplir con los requerimientos de calidad especificados por la norma ASTM D-2397, o cualquier otra especificación que aprobada por el Supervisor permita obtener resultados adecuados.

La cantidad de asfalto residual depende del diseño de la lechada asfáltica variando la misma para los diferentes husos granulométricos especificados por la ISSA.

HUSO GRANULOMETRICO	% DE ASFALTO RESIDUAL
Tipo I	De 6.5 a 12.0
Tipo II	De 7.5 a 13.5
Tipo III	De 10.0 a 16.0

En todos los casos el porcentaje es respecto al peso seco del agregado. El agregado fino se compondrá de partículas limpias, angulares durables bien graduadas y uniformes, la mezcla de agregados deben cumplir con los siguientes requerimientos:

- Equivalente de arena (ASTMD-2419) sin relleno mineral mínimo 45%
- Abrasión (ASTM C-131, gradación C o D) máximo 35%
- Partículas trituradas 65 a 90%
- Afinidad agregados-emulsión (ASTM D-3910) mínimo 95%
- Métodos de Riedel Weber mínimo 4
- Durabilidad con sulfato de sodio máximo 12%
- Absorción de agua (ASTM C-128) máximo 1%

Las prácticas estándar del diseño, ensayos y construcción del SLURRY SEAL de la norma ASTM D-3910 recomiendan los requerimientos de gradación que se indican a continuación:

Tamaño de la malla	% EN PESO QUE PASA		
	Tipo I	Tipo II	Tipo III
3/8"	100	100	100
#4	100	90 - 100	70 - 90
#8	90 - 100	65 - 90	45 - 70
#16	65 - 90	45 - 70	28 - 50
#30	40 - 60	30 - 50	19 - 34
#50	25 - 42	18 - 30	12 - 25
#100	15 - 30	10 - 21	7 - 18
#120	10 - 20	5 - 15	5 - 15

La proporción de agregados a emplearse dependerá del diseño de la lechada asfáltica la que puede variar según la siguiente escala:

HUSO GRANULOMETRICO	PROPORCION DE AGREGADOS (kg/cm <sup>2</sup> )
Tipo I	De 3.3 a 5.4
Tipo II	De 5.4 a 8.2
Tipo III	De 8.2 a más

El relleno mineral puede ser químicamente activo o inactivo y deberá cumplir los requerimientos de la norma ASTM D -242.

puede ser cemento Pórtland, cal hidratada, polvo de piedra caliza, cenizas volcánicas o polvo de roca, en cualquier caso el relleno mineral debe estar libre de impurezas, grumos o materias extrañas.

El relleno mineral deberá cumplir con la siguiente granulometría:

Tamaño de la malla	% en peso que pasa
#30	100
#50	95 - 100
#200	70 - 100

De preferencia se mezclará cemento Pórtland o cal hidratada para mejorar la porción que pasa malla #200, la trabajabilidad de la lechada y evitar la segregación del agregado. La cantidad de relleno mineral varía según el diseño pudiéndose incorporar de 0.1 a 3 % de este material, referido al peso seco del agregado.

El agua a emplearse debe ser potable, clara y compatible con la lechada asfáltica y la cantidad puede variar entre 10 a 20% del peso seco del agregado. No debe contener sales solubles.

### 2.1.3. METODOS DE ENSAYO.

Los métodos de ensayo Slurry Seal se efectúan según las especificaciones ASTM D-3910 y son las que siguen:

- Consistencia de la mezcla de diseño
- Tiempo de fragua
- Tiempo de curado
- Abrasión por la vía húmeda

### 2.1.4. EQUIPO.

Para la limpieza de la superficie donde se aplicará la lechada (base compactada debidamente mojada) se emplearán barredoras mecánicas, equipos de aire comprimido o simplemente escobas si el caso lo requiere.

La presencia de la lechada asfáltica se hará en obra mediante mezcladoras de concreto.

---

### 2.1.5. PROCESO CONSTRUCTIVO.

La superficie que recibirá la lechada asfáltica (2<sup>da</sup> capa) será previamente ruteada, verificándose que esté libre de materiales deletéreos.

Una aplicación normal de la lechada asfáltica varía entre 6 y 10 kg/m<sup>2</sup> debiéndose esparcirse en una o más capas cuyo espesor será el del tamaño máximo del agregado empleado.

### 2.1.6. LIMITACIONES DEL CLIMA.

La lechada asfáltica no será colocada a temperaturas ambientales inferiores a 5<sup>o</sup>C, ni con humedades relativas altas, ya que estas últimas prolongarían su curado.

### 2.1.7 CONTROL DE TRAFICO.

Deben protegerse totalmente las lechadas asfálticas del tráfico durante la etapa de curado, ya que una apertura prematura del tráfico atenta contra la durabilidad del tratamiento, pudiendo producirse su pronta desintegración.

---

El periodo de curado recomendable es de 12 a 24 horas de acuerdo a las características de la obra y las condiciones del clima.

La superficie tratada debe entregarse al tráfico cuando luego de una observación visual se puede asegurar que este no ocasionará daño ni atentará contra la apariencia del buen acabado.

#### 2.1.8. CONTROL DE CALIDAD.

Es necesario efectuar los ensayos según las normas estándar para determinar las características de la emulsión asfáltica. Los agregados deberán ser controlados a diario con los ensayos de equivalente de arena y adherencia de agregado-bitumen. En lo que se refiere a la granulometría de los agregados deberá controlarse por lo menos dos veces al día. Especial cuidado y control deberá tenerse en la presencia de agregados no estipulados y con la segregación de la mezcla.

El tenor de la emulsión asfáltica podrá variar en un rango de  $\pm 0.3\%$  del fijado en la dosificación.

---



La mezcla deberá presentar fraguado en un tiempo mínimo de 15 minutos y máximo de 12 horas. El curado total deberá conseguirse como máximo a las 24 horas de colocado. Al ser sometidos a las pruebas de abrasión, las pérdidas no serán mayores de 807.44 gr/m<sup>3</sup>.

## 2.2. TRATAMIENTO DE FISURAS Y SELLO CON EMULSION ASFALTICA.

### 2.2.1. DESCRIPCION.

La emulsión asfáltica es un sistema constituido por la dispersión de una fase asfáltica en una acuosa (directa) o de una fase acuosa en una asfáltica (inversa) que presenta partículas electrizadas, cargadas positivamente la cual es los suficientemente homogénea y trabajable (fluida) para lograr un adecuada penetración en las fisuras.

### 2.2.2. MATERIALES.

La emulsión a emplear será de rotura media debiendo cumplir con los requerimientos de calidad especificados por la norma

---

ASTM D-2397-91, resultando fluida homogénea, no debiendo contener grumos, tal que una vez producida la rotura de la emulsión y eliminado el agua se debe conseguir el sellado total de las fisuras con una mezcla bituminosa estable resistente e impermeable.

### 2.2.3. METODOS DE ENSAYO.

Los métodos de ensayo de la emulsión asfáltica se efectuarán según las especificaciones ASTM D-244.

### 2.2.4. EQUIPO.

Para la limpieza se la superficie donde se aplicará la emulsión asfáltica se emplearán barredoras mecánica, equipos de aire comprimido o simplemente escobas si el caso lo requiere.

### 2.2.5. PROCESO CONSTRUCTIVO.

La superficie que recibirá la emulsión asfáltica debe estar libre de materiales deletéreos y debidamente limpia, la emulsión debe esparcirse uniformemente en toda el área a tratar consiguiendo una superficie totalmente cubierta y uniforme.

### 2.2.6. LIMITACIONES DEL CLIMA.

La emulsión asfáltica no será colocada a temperaturas ambientales inferiores a los 5°C, ni con humedades relativas altas ya que estas últimas prolongarían su curado.

### 2.2.7. CONTROL DE TRAFICO.

Debe protegerse totalmente la emulsión del tráfico durante la etapa de curado, ya que una apertura prematura al tráfico atenta contra la durabilidad del tratamiento, pudiendo producirse su pronta desintegración.

La superficie tratada debe entregarse al tráfico cuando luego de una observación visual se pueda asegurar que este no ocasionará daños ni atentará contra la apariencia del buen estado.

## **ANEXO 3**

**CLASIFICACIÓN DE FALLAS Y DEGRADACIONES (PAVIMENTO GRAVA Y TIERRA)**

CLASIFICACION TIPO PRINCIPAL DE FALLA	DENOMINACIÓN DE LA MANIFESTACIÓN	DEFINICIÓN	CAUSAS PRINCIPALES	POSIBLES CAUSAS PRIMARIAS	EFFECTO EN
I - DEFORMACIONES	1.-AHUELLAMIENTO	Depresión longitudinal continua a lo largo de las huellas de canalización del tránsito. Nota: La grava puede considerarse en muchos casos una forma de ahuellamiento, trayendo como consecuencia un debilitamiento de la estructura.	a) Falla por corte b) Densificación c) Intrusión material superficial subrasante	Cargas pesadas sobre subrasante y/o superficie de rodamiento de capacidad de soporte, embebimiento de material arcilloso, espesor de pavimento insuficiente. Capacidad adicional por efecto del tránsito respectivo y canalización. Inestabilidad de la subrasante.	Capacidad estructural (Transitabilidad) Rugosidad.
	2.-HUNDIMIENTO	Pérdida del perfil original de presiones localizadas Se pueden subdividir en: a) Localizados internos / externos b) De gran Rugosidad debido a deficiencias profundas en la fundación	a) Fallas por corte b) Profundos movimientos de asentamientos de la subrasante/fundación	Efectos de las cargas sobre áreas débiles por: Embebimiento capas superiores / inferiores (deficiente drenaje) Heterogeneidades constructivas / insuficiente espesor Consolidación estratos compresibles Descenso brusco napa freática	Capacidad estructural (Transitabilidad) rugosidad
	3.-ENCALAMINADO	Ondulaciones perpendiculares de eje con valles y crestas a intervalos pares. De 0.60/0.30 m una de otra. El fenómeno de corrugación afecta todo el ancho de calzada aún sus partes menos circuladas.	a) Desprendimientos provocados por esfuerzos horizontales y deslizamiento de los neumáticos del tránsito vehicular	Los desplazamientos son ondulados por la frecuencia de vibración propia de los vehículos, en calzada conformados por una capa superficial pulverulenta. Fenómeno más pronunciado en estado hidrotérmico del aire.	Rugosidad
	4.-LEVANTAMIENTOS	Levantamientos localizados del pavimento.	a) Fuerza expansiva fracción arcillosa, de fundación o superficie de rodamiento. b) Hielo (Prost heave)	Hinchamiento por aumento del contenido de humedad. Mineralogía fracción arcillosa. Fenómeno de congelamiento.	Rugosidad capacidad estructural
II - DISGREGACIONES	1.-POLVO	Pérdida de material fino de la superficie de rodadura	Por acción abrasiva del tráfico	Exceso del material fino, suelo y/o falta cohesión Material fino arcilloso excesivamente seco	Seguridad medio ambiente
	2.-DEGRADACIÓN SUPERFIC.	Separación de los componentes de menor tamaño del material granular, que conforma la capa de rodadura permitiendo la existencia de material suelto en la superficie (segregación.)	El efecto abrasivo del material que conforma la superficie de rodadura	Tipo de material Inadecuada gradación del material Materiales muy secos y faltos de compactación	Seguridad Rugosidad

EVALUACIÓN SUPERFICIAL DE PAVIMENTOS - APLICACION DEL INDICE INTERNACIONAL DE RUGOSIDAD

	3.- PERDIDA DE GRAVA	Desplazamiento del material granular (grava) que conforma la superficie, formando cordones y permitiendo la pérdida del mismo, evaluación de la manifestación precedente.	El efecto abrasivo del tránsito sobre la calzada con deficiente mantenimiento	Tipo de material (características constantes físicas, gradación). Características geométricas de la vía (pendiente, curvatura). Mantenimiento insuficiente o inadecuado. Precipitaciones.	Capacidad estructural Rugosidad Seguridad
	4.- BACHES	Desintegración total de la superficie de rodadura en forma localizada	La acción de las cargas del tránsito sobre áreas debilitadas.	Heterogeneidad constructiva (diferente calidad del material, insuficiente espesor o compactación). Pérdida de resistencia por acumulación de agua debido a drenaje superficial deficiente (localizado)	
	5.- EROSIONES SUPERFICIALES	Lavado del material por efecto del escurrimiento superficial del agua (disgregación y transporte del material) o aún por impacto de las gotas de lluvia (disgregación en calzadas y taludes) a) Erosión longitudinal b) Erosión transversal A veces se combinan por efecto de pendiente longitudinal y transversal, siguiendo la línea de máxima pendiente	Fundamentalmente depende de: Precipitaciones (Intensidad / duración) Tipo material Velocidad viento Tipo escurrimiento (laminar / turbulento) y velocidad Condiciones del sistema de drenaje a) Efecto de escurrimiento longitudinal del agua sobre la calzada o bordes de la misma. b) Corte de la calzada por escarmento transversal	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Excesiva gradiente y material poco coherente</li> <li>▪ Defectos de perfilado. Ahuellamiento, impiden drenaje</li> <li>▪ Deficiente mantenimiento de bermas</li> <li>▪ Desborde cunetas y altura rasante inadecuada</li> <li>▪ Pendiente transversal excesiva con material poco coherente (calzad, bermas, taludes)</li> </ul>	

NOTAS:

- Complementariamente se puede mencionar en caso de calzadas, deficiencia circunstancial que consiste en la formación de una película delgada superficialmente que impide toda adherencia entre neumáticos y calzada. Se debe al empleo de materiales de humedad (ingreso de lluvias).
- Las erosiones indicadas se refieren a aquellas que afectan la calzada propiamente. Pueden complementarse con otras que si afectan la obra (taludes y cunetas).
  - a) EROSION PROGRESIVA DE CUNETAS: Excesivo caudal, combinado con una pendiente fuerte que ocurre a través de la salida lateral de la cuneta ubicada a un nivel más bajo que su pendiente media y sin proteger.
  - b) EROSION LATERAL DE TERRAPLEN: Destrucción del talud por efecto erosivo debido a un incremento de la pendiente por profundización de cuneta, insuficiencia de la cuneta en temporales o precipitaciones de gran duración, falta de protección a la salida de obras de arte, impacto de gotas de lluvia en material poco coherente y expuesto al viento, etc. (eventualmente puede llegar al corte del terraplén).

**CLASIFICACION DE FALLAS Y DEGRADACIONES (PAVIMENTO FLEXIBLE)**

CLASIFICACION TIPO PRINCIPAL DE FALLA	DENOMINACION DE LA MANIFESTACION	DEFINICION	CAUSAS PRINCIPALES	POSIBLES CAUSAS PRIMARIAS	EFFECTO EN
	1.- AHUELLAMIENTO	Depresión longitudinal continua a lo largo de las huellas de canalización del tránsito de longitud mayor de 6 m, pueden subdividirse en: a) Pequeño radio (responsabilidad principal pavimento) b) Gran radio de influencia (responsabilidad principal suelo fundación)	a) Espesor insuficiente para tránsito b) Falta estabilidad fundación / pavimento	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Exagerado incremento cargas circulares</li> <li>▪ Deficiencias proceso constructivo (espesores)</li> <li>▪ Aumento de contenido de humedad (fundac/capas gran)</li> <li>▪ Mezclas bituminosas deformable</li> <li>▪ Gradación inapropiada agregados</li> <li>▪ Degradación capa granular (rotura granos)</li> </ul>	Medición de la profundidad de la huella (hecha con regla de 1.20 m; 0.20 m o en forma mecanizada con perfilógrafo transversal) Valores mayores que 20 a 25 mm se consideran intolerables para el tránsito.
	2.- HUNDIMIENTOS (DEPRESIONES)	Pérdida del perfil original, depresiones localizadas: fallas por corte o punzamiento. Pueden dividirse en: a) Hundimientos localizados internos b) Hundimientos localizado borde c) Hundimientos de gran longitud, deficiencias profundas de la fundación	a) Heterogeneidades y deficiencias constructivas (principalmente base y subbase) con pesadas cargas de tránsito y asociadas a un debilitamiento estructural b) Falta de sobreencho c) Falta por corte debido a profundos movimientos de asentamientos de la subrasante	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Espesor insuficiente</li> <li>▪ Deficiente compactación</li> <li>▪ Variaciones en la calidad de materiales</li> <li>▪ Drenaje o subdrenaje deficientes</li> <li>▪ Incremento del contenido de humedad por penetración de agua, ascenso de napa freática, etc.</li> <li>▪ Efecto penetración heladas y deshielo</li> <li>▪ Escaso apoyo lateral a la estructura del pavimento</li> <li>▪ Consolidación estratos compresibles</li> <li>▪ Descenso brusco napa freática (contracción fracción arcillosa suelo fundación)</li> </ul>	En algunos casos se establece la severidad a través de caracterización cualitativa (moderado, severo, etc.) y su frecuencia a través del número de observaciones. La presencia de depresiones en las huellas afecta la rugosidad por lo que se puede considerar indirectamente el evaluar la deformabilidad longitudinal.
	3.- DESPLAZAMIENTOS (SHOVING)	Levantamientos y corrimientos de materiales formando cordones; deformación dependiente del tiempo. Pueden localizarse: a) internos b) en bordes	a) falta de estabilidad capas superiores b) falta de contención lateral bermas.	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Dosificación inadecuada de mezcla asfáltica</li> <li>▪ Exceso de contenido de asfalto</li> <li>▪ Movimiento lateral y ascendente en bases granulares frente a cargas pesadas</li> <li>▪ Bermas descalzas o falta de bermas</li> </ul>	Idem anterior

EVALUACIÓN SUPERFICIAL DE PAVIMENTOS - APLICACION DEL INDICE INTERNACIONAL DE RUGOSIDAD

II.- FISURAS O AGRIETAMIENTOS	4.- DESLIZAMIENTOS (SLIDING)	Corrimientos y distorsiones a veces con levantamientos principalmente transversales al eje	<p>a) Falta de adherencia entre capa superior a inferior asociada a deficiencias constructivas</p> <p>b) Falta estabilidad capa superior asociada generalmente a una deficiente adherencia</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Falta o exceso de riego de liga</li> <li>▪ Falta de curado riego de liga</li> <li>▪ Presencia de polvo antes o después de riego</li> <li>▪ Falla superficial de la base por degradación de la capa superior (suelo-cemento)</li> </ul>	Idem anterior
	5.- ONDULACIONES (WASHBOARD)	Ondulaciones perpendiculares al eje con valles y crestas a intervalos aproximados de 0.60 m una de otra (Corrugación)	<p>a) Acción de cargas pesadas sobre capas superficiales muy deformables principalmente zonas de frenado y estacionamiento</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Dosificación inadecuada mezcla asfáltica</li> <li>▪ Exceso de ligante</li> <li>▪ Altas temperaturas de servicio</li> </ul>	Idem anterior
	6.- LEVANTAMIENTOS	Levantamiento localizado del pavimento	<p>a) Fuerza expansiva fracción arcillosa de fundación súbbase o base</p> <p>b) Hielo (frost heave)</p>	Hinchamiento por aumento del contenido de humedad de la arcilla Mineralogía fracción arcillosa Fenómeno de congelamiento	Idem anterior
	1.- PIEL DE COCODRILO (caligator cracking)	Fisuras interconectadas formando pequeños polígonos irregulares; bordes irregulares y ángulos agudos	<p>a) Fatiga (fallas, deflexiones y bajos radios de curvatura)</p> <p>b) Pavimento muy rígido sobre fundación muy resistente sometido a cargas pesadas y frecuentes. Evolución de las fisuras en bloques</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Infradiseño por aumento de cargas de tránsito (intensidad y frecuencia) por deficiencias constructivas, por humedad, presencia de sales, deficiencias de subdrenaje.</li> <li>▪ Asfalto insuficiente envejecido</li> <li>▪ Incapacidad del pavimento para acomodarse por su rigidez a las deflexiones de la subrasante (pavimento helado, subrasante sin helar por el)</li> <li>▪ Tipo y gradación del asfalto</li> </ul>	Medición de longitud o área fisurada por unidad de superficie (cantidad). Relacionando con frecuencia. Agrupándolas según clasificación en base a severidad. Medición de ancho de la fisura y grado de desintegración de sus bordes. Empleo de un catálogo de fisuras (severidad, extensión aproximada) y relación con frecuencia



EVALUACIÓN SUPERFICIAL DE PAVIMENTOS - APLICACION DEL INDICE INTERNACIONAL DE RUGOSIDAD

II.- FISURAS O AGRIETAMIENTOS	2.- EN BLOQUE (block cracking)	Fisuras y grietas interconectadas formando grandes o pequeños polígonos. Bordes regulares, ángulos vivos y netos muchos a 90°	a) Fatiga b) Contracción de la mezcla asfáltica c) Falta de estabilidad de las capas del pavimento	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Infradiseño</li> <li>▪ Envejecimiento o endurecimiento o contracción (variaciones de temperatura) del asfalto (aún sin tráfico).</li> <li>▪ Tipo y gradación del asfalto</li> <li>▪ Exceso de filler en la mezcla</li> <li>▪ Prematuro endurecimiento del asfalto durante el proceso de mezcla (falla constructiva)</li> <li>▪ Debilitamiento brusco capas inferiores (saturación)</li> <li>▪ Heterogeneidades constructivas</li> </ul>	Idem anterior
	3.- LONGITUDINALES (longitudinal cracking)	Fisura o grieta longitudinal paralela al eje. En general su ubicación refleja la causa más probable. a) En huellas canalización de tránsito b) En centro o cercano a bordes calzada c) Cercano a bordes calzada	a) Cargas pesadas frecuentes b) Asociadas a diferencias de construcción c) Asociadas a suelo fundación y obra básica (a veces infradiseño)	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Espesor de pavimento insuficiente</li> <li>▪ Subrasantes elásticas</li> <li>▪ Junta fría o construida en forma inapropiada entre secciones de pavimento</li> <li>▪ Falta sobreancho base</li> <li>▪ Deflexión de juntas en ensanche</li> <li>▪ Asentamientos de terraplén</li> <li>▪ Construcción por deformación de terraplenes</li> <li>▪ Mala conservación de bermas (agua retenida en los bordes)</li> </ul>	Idem anterior
	4.- TRANSVERSALES (transverse cracking)	Fisuras o grietas rectilíneas perpendicular al eje de longitud variable. De repetirse a intervalos equidistantes ver fisuras por reflexión	a) Contracción mezcla asfáltica (materiales o clima) b) Infradiseño frente a tránsito circulante c) Deficiencias constructivas	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Mezcla asfáltica con exceso de finos (muy fillerizada)</li> <li>▪ Envejecimiento de asfalto</li> <li>▪ Reducción de resistencia a tracción a baja temperatura</li> <li>▪ Dosificación inadecuada para rango variación a temperatura (tipo asfalto porcentaje vacíos)</li> <li>▪ Carga excesiva</li> <li>▪ Espesor insuficiente</li> <li>▪ Sobrerrodillado en compactación mezcla asfáltica</li> <li>▪ Juntas de trabajo defectuosas</li> <li>▪ Falta de sobreancho</li> </ul>	Idem anterior
	5.- REFLEJADAS (reflective cracking)	Fisuras y grietas que acompañan movimientos de la base	a) Todos los tipos de fisuras (especialmente transversales y longitudinales) que se originan en las capas inferiores y aparecen reflejadas en la superficie	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Espesor insuficiente</li> <li>▪ Fuerte adhesión</li> <li>▪ Capa subyacente que dilata</li> <li>▪ Juntas o grietas capa subyacente sin tratar</li> <li>▪ Ensanches de trocha</li> </ul>	Idem anterior

EVALUACIÓN SUPERFICIAL DE PAVIMENTOS - APLICACION DEL INDICE INTERNACIONAL DE RUGOSIDAD

III - DISGREGACION	6.- EN ARCO	Fisuras en arco o en forma de media luna en la dirección del tráfico	<ul style="list-style-type: none"> <li>a) Ondulaciones y deslizamientos por falta de estabilidad de la capa asfáltica (acción tráfico)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Dosificación inadecuada mezcla asfáltica, exceso de ligante</li> <li>▪ Mezcla inapropiada desplazada por efecto de las ruedas, frenado o arrancado</li> </ul>	Idem anterior
	1.- PELADURAS (STRIPPING)	<p>Desprendimientos de agregados de la capa asfáltica de rodamiento. Pueden distinguirse:</p> <p>Peladuras superficiales de desuniforme distribución.</p> <p>Estrías (streaking):</p> <p>Desprendimientos parciales de agregados pétreos en tratamientos superficiales bituminosos por deficiencias de riego. Generalmente longitudinales (transversales en riegos pulsados, antiguos tratamientos bituminosos)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>a) Pérdida de adherencia asfalto agregado</li> <li>b) Reactividad química</li> <li>c) Deficiencias constructivas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Acción agua tránsito intenso</li> <li>▪ Reducción contenido útil de ligante por absorción agregados porosos, envejecimiento prematuro, cantidad insuficiente, etc.</li> <li>▪ Desplazamiento de la película de asfalto en agua en agregación hidrófilos</li> <li>▪ Presión de vapor o fuerzas capilares de tracción</li> <li>▪ Fuerte retracción debido al aire ocluido</li> <li>▪ Vacíos en la capa superficial bituminosa</li> <li>▪ Ataque con solventes</li> <li>▪ Reacción agregado asfáltico superficial</li> <li>▪ Alteración ligante por excesiva temperatura de mezclado</li> <li>▪ Agregados pétreos sucios húmedos o sobrecalentados</li> <li>▪ Textura muy abierta (insuficiente cantidad asfalto, alto porcentaje vacíos, deficiente compactación)</li> <li>▪ Segregación de agregados pétreos, tratamientos superficiales bituminosos</li> <li>▪ Falta de uniformidad de riego barra de distribuidor asfalto de camión regador por deficiente calibración u obstrucción de los picos</li> <li>▪ Riegos pulsados (distribuidores con bombas impulsoras de engranajes de dientes rectos)</li> </ul>	Evaluación del grado de desprendimiento de agregados en forma subjetiva caracterizan su magnitud en forma cualitativa o bien la extensión del área fallada. En algunos casos se emplean catálogos de fotografías. Al afectar la rugosidad, la determinación de la misma permite una evaluación indirecta.
	2.- NIDO DE GALLINA (PHOTOLES)	Cavidad de forma redonda con bordes netos sin hundimientos zonas aledañas (si la base es inestable progresa en profundidad y agranda en superficie)	<ul style="list-style-type: none"> <li>a) Desintegraciones localizadas en la capa superficial</li> <li>b) Asociadas a debilidad estructural localizada (aislada)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Segregación agregados pétreos</li> <li>▪ Agregados pétreos sucios, húmedos o sobrecalentados</li> <li>▪ Alteración del ligante por excesiva temperatura de mezclado</li> <li>▪ Falta o endurecimiento ligante</li> <li>▪ Infradiseño observado solo en el sitio de falla (poco frecuente)</li> </ul>	Idem anterior

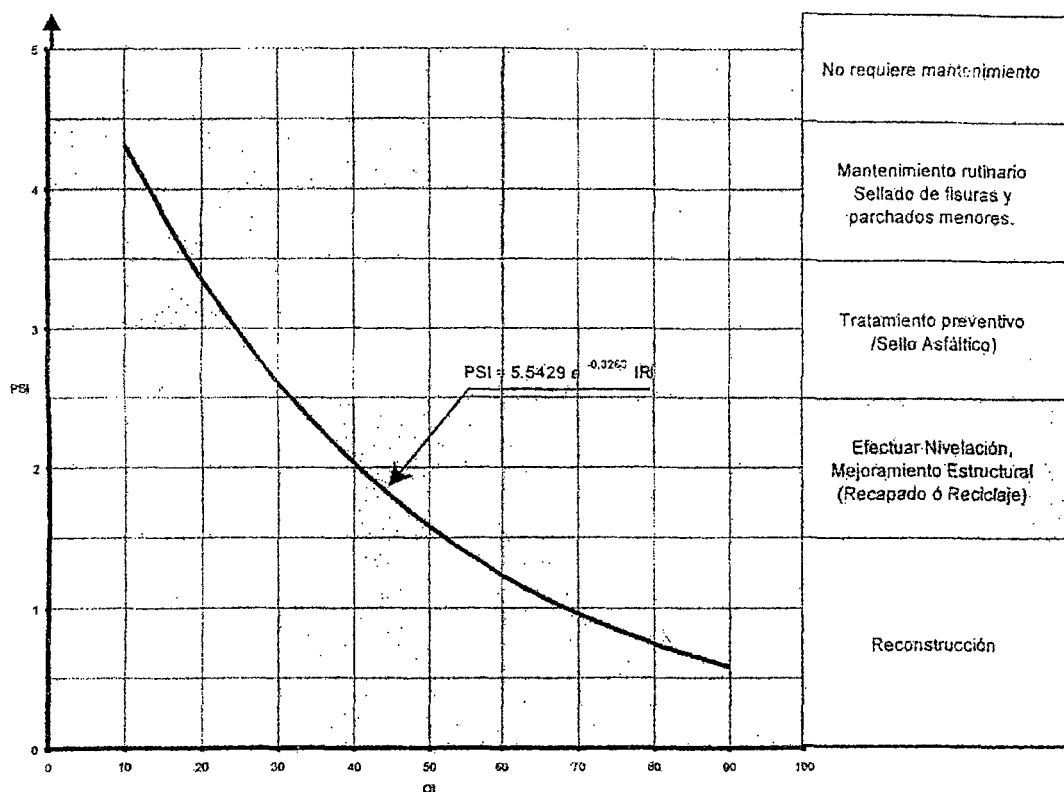
EVALUACIÓN SUPERFICIAL DE PAVIMENTOS - APLICACION DEL INDICE INTERNACIONAL DE RUGOSIDAD

IV.- EXUDACIONES	3.- DESINTEGRACIÓN TOTAL (traveling) O SUPERFICIALES (weathering)	Descomposición total del aglomerado asfáltico con posible pérdida de parte estructural (baches). Su evolución depende estabilidad base, puede localizarse: Internos En bordes Desintegración gradual superficie capa de rodamiento aumentando textura y exponiendo cada vez más los agregados, por acción tránsito y clima	a) Acción tránsito sobre fallas tipo estructural b) Debilitamiento en bordes calzada c) Originadas en la superficie de rodamiento, acción tránsito intenso y clima (permite evaluación peladuras)	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Fisuras tipo piel cocodrilo, hundimientos</li> <li>▪ Retención de agua zonas hundidas o agrietadas</li> <li>▪ Falta conservación o baches mal reparados</li> <li>▪ Deficiencias de subdrenajes</li> <li>▪ Falta de sobreebanco</li> <li>▪ Falta de cordón protector borde pavimento en accesos de vehículos</li> <li>▪ Pérdida de adherencia deficiencias constructivas</li> <li>▪ Reactividad química</li> <li>▪ Degradación de los agregados</li> </ul>	Idem anterior
	4.- INDENTACIONES (indentation)	Desintegración localizada	Acción de factores exógenos sobre la superficie del pavimento	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Uñas de palas cargadoras, tomatractor, etc.</li> <li>▪ Arrastre de elementos cortantes</li> <li>▪ Ruedas metálicas orugas</li> </ul>	No se evalúa
	5.- PULIMIENTO SUPERFICIAL (polishing)	Agregados excesivamente pulidos en la superficie del pavimento	Pulimento de la textura superficial	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Agregados con superficie inicialmente muy pulida</li> <li>▪ Desgaste (pulimento) superficial por acción del tránsito sobre agregados degradables y eventualmente que han perdido ligante</li> </ul>	Idem anterior  Se releva especialmente al evaluar condiciones de seguridad
	1.- D E ASFALTO (bleeding o flushing)	Afloramiento de asfalto a la superficie	a) Deficiencias mezcla asfáltica b) Deficiencias constructivas	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Dosificación inadecuada</li> <li>▪ Exceso de asfalto</li> <li>▪ Insuficiencia de vacíos en la mezcla</li> <li>▪ Asfalto muy blando para el clima</li> <li>▪ Exceso riego liga o riegos superpuestos</li> <li>▪ Distribución desuniforme de asfalto en tratamientos</li> <li>▪ Aplicación rica en bitumen con suficiente secativo</li> <li>▪ Consolidación mezcla asfáltica en huellas por deficiente compactación</li> <li>▪ En juntas, excesiva cantidad de asfalto</li> </ul>	Apreciación subjetiva en magnitud y frecuencia. Se tiene en cuenta especialmente al evaluar la seguridad de la carretera (coeficiente de fricción)
	2.- DE MORTERO	Separación u ascenso de mortero y descenso del material grueso	a) Deficiencias en la mezcla asfáltica y/o su colocación	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Exceso de finos (mezcla mal graduada)</li> <li>▪ Colocación y compactación excesivamente caliente</li> <li>▪ Elevadas temperaturas de servicio</li> </ul>	Idem anterior

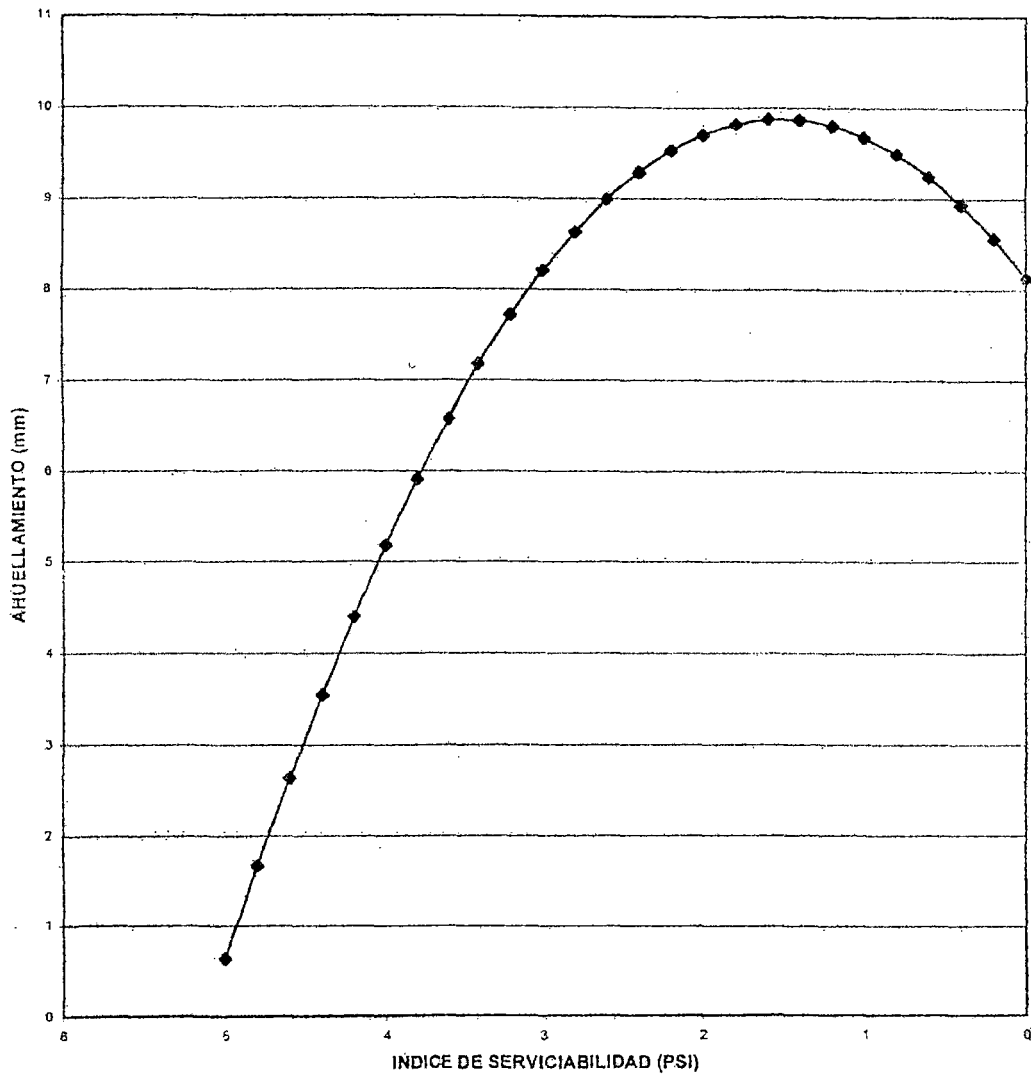
NOTA:

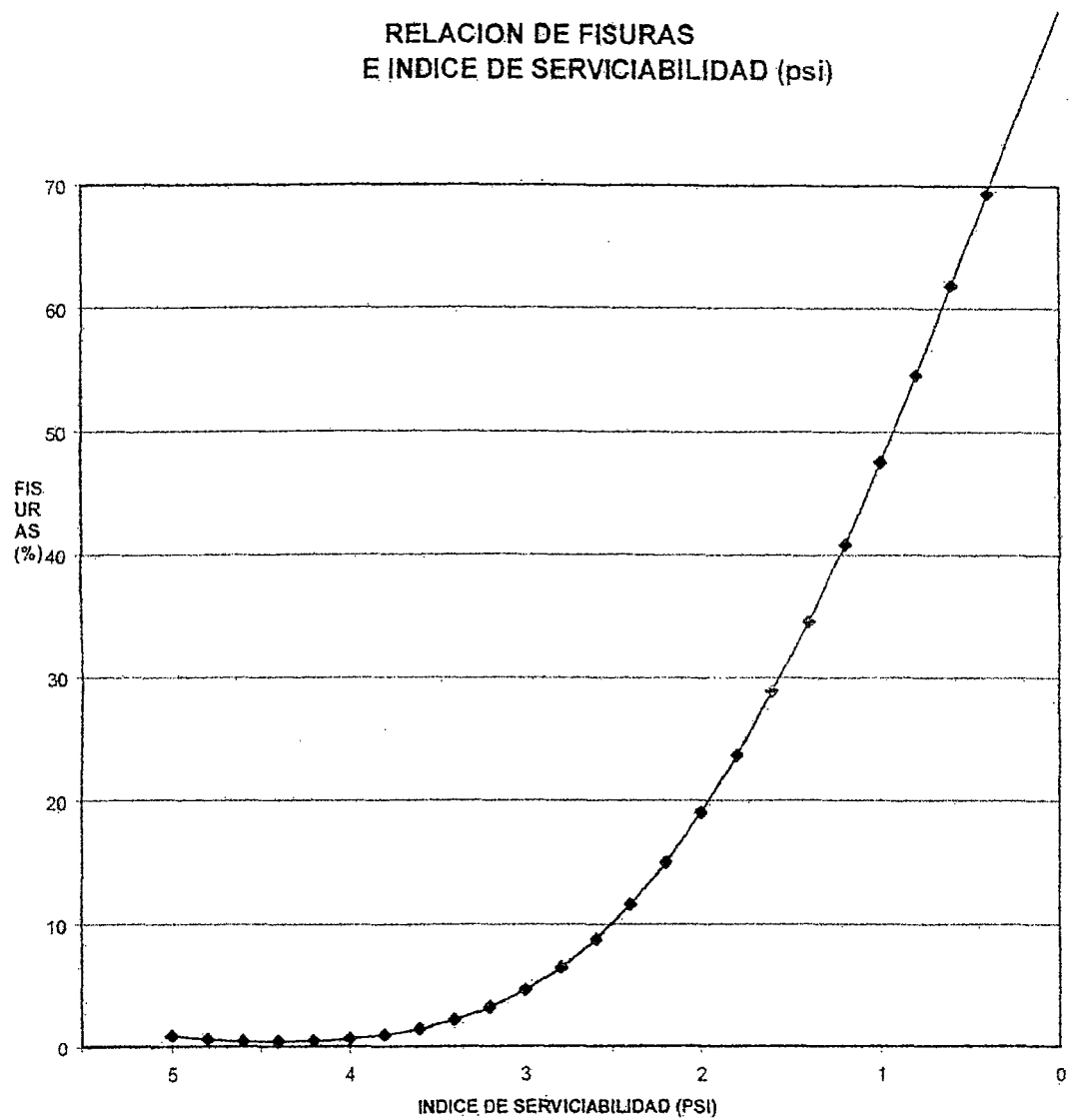
- No se han incluido como fallas del pavimento los aspectos relativos a bermas (tipo, estado), drenaje (tipo, estado), bacheos (tipo, cantidad, edad, etc.), que influyen en la degradación de los pavimentos flexibles.
- Al evaluar una falla a un grado de magnitud mayor, generalmente aparecen otros tipos de fallas asociadas dando origen a fallas múltiples o combinadas.

RELACION INDICE DE SERVICIABILIDAD (PSI) RUGOSIDAD (IR) ...  
PAVIMENTOS FLEXIBLES o ASEALTICOS ...



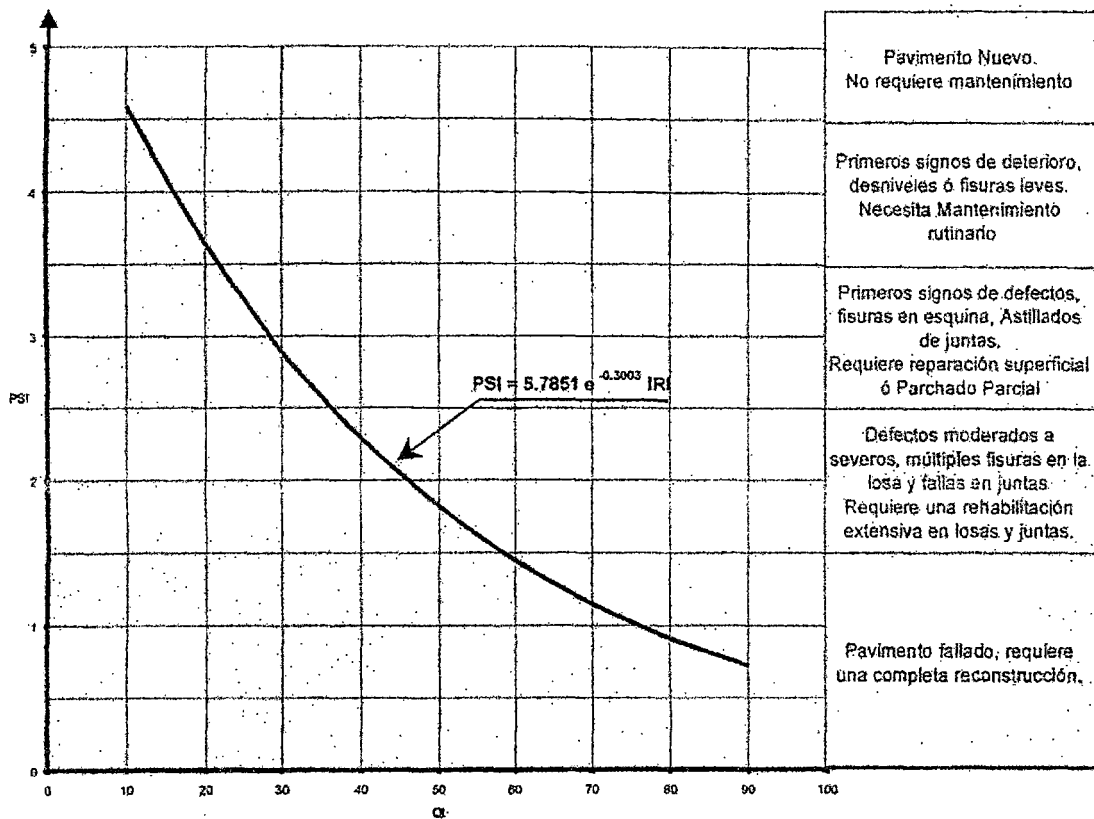
### RELACION DE AHUELLAMIENTO E INDICE DE SERVICIABILIDAD (psi)





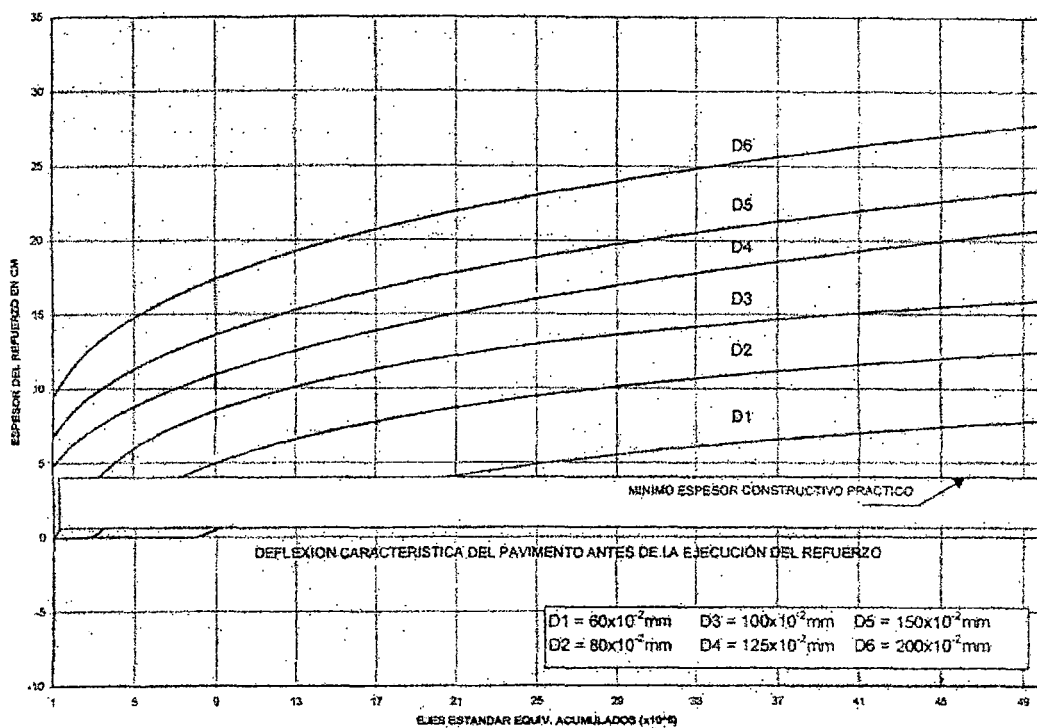
$$AH = ((0.3 \text{ PSI}^3 - 1.3 \text{ PSI}^2 - 6.2 \text{ PSI} + 29)^2) / 10$$

RELACION INDICE DE SERVICIABILIDAD (PSI) RUGOSIDAD (IRI)  
PAVIMENTOS RIGIDOS.

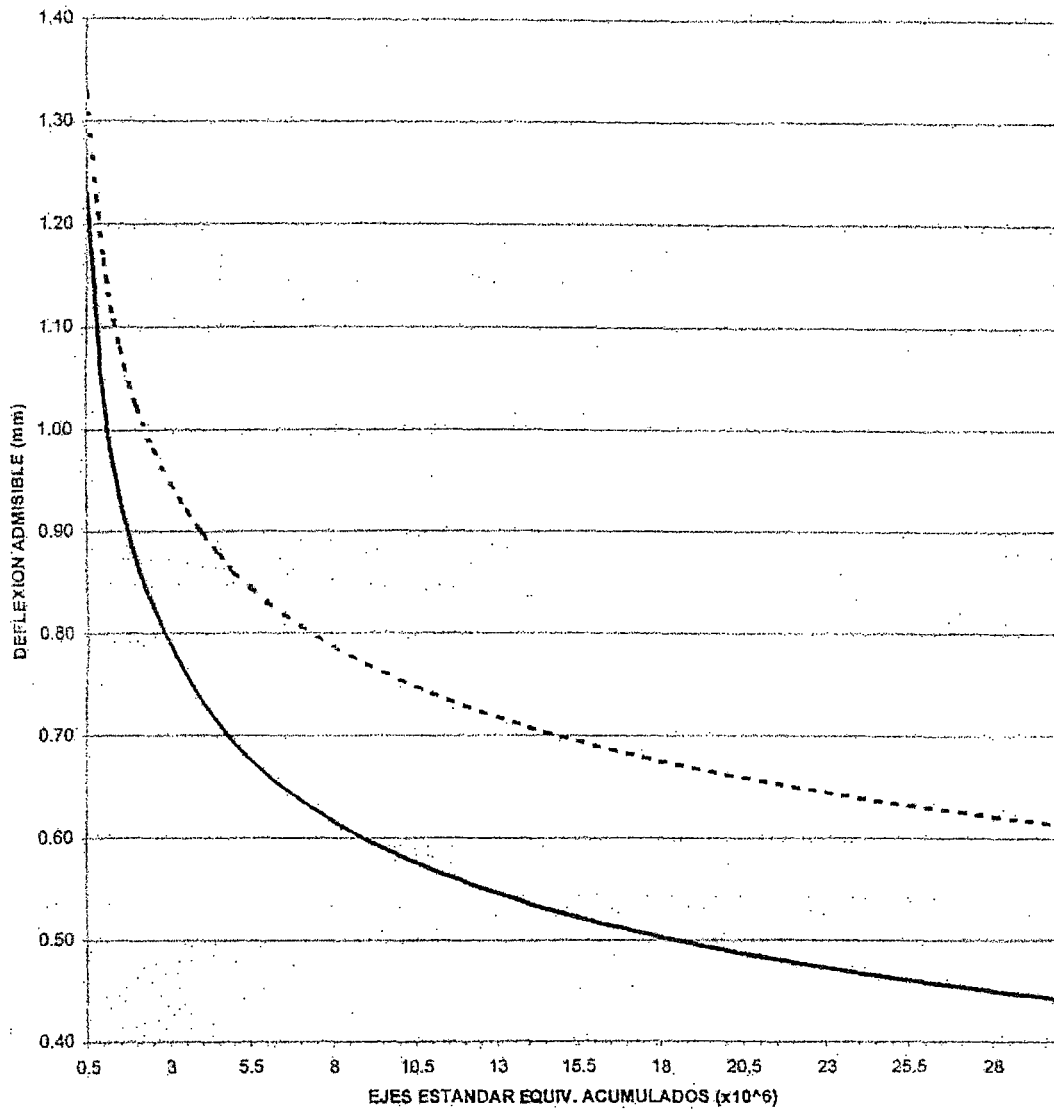




ABACO PARA EL CALCULO DE ESPESORES DE REFUERZO



**DEFLEXION ADMISIBLE  
DEFLEXION CRITICA**



— DEFLEXION ADMISIBLE      - - - DEFLEXION CRITICA

$$D_{adm} = \sqrt[4]{\frac{1.15}{EJES}} \quad (\text{en mm}) \qquad D_{crit} = 1.135 (D_{adm})^{0.755} \quad (\text{en mm})$$

# ANEXO 4

---

## ESPECIFICACION DE LA RUGOSIDAD EN EL PERU

---

Hay dos formas en que se está especificando la Rugosidad que deben cumplir las carreteras en el Perú:

- a) Como un valor absoluto; y
- b) Como un valor característico

Un ejemplo de especificación como valor absoluto dice en el caso de pavimentos flexibles: La regularidad superficial de la carpeta asfáltica será aprobada por el Supervisor, para lo cual, por cuenta y cargo del Contratista, deberá determinar la rugosidad en unidades IRI, la cual no debe ser mayor de 1.5IRI para pavimentos nuevos ni mayor de 2IRI para recapeados.

En el caso de bases granulares dice: A fin de asegurar que la superficie de la capa de base tenga un acabado tal que, luego de colocada la carpeta asfáltica no se sobrepasen los límites de rugosidad especificada, se deberá proceder a verificar la regularidad superficial, ya sea utilizando equipos topográficos, rugosímetros, o cualquier otro equipo aprobado por el Supervisor. La rugosidad medida en la superficie de la base terminada ~~no deberá ser mayor de 2.5IRI.~~

Un ejemplo de especificación como valor característico dice: El sector o tramo será aceptado si cumple las siguientes conditions para:

$$IRI_c = IRI_p + 1.645\sigma$$

Donde:

$IRI_c$  : IRI característico

$IRI_p$  : IRI promedio

$\sigma$  : Desviación estándar

- a) En tramos de pavimentos de nueva construcción: el índice  $IRI_c$  deberá ser menor o igual que 2.0
- b) En tramos de refuerzo del pavimento: el índice  $IRI_c$  deberá ser menor o igual que 2.5

Si estas condiciones no se cumplen, se aceptarán los sub-sectores representativos, para los cuales a partir del cálculo de nuevos parámetros estadísticos, cumplan las condiciones o parámetros dados.

En los E.E.U.U. se toma en cuenta la Especificación de Resultado Final, un concepto por que se "bonifica" o "castiga" al Contratista según el resultado obtenido respecto del esperado. A continuación se dan los

### Porcentajes de Ajuste del Precio del Contrato en Base a la Rugosidad,

según los criterios de la AASHTO y de la NAPA:

Rugosidad (mm/m)	AASHTO	NAPA
<0.48	-----	105
0.32 - 0.64	-----	104
0.64 - 0.79	-----	103
0.79 - 0.95	-----	102
0.95 - 1.11	-----	101
1.11 - 1.59	-----	100
<1.59	100	-----
1.59 - 1.75	98	98
1.75 - 1.91	96	96
1.91 - 2.06	94	94
2.06 - 2.22	92	92
2.22 - 2.38	90	90
>2.38	Aplicar acción correctiva	Aplicar acción correctiva

Finalmente, se estima conveniente comentar las Especificaciones de Georgia respecto de la Tolerancia durante la recepción. En Georgia se acostumbra a especificar dos "valores críticos" para la Rugosidad. El primer valor es el "objetivo" y el segundo es menos estricto que el primero. Si el primer valor no cumple con las especificaciones, se aplican los porcentajes de ajuste de tabla anterior. Si el segundo valor no cumple, se aplican medidas correctivas.