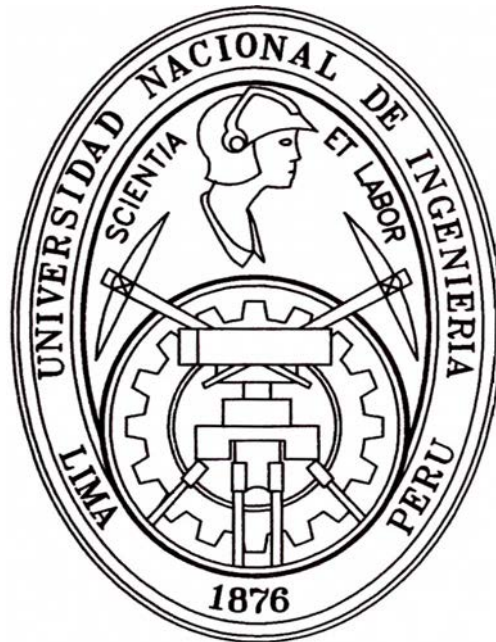


**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA**  
**FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL**



**EVALUACIÓN DE LA RUGOSIDAD DE LA CARRETERA CAÑETE - YAUYOS -  
CHUPACA CON EQUIPO BUMP INTEGRATOR  
TRAMO KM. 79+000 – KM. 84+000**

**INFORME DE SUFICIENCIA**

**Para optar el Título Profesional de:**

**INGENIERO CIVIL**

**JORGE RAÚL QUILLAS QUISPE**

**Lima - Perú**

**2009**

## ÍNDICE

<b>RESUMEN</b>	2
<b>LISTA DE CUADROS</b>	3
<b>LISTA DE FIGURAS</b>	4
<b>LISTA DE SÍMBOLOS Y DE SIGLAS</b>	5
<b>INTRODUCCIÓN</b>	6
<b>CAPITULO 1.- GENERALIDADES.</b>	
1.1 Antecedentes	8
1.2 Ubicación	10
1.3 Características de la carretera	10
1.4 Tramo en estudio Km.79+000 – Km. 84+000	12
<b>CAPITULO 2.- ESTADO DEL ARTE</b>	14
<b>CAPITULO 3.- MARCO TEORICO</b>	
3.1 Evaluación Superficial	21
3.2 Rugosidad	26
3.2.1 Concepto de rugosidad	26
3.2.2 Índice de Rugosidad Internacional (IRI)	26
3.3 Método de Evaluación de la rugosidad con equipo Bump Integrator	29
3.4 Instalación del Equipo Bump Integrator	30
<b>CAPITULO 4.- APLICACIÓN DEL MÉTODO</b>	
4.1 Recopilación de datos	33
4.2 Calibración del Equipo	35
4.3 Procesamiento de datos	36
<b>CAPITULO 5.- ANÁLISIS DE DATOS DE CAMPO</b>	37
5.1 Cálculo del valor I.R.I en el tramo en estudio	42
<b>CONCLUSIONES</b>	43
<b>RECOMENDACIONES</b>	44
<b>BIBLIOGRAFIA</b>	45
<b>ANEXOS</b>	46
Foto 1: Badén en tramo de carretera km 82+200 aprox.	46
Foto 2: Pequeño riachuelo que cruza la carretera	47
Foto 3: Ancho de vía variable, en este tramo se ve solo 1 tramo	
Tablas de Cálculos de valores IRI con el equipo Merlin	48

## RESUMEN

El Índice de Rugosidad Internacional (IRI) ha sido un parámetro ampliamente utilizado para determinar las características superficiales que presentan los pavimentos. El Informe presenta los principales detalles, cuidados y procedimientos involucrados en el cálculo del IRI, con la finalidad de que sean tomados en cuenta en la definición de especificaciones de aceptación de proyectos viales o evaluación de la red vial.

La conservación de carreteras ocupa un lugar muy importante entre las preocupaciones de los responsables de la infraestructura carretera. Los usuarios ya no se conforman actualmente con disponer de vías de comunicación, sino que demandan que éstas les permitan desplazamientos rápidos, cómodos, económicos y seguros. El buen estado de la infraestructura carretera resulta vital para la eficiencia del transporte, el cual tiene una influencia preponderante en el estado general de la economía del país.

## LISTA DE CUADROS

Cuadro 4.1: Recolección de datos km 79+000 – km 84+000	33
Cuadro 4.2: Recolección de datos km 84+000 – km 89+000	33
Cuadro 4.3: Recolección de datos km 89+000 – km 94+000	34
Cuadro 4.4: Recolección de datos km 94+000 – km 99+000	34
Cuadro 4.5: Recolección de datos km 99+000 – km 104+000	35
Cuadro 4.6: Secciones de calibración	35
Cuadro 4.7: Hoja resumen de datos y cálculos	36
Cuadro 5.1: Valores reemplazados en opción 1	37
Cuadro 5.2: Valores reemplazados en opción 2	38
Cuadro 5.3: Valores IRI mediante la ecuación de calibración obtenida	42

---

---

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1.1: Ubicación del tramo de estudio de la carretera	11
FIGURA 1.2: Foto de la carretera	12
FIGURA 1.3: Mantenimiento rutinario de la carretera ( señalización )	13
FIGURA 1.4: Mantenimiento rutinario de la carretera ( limpieza )	13
FIGURA 2.1: Equipo Bump Integrator	20
FIGURA 2.2: Equipo Bump Integrator y vehículo instalado	20
FIGURA 3.1: Modelo de cuarto de carro	28
FIGURA 3.2: Escala de rugosidad IRI	29
FIGURA 3.3 Instalación del Equipo Bump Integrator	30
FIGURA 3.4: Sensor de desplazamiento	31
FIGURA 3.5: Adquisidor de datos	32
FIGURA 3.6: Diferentes posiciones de instalación del equipo	32
FIGURA 5.1: Gráfico de ecuación de calibración	37
FIGURA 5.2: Gráfico de ecuación de calibración	38
FIGURA 5.3: Resumen de valores de IRI	39
FIGURA 5.4: Gráfico de ecuación de calibración	41

## LISTA DE SÍMBOLOS Y DE SIGLAS

<b>AASHTO:</b>	American Association of State Highway and Transportation Officials
<b>GMR:</b>	General Motors
<b>MTC:</b>	Ministerio de Transportes y Comunicaciones
<b>TSB :</b>	Tratamiento Superficial Bicapa
<b>EE:</b>	Eje Equivalente
<b>MDOT.:</b>	Departamento de Transporte de Michigan
<b>RTRRMS:</b>	Sistemas Tipo Respuesta de Medida de Rugosidad de Caminos
<b>PCA :</b>	Portland Cement Association.
<b>IRRE :</b>	International Road Roughness Experiment
<b>N.T.P.:</b>	Norma Técnica Peruana
<b>A.S.T.M.:</b>	American Society for Testing and Materials
<b>I.R.I.:</b>	Índice de Rugosidad Internacional
<b>S.U.C.S.:</b>	Sistema Unificado de Clasificación de Suelos

---

## INTRODUCCIÓN

Las carreteras constituyen un importante valor patrimonial en todos los países. En el Perú, el Sistema Nacional de Carreteras se encuentra clasificado y jerarquizado por redes viales. Si no se conserva adecuadamente este patrimonio vial corre un grave peligro de deterioro con la consiguiente pérdida de transitabilidad y valor.

El tránsito de vehículos es el otro gran factor que impacta sobre la estructura de la carretera y en especial, sobre su capa o estructura de rodadura. Aspectos como el número de vehículos que usarán la carretera, sus características físicas y operativas, su peso bruto y sus pesos por ejes, incluso la presión usada en sus neumáticos, tienen enorme significado sobre el tipo de superficie de rodadura de la carretera. Siempre se necesitan que las carreteras presenten niveles de servicio que establecen las condiciones en que deben conservarse las carreteras. En este sentido, los “niveles de servicio” deben referirse a conceptos de: a) transitabilidad garantizada la mayor parte del tiempo; b) seguridad; y c) comodidad operativa medida en términos de rugosidad de la carretera.

El concepto de “transitabilidad” en el Perú define una situación de “disponibilidad de uso”. Demuestra que una carretera específica está disponible para su uso, es decir, que no ha sido cerrada al tránsito público por causas de “emergencias viales”, Este tipo de problemas, es el que causa mayor impacto en la vida de las poblaciones del país y ocurre mayormente en periodos de lluvias.

El problema de la falta de seguridad en la conducción de vehículos en las carreteras del país es muy grave. Los parámetros de accidentalidad de carácter internacional establece índices anuales de muertes por; los países en subdesarrollo, entre los cuales está el Perú, con un rango mayor a 10 muertes por cada 100 millones de veh-km/año. (Estudio de Seguridad Vial en el Perú. MTC – BM)

La comodidad viene siendo que confortable es el viaje para el usuario de la carretera, la comodidad es medida en términos del índice Internacional de Rugosidad o IRI.

---

El Informe de Suficiencia se ha desarrollado por capítulos que se describen a continuación:

El capítulo 1, contiene antecedentes de la carretera, desde cuando se iniciaron las obras de construcción, su ubicación y características de la misma.

El capítulo 2, contiene el estado del arte del equipo Bump Integrator desde sus inicios hasta la actualidad.

El capítulo 3, contiene el Marco teórico de la evaluación de la rugosidad con el equipo Bump Integrator, desde concepto de la rugosidad como también el concepto de Índice de Rugosidad Internacional IRI.

El capítulo 4, contiene todos los datos que se obtuvieron en campo además cuadros donde se ve el proceso de calibración y los datos que se serán tomados para hallar la ecuación de calibración.

El capítulo 5, contiene todo el análisis para calcular la ecuación de calibración y la obtención de los valores de IRI en el tramo en estudio partiendo desde los valores de BI obtenidos con el equipo Bump Integrator.

**El Objetivo Principal** es evaluar la Rugosidad del tramo con el equipo Bump Integrator, de la carretera Cañete–Yauyos–Chupaca del Km. 79+000 al Km. 84+000, analizando los valores IRI (Índice de Rugosidad Internacional); lo cual permitirá establecer preliminarmente las necesidades de mantenimiento y brindará valores IRI que servirán de referencia para futuros monitoreos.

### **Objetivos Específicos**

- Obtener el Índice de Rugosidad Internacional (IRI) para el tramo evaluado de la carretera que tiene un tratamiento superficial monocapa.
- Obtener una relación entre los datos obtenidos con el Equipo Bump Integrator y los datos obtenidos con el Equipo Merlin.
- Ventajas y desventajas del empleo del equipo Bump Integrator.



## **CAPITULO 1.- GENERALIDADES.**

### **1.1 Antecedentes**

La Carretera Cañete- Yauyos-Chupaca es una vía de 271.73 km. que integra los centros poblados de las provincias de Lima y Junín, como también las zonas rurales que se encuentran a todo lo largo de esta. El mantenimiento, conservación y mejora de esta vía ayuda a la integración de los poblados, eleva la calidad de vida, produce mejoras económicas, propicia el desarrollo sostenido de la zona.

Inicialmente la carretera de penetración fue proyectada por partes durante el gobierno de Augusto B. Leguía entre los años 1920 y 1930, mediante una ley decretada por la conscripción Vial Territorial del Perú, y durante el gobierno del Dr. Manuel Prado en los años 1940 y 1944 desde Cañete hasta Yauyos, quedando paralizada a mediados de los años 50 y no se llegó a realizar los trabajos de las zonas de Yauyos –Huancayo.

Al ser una vía alterna a la Carretera Central alivia el tráfico, a su vez se espera que el tiempo de recorrido de Cañete hasta Chupaca (Huancayo) que antes era de 14 horas disminuya ahora mientras todavía no se ha terminado la vía se ha reducido a 7 horas el recorrido. Se planea que cuando se termine la obra serán 6 horas y tal vez menos el recorrido de Huancayo hasta Cañete y luego a Lima.

Asimismo, La Carretera Cañete - Yauyos - Chupaca será una alternativa para que en épocas de huaicos los vehículos no se queden varados por varios días en la Carretera Central, causando problemas de abastecimiento a la ciudad de Lima y la consecuente pérdida de dinero y tiempo en los viajeros.

Mediante Resolución Ministerial N°223-2007- MTC-02, modificada por Resolución Ministerial 408-2007-MTC/02, se crea el programa Proyecto Perú, que se encuentra bajo responsabilidad de Provias Nacional y el cual es un programa de infraestructura vial diseñado para mejorar las vías de integración y en el cual está incluida la Carretera Cañete-Yauyos-Chupaca.

Con el fin de mantener en óptimas condiciones la carretera se realiza la convocatoria, para el concurso público N°034-2007-MTC/20 Servicio de Conservación vial por Niveles de servicio de la Carretera “Cañete-Lunahuaná-Pacarán-Chupaca y rehabilitación del tramo Zúñiga- Dv. Yauyos-Ronchas”.

Esta convocatoria la gana el Consorcio Gestión de Carreteras (CGC), donde mediante el contrato N° 288-2007-MTC/20 del 27 de Diciembre del 2007 asume la responsabilidad de efectuar el “Servicio de Conservación Vial por Niveles de Servicio de la Carretera Cañete- Yauyos-Chupaca” por un período de 5 años y un valor de S/. 131, 589,139.71.

Estos contratos por niveles de servicio y por plazos iguales o superiores a 3 años implican el concepto de transferencia de riesgo al contratista. Bajo esta modalidad tiene por finalidad de evitar el deterioro prematuro de las vías mediante intervenciones rutinarias y periódicas de manera oportuna. Esto significa actuar permanentemente para mantener la carretera en óptimas condiciones de transitabilidad.

El tramo de la carretera donde se realizará el presente estudio es del km 79+000 al km 84+000 la cual se encuentra en el sector I: Zúñiga – Yauyos. Este tramo tiene una superficie de rodadura a nivel de afirmado, la calzada tiene un sólo carril, tiene una plataforma de un ancho útil muy variable que van desde los 3 a 8.5m.

Los tipos fallas encontradas en dicho tramos son ahuellamientos, encalaminados, huecos, desprendimiento de material bituminoso, desprendimiento de finos; los cuales se presentan en diversos niveles de severidad.

La propuesta de diseño técnico del contratista en el tramo de carretera (km 79+000 al km 84+000) es el cambio estándar de afirmado a solución básica que es la colocación de una capa granular estabilizada con emulsión y protegida con un recubrimiento bituminoso que para dicho tramo será el tratamiento superficial monocapa, previamente reconformada, sin realizar cambios en la geometría.

El mes de marzo del 2009 se realizó la colocación del tratamiento superficial monocapa en el tramo que se evaluará (km 79+000 al km 84+000).

## 1.2 Ubicación.

La carretera Cañete – Yauyos – Chupaca, se encuentra ubicada en la región central del Perú, pertenece al:

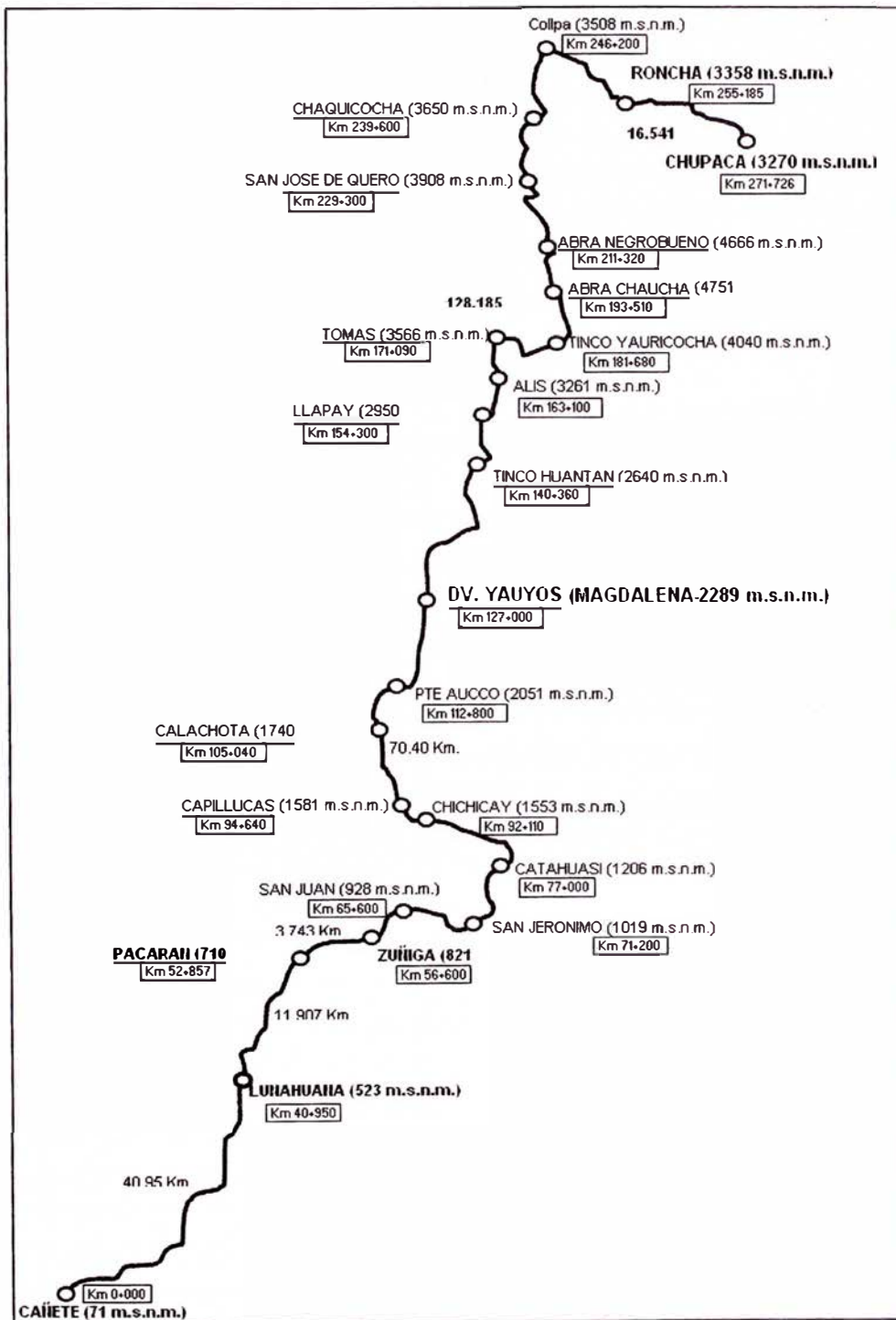
- Departamento: Lima – Junín
- Provincia: Cañete – Yauyos
- Región Geográfica: Costa – Sierra
- Inicio: San Vicente de Cañete Km 001+805
- Final: Chupaca Km 273+531
- Longitud de carretera: 271.73 km
- Altitud: 165 m.s.n.m – 3270 m.s.n.m
- Temperatura: 20°C a 27°C

## 1.3 Características de la carretera.

Debido a la condición geomorfológica de la zona a lo largo de la cual se desarrolla el trazado de la carretera presenta las siguientes características generales:

Clasificación de la vía	:	Red vial Nacional
Corredor vial	:	Número 13
Categoría de la vía	:	3era categoría
Velocidad directriz	:	30 km/ hrs
Ancho de la vía útil	:	6.6 m
Bombeo	:	2.5 %
Años de servicio	:	mas de 50 años

FIGURA N° 1.1: UBICACION DE TRAMO DE ESTUDIO DE LA CARRETERA



Fuente: ESTUDIO DE INGENIERÍA E IMPACTO AMBIENTAL – AYESA – ALPHA CONSULT

#### 1.4 Tramo en estudio Km.79+000 – Km. 84+000

El tramo de la carretera en estudio es parte del corredor vial N°13, teniendo las siguientes datos:

Carretera: De 3° orden

Departamento: Lima

Provincia: Yauyos

Distrito: Catahuasi

Región Geográfica: Costa y Sierra

Altitud (m.s.n.m) : 1253 - 1370

Años de servicio: mas de 50 años

Ejes proyectados:  $W18=1.69E+06$

CBR: 20% ( al 95% del MDS )

Figura 1.2: Foto de la carretera



Debido a que el contrato es por niveles de servicio, entra el concepto de transferencia de riesgo al contratista. Tiene por finalidad de evitar el deterioro prematuro de las vías mediante mantenimientos rutinarios y periódicos de manera oportuna.

Figura 1.3: Mantenimiento rutinario de la carretera ( señalización )

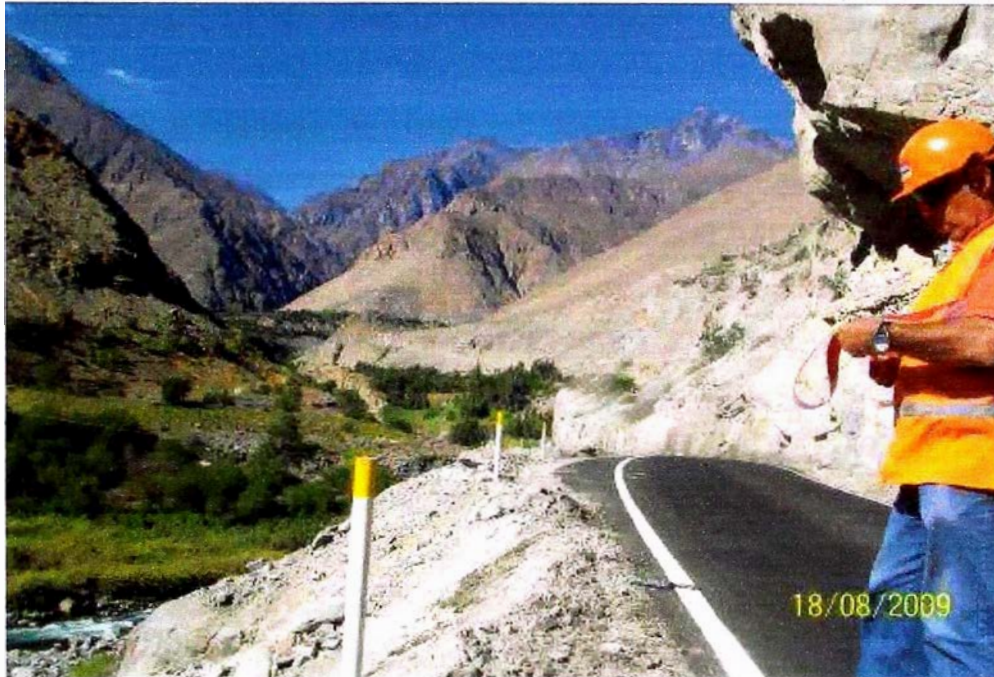


Figura 1.4: Mantenimiento rutinario de la carretera ( limpieza )



## **CAPITULO 2.- ESTADO DEL ARTE**

Los modelos matemáticos de vehículos tipo respuesta (RTRRMS) están siendo usados desde la década de 1940 por ingenieros a cargo del diseño y/o evaluación de aeropuertos y vehículos militares dadas las consecuencias terribles en fallas de aeronaves mientras atraviesa una pista de aterrizaje o de un vehículo militar mientras atraviesa un terreno rugoso.

En los inicios de la década de 1960, el departamento de investigación de la General Motors (GMR) desarrollo el primer perfilómetro, usando instrumentación moderna de la fecha, que fue capaz de medir la parte “dinámica” en un perfil de vía registrando el movimiento de la llanta del vehículo. Poco después de esto, El Departamento de Transporte de Michigan (MDOT, después llamado Departamento de Caminos y Transportes) construyo el segundo perfilómetro en cooperación con GMR. Así también al mismo tiempo GMR licenciado por K.J. Law pone en venta estos perfilómetros comercialmente.

En ese entonces, el más conocido sistema de medida de rugosidad fue el BPR rugosímetro RTRRMS. A finales de 1960, ambos MDOT and K.J. Law desarrollan el “equivalente” electrónico del BPR rugosímetro. Ya que el BPR rugosímetro tiene sólo una llanta, éste vehículo de simulación fue llamado un BPR rugosímetro de simulación de un cuarto carro (BPR/QCS). El BPR/QCSs usado por MDOT y K.J. Law tiene ecuaciones idénticas en su forma a un modelo matemático de texto de estudio usado para caracterizar varios sistemas dinámicos siendo esta la primera aplicación de este modelo para cuantificar la rugosidad de la vía.

Durante fines de la década 1970, grandes proyectos de investigación (NCHRP) fueron asumidos al UMTRI (Instituto de Investigación de la Universidad de Michigan) con los siguientes fines:

- 1) Estudiar los RTRRMS
- 2) Determinar la correlación entre los diferentes sistemas en uso.
- 3) Crear una metodología de calibración

EL Banco Mundial patrocinó varios programas de investigación en los años setenta para conocer los problemas en los países en vías de desarrollo. Algunos de ellos arrojaron que los caminos con poca inversión en infraestructura resultan costosos a estos países, debido a los costos que los usuarios pagan al circular por esos caminos.

La rugosidad de las carreteras fue identificada como un factor primario en los análisis que involucran la calidad de la carretera, en función de los costos de los usuarios. Se vió que los datos de la rugosidad de las diferentes partes del mundo no podían ser comparados, debido a que los datos, aun de un mismo país, eran poco confiables, ya que las mediciones estaban basadas en métodos diferentes.

El concepto de rugosidad y su utilización como parámetro relevante en la descripción de un camino ha tenido una importante evolución en los últimos años. En la década de los 70's el Banco Mundial financio diferentes programas de investigación a gran escala, entre los cuales se encontraba un proyecto relacionado con la calidad de las vías y los costos a los usuarios, a través del cual se detecto que los datos de regularidad superficial de diferentes partes del mundo no podían ser comparados; aun datos de un mismo país no eran confiables, debido a que las mediciones fueron realizadas con equipos o métodos que no eran estables en el tiempo.

Existen muchas definiciones (como Darlington, 1973; Hass y Hudson, 1977; Hudson, 1977; Gómez, 1983) que abordan el concepto desde un punto de vista geométrico de un camino (perfil longitudinal) y/o desde un punto de vista del usuario (confort o agrado de un viaje) donde el vehículo juega también un rol de importancia.

Un intento por resolver este problema se hace con Gómez en (1983) donde se define la rugosidad estática o geométrica, independiente del instrumento de medida, y rugosidad dinámica que depende del instrumento, equipo o vehículo donde se instala y de la velocidad de medida. Los aparatos de medición geométrica registran un perfil detallado de las variaciones de cada uno de los puntos de la huella, mientras que los de medición dinámica registran las



oscilaciones que le produce el perfil superficial (rugosidad estática), cuando son operados a una velocidad constante dada (Gómez, 1983).

En 1982 el Experimento Internacional de Rugosidad de vías (IRRE) define por primera al IRI como una escala de medida de la rugosidad de vías en un sistema "ideal" del tipo respuesta (RTRRMS). Para distinguir el conjunto particular de parámetros QCS usados en este reporte del conjunto alternativo de parámetros usados en otras aplicaciones QCS, el análisis usado en el IRRE es llamado la "Referencia de Simulación del cuarto carro".

En 1986 el Banco Mundial publica la Guía para la Conducción y Calibración de Medidas de Rugosidad de Vías, basadas en el experimento de 1982, en la cual se agrupa en forma jerárquica cuatro grupos de medición de rugosidad, teniendo dos grupos en el rango de métodos perfilométricos y dos correspondientes al sistema de medición tipo respuesta y a los de clase 4 respectivamente.

La existencia de dicha situación motivo al Banco Mundial a desarrollar el proyecto Internacional Road Roughness Experiment (IRRE), en Brasil, Inglaterra, Francia, Estados Unidos y Bélgica donde se realizó la medición controlada de la regularidad superficial de pavimentos para un número de vías bajo diferentes condiciones y por una variedad de instrumentos y métodos.

A partir de dicho proyecto se seleccionó un parámetro de medición de la regularidad superficial, el cual satisface completamente los criterios de ser estable en el tiempo, transferible y relevante, denominado Índice Internacional de Rugosidad, mejor conocido como **IRI** (International Roughness Index), fue así que el Banco Mundial en 1986 lo propuso como un estándar estadístico de la rugosidad y sirve como parámetro de referencia en la medición de la calidad de rodadura de un camino.

El Índice Internacional de Rugosidad tiene sus orígenes en un programa Norteamericano llamado Nacional Cooperative Highway Research Program (NCHRP) y está basado en un modelo llamado "Golden Car".

Hay varios métodos y técnicas de medición y de representación de asperezas que varían mucho en los aspectos de complejidad técnica, coste, velocidad de uso y precisión de la producción.

Uno de ellos es el Método por Tipo Respuesta donde esta interviene el Bump Integrator con un vehículo montado integrador de golpe, desarrollado más de diez años por la British Transport and Road Research Laboratory (TRRL) es un asequible, fácil de usar, y probablemente el método más apropiado de la evaluación de la rugosidad con respecto a la de base tecnológica de muchos países en desarrollo hoy en día.

Originalmente, el integrador Bump TRRL fue desarrollado por una quinta rueda del dispositivo de arrastre, con masiva y estandarizada, los muelles y amortiguadores (amortiguadores). En otras palabras, era un sistema estandarizado "coche de 5 ruedas".

El "bump-count" (también llamada, BI-count), medido por el montado en un vehículo integrador de golpe es un simple número acumulado de las oscilaciones verticales del chasis en relación con el eje trasero, no es una medida directa de índice de rugosidad. El valor registrado es acumulativo para el intervalo de distancia adoptado para tomar las lecturas. Además, el "conteo Bump" valor obtenido es específica para el vehículo "- BI" del sistema. A los efectos de presentación de informes o análisis, por ejemplo, en una red de datos de todo, el valor debe ser reducido en un estándar índice de rugosidad.

En otras palabras, el vehículo montado integrador de golpe requiere de calibración a un perfil de la carretera conocida en la que la rugosidad se ha determinado en términos de una unidad de rugosidad estándar. La calibración es necesaria antes de iniciar las mediciones, y periódicamente durante su uso, por ejemplo cuando uno de los factores utilizados cambia.

El vehículo TRRL montado Bump Integrator cae en la clase de instrumentación de rugosidad llamada Tipo Respuesta, Road Roughness Measuring System, (RTRRMS). Esta clase de instrumentos se basan en la captura de la respuesta dinámica de un sistema mecánico (por ejemplo, un vehículo) que se mueve a lo

largo de la ruta de la rueda al perfil de la carretera. La respuesta acumulada (por lo general la suma de los movimientos hacia arriba y hacia abajo del eje con respecto al chasis) se relaciona entonces con la caracterización de la rugosidad de ese perfil. Estos dispositivos deben, necesariamente, ser calibrado para los perfiles conocidos (donde rugosidad se ha medido por un dispositivo de perfiles de verdad).

Como un ejemplo de instalación, el Bump Integrator utilizado en un ensayo se instaló en un vehículo Toyota Land Cruiser van; sin embargo, al menos en teoría, un vehículo y su tamaño podrían haber sido usado para montar el Bump Integrator. El Bump Integrator fue fabricado por M/s Leonard Farnell & Co. Ltd. del Norte Mymms, Hertfield, Inglaterra.

A diferencia de la práctica en la mayoría de las organizaciones y los estudios de evaluación de otros pavimento, el integrador Bump se utilizó en junto con un tacómetro Halda. Se trata esencialmente de un tacómetro más preciso que proporciona dos funciones claves, en primer lugar, la medición exacta de la longitud de un segmento de carretera, y en segundo lugar, proporcionar los tiempos.

El tacómetro Halda utilizado en el estudio se hace en Suecia por la Sra. Garphyttan Haldex AB. Se basa en el transductor electromagnético montado para registrar el número exacto de revoluciones del eje de accionamiento. El número de revoluciones es a su vez una medida exacta de la distancia con un esfuerzo simple calibración. El uso del medidor Halda tiene dos ventajas principales. En primer lugar, permite obtener un registro preciso del Bump Integrator en un intervalo de distancia elegida (normalmente 200, 250, 500 ó 1000 metros).

En los Estados Unidos, la Federal Highway Administración ha reportado que los rangos típicos del IRI evaluados en diferentes tramos de carreteras están entre 0.8 a 4.7 m/Km. (50 y 300 in/mi). Los tramos de pavimentos con valores menores de 2.4 m/Km. (150 in/mi) son considerados como superficies en buen estado y confortables, mientras que los valores de 4.7 m/Km. o más, son considerados como rugosos y no confortables.

En España, la Orden Circular 308/89C y E de 1989, fijaba el valor de 2 m/Km. como umbral para recibir una carretera. Más tarde se modificó para admitir el IRI de 2.5 m/Km. en todo el tramo, siempre que en el 80% del tramo se alcance como máximo el IRI de 2, y debiendo comenzar además el IRI de 1.5 en la mitad de tramo.

Actualmente se fija un valor de 1.85 de IRI para recibir nuevas carreteras. Para carreteras en servicio con una Intensidad Media Diaria (IMD) mayor de 2,000 vehículos fijan un porcentaje de la longitud de calzada con un valor mínima de 3.5 m/Km. y para valores de  $IMD < 2,000$  vehículos el IRI mínima de 4.5 m/Km.

En Chile, se considera un valor del IRI entre 0 y 3 m/Km. como un camino bueno, entre 3 y 4 como uno regular y para un IRI mayor que 4 m/Km. como un camino malo. Mientras que en Honduras su clasificación es la siguiente: para  $IRI < 3.5$  m/Km. se considera el camino como bueno, entre 3.5 y 6 como regular y finalmente cuando el IRI es mayor que 6m/Km. indica que el camino es malo.

Desde 1993 la ASTM E1082 publica el método estándar para medir la rugosidad de la superficie de acuerdo a la respuesta del vehículo. En 1995 el Perú adquiere el primer Bump Integrator a través del Ministerio de Transportes Comunicaciones.

En el Perú el uso del Bump Integrator fue efectuado por el Ministerio de Transporte y Comunicaciones; habiendo experiencias de mediciones en la Panamericana Norte mediante la tesis "Evaluación de la Rugosidad de Pavimentos con Uso del Bump Integrator" del Ing. José Sologorre Huayta. También ha sido utilizado por el Consorcio Sullana para la evaluación superficial del Sector Sullana-Aguas Verdes, entre otras.

FIGURA 2.1: Equipo Bump Integrator



Fuente: CIS Asociados Consultores en Transportes S.A.

FIGURA 2.2: Equipo Bump Integrator y vehículo instalado



Fuente: CIS Asociados Consultores en Transportes S.A.

## **CAPITULO 3.- MARCO TEORICO**

### **3.1 Evaluación Superficial.**

En la norma de ensayo ASTM E 867-06 Standard Terminology Relating to Vehicle-Pavement Systems, se define el concepto de Roughness como: “desviación de una determinada superficie respecto a una superficie plana teórica, con dimensiones que afectan la dinámica del vehículo, la calidad de manejo, cargas dinámicas y el drenaje, por ejemplo, el perfil longitudinal, perfil transversal.”

A la luz de esta definición, algunos autores prefieren utilizar el término Regularidad, puesto que este concepto se asocia más fácilmente a la definición de Roughness, que el término Rugosidad. De esta manera, puede encontrarse bibliografía que trata indistintamente los conceptos de Regularidad y Rugosidad; sin embargo, para efectos del presente artículo se prefiere utilizar Regularidad, para referirse a las irregularidades en la superficie del pavimento que afectan adversamente a la calidad del rodado, seguridad y costos de operación del vehículo.

Con el objetivo de unificar los parámetros que se utilizaban en diferentes países para determinar la regularidad superficial de las carreteras, se realizó en Brasil en 1982, el proyecto International Road Roughness Experiment (IRRE), promocionado por el Banco Mundial; en el cual participaron equipos de investigación de Brasil, Inglaterra, Francia, Estados Unidos y Bélgica.

En este proyecto se realizó la medición controlada de la regularidad superficial de pavimentos para vías bajo diferentes condiciones y con una variedad de instrumentos y métodos. A partir de dicho proyecto, se seleccionó un parámetro de medición de la regularidad superficial denominado Índice de Regularidad Internacional (IRI, International Roughness Index).

De esta manera se definió como: “El IRI resume matemáticamente el perfil longitudinal de la superficie de camino en una huella, representando las vibraciones inducidas por la rugosidad del camino en un auto de pasajeros típico,

está definido por el valor de referencia de la pendiente promedio rectificadas (RARS80, Reference Average Rectified Slope, razón entre el movimiento acumulado de la suspensión y la distancia recorrida) producto de la simulación del modelo de cuarto de carro, (RQCS, Reference Quarter Car Simulation), para una velocidad de desplazamiento de 80 km/h”.

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

Los diversos métodos para medir la rugosidad que existe en el mundo pueden agruparse, de acuerdo a la clasificación dada por el Banco Mundial, en cuatro clases genéricas, con relación a cuán directa sea la correlación que emplean para relacionar sus medidas con el Índice Internacional de Rugosidad (IRI). Los métodos para medir el Índice Internacional de Rugosidad de acuerdo a los requerimientos de calibración y precisión asociada con ellos son:

- **Métodos Clase 1.-** Involucran el uso de perfilómetros de precisión, representa los altos estándares de precisión, se realizan medidas muy exactas del perfil longitudinal a distancias no mayores a 25 cm con una precisión de 0.5 mm. Entre estos equipos están el TRL Road Profile Beam, siendo otra alternativa realizar una nivelación de precisión. Estas metodologías se emplean generalmente para fines de verificación o calibración de otros equipos de medición.
- **Métodos Clase 2.-** Ésta clase incluye todos los otros métodos perfilométricos, en los cuales el perfil es medido como la base para el cómputo directo del IRI. Comprende el uso de perfilómetros de alta velocidad: Se basa también en la medición del perfil longitudinal, pero son menos precisos que los indicados en a., siendo además costosos y complejos en su manejo. Entre los perfilómetros de alta velocidad están: el APL Trailer y el GMR – Type Inertial Profilometer.

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

- **Métodos Clase 3.-** Estos métodos involucran ecuaciones de correlación par convertir data de campo a la Unidades internacionales de medición de rugosidad. Usualmente se emplean rugosímetros dinámicos: Recolectan los datos instalados en un vehículo que recorre la vía a una velocidad uniforme.

La precisión de los resultados obtenidos depende de la calibración dinámica del vehículo para proporcionar los valores de rugosidad, empleando ecuaciones de correlación para convertir las lecturas a la escala IRI (International Roughness Index). En este grupo se encuentran: el Mays Meter, Bump Integrator, NAASRA Meter, Cos Meter, PCA Meter, entre otros.

- **Métodos Clase 4.-** Situaciones en las que no se cuenta con la data necesaria pero no es esencial una alta precisión, se basa en una evaluación subjetiva en la cual el IRI se estima con una inspección visual.

La calibración de los equipos de medición de rugosidad depende del tipo de equipo que se emplee. Los perfilómetros de precisión utilizados en métodos de clase 1, no requieren de mayor calibración por tratarse de una medición directa del perfil longitudinal y mas bien son utilizados para calibrar equipos utilizados en la clase 2 y clase 3.

Los equipos empleados en la clase 2 como son los perfilómetros de alta velocidad son menos precisos que los de clase 1. Por ser equipos de alta



tecnología su calibración es usualmente realizada por cada fabricante y verificada en campo con equipos de clase 1.

El método de Bump Integrator está dentro del Método Clase 3, que es un Sistema Tipo Respuesta de Medida de Rugosidad de Caminos (Response Type Road Roughness Meters, RTRRM), adecuado para el monitoreo rutinario de una red vial, proporcionando una visión global del estado de conservación de la vía.

Un método para medir la rugosidad califica como Clase 3 si este usa la calibración por correlación. Los resultados obtenidos dependerán de la precisión con se haya hecho la calibración del equipo y estos serán coherentes si las propiedades mecánicas del vehículo (y el dispositivo de medida) se mantienen constantes en el tiempo respetando prácticas adecuadas de mantenimiento y operación.

Una manera para calibrar el rugosímetro tipo respuesta clase 3 "Bump Integrator" es que se deben seleccionar por lo menos cinco secciones en las cuales se seguirá el procedimiento descrito a continuación:

- a. Se eligen secciones de 300 m de longitud de ser posible en tangente.
- b. Medición del perfil longitudinal a lo largo de la huella del vehículo cada 0.50 m.
- c. Cada huella del vehículo debe ser localizada y marcada a una distancia de la línea externa o línea de borde pintada.
- d. Se establece un BM en la sección y se nivela con dos niveles con el objeto de tener dos elevaciones en la misma huella. La aproximación estimada de las lecturas debe ser de 1 mm.
- e. Medición de la rugosidad con el rugosímetro tipo respuesta.

f. La medición se efectuará por lo menos cinco veces. La velocidad del vehículo será la misma a emplearse en la evaluación de todo el tramo. Usualmente la velocidad seleccionada es de 30 Km/hora, 60 Km/hora o 80 Km/hora. Hay fabricantes que recomiendan utilizar una velocidad de 30 Km/hora, no obstante esta especificación no es absoluta pudiendo calibrarse el equipo a otras velocidades. Si alguna de las cinco medidas de rugosidad tiene una variación mayor a 20% deberá repetirse esta medición.

Una vez concluido el trabajo de campo se realiza el siguiente proceso:

- Con los datos de la nivelación topográfica se efectúa una simulación matemática del perfil longitudinal para obtener el valor de IRI en cada huella. El promedio de los valores de IRI de la huella interna y la huella externa será el valor representativo de IRI de la sección. Para la simulación se ha seguido la metodología del ASTM.
- Con los datos de IRI obtenidos de la nivelación topográfica mediante simulación matemática y los datos obtenidos del Bump Integrator (unidades BI) se desarrolla una ecuación de calibración la cual será utilizada para procesar la data de todo el tramo. La curva de mejor “ajuste” denominada ecuación de calibración será aceptada si el coeficiente de ajuste es mayor o igual a 0.8. De no cumplirse esta condición, se revisará la data, en particular la información correspondiente a las secciones de calibración.
- Con la ecuación de calibración se procesa la data para todas las unidades de control que corresponden a una longitud de 300 m convirtiendo los valores de rugosidad unidades BI a IRI.

## 3.2 Rugosidad.

### 3.2.1 Concepto de Rugosidad

Son las variaciones de la altura de un pavimento a partir de una referencia absolutamente lisa, tal que provoque vibraciones en un vehículo cualquiera a través de su recorrido. Estas variaciones deben ser tales que sus dimensiones generan un desplazamiento vertical relativo entre el chasis y el sistema de suspensión del vehículo.

Las unidades de medida en un cociente entre unidades de desplazamiento vertical en ambos sentidos del eje horizontal y unidades de longitud; m/km, pulg/milla y otras.

La rugosidad en carreteras está ligada a los siguientes factores:

- a) Seguridad de los usuarios
- b) Calidad de viaje de los usuarios
- c) Vida útil de la carretera
- d) Costos de operación de los vehículos.

Esta rugosidad es un parámetro que permite evaluar el estado de la superficie de rodadura del pavimento desde el punto de vista de irregularidades, deformaciones y ondulaciones. La medida de la rugosidad cuantifica las variaciones del perfil longitudinal de dicha superficie.

La unidad de medida de la rugosidad es el Índice de Rugosidad Internacional (IRI), expresado en metros por kilómetro y se determina por medio de un rugosímetro patronado y aceptado de acuerdo con las prácticas de la ingeniería vial.

### 3.2.2 Índice de rugosidad internacional ( IRI )

El cálculo del IRI involucra la utilización de herramientas matemáticas, estadísticas y computacionales que permiten derivar la medida de regularidad

asociada al camino; lo cual contempla etapas claramente diferenciadas y ajustadas a un desarrollo sistemático.

El primer paso del procedimiento para el cálculo del IRI, y el más importante de todos, consiste en medir las cotas o elevaciones de terreno que permiten representar el perfil real del camino. Esto significa que, el IRI es independiente de la técnica o equipo utilizado para obtener el perfil, y dependerá únicamente de la calidad del perfil longitudinal.

Estos datos son sometidos a un primer filtro, en el cual se realiza un análisis estadístico (media móvil) y adecuaciones matemáticas, para poder generar un nuevo perfil que permite ser analizado desde el punto de vista de las irregularidades que se pudieran observar. Las razones para aplicar este primer filtro son las siguientes: a) para simular el comportamiento entre las llantas de los vehículos y la carretera, y b) para reducir la sensibilidad del algoritmo del IRI al intervalo de muestreo.

Al nuevo perfil generado se le aplica un segundo filtro, el cual consiste en la aplicación de un modelo de cuarto de carro que se desplaza a una velocidad de 80 km/h.

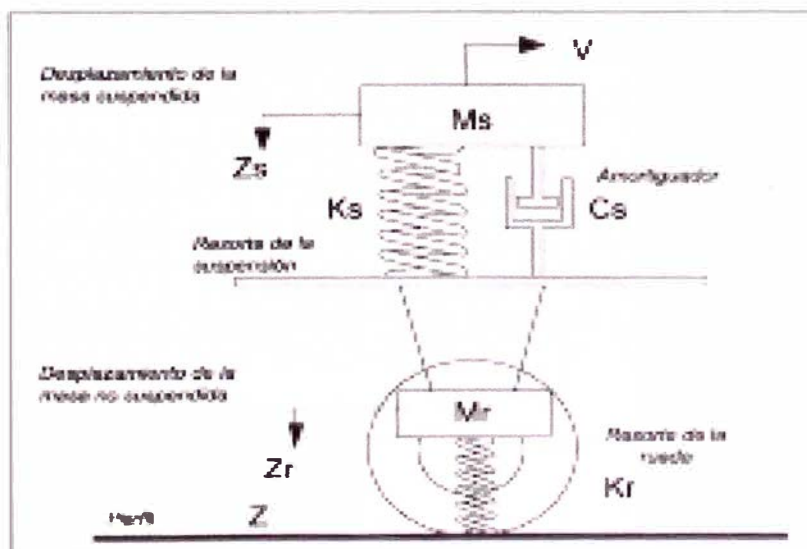
A través de éste, se registran las características asociadas al camino basadas en los desplazamientos verticales inducidos a un vehículo estándar, el cual es modelado de forma simplificada como un conjunto de masas ligadas entre sí y con la superficie de la carretera, mediante resortes y amortiguadores. El movimiento sobre el perfil de la carretera produce desplazamientos, velocidades y aceleraciones en las masas, que nos lleva a medir los movimientos verticales no deseados atribuibles a la irregularidad del camino. (Ver Figura 3.1)

El Índice Internacional de Rugosidad mejor conocido por IRI, fue aceptado como estándar de medida de regularidad superficial de las carreteras por el Banco Mundial en 1986. Permite evaluar con cualquier equipo de medición de la rugosidad de un pavimento e indicarla en valores de IRI,

permitiendo referirse a una sola escala de medición que puede identificar en que condiciones superficiales se encuentra la red nacional y detectar anomalías en algunos de sus tramos.

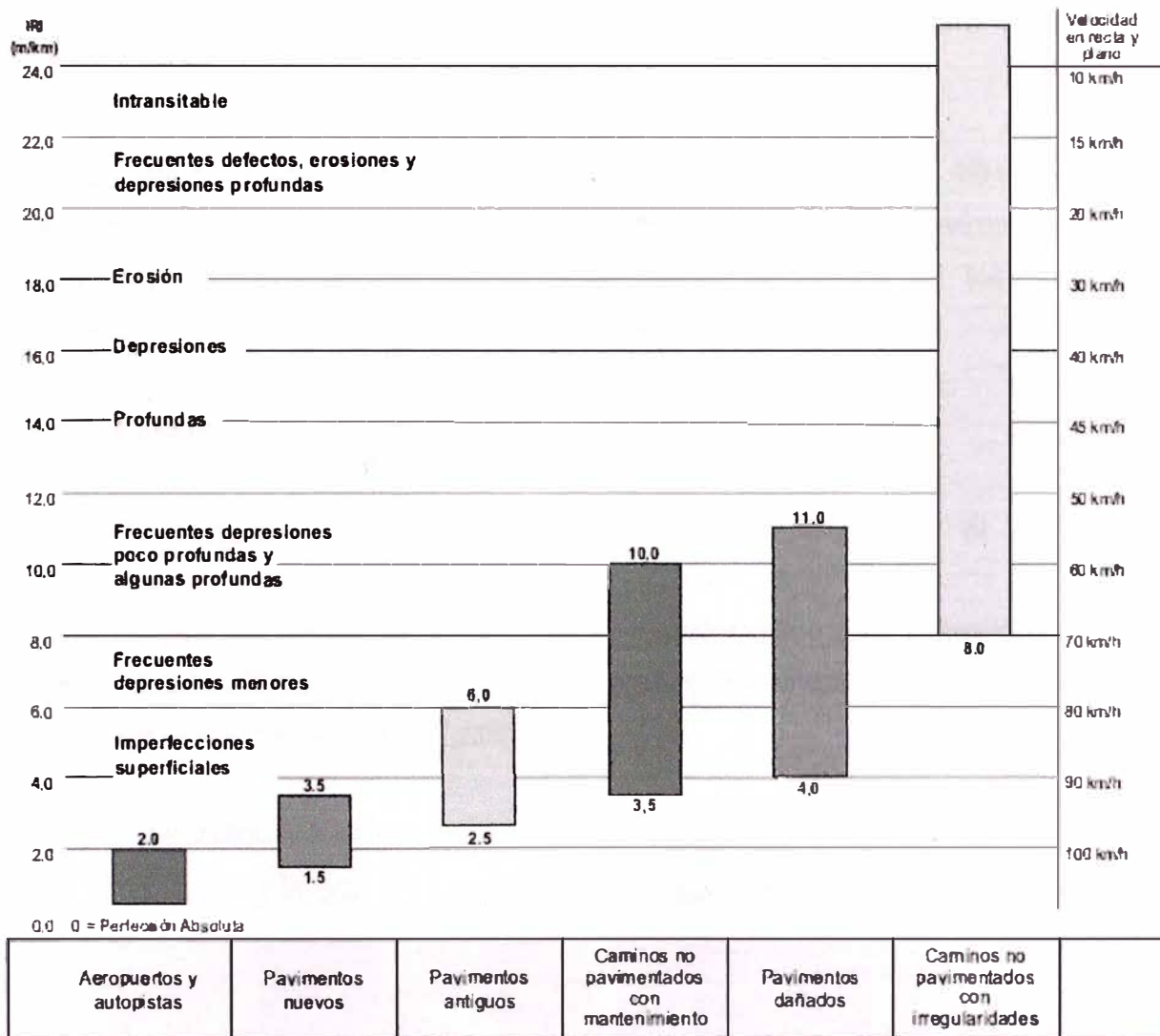
El Índice Internacional de Rugosidad permite especificar rangos o niveles de tolerancia para la aceptación de tramos nuevos de carreteras, sirviendo como un parámetro de control de calidad superficial. Para carreteras ya en servicio, el Índice Internacional de Rugosidad es una herramienta para monitorear el comportamiento del camino a través del tiempo o para realizar las labores de mantenimiento de acuerdo a la importancia del camino.

FIGURA 3.1: MODELO DE CUARTO CARRO



Fuente: De Solminihac, H. Presentación Power Point. Planificación y Gestión Vial. 2006

FIGURA 3.2 : ESCALA DE RUGOSIDAD IRI ( m/km )



Escala de rugosidad para pavimentos (IRI)

FUENTE: Ministerio de Transporte y Comunicaciones

### 3.3 Método de Evaluación de la rugosidad con equipo Bump Integrator.

Este método consiste en colocar el equipo Bump Integrator sobre el eje posterior de una camioneta, la cual debe tener un ajuste antes de iniciar las mediciones, como por ejemplo la presión de las llantas debe tener una medida en particular.

Este equipo además es unido al eje posterior por medio de un cable tensionado con una vuelta y media para que mientras se recorre la carretera y por medio de este cable se va registrando la respuesta del eje del vehículo al

pavimento, estos datos se fueron tomando y acumulando en un formato para después colocarlo en el cuadro de Recolección de datos para cada tramo medido.

Esto se hizo para todos los tramos desde Catahuasi km 79+000 al km. 104+000 donde el tratamiento que se le ha hecho al pavimento es de Tratamiento Superficial Monocapa, aquí fueron 5 grupos de los cuales se obtuvieron datos y cuadros detallados a continuación.

### 3.4 Instalación del Equipo Bump Integrator

- Se requiere 5 agujeros en el vehículo para fijar el sensor de desplazamiento.
- El vehículo debe contar con un encendedor eléctrico de cigarrillos.
- Accesorios como pernos y trampilla para fijar la cuerda metálica al eje del vehículo, herramientas generales.

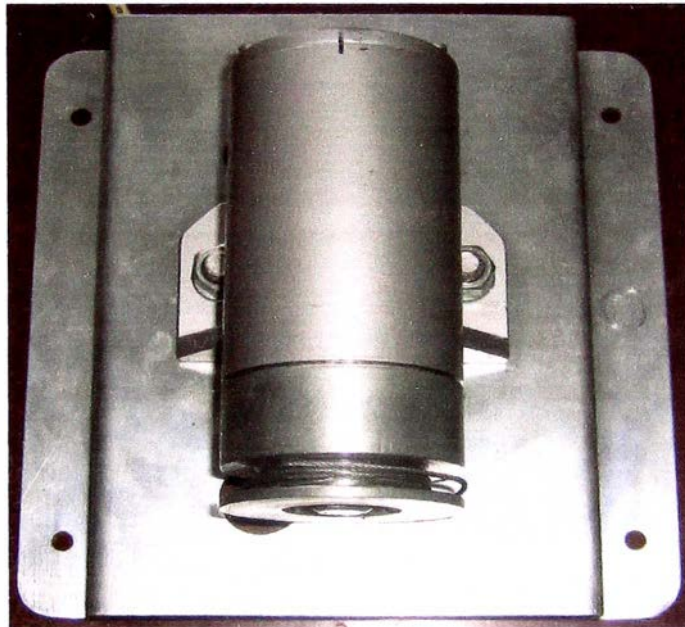
#### FIGURA 3.3 INSTALACION DEL EQUIPO BUMP INTEGRATOR



Fuente: Instituto de Investigación Ingeniería Civil

- **SENSOR DE DESPLAZAMIENTO**
- Tipo de sensor : Mecánico - Encoder
- Precisión : 0.9
- Rango (cm) : 20
- Dimensiones(cm) : 19.5\*19.7\*9.5
- Velocidad rotación : 300 RPM
- Alimentación : 5 VDC
- Peso : 2014 gr.

**FIGURA 3.4: SENSOR DE DESPLAZAMIENTO**



Fuente: Instituto de Investigación Ingeniería Civil

- **ADQUISIDOR DE DATOS**
- Indicadores : Alimentación, Cargador de batería
- Comunicación: Serial
- Dimensiones : 12.5\*15.9\*7 cm
- Peso : 824 gr.
- Alimentación : 12 VDC
- Teclado 4\*4
- Display LCD 2\*24



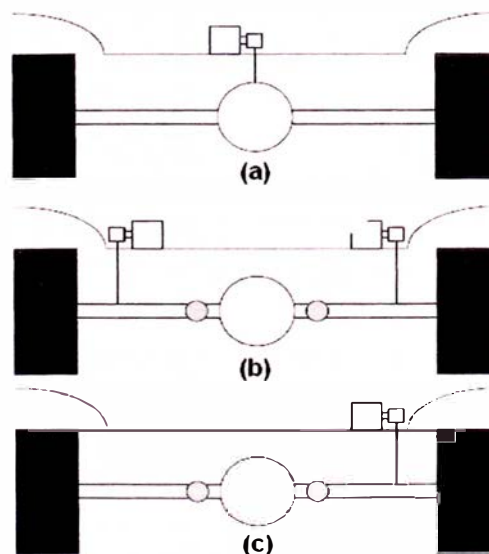
**FIGURA 3.5: ADQUISIDOR DE DATOS**



Fuente: Instituto de Investigación Ingeniería Civil

- La posición de colocación del sensor de desplazamiento puede variar. Las posiciones donde se pueden colocar estos son las mostradas en el siguiente grafico.
- El REBITU fue colocado al lado derecho.

**FIGURA 3.6: DIFERENTES POSICIONES DE INSTALACION DEL EQUIPO**



Fuente: Instituto de Investigación Ingeniería Civil

## CAPITULO 4.- APLICACIÓN DEL MÉTODO

### 4.1 Recopilación de datos.

**Cuadro N° 4.1 RECOLECCION DE DATOS KM 79+000 – KM 84+000**

Km – km	79 - 80	80 - 81	81 - 82	82 - 83	83 - 84
Ida 1	3276	3115	3162	2157	2035
Retorno 1	3470	2964	2790	1995	1954
Ida 2	3356	2961	3113	-	-
Retorno 2	3358	2948	3072	-	-
Promedio 1	3373	3040	2976	2076	1995

Fuente: Elaboración propia

km	OBSERVACIONES
79 - 80	Tramo de 1 Km sin obstáculos
80 - 81	Tramo de 1 Km sin obstáculos
81 - 82	Tramo de 1 Km sin obstáculos
82 - 83	Giba presente a 900 metros, últimos 100 metros sin medir por baden
83 - 84	Baden 100 metros iniciales no medidos, giba a 450 y 800 metros

**Cuadro N° 4.2: RECOLECCION DE DATOS KM 84+000 – KM 89+000**

Km - Km	84 – 85	85 - 86	86 - 87	87 - 88	88 - 89
Ida 1	2995	2495	3400	2413	2486
Retorno 1	2758	2345	3098	2464	2288
Ida 2	3009	-	-	-	-
Retorno 2	2857	-	-	2476	-
Promedio 1	2877	2420	3249	2439	2387

Fuente: Elaboración propia

km	OBSERVACIONES
84 - 85	Tramo de 1 Km libre sin obstáculos
85 - 86	Puente ubicado entre los 350 y 400 metros aprox.
86 - 87	Gibas presentes en los 100, 250, 800, 950 metros
87 - 88	Tramo de 1 Km libre sin obstáculos
88 - 89	Gibas presentes en los 600, 700 metros

**Cuadro N° 4.3: RECOLECCION DE DATOS KM 89+000 – KM 94+000**

Km - Km	89 -90	90 - 91	91 - 92	92 - 93	93 - 94
Ida 1	3196	3648	3024	2948	2895
Retorno 1	3339	3647	3262	2854	2463
Ida 2	-	3757	-	-	-
Retorno 2	-	3761	-	-	-
Promedio 1	3268	3648	3143	2901	2679

Fuente: Elaboración propia

km	OBSERVACIONES
89 -90	Gibas presente a los 200, 400 y 600 metros
90 -91	Tramo de 1 Km libre de obstáculos
91 - 92	Gibas presente a los 600, 700 metros
92 - 93	Gibas presente a los 850, 900 metros
93 - 94	Gibas presente a los 250, 300, 900 metros

**Cuadro N° 4.4: RECOLECCION DE DATOS KM 94+000 – KM 99+000**

Km - Km	94 -95	95 - 96	96 - 97	97 - 98	98 - 99
Ida 1	1454	3232	2869	3721	3624
Retorno 1	1527	3340	3259	3599	3558
Ida 2	-	3724	-	-	-
Retorno 2	-	3572	-	-	-
Promedio 1	1491	3286	3064	3660	3591

Fuente: Elaboración propia

km	OBSERVACIONES
94 - 95	300 metros pedregosos sin asfaltar zona curva, baden a los 750 metros.
95 - 96	Tramo de 1 Km sin obstáculos
96 - 97	Giba presente a 650, 700, 800 metros
97 - 98	Giba presente a 900 metros
98 - 99	Giba presente a 450, 750 metros

**Cuadro N° 4.5: RECOLECCION DE DATOS KM 99+000 – KM 104+000**

<b>Km - Km</b>	<b>99 - 100</b>	<b>100 - 101</b>	<b>101 - 102</b>	<b>102 - 103</b>	<b>103 - 104</b>
Ida 1	3428	3487	3730	3199	2469
Retorno 1	3963	3580	3295	2847	3457
Ida 2	-	3580	-	-	-
Retorno 2	-	3595	-	-	-
Ida 3	-	3487	-	-	-
Promedio 1	3696	3534	3413	3023	2963

Fuente: Elaboración propia

<b>km</b>	<b>OBSERVACIONES</b>
99 - 100	300 m pedregosos sin asfaltar zona curva, baden a los 750 m, giba a los 1000 m
100 - 101	Tramo de 1 Km sin obstáculos
101 - 102	Giba presente a 650, 700, 800 metros
102 - 103	Giba presente a 900 metros
103 - 104	Giba presente a 450, 750 metros

**4.2 Calibración del Equipo.**

Para la calibración se hicieron mediciones de rugosidad con el equipo BUMP INTEGRATOR en unidades BI y con el equipo MERLIN en algunas zonas del tramo de la carretera.

A continuación se indican las secciones donde se hicieron las mediciones para la calibración de los equipos:

**Cuadro 4.6: Secciones de calibración**

<b>SECCIONES DE CALIBRACION</b>	<b>GRUPO</b>	<b>UBICACION</b>
SECCION 1	GRUPO 5	km 80+100 – km 80+500.
SECCION 2	GRUPO 6	km 84+600 – km 85+000.
SECCION 3	GRUPO 7	km 91+100 – km 91+500.
SECCION 4	GRUPO 8	km 97+800 – km 98+200.
SECCION 5	GRUPO 9	km 99+800 -- km 100+200.

Fuente: Elaboración propia

4.3 Procesamiento de datos.

Aquí se muestra los datos obtenidos con el equipo Bump Integrator y equipo Merlin:

**Cuadro 4.7: Hoja resumen de datos y cálculos**

<b>HOJA RESUMEN DE DATOS</b>					
Tramo evaluado	80+500-80+100	85+000-84+600	91+500-91+100	98+200-97+800	100+200-99+800
km	79 - 84	84 - 89	89 - 94	94 - 99	99 - 104
I.R.I	3.94	4.93	4.3	4.79	6.48
B.I	3115	2995	3024	3721	3428
	2964	2758	3262	3599	3963
	2961	3009			
	2948	2857			

<b>DATOS A PROCESAR</b>					
I.R.I	3.94	4.93	4.3	4.79	6.48
B.I	2997	2094	3143	3660	3696

Fuente: Elaboración propia

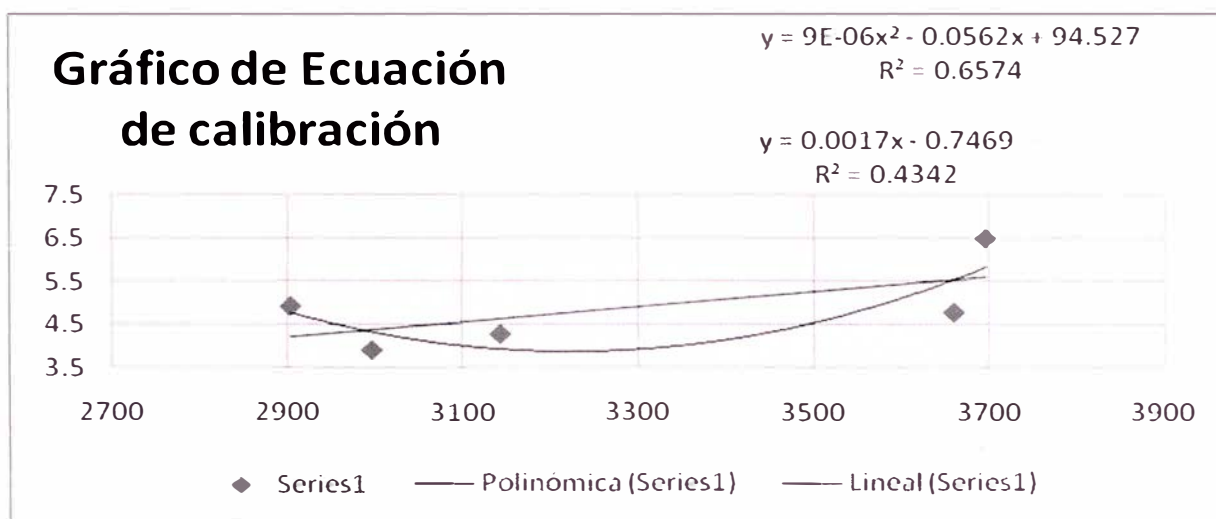
### CAPITULO 5.- ANÁLISIS DE DATOS DE CAMPO

Con los datos se procedió a elaborar las curvas, obteniéndose lo siguiente:

Opción 1:

DATOS A PROCESAR					
I.R.I	3.94	4.93	4.3	4.79	6.48
B.I	2997	2904	3143	3660	3696

Figura 5.1: Gráfico de ecuación de calibración 1



Fuente: Elaboración propia

Se observa la ecuación:

- Polinómica  $IRI=0.000009*BI^2 - 0.0564*BI + 94.527$  con un valor de  $R^2$  de 0.65, valor cerca de 1 pero al reemplazar valores como:

Cuadro 5.1: Valores reemplazados en opción 1

BI	IRI
2904	7.22
3100	6.80
3696	9.76

Fuente: Elaboración propia

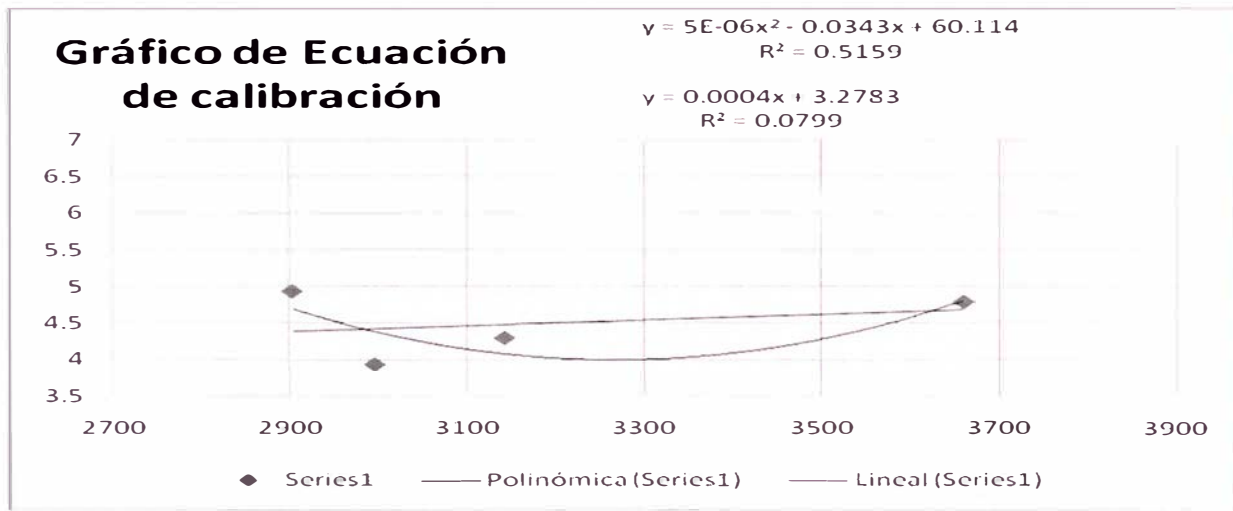
Se ve que a menor valor de BI hay un mayor valor de IRI y que en un valor intermedio el valor de IRI disminuye, resultado que es inconsistente porque la tendencia a mayor BI es mayor IRI, por lo tanto no se tomaran los 5 valores y se

anulará datos que provoquen esta inconsistencia, sabiendo además que para la ecuación de la recta muestra un valor de  $R^2$  mucho menor que 1.

Opción 2:

DATOS A PROCESAR					
I.R.I	3.94	4.93	4.3	4.79	
B.I	2997	2904	3143	3660	

Figura 5.2: Gráfico de ecuación de calibración 2



Fuente: Elaboración propia

- Al igual que en la gráfica anterior también se nota que la ecuación que estaría mas cerca a ser la elegida es la Polinómica , donde la ecuación es  $IRI=0.000005*BI^2 - 0.0343*BI + 60.114$  porque es la ecuación que tiene un valor de  $R^2$  cerca a 1 pero al reemplazar valores tenemos lo siguiente:

Cuadro 5.2: Valores reemplazados en opción 2

BI	IRI
2904	2.67
3100	1.83
3696	1.64
3900	2.39

Fuente: Elaboración propia

Donde también se ve que en valores intermedios de BI tenemos IRI menores y en valores extremos los IRI son mayores, siendo inconsistente también estos resultados.

Opción 3:

**Figura 5.3: Resumen de valores de IRI**



**UNI**

CONVENIO DE COOPERACION INTERINSTITUCIONAL ENTRE EL  
PROYECTO ESPECIAL DE INFRAESTRUCTURA DE TRANSPORTE  
NACIONAL - PROVIAS NACIONAL Y LA UNI - FIC



**RESUMEN DE LOS VALORES DEL INDICE DE RUGOSIDAD INTERNACIONAL - IRI**

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

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

ACOMPANAMIENTO Y MONITOREO DE LOS TRABAJOS DE SERVICIO DE CONSERVACION VIAL POR  
NIVELES DE SERVICIO DEL CORREDOR VIAL N° 13: CAÑETE - LUNAHUANÁ - PACARÁN - CHUPACA  
(REHABILITACIÓN DEL TRAMO ZUÑIGA - DV YAUYOS - RONCHAS)

INFORME TECNICO N° 03  
3er TRIMESTRE - 2009

Fuente: Convenio de Cooperación Provias Nacional – UNI-FIC



Teniendo estos valores de IRI obtenidos entre los meses de Julio, Agosto y Setiembre; vemos que el valor IRI de la última sección de calibración, tramo del km 99+000 – km 104+000 está muy por encima del respectivo valor en la Figura 5.3, por lo tanto no se tomará en cuenta para los cálculos; otro de los valores que en esta opción no se tomará en cuenta es el 2do valor porque también tiene una mayor diferencia con respecto al valor respectivo en la Figura 5.3.

Por lo tanto los datos obtenidos que se anularon o dejaron de lado son 2 puntos: el dato nº 2 y el dato nº 5 por estar por encima de los datos de rugosidad obtenidos y brindados por el Convenio de Cooperación entre Provias Nacional y la UNI-FIC, por lo tanto con los tramos que quedan se obtuvo la curva que mejor se acerca a los puntos y que tenga la tendencia a aumentar, se dejó de lado las exponenciales, polinómicas ; esta en particular porque daba una curva negativa haciendo que a mayor valor de B.I daría un menor valor de I.R.I situación que no se da en realidad.

A continuación se muestra los cuadros de datos de las opciones analizadas previamente

Al inicio Opción 1:

<b>DATOS A PROCESAR</b>					
Nº	1	2	3	4	5
I.R.I	3.94	4.93	4.3	4.79	6.48
B.I	2997	2904	3143	3660	3696

Luego Opción 2:

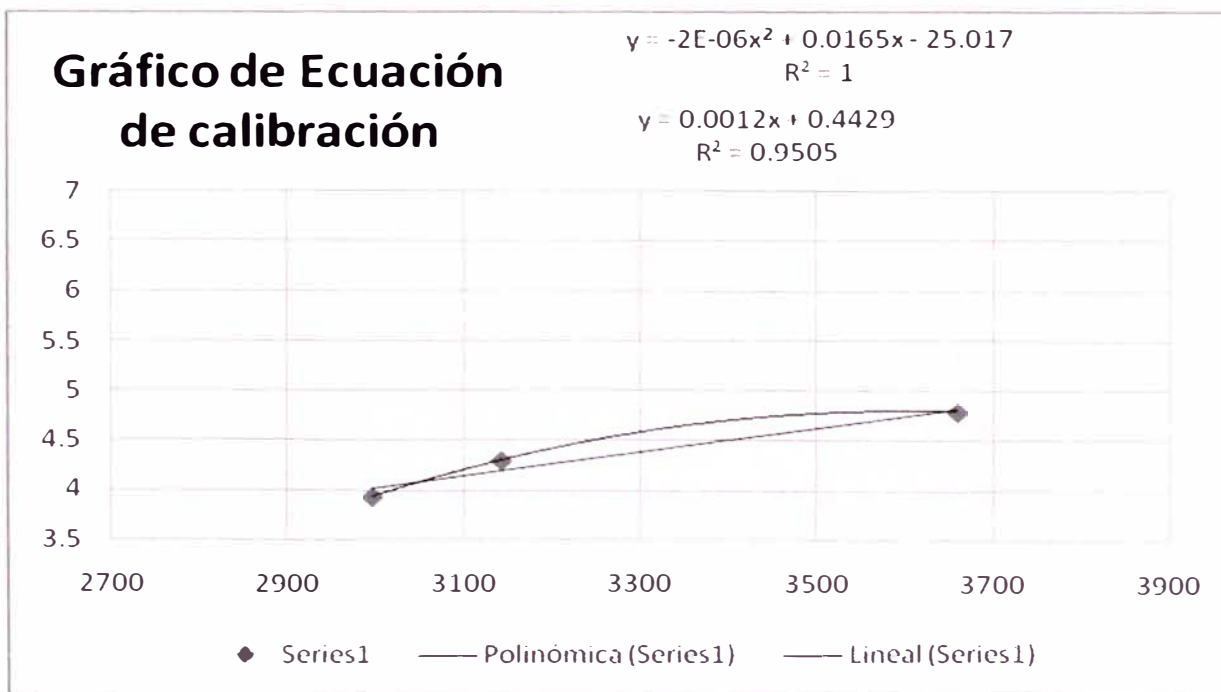
<b>DATOS A PROCESAR</b>					
Nº	1	2	3	4	5
I.R.I	3.94	4.93	4.3	4.79	-
B.I	2997	2904	3143	3660	-

Y por último la Opción 3:

DATOS A PROCESAR					
N°	1	2	3	4	5
I.R.I	3.94	-	4.3	4.79	-
B.I	2997	-	3143	3660	-

Con este último cuadro se procederá a hallar la ecuación de calibración, por lo tanto se graficará el ecuación con estos 3 puntos.

**Figura 5.4: Gráfico de ecuación de calibración 3**



Elaboración propia

La curva polinómica tiene un valor de  $R^2$  igual a 1 pero como se ve tiene un valor intermedio de BI = 4125 donde tiene un valor de IRI = 9.01 y para los demás valores de BI los valores de IRI son menores, siendo inconsistente estos valores de la curva polinómica.

Ahora viendo la recta tiene un valor de  $R^2 = 0.95$  que se acerca mas a 1 y por lo tanto tiene mejor representatividad de los puntos tomados, teniendo esta recta se procederá a calcular los valores de I.R.I en el tramo en estudio.

Según esta ecuación de recta se tiene:  $IRI = 0.0012 \cdot BI + 0.4429$

### 5.1 Cálculos de los valores I.R.I en el tramo en estudio

Teniendo esta ecuación de la recta, se procede a calcular los valores IRI para el tramo de la carretera en estudio Km 79+000 al 84+000

**Cuadro 5.3: Valores IRI mediante la ecuación de calibración obtenida**

VALORES DE IRI CALCULADOS PARA EL TRAMO					
km	79 - 80	80 - 81	81 - 82	82 - 83	83 - 84
B.I	3365	2997	3034	2076	1995
IRI (m/km)	4.4809	4.0393	4.0837	2.9341	2.8369
				Promedio	<b>3.6749</b>

Elaboración propia

## CONCLUSIONES

- 1.- Se concluye en este informe, que se obtuvieron valores de IRI promedio de 3.67 m/km partiendo de valores obtenidos con el equipo Bump Integrator.
  
- 2.- Tomando en cuenta los valores de IRI obtenidos con el equipo Merlin desde el km 79+000 al 104+000 en zonas de calibración, se obtuvo una relación con los valores obtenidos con el equipo Bump Integrator hallándose la ecuación de calibración y después hallaron los valores de IRI para los demás kilómetros dentro del tramo en estudio en particular desde el km 79+000 al 84+000.
  
- 3.- Se concluye que la presencia de desvíos u obstáculos como por ejemplo badenes y gibas durante la evaluación de la carretera hacen que no sean continuos los tramos evaluados llegando a tener longitudes de medición de 50 metros, siendo no recomendable la medición con el equipo Bump Integrator por las continuas paradas al llegar a un badén o giba.
  
- 4.- Se concluye que la ventaja de la medición de la rugosidad con el equipo Bump Integrator solo se dará en carreteras que no tengan obstáculos, como ocurrió en ciertos tramos de la carretera en estudio.
  
- 5.- La geometría del camino asociada a curvas verticales y horizontales, pendientes, gradientes, peraltes y otras, durante la etapa de evaluación de la carreteras, hacen que la velocidad del vehículo varíe y no se mantenga constante igual a 40 km/h, siendo una desventaja para el equipo Bump Integrator, porque para dar la curva es necesario bajar la velocidad y no se puede mantener constante.

## RECOMENDACIONES

- 1.- Se recomienda el uso de este equipo Bump Integrator por la rapidez en la toma de datos, además se recomienda el uso para los monitoreos rutinarios de la carretera.
  
- 2.- Es conveniente efectuar controles de la rugosidad en las carreteras en cada etapa de la construcción, lo que puede permitir corregir eventualmente diferencias en la construcción de una capa y mejorar la rugosidad superficial del pavimento.
  
- 3.- Para poder aumentar la vida útil de las carreteras y ahorrar en mantenimiento, se debe empezar por implementar procedimientos, especificaciones y control de calidad durante la colocación de las superficies de rodadura, para beneficio de los usuarios.

## BIBLIOGRAFIA

- 1.- Del Águila, Pablo. "Metodología para la determinación de la Rugosidad de los Pavimentos con Equipo de Bajo Costo y Gran Precisión". III Congreso Nacional del Asfalto, Lima, 1999
- 2.- [http://fic.uni.edu.pe/archivos\\_titulacion/PV-Proy-VialInterurbanalng.DOMINGUEZ/PV-Ing.MelchorJose/DiseñoyEvaluacióndePavimentos.pdf](http://fic.uni.edu.pe/archivos_titulacion/PV-Proy-VialInterurbanalng.DOMINGUEZ/PV-Ing.MelchorJose/DiseñoyEvaluacióndePavimentos.pdf)
- 3.- [http://www.iific.edu.pe/files/instrumentación/III\\_RUGOSIMETRO%20ELECTRONICO%20BUMP-INTEGRATOR.pdf](http://www.iific.edu.pe/files/instrumentación/III_RUGOSIMETRO%20ELECTRONICO%20BUMP-INTEGRATOR.pdf)
- 4.- [http://www.ing.udep.edu.pe/civil/material/vial/Primer\\_trimestre/PGV/Parte\\_2\\_De\\_Solminihac/1.-Introduccion/F3n2006.pdf](http://www.ing.udep.edu.pe/civil/material/vial/Primer_trimestre/PGV/Parte_2_De_Solminihac/1.-Introduccion/F3n2006.pdf)
- 5.- <http://www.proviasnac.gob.pe:81/documentos/pytoperu/Mccnopav/VolumenI/PDF/02Caminos.pdf>
- 6.- [www.camineros.com](http://www.camineros.com)
- 7.- [www.mtc.gob.pe](http://www.mtc.gob.pe)
- 8.- [www.proviasnac.gob.pe](http://www.proviasnac.gob.pe)

## ANEXOS



Foto 1 : Badén en tramo de carretera km 82+200 aprox.

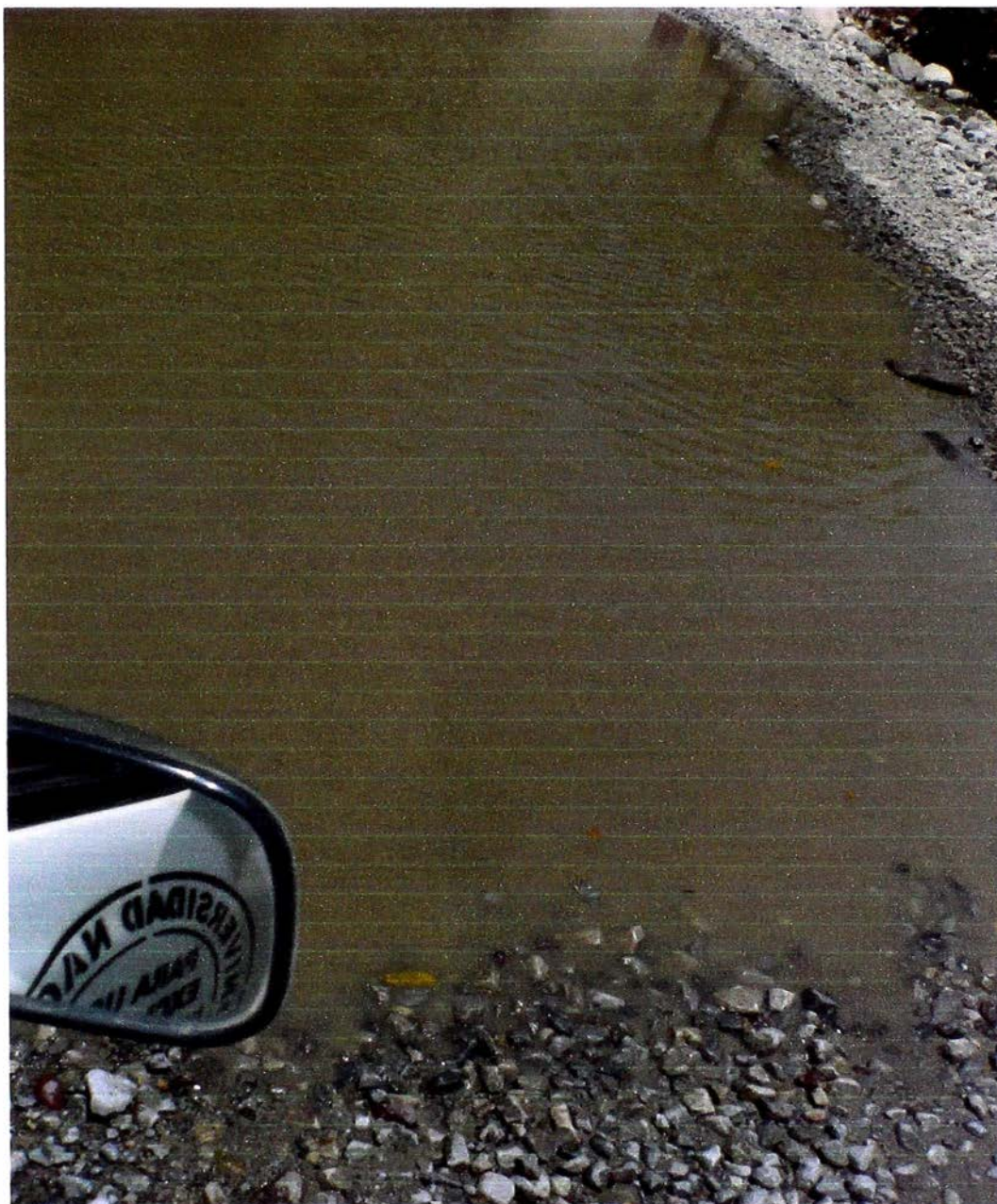


Foto 2: Pequeño riachuelo que cruza la carretera





Foto 3: Ancho de vía variable, en este tramo se ve solo 1 tramo

## INDICE DE RUGOSIDAD INTERNACIONAL KM. 79+000 - KM. 84+000

Evaluación Superficial de La Carretera Cañete - Yauyos - Huancayo (Km 79+000 - Km 84+000)	
Sección	Km 80+500 - Km 80+100
Carril / Huella	:Derecho
Operador	Piter Castillo
FECHA	: 03/10/2009
ENSAYO N°	01

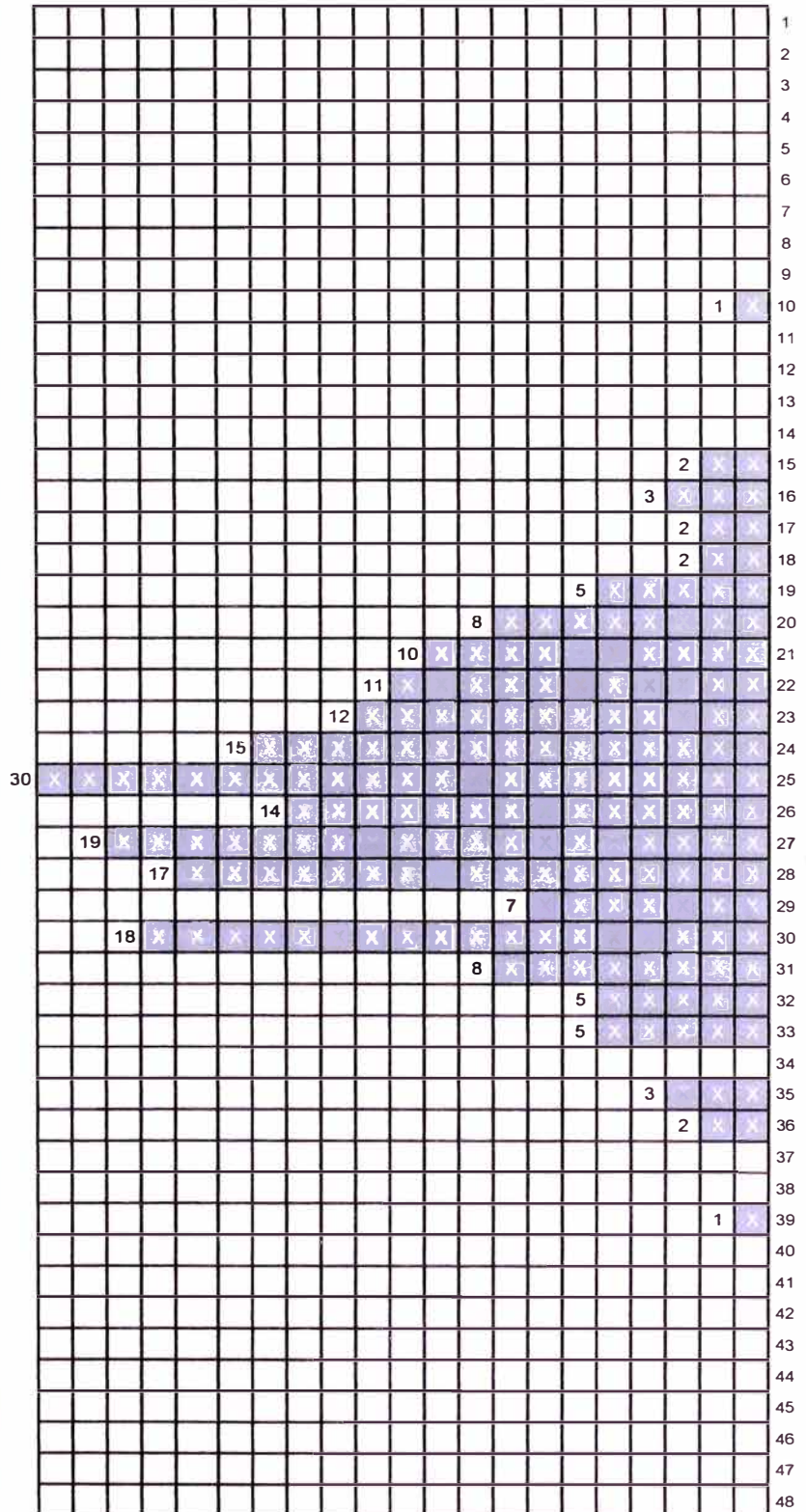
F = 1,000
D = 71,00 mm
<b>RUGOSIDAD</b> = $0.593 + 0.0471 * D$ = 3,94 IRI

**OBSERVACIONES :**

La ecuación empleada para la obtención del Índice Internacional de Rugosidad (IRI) corresponde a la desarrollada por el Laboratorio Británico de Transportes (TRRL), válida para el rango  $2.4 < IRI < 15.9$  ( $40 < D < 312$ ).

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

## INFORME DE MEDICIÓN DE RUGOSIDAD



30

**INDICE DE RUGOSIDAD INTERNACIONAL KM. 84+000 - KM. 89+000**

Evaluación Superficial de La Carretera Cañete - Yauyos - Huancayo (Km 84+000 - Km 89+000)	
Sección	Km 85+000 - Km 84+600
Carril / Huella	:Derecho
Operador	Andres Chumbe Montoro
FECHA	: 03/10/2009
ENSAYO N°	01

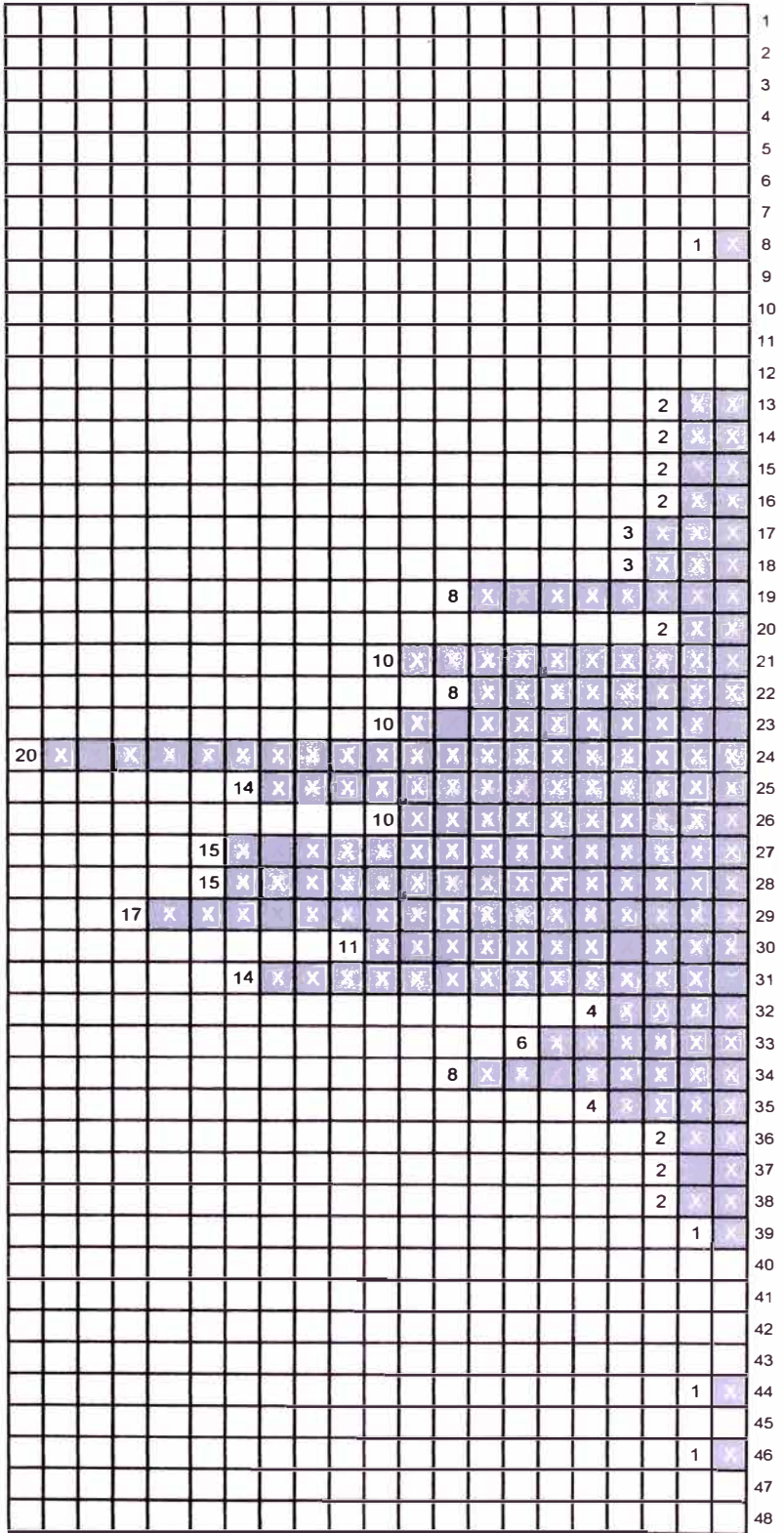
F	= 1,000
D	= 92,08 mm
RUGOSIDAD	= $0.593 + 0.0471 * D$ = 4,93 IRI

**OBSERVACIONES :**

La ecuación empleada para la obtención del Índice Internacional de Rugosidad (IRI) corresponde a la desarrollada por el Laboratorio Británico de Transportes (TRRL), válida para el rango  $2.4 < IRI < 15.9$  ( $40 < D < 312$ ).

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
20	31	19	29	37	34	34	37	34	24	1
39	44	30	34	28	19	24	23	36	32	2
26	26	21	22	30	29	24	17	24	27	3
25	26	31	24	22	28	31	24	14	25	4
16	18	20	19	21	27	22	24	26	36	5
30	38	38	34	33	28	15	32	23	23	6
27	23	34	21	26	24	27	28	25	23	7
17	29	19	18	31	25	26	31	33	24	8
13	25	23	30	31	24	46	25	21	21	9
27	24	24	28	21	15	28	28	31	14	10
26	29	27	22	28	25	21	31	30	35	11
24	31	29	35	29	35	29	29	25	31	12
22	29	24	28	23	25	28	27	24	34	13
33	26	22	27	29	27	21	28	31	19	14
22	25	13	17	8	25	21	30	29	22	15
28	35	25	25	30	29	32	34	16	27	16
32	31	33	26	29	28	30	30	23	28	17
29	24	24	19	29	28	23	29	33	21	18
23	30	31	24	27	31	29	27	19	33	19
19	24	27	25	30	26	27	27	24	18	20

**INFORME DE MEDICIÓN DE RUGOSIDAD**



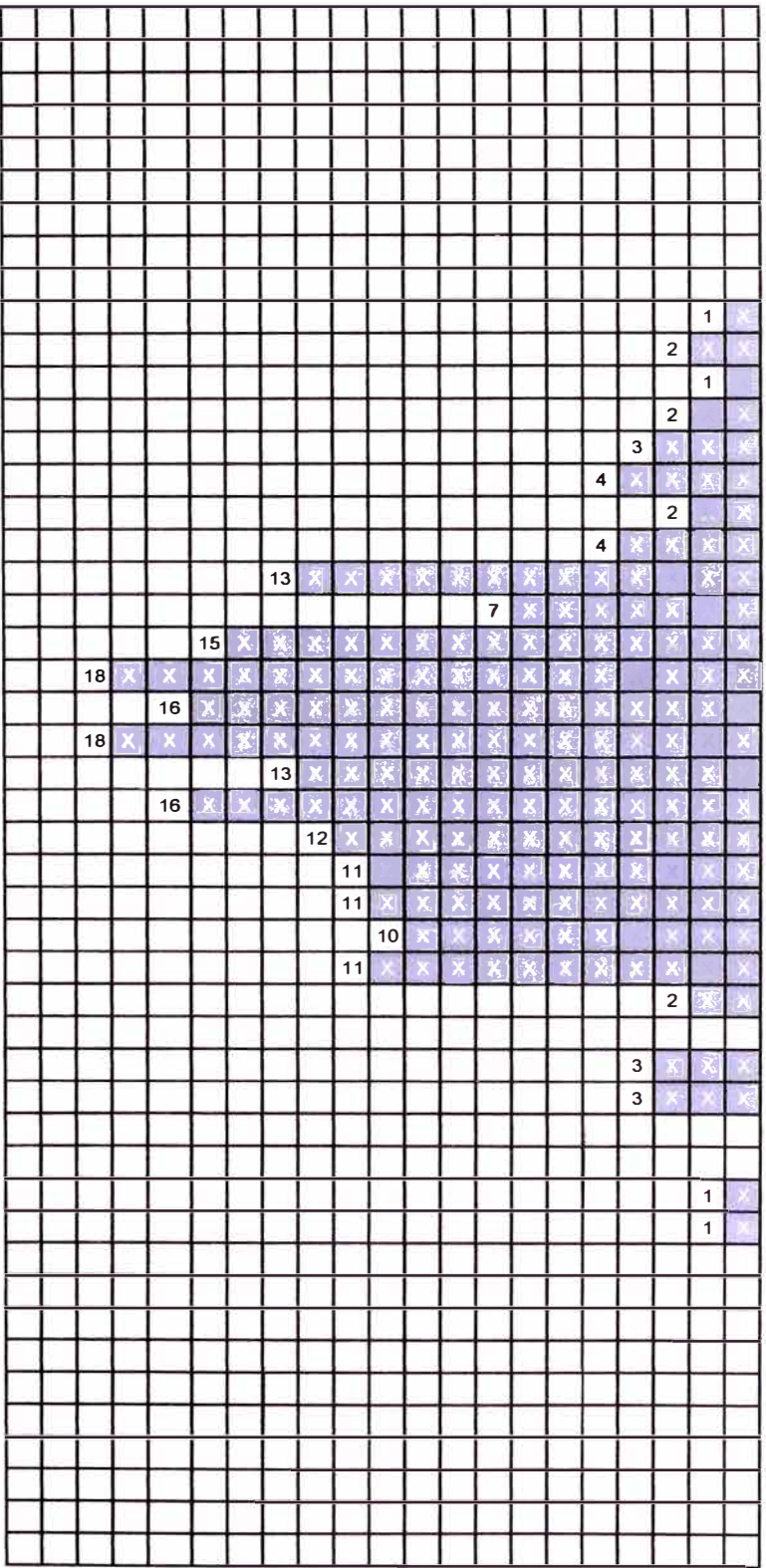
INDICE DE RUGOSIDAD INTERNACIONAL KM. 89+000 - KM. 94+000

Evaluación Superficial de La Carretera Cañete - Yauyos - Huancayo (Km 89+000 - Km 94+000)	
Sección	Km 91+500 - Km 91+100
Carril / Huella	:Derecho
Operador	Juan Carlos Gómez Vega
FECHA	: 03/10/2009
ENSAYO Nº	01

F	=	1,000
D	=	78,75 mm
<b>RUGOSIDAD</b>	=	$0.593 + 0.0471 * D$ = 4,30 IRI

**OBSERVACIONES :**  
La ecuación empleada para la obtención del Índice Internacional de Rugosidad (IRI) corresponde a la desarrollada por el Laboratorio Británico de Transportes (TRRL), válida para el rango  $2.4 < IRI < 15.9$  ( $40 < D < 312$ ).

INFORME DE MEDICIÓN DE RUGOSIDAD



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

**INDICE DE RUGOSIDAD INTERNACIONAL KM. 94+000 - KM. 99+000**

**INFORME DE MEDICIÓN DE RUGOSIDAD**

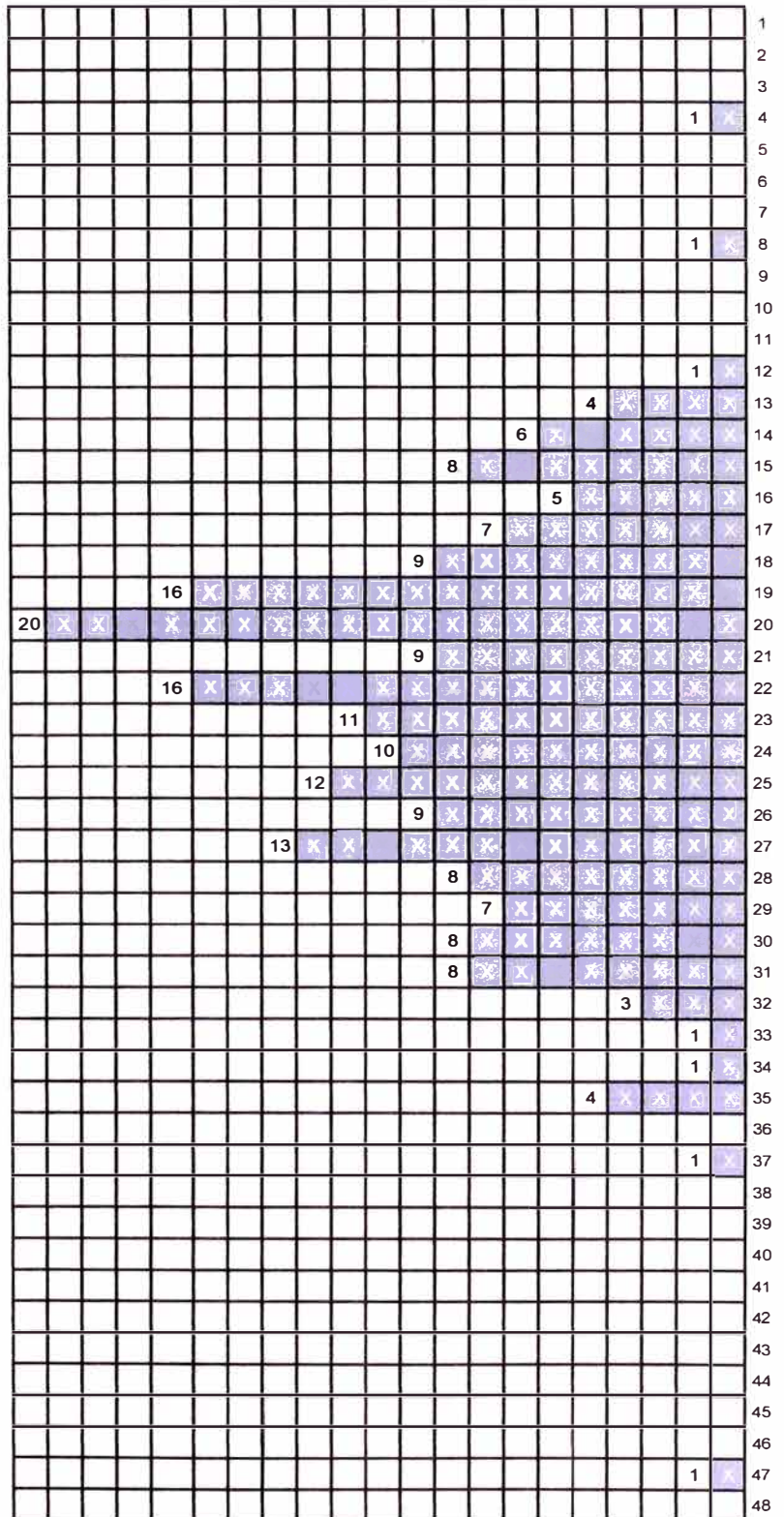
Evaluación Superficial de La Carretera Cañete - Yauyos - Huancayo (Km 94+000 - Km 99+000)	
Sección	Km 98+200 - Km 97+800
Carril / Huella	:Derecho
Operador	Renato Olaya
FECHA	: 03/10/2009
ENSAYO N°	01

F =	1,000
D =	89,17 mm
RUGOSIDAD =	0.593 + 0.0471 * D
	= 4,79 IRI

**OBSERVACIONES :**

La ecuación empleada para la obtención del Índice Internacional de Rugosidad (IRI) corresponde a la desarrollada por el Laboratorio Británico de Transportes (TRRL), válida para el rango 2.4 < IRI < 15.9 (40 < D < 312).

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
18	24	27	28	28	22	23	26	22	24
20	17	19	21	20	25	30	18	19	30
33	23	23	18	22	22	31	27	24	26
28	19	20	15	20	16	22	28	25	29
23	20	27	28	29	24	17	30	15	24
14	21	25	16	23	22	19	29	19	20
15	22	25	13	27	19	17	15	21	47
27	23	23	30	35	8	19	24	13	22
20	22	19	14	20	4	26	19	17	13
22	31	15	19	22	17	19	17	25	20
31	29	21	26	21	27	18	27	30	26
26	25	31	24	20	23	29	35	18	20
19	18	18	25	19	12	27	35	26	27
20	20	24	14	25	19	21	14	20	25
20	28	18	15	16	20	20	21	21	14
32	16	24	20	28	25	18	24	17	19
34	13	37	16	20	30	31	31	15	29
26	29	22	23	15	27	22	27	31	23
32	30	22	21	19	20	25	31	25	35
27	27	28	30	28	22	32	14	22	23



# INDICE DE RUGOSIDAD INTERNACIONAL KM. 99+000 - KM. 104+000

Evaluación Superficial de La Carretera Cañete - Yauyos - Huancayo (Km 99+000 - Km 104+000)	
Sección	Km 100+200 - Km 99+800
Carril / Huella	:Derecho
Operador	Rene Poma
FECHA	: 03/10/2009
ENSAYO N°	01
F = 1,000	
D = 125,00 mm	
RUGOSIDAD = $0.593 + 0.0471 * D$ = 6,48 IRI	
OBSERVACIONES :	
<p>La ecuación empleada para la obtención del Índice Internacional de Rugosidad (IRI) corresponde a la desarrollada por el Laboratorio Británico de Transportes (TRRL), válida para el rango <math>2.4 &lt; IRI &lt; 15.9</math> (<math>40 &lt; D &lt; 312</math>).</p>	
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10	
19 26 17 15 25 16 13 10 17 22	1
32 16 20 15 16 7 13 26 22 27	2
20 17 7 12 10 32 18 29 15 29	3
24 18 22 13 20 18 11 18 22 19	4
15 15 12 12 17 20 23 25 20 28	5
24 26 17 24 26 30 28 23 26 17	6
11 19 20 25 25 24 19 20 25 33	7
26 19 16 22 16 25 18 12 18 10	8
19 23 23 21 16 12 25 12 13 19	9
19 19 16 28 15 15 27 19 20 20	10
24 32 19 28 34 31 34 31 28 38	11
23 30 22 35 26 43 28 35 28 40	12
31 28 28 32 33 27 27 21 27 34	13
37 19 28 29 32 20 30 31 29 35	14
24 30 30 25 25 31 28 22 21 21	15
18 39 20 24 22 30 24 23 22 23	16
27 27 20 20 25 27 37 21 37 20	17
28 36 48 20 5 13 34 38 21 29	18
29 33 28 24 27 27 38 20 4 20	19
26 34 19 11 18 18 16 24 21 29	20

## INFORME DE MEDICIÓN DE RUGOSIDAD

