

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



**EVALUACION DE LA RUGOSIDAD DE LA  
CARRETERA CAÑETE – YAUYOS – CHUPACA  
CON EQUIPO BUMP INTEGRATOR  
TRAMO KM 74+000 - KM 79+000**

**INFORME DE SUFICIENCIA**

**Para optar el Título Profesional de:**

**INGENIERO CIVIL**

**PEDRO JAVIER ALVAREZ ASCENCIO**

**Lima- Perú  
2009**

**DEDICATORIA:**

A todas las personas que siempre me apoyaron y en especial a mis padres, gracias por siempre creer en mí.

## INDICE

<b>RESUMEN</b>	<b>02</b>
<b>LISTA DE CUADROS</b>	<b>04</b>
<b>LISTA DE FIGURAS</b>	<b>05</b>
<b>LISTA DE SÍMBOLOS Y DE SIGLAS</b>	<b>06</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>07</b>
<b>CAPITULO I: GENERALIDADES</b>	<b>08</b>
1.1. Antecedentes	08
1.1.2. Objetivo del Proyecto	08
1.1.1 Estado del Arte de la Carretera	08
1.2. Ubicación	10
1.3. Características de la Carretera	11
1.4. Tramo Evaluado Km. 74+000 – Km. 79+000.	12
<b>CAPITULO II: ESTADO DEL ARTE</b>	<b>14</b>
<b>CAPITULO III: MARCO TEORICO</b>	<b>17</b>
3.1. Evaluación Superficial.	17
3.2. Rugosidad	18
3.3. Método de Evaluación de la Rugosidad con Equipo Bump Integrator	28
<b>CAPITULO IV: APLICACIÓN TRAMO KM 74+000 – KM 79+000</b>	<b>30</b>
4.1. Recopilación de Datos de Campo	30
4.2. Calibración de Equipo	31
4.3. Procesamiento de Datos	35
<b>CAPITULO V: ANALISIS DE RESULTADOS</b>	<b>36</b>
<b>CONCLUSIONES</b>	<b>41</b>
<b>RECOMENDACIONES</b>	<b>42</b>
<b>BIBLIOGRAFIA</b>	<b>43</b>
<b>ANEXOS</b>	<b>44</b>

## RESUMEN

En el presente informe se desarrolla el tema de la “Evaluación de la Rugosidad de la Carretera Cañete – Yauyos – Chupaca con Equipo Bump Integrator Tramo Km. 74+000 - Km. 79+000”. Dicha carretera se encuentra ubicada en el departamento de Lima, en las provincias de Cañete y Yauyos.

El informe consta de 5 capítulos principales, los cuales son los siguientes:

**Capítulo I:** Enfoca un resumen de los antecedentes de la Carretera Cañete – Yauyos – Chupaca, ubicación y Características generales para concluir con un resumen más detallado del tramo que se ha escogido para la evaluación.

**Capítulo II:** En este capítulo, se detalla principalmente una cronología de cómo se ha ido implementando y mejorando el método de la Medición de la Rugosidad con los Equipos Tipo Respuesta, hasta llegar al equipo utilizado en nuestras mediciones Equipo Bump Integrator REBITU.

**Capítulo III:** Detalla los fundamentos y conceptos necesarios que son el sustento del porque se ha realizado las mediciones para la evaluación de la rugosidad, iniciando con una mirada general de lo que es una Evaluación Superficial, seguidamente se presenta conceptos de Rugosidad y para concluir con los Conceptos del Método de Evaluación de la Rugosidad con Equipo Bump Integrator, método aplicado en esta oportunidad y objetivo principal del presente Informe

**Capítulo IV:** En este capítulo, se desarrolla como se ha aplicado el método en el tramo seleccionado, para lo cual se subdivide en 3 etapas: Primera Etapa el detalle de la Recopilación de los Datos de campo, Segunda Etapa la calibración del equipo y finalmente La Tercera Etapa el procesamiento de los datos para la obtención del IRI.

**Capítulo V:** Luego de concluido el procesamiento de datos se realiza un análisis de los mismos para poder brindar con lo mismo las conclusiones y recomendaciones necesarias según los resultados obtenidos.

## LISTA DE CUADROS

Cuadro 4.1: Valores Obtenidos de Campo	31
Cuadro 4.2 Datos para Calibración	31
Cuadro 4.3 Datos Con ajuste de Datos	32
Cuadro 4.4 Datos reajustados Final	33
Cuadro 4.5 Formula de Curva de Tendencia Final	34
Cuadro 4.6 Medidas IRI de cada Tramo medido con Formula de Curva de Tendencia	35
Cuadro 5.1 Datos Originales entregados y obtenidos	36
Cuadro 5.2 IRI's Obtenidos con Curva de Tendencia	37
Cuadro 5.3 Datos medidos en 2 etapas del Tramo en Estudio	38
Cuadro 5.4 Tratamiento realizado según tramo y fecha de construcción	39
Cuadro 5.5 Datos de IRI relacionados con Número de Meses Transcurridos	40
Cuadro 5.6 Rangos de IRI's según el estado de la Via.	40

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1. Localización del Tramo en Estudio	10
Figura 1.2. Detalle de Poblaciones que une la Carretera	11
Figura 3.1. Modelo de Cuarto Carro	19
Figura 3.2. Escala estándar empleada por el Banco Mundial para la cuantificación Del IRI para diferentes tipos de Vías	21
Figura 3.3. Nivel y mira topográfica	22
Figura 3.4. Equipo Merlín	23
Figura 3.5. Perfilógrafo California	23
Figura 3.6. Componentes de equipos de respuesta	24
Figura 3.7. Componentes de equipos de referencia inercial	24
Figura 3.8. Variaciones aparentes de perfiles longitudinales utilizando diferentes Equipos	25
Figura 3.9. Los mismos perfiles de la figura anterior después del filtrado	26
Figura 3.10 Modelo de Conexión del Rugosímetro electrónico	28
Figura 3.11 Software de Comunicación para el Rugosímetro Electrónico	29
Figura 3.12 Unidad Bump Integrator	29
Figura 3.13 Unidad de adquisición de datos del Rugosímetro Bump Integrator	29
Figura 4.1. Curva de Tendencia con Datos Originales	32
Figura 4.2. Curva de Tendencia con datos ajustados	33
Figura 4.3. Curva de Tendencia con datos finales	34
Figura 5.1. Variación de IRI según Sub – Tramo de Medida	36
Figura 5.2. Curva de Tendencia con datos obtenidos de Cuadro 5.5	39

## LISTA DE SIMBOLOS Y DE SIGLAS

IRI: Índice de Rugosidad Internacional

PERT : Proyecto Especial Rehabilitación de Transportes

MTC : Ministerio de Transportes y Comunicaciones

AASHTO : American Association of State Highway and Transportation Officials

DG-2000 : Manual de Diseño Geométrico

CGC : Consorcio Gestión de Carreteras

EAL : Número de Ejes Equivalentes

IMD : Índice Medio Diario.

CBR: California Bearing Ratio

GMR : General Motors Research

MDOT : Michigan Department of Transportation.

BPR : Bureau of Public Roads.

RTRRMS : Response Type Road Roughness Meters

NCHRP : National Cooperative Highway Research Program

UMTRI : University of Michigan Transportation Research Institute

ASTM : American Society for Testing and Materials

RARS : Reference Average Rectified Slope

RQCS : Reference Quarter Car Simulation

## INTRODUCCION

El presente Informe de Suficiencia se refiere a la Medición de la Rugosidad del Pavimento en la Carretera Cañete – Yauyos – Chupaca del Sector Km. 74+000 al Km. 79+000 con Equipo Bump Integrator.

La característica principal de este tipo de mediciones de rugosidad es que se puede realizar de una manera rápida y con un buen grado de confiabilidad, teniendo con lo cual la situación actual del pavimento y como este ha sufrido desgaste respecto de su condición original.

Este tipo de mediciones son necesarias debido al continuo desgaste que sufren nuestras vías por agentes externos, como son el clima, la geografía o el mismo aumento de flujo vehicular que a su vez generarán un sobrecosto, teniendo esta nueva base se puede generar planes de mantenimiento basados en las variaciones que se tienen de la condición del pavimento a la fecha.

Debido a esta situación se hace necesario hacer mediciones para conocer el estado actual de la Carretera Cañete – Yauyos – Chupaca a través del parámetro IRI de rugosidad.

El marco teórico necesario para sustentar estas mediciones, se tiene como base las Especificaciones Técnicas del Equipo Bump Integrator de la Universidad Nacional de Ingeniería (equipo a utilizar en las mediciones), Las Normas Técnicas y Legales del Ministerio de Transportes y Comunicaciones referido a la Conservación de Carreteras de Bajo Volumen de Transito, la Guía para la Calibración del IRI publicado por el Banco Mundial y la Tesis del Ing José Sologorre Huayta respecto al uso y aplicación del Equipo Bump Integrator.

## **CAPITULO I: GENERALIDADES**

### **1.1.ANTECEDENTES**

#### **1.1.1.Objetivo del Proyecto**

Objetivo General.

El presente informe tiene por objetivo la evaluación de la rugosidad de la Superficie de rodadura en la Carretera Cañete – Yauyos – Chupaca del Sector Km. 74+000 al Km. 79+000 con Equipo Bump Integrator.

Objetivos Específicos.

- 1.Realizar mediciones con el equipo Bump Integrator en el tramo comprendido entre las progresivas 74+000 a 79+000.
- 2.Procesamiento de datos obtenidos para la obtención del Parámetro estándar (IRI)
- 3.Evaluación de resultados obtenidos del Equipo Bump Integrator, Ventajas y desventajas.

#### **1.1.2.Estado del Arte de la Carretera.**

Carretera Cañete – Yauyos – Chupaca fue proyectada y ejecutada por etapas durante el Gobierno del Sr. Augusto B. Leguía entre los años 1920 a 1930, mediante la ley de la Conscripción Vial Territorial del Perú. Mediante esta ley se impulsó la creación y reparación de carreteras, ley que fue promulgada por el entonces Ministerio de Fomento.

Entre los años 1930 hasta los años 1954, todos los trabajos se paralizan por problemas de accidentes de trabajo fatales por el desprendimiento de rocas.

En los años 1940- 1944 durante el Gobierno del Dr. Manuel Prado Ugarteche y el alcalde de Yauyos Dr. Carlos Ayulo Laos, se avanzan con los trabajos en la zona de la Costa desde Cañete hasta Yauyos, siendo inaugurada por el presidente en Junio de 1944, quedando postergado los trabajos de Yauyos a Huancayo.

En 1954 se retoman los trabajos, por la necesidad de los pueblos del Norte de Yauyos, sobre todo en el pase del Cañón de Uchco. Por tal motivo deciden gestionar ayuda ante el Ministerio de Fomento, solicitando una delegación de Ingenieros para realizar la rectificación del trazo.

En 1957, se concluyo con el trazo de la carretera, integrando la región costa con la sierra.

En 1958 se realizar trabajos de mantenimiento a la vía por las empresas Cementos Lima y ARPL Tecnología Industrial, realizando algunos trabajos de perfilado.

En los próximos años hasta el año 1998 no se encontró información alguna sobre la Carretera.

En el año 1998 la Comisión de Promoción de Concesiones Privadas (PROMCEPRI) adjudicó la buena Pro al Consorcio “Asociación Aguas y estructuras (AYESA) – ALPHA CONSULT SA” para realizar el Servicio de Consultoría a Nivel de Estudio Definitivo de la Carretera Lunahuana - Huancayo.

En el año 2003, el Proyecto Especial Rehabilitación de Transportes (PERT) del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC) encargó al consultor Ing. Floriano Palacios León, (Contrato de Estudios N° 0412-2003-MTC/20 del 28.11.2003) la elaboración del Estudio de Preinversión a Nivel de Perfil de la Carretera Ruta 22, Tramo: Lunahuaná – Yauyos – Chupaca de 245.15 km de longitud.

En año 2005, PROVIAS NACIONAL – MTC ha realizado el Estudio de Pre Inversión a nivel de Factibilidad del Proyecto Mejoramiento y Rehabilitación de la Carretera Ruta 22, enfatizando el tema de Diseño Vial.

Posteriormente en 2007 por Resolución Ministerial N° 408 -2007-MTC/02 se creó el Programa “Proyecto Perú” bajo responsabilidad de PROVIAS NACIONAL.

Proyecto Perú es un programa de Infraestructura vial diseñado para mejorar las vías de integración de corredores económicos, conformado por ejes de desarrollo sostenido con el fin de mejorar el nivel de competitividad de las zonas rurales, en la red Vial Nacional, Departamental y Vecinal. Dicho programa se caracteriza por contratos que se controlan por niveles de servicio y plazos mayores o iguales a los 3 años.

Con fecha 16 de Octubre de 2007 se realiza la Convocatoria para el Concurso Público “Servicio de Conservación Vial por Niveles de Servicio de la Carretera Cañete-Lunahuana-Pacaràn-Chupaca y Rehabilitación del tramo Zúñiga. Dv. Yauyos – Ronchas por un periodo de 5 años.

Con fecha 17 de Diciembre 2007 se firma el contrato con el CONSORCIO GESTION DE CARRETERAS, por un monto que asciende en S/. 131'589,139.71, por la conservación vial de 281.73 Km. En los Términos de Referencia señalan que se debe dar una Solución Básica a aplicar sobre la superficie actual de la vía, previamente conformada, no se deben realizar cambios en la geometría ni trazo de la vía existente.

Con fecha 01 de febrero del 2008 se inicia el servicio. Como punto de partida se prepara un Inventario Vial, el cual se ha realizado con el objetivo de tener un registro de todas las estructuras y obras (Infraestructura Vial), condiciones estructurales y condiciones funcionales actuales, identificación de sectores críticos y las necesidades de la vía como fase Pre-operativa, ejecutado durante los meses de abril, mayo y junio de 2008.

La carretera actualmente se encuentra en trabajos de rehabilitación y mantenimiento.

## 1.2. UBICACIÓN

Está ubicada al sureste del departamento de Lima, entre los 165 y 4751 m.s.n.m. de altitud, conecta las regiones de Lima y Junín.

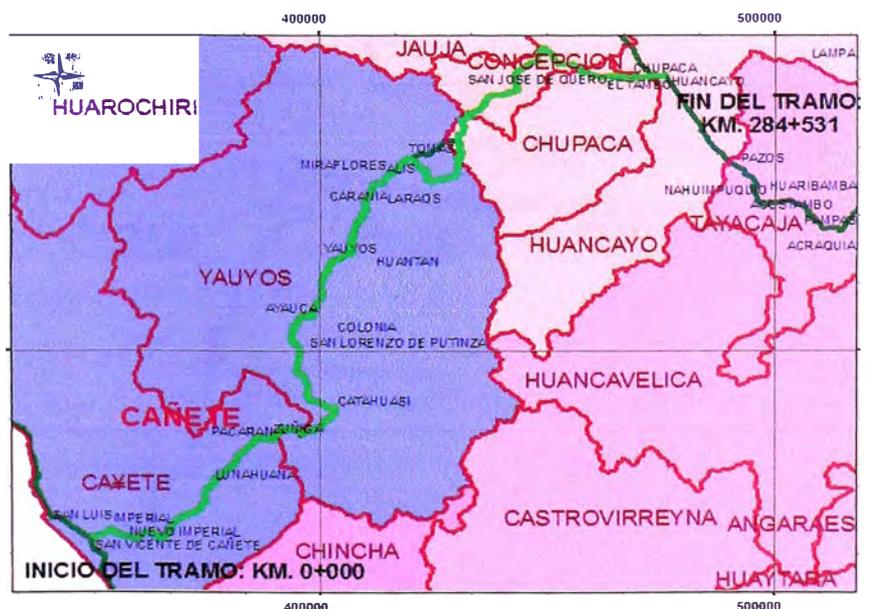


Figura 1.1. Localización del tramo en estudio.

Fuente: De Zavala Robles, Magnolia Informe de Suficiencia AMPLIACION Y MEJORAMIENTO DE LA CARRETERA CAÑETE-YAUYOS HUANCAYO DEL Km. 166+800 AL Km. 167+100 CONSERVACION, SEÑALIZACION Y SEGURIDAD VIAL

### 1.3. CARACTERISTICAS DE LA CARRETERA

A continuación se detalla algunas características principales de la Carretera en estudio:

- El Diseño de la Carretera es a media ladera y a su vez paralela al río Cañete.
- Número de Carriles Variables y a su vez también los anchos (3.2 – 6.60 m.)
- Tratamiento Superficial del Pavimento en estudio – Slurry Seal.
- Diseño geométrico no estandarizado.
- Drenaje superficial escaso – cunetas de tierra – alcantarillas artesanales.
- Moderada vegetación – áreas de cultivo en terrazas.
- Escasa protección de talud inferior en tramos sinuosos.
- Une centros poblados (Zúñiga – San Juan – San Jerónimo – Catahuasi – Chichicay – Capillucas – Calachota – Magdalena).

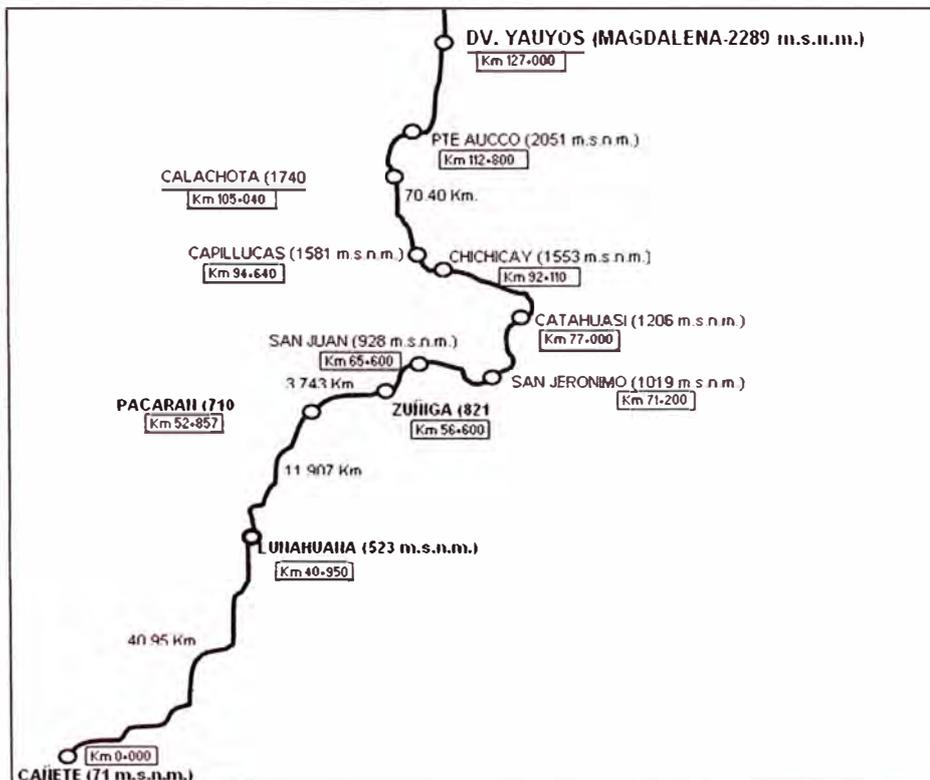


Figura 1.2. Detalle de Poblaciones que une la Carretera

Fuente: Escuela Profesional de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Ingeniería

## 1.4. TRAMO EVALUADO KM 74+000 KM. 79+000

El tramo en estudio comprende desde la progresiva del 74+.000 al 79+000. de la Carretera Cañete-Yauyos, se encuentra ubicada en la Provincia de Yauyos, en el departamento de Lima a 1200 msnm.

### **Geología:**

El tramo de la Carretera en estudio es una quebrada, conformada por una estrecha garganta en las zonas próximas a los contrafuertes andinos. Todas las superficies de los cerros son pétreas, rocallosas, resacas y completamente desprovistas de condiciones naturales para la agricultura, por falta de agua. Este tramo está considerado dentro de la Región Yunga (500msnm – 2300msnm).

### **Clima:**

Al estar ubicado el tramo en estudio dentro de la Región Yunga, se caracteriza por tener un clima caluroso (sol todo el año) teniendo una temperatura que varía entre 20°C y 27° C durante el día y las noches son frescas a causa de los vientos que bajan de las regiones más altas.

### **Topografía:**

La carretera tiene una topografía bastante sinuosa y agreste. El ancho de la actual plataforma vial es variable entre 3m y 4m.

### **Composición de Suelos de Fundación:**

Los materiales de fundación del tramo en estudio, se clasifica en el Sistema SUCS como SC-SM y en el Sistema AASHTO varia entre A-1-b (0) y A-2-4(0).

Los agregados gruesos de este material arenoso son de forma subangular, mientras que la matriz tiene plasticidad comprendida entre escasa a moderada (como máximo I.P.=6%).

En la subrasante se han encontrado boloneras a partir de 0.40m (en promedio) mayor concentración de ellos, entre 40% y 50% y en tamaños variables entre 4" a 8".

### **Geometría de la Carretera**

La geometría de la carretera está condicionada a la geografía de la zona (quebrada), presentando secciones a media ladera.

El trazo geométrico de la carretera no cumple con la norma DG-2000 del MTC, por tener curvas muy próximas entre ellas, longitudes de transición cortos, sección de vía inadecuada, etc.

### **Sistema de Drenaje**

No cuenta con sistema de drenaje el tramo en estudio. Existe flujo de agua tanto superficial y subterráneo.

### **Características Principales del Tramo en Estudio**

Las características principales obtenidos de los Estudios Técnicos para el Cambio de Estándar de Afirmado a solución Básica de la Concesionaria CGC proyectado para el periodo del 2009-2013 son:

EAL (Número de Ejes Equivalentes a 8.2 tn en el periodo de diseño)= 84,000.

IMDa (Veh/día) = 53.

Tasa de Crecimiento =3.6%

DTA = IMD x 3.6% (Según USACE).

CBR (al 95%)= 20 Buena (Capacidad Portante del Terreno)

Modulo Resilente Mr = 13.201psi.

Coefficiente de Drenaje CD=1.

## CAPITULO II: ESTADO DEL ARTE

Los modelos matemáticos de vehículos tipo respuesta están siendo usados desde los años 1940 por ingenieros a cargo del diseño y/o evaluación de aeropuertos y vehículos militares. En ese entonces, el esfuerzo asociado en obtener un perfil con métodos de estudio convencionales y convertirlos en una forma compatible con los métodos computacionales de ese entonces (computadoras analógicas) estuvo muy lejos en considerar el uso de simulación vehicular para la evaluación de la rugosidad en vías.

Pero dadas las terribles consecuencias de la falla de una aeronave mientras atraviesa una pista de aterrizaje, o de un vehículo militar mientras atraviesa un terreno rugoso, el esfuerzo envuelto en conducir simulaciones estuvo justificado para estas aplicaciones.

En los inicios de la década de 1960, el departamento de investigación de la General Motors (GMR) desarrolló un perfilómetro, usando instrumentación moderna, que fue capaz de medir la porción “dinámica” de un perfil de vía responsable de inducir el movimiento de un vehículo. Poco después de esto, el departamento de transporte de Michigan (MDOT, después llamado Departamento del estado de caminos y transporte de Michigan) construyó el segundo perfilómetro GMR en cooperación con GMR. Así también al mismo tiempo, GMR licenciado por K.J. Law pone en venta el perfilómetro 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, el cual emplea una simulación de vehículo usando una computadora análoga. Ya que el BPR rugosímetro tiene solo una llanta, éste vehículo de simulación fue llamado BPR rugosímetro de simulación de un cuarto de carro (BPR/QCS). El BPR/QCSs usado por MDOT and K.J. Law tiene ecuaciones idénticas en su forma a un modelo matemático de texto de estudio usado para describir varios sistemas dinámicos siendo esta la primera aplicación de este modelo para cuantificar la rugosidad de la vía.

El QCS es en efecto ese modelo, con parámetros de valores representativos de los vehículos. (Los dos BPR/QCSs usaron dos conjuntos diferentes de valores de parámetros, cada uno basado en medidas de un BPR rugosímetro “estándar” distinto). La mayoría de los perfilómetros producidos por K.J. Law han incluido el simulador BPR. Varios años después, K. J. Law introduce el segundo conjunto de valores de parámetros de un QCS para simular un auto de pasajeros Chevrolet Impala 1968.

Uno de los perfilómetros tipo GMR con un BPR/QCS fue la base para la escala QI usado en el proyecto PICR, sin embargo, debido a un número de factores, la pieza nunca realmente midió el perfil durante el proyecto con la precisión que normalmente se le asociaba al instrumento. La escala QI no es por lo tanto el equivalente a las características publicadas del BPR/QCS.

A finales de la década de 1970, un proyecto NCHRP de investigación de gran escala fue llevado a cabo en el UMTRI (entonces llamado Instituto de Investigación en Seguridad de Autopistas) para:

- Estudiar los RTRRMS
- Determinar la correlación entre los diferentes sistemas en uso
- Crear una metodología de calibración

La investigación incluyó extensos muestreos de los RTRRMS en un ambiente de laboratorio, junto con un análisis teórico formal de conceptos e instrumentos RTRRMS. Se hizo obvio que una fuente principal de los problemas provenía del hecho que los instrumentos fueron inventados sin un claro concepto de lo que es “rugosidad” o de cómo este debería ser medido. En su lugar, la rugosidad venía siendo definida simplemente como: “cualquiera cosa que el RTRRMS mida.” Ya que la calibración requiere comparar las medidas del instrumento que está siendo calibrado con los valores “verdaderos” de las variables que están siendo medidas, se hizo necesario definir, matemáticamente, un aspecto medible del verdadero perfil longitudinal que serviría como una referencia de calibración.

La referencia que fue seleccionada es el QCS, con nuevos parámetros de modelo escogidos para ofrecer la máxima correlación los RTRRMSs existentes. Adicionalmente a un nuevo conjunto de parámetros, el QCS fue “mejorado” para la simulación de medio-carro, porque casi todos los RTRRMSs usados en los Estados Unidos están basados en vehículos de doble rodaje (carros de pasajeros y vagones de doble rodaje). La forma en que una llanta “envuelve” pequeños chichones se consideró que tenía influencia crítica cuando el QCS era usado para simular velocidades bajas. En consecuencia, el envolvimiento de la llanta se añadió al modelo cuando se simulaban a bajas velocidades. El RQCS descrito en este reporte es casi idéntico a la referencia NCHRP, diferenciándose solo en el parámetro de la rueda envolvente, el

cual fue cambiado sin razón alguna de 1 pie (300mm) a 250mm para simplificar los requerimientos de medición para métodos de vara y nivel.

El reporte 228 NCHRP recomienda una estadística de rugosidad llamada "velocidad rectificada promedio de referencia" (RARV) la cual es útil cuando se comparan medidas hechas por RTRRMSs a más de una velocidad de medida. La otra estadística asociada con el RQCS se llama "pendiente rectificada promedio referencial" (RARS). Ya que el RARS numérico obtenido con una velocidad de simulación de 80km/h (RARS 80) se selecciona en éste reporte como la mejor elección para un índice de rugosidad internacional, la mayor parte de los resultados obtenidos con el RQCS son reportados como valores RARS.

El Bump-integrador (BI), o BPR Roughmeter, fue desarrollado originalmente por la United States Bureau of Public Roads. TRRL desde entonces han hecho una serie de modificaciones para mejorar su rendimiento y simplificar el mantenimiento (Jordan y YOUNG, 1980).

En 1982, el Banco Mundial inició un experimento en Brasil para establecer correlaciones y un estándar de calibración para las mediciones de rugosidad. Se observó que los valores de los equipos de medición de la rugosidad superficial existentes eran correlacionables. Una vez establecido este punto, uno de los objetivos de las investigaciones fue encontrar un índice de referencia al que posteriormente se denominó "Índice Internacional de Rugosidad".

EL Índice Internacional de Rugosidad es el primer índice de perfil ampliamente utilizado, donde el método de análisis está adaptado para trabajar con diferentes tipos de equipos de medición de rugosidad y se puede decir que es una propiedad del perfil de un camino. Las ecuaciones de análisis fueron desarrolladas y ensayadas para minimizar los efectos de algunos parámetros de mediciones de perfil, tales como el intervalo de muestreo.

Este método llegó al Perú en el año 1995, usándose mayormente por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones para la evaluación de carreteras.

## CAPITULO III: 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 informe 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.

En la década de los 70's, el Banco Mundial financió 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 detectó que los datos de regularidad superficial de diferentes partes del mundo no podían ser comparados. Aún datos de un mismo país no eran confiables, debido a que las mediciones fueron realizadas con equipos y métodos que no eran estables en el tiempo.

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.

### **3.2. Rugosidad.**

No hay una definición sencilla y estándar de la rugosidad pero podemos utilizar la que menciona la American Society of Testing and Materials (ASTM): E867 que dice: “ Es la desviación de la superficie del pavimento respecto de una superficie plana verdadera con las dimensiones características que afectan la dinámica del vehículo y calidad de recorrido”.

La rugosidad es un dato empleado en el inventario vial que permite calificar el estado o condición funcional de la vía y permite el cálculo de los costos de operación del usuario. El Índice de Rugosidad Internacional (IRI) es el parámetro más recomendado por el Banco Mundial y es el más difundido actualmente para la medición de la rugosidad en pavimentos.

El concepto de Serviciabilidad ha sido desarrollado en la AASHTO Road Test y se define en relación con el propósito para el que fue construido el pavimento y asegurar una circulación suave, cómoda y segura.

#### **Cálculo del Índice de Regularidad Internacional (IRI)**

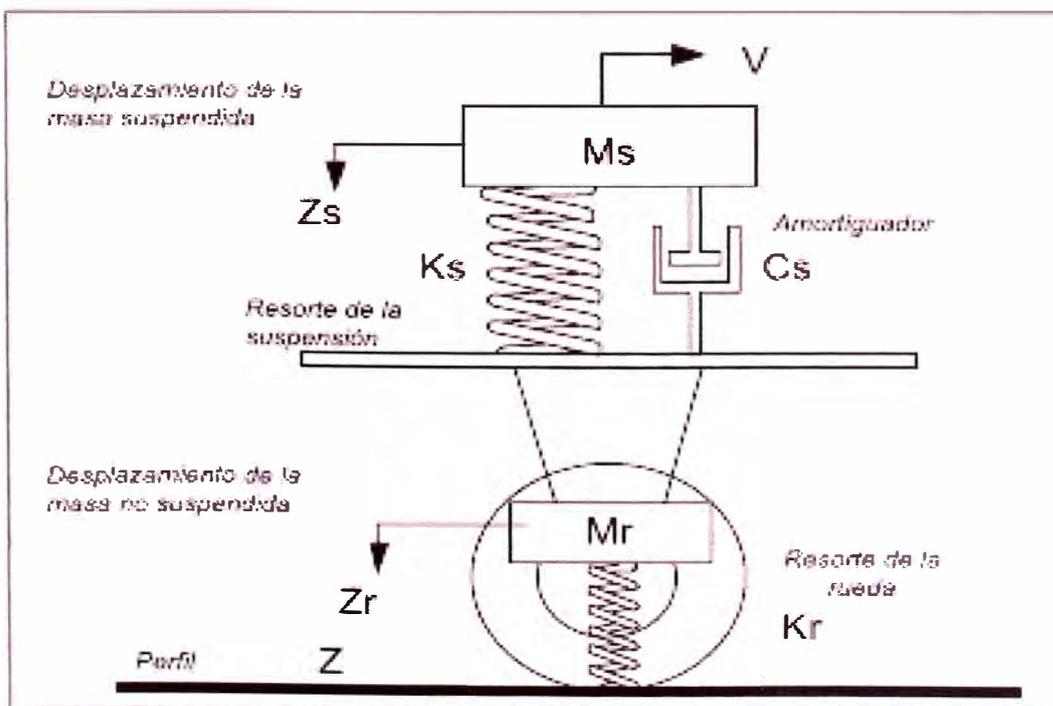
El cálculo del IRI involucra la utilización de herramientas matemáticas, estadísticas y computacionales que permiten derivar la medida de regularidad asociada a la vía; lo cual contempla etapas claramente diferenciadas y ajustadas a un desarrollo sistemático.

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)

Figura 3.1. Modelo de cuarto de carro



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

El modelo de simulación consta de una masa “amortiguada o suspendida” (masa de un cuarto de carro ideal) conectada a una masa “no amortiguada” (eje y neumático), a través de un resorte y un amortiguador lineal (suspensión), y por último el neumático es representado por otro resorte lineal.

El modelo de cuarto de carro emplea los parámetros de lo que se ha denominado como el Carro de Oro, los cuales se muestran a continuación:

$$k_2 = \frac{k_s}{M_s} = 63.3 \quad k_1 = \frac{k_r}{M_r} = 65.3$$
$$c = \frac{c_s}{M_s} = 6 \quad \mu = \frac{M_r}{M_s} = 0.15$$

donde:

ks: constante del resorte de la suspensión

kr: constante del resorte de la rueda

Ms: masa suspendida

Mr: masa no suspendida

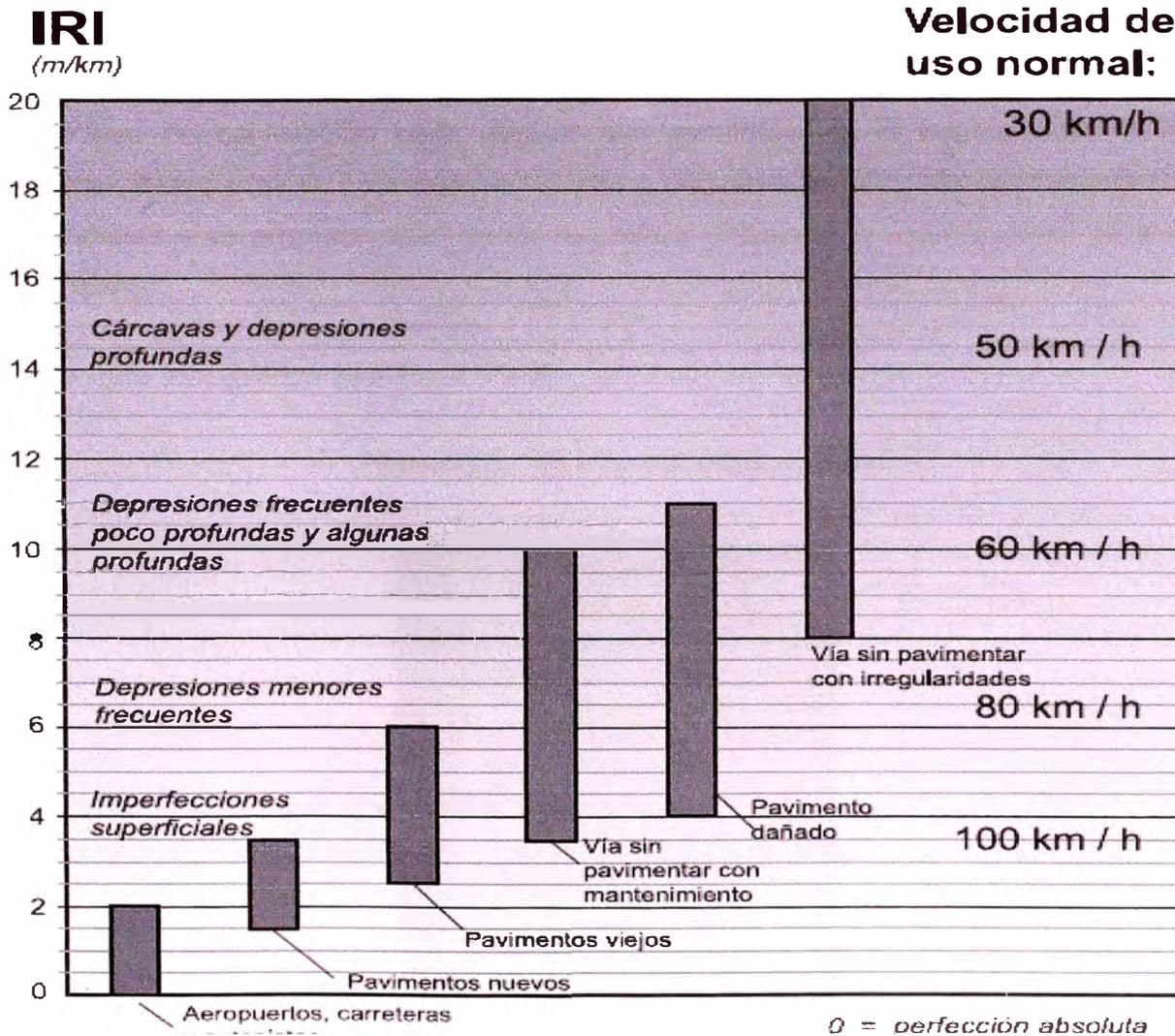
cs: amortiguador

Las ecuaciones dinámicas presentes en el modelo, forman un sistema de ecuaciones que utilizan como dato de entrada el perfil de la carretera (en la parte inferior del “resorte del neumático”). El movimiento vertical del eje respecto a la masa suspendida, se calcula y acumula. El valor en m/km (metros acumulados por kilómetro viajado) es la medida final de la regularidad del camino.

Un aspecto importante que debe considerarse en el método de cálculo de IRI, es que se deben estimar valores iniciales entre la respuesta de transición y la respuesta inducida por el perfil. Los efectos de esta inicialización disminuyen conforme la simulación del cuarto de carro cubre una mayor distancia del perfil. Esta inicialización influye en el modelo del cuarto de carro en aproximadamente 20 m. Por lo tanto, la manera más precisa de tratar con la inicialización, es medir el perfil al menos 20 m antes del punto de inicio del tramo, e iniciar a partir de allí el cálculo del IRI.

A partir del estudio realizado por el Banco Mundial, se propuso una escala de medición de la regularidad superficial para diferentes tipos de vías (ver Figura 3.2).

Figura 3.2. Escala estándar empleada por el Banco Mundial para la cuantificación del IRI para diferentes tipos de vías



Fuente: Adaptada de UMTRI Research Review, Vol. 33. Número 1. Enero-Febrero 2002

Para caminos pavimentados, el rango de la escala del IRI es de 0 a 12 m/km, donde 0 representa una superficie perfectamente uniforme y 12 un camino intransitable; para vías no pavimentadas la escala se extiende hasta el valor de 20. El perfil real de una carretera recién construida tiene un estado cero, pero se define por su IRI inicial mayor a cero, debido principalmente a que alcanzar valores de IRI = 0 es sumamente difícil desde el punto de vista constructivo. Una vez puesta en servicio, la regularidad del pavimento se modifica lentamente en función del paso del tránsito.

## Equipos existentes para la medición de la regularidad superficial de los pavimentos

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

*Nivel y mira topográfica (ver Figura 3.3)*

*Figura 3.3. Nivel y mira topográfica*



Es la manera más conocida para la medición del perfil longitudinal. El equipo consiste en una mira de precisión, graduada con unidades convenientes de elevación (típicamente divisiones de cm o pies), y un nivel topográfico empleado para establecer el dato de la línea horizontal.

*Equipo Merlín (ver Figura 3.4)*

El método de medición que utiliza el MERLIN, por haber sido diseñado este equipo como una variación de un perfilómetro estático y debido a la gran exactitud de sus resultados, califica como un método Clase 1.

*Figura 3.4. Equipo Merlín*



*Fuente: Ventura, J. Determinación del Índice de Regularidad Internacional (IRI). 2005*

### **Perfilógrafos (ver Figura 3.5)**

Los perfilógrafos tienen una rueda sensible, montada al centro del marco para mantener el movimiento vertical libre. La desviación de un plano de referencia, establecido por el marco del perfilógrafo, se registra (automáticamente en algunos modelos) en papel según el movimiento de la rueda sensible. Se pueden encontrar en una gran variedad de formas, configuraciones y marcas.

*Figura 3.5. Perfilógrafo California*

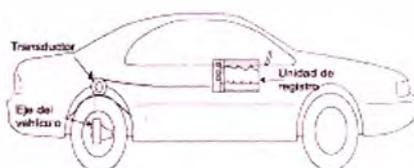


*Fuente: Romaro Internacional, S.A. de C.V.*

### Equipos Tipo Respuesta (RTRRMS) (ver Figura 3.6)

Los equipos RTRRMS operan a la velocidad normal de circulación de una carretera. Miden los movimientos verticales del eje trasero del automóvil o el eje del remolque respecto al marco del vehículo. De esta manera el equipo mide la respuesta (rebote) del vehículo a la regularidad del camino, por lo que no es realmente una medida verdadera de la lisura de la superficie.

Figura 3.6. Componentes de equipos de respuesta

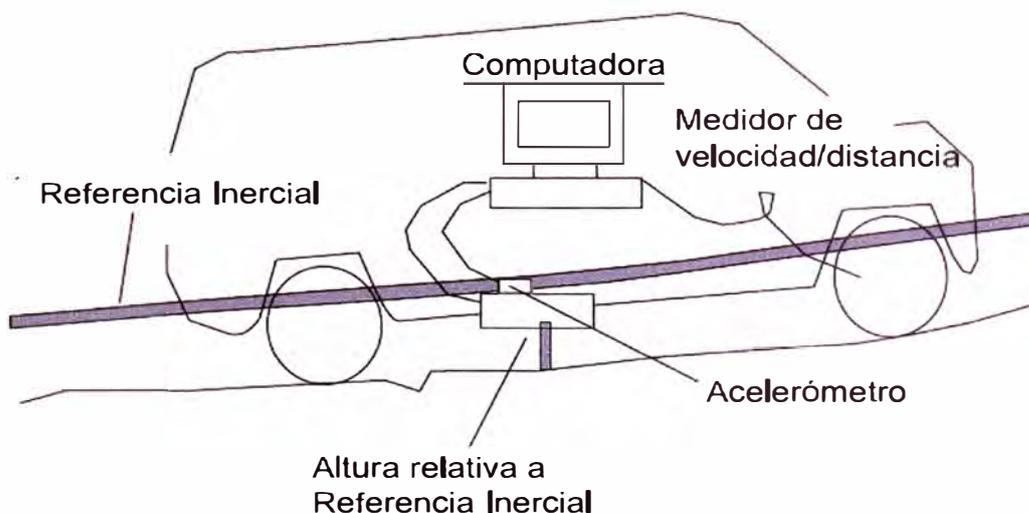


Fuente: Adaptado de "A synopsis on the current equipment used for measuring pavement smoothness"

### Perfilómetro Inercial (ver Figura 3.7)

Son equipos de alto rendimiento que producen medidas automáticas y de alta calidad del perfil del camino. Las mediciones son independientes de cualquier variación en el peso y velocidad del vehículo, temperatura, color y textura del pavimento.

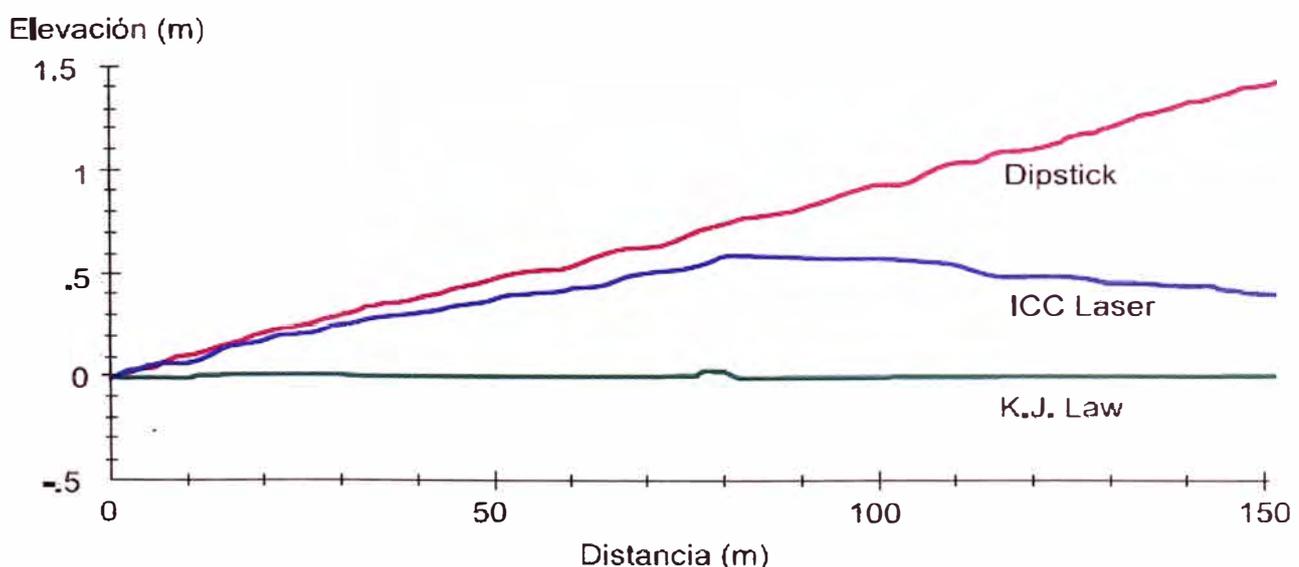
Figura 3.7. Componentes de equipos de referencia inercial



Fuente: Adaptado de "A synopsis on the current equipment used for measuring pavement smoothness"

Como se mencionó anteriormente el paso más importante para el cálculo del IRI, consiste en la medición de las ordenadas o cotas de una línea de perfil longitudinal. Sin embargo, es importante destacar que, graficar las elevaciones versus la distancia longitudinal para un mismo tramo de carretera, empleando diferentes equipos de medición, no necesariamente implica que los perfiles longitudinales medidos coincidan entre sí. Por ejemplo, la Figura 3.8 muestra los perfiles longitudinales obtenidos a partir del Dipstick y otros dos perfilómetros inerciales (ICC Laser y K.J. Law), los cuales evidentemente son muy diferentes entre sí. Estas diferencias se deben principalmente a la conjugación entre la parte del perfil del camino que contribuye a la regularidad y la pendiente total del tramo seleccionado. En otras palabras, dependiendo del equipo se establecen niveles de referencia diferentes para la determinación del perfil; es decir, en el caso del Dipstick se registran la elevación de un apoyo relativo a la elevación del otro, mientras que en el caso de los perfilómetros inerciales, las elevaciones se registran respecto a un eje de referencia inercial, lo cual genera las diferencias mostradas en la Figura 3.8.

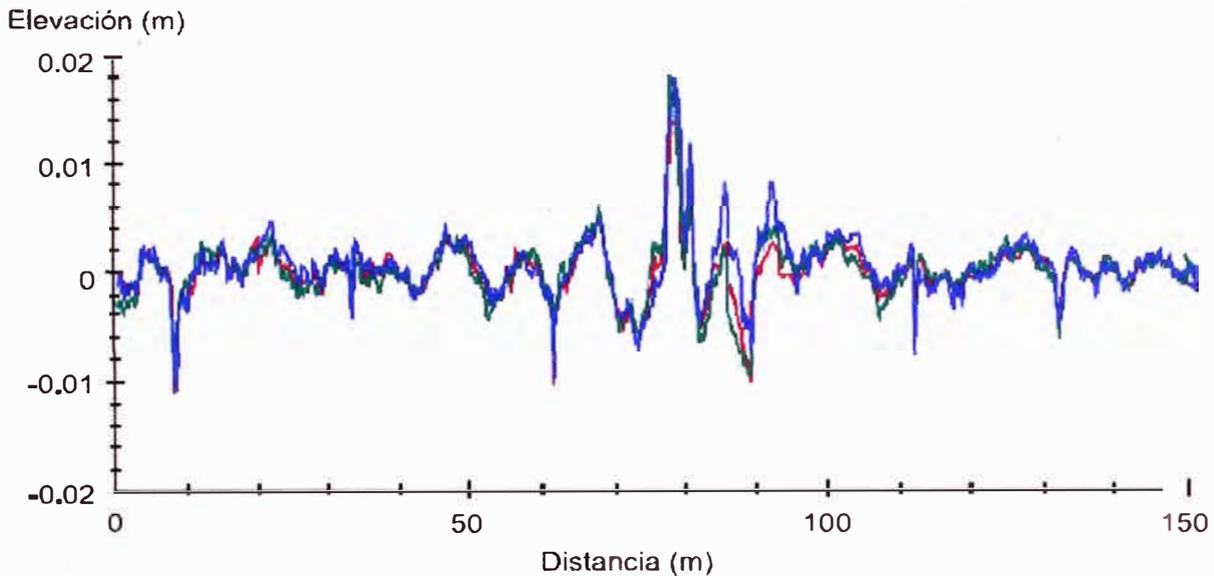
Figura 3.8. Variaciones aparentes de perfiles longitudinales utilizando diferentes equipos



Fuente: Adaptado de *The Little Book of Profiling. Basic information about Measuring and Interpreting Road Profiles.* 1998.

Una vez que se cuenta con el perfil longitudinal, este es sometido al primer filtro, que consiste en una serie de adecuaciones matemáticas y análisis estadístico (media móvil), para generar un nuevo perfil suavizado de las irregularidades, obteniéndose los resultados mostrados en la Figura 3.9 donde se muestra básicamente el mismo patrón.

Figura 3.9. Los mismos perfiles de la figura anterior después del filtrado



Fuente: Adaptado de *The Little Book of Profiling. Basic information about Measuring and Interpreting Road Profiles.* 1998

Finalmente a este perfil suavizado se le aplica el segundo filtro de la simulación del cuarto de carro, RQCS, a una velocidad de 80 km/h y se le determina finalmente el IRI.

### Variación del IRI según la longitud de evaluación

El IRI puede ser calculado sobre cualquier longitud de camino; sin embargo, los usuarios deben entender que el cálculo del IRI depende altamente sobre qué longitud es acumulado. Es fundamental entender la relación que existe entre la variación de regularidad a lo largo del camino y el tramo del camino sobre el cual la regularidad es promediada. De esta forma, aunque la bibliografía casi siempre habla solamente del valor del IRI de una carretera, es conocido que, para ser precisos, se debe añadir la longitud a la cual se determina dicho valor, ya que el IRI es el valor medio de los IRI unitarios o puntuales que se obtienen. Habitualmente, el valor unitario más utilizado es

cada 0.25 m y el valor global de referencia puede variar dependiendo de cada país o agencia de pavimentos.

En vista de la importancia que reviste la longitud para la determinación del IRI, es necesario establecer un intervalo de longitud, ya que intervalos de longitud mayores ocultan niveles altos de regularidad superficial en los pavimentos, obteniendo de una manera inadecuada valores de IRI satisfactorios. Por otra parte, la utilización de intervalos de longitud menores para la determinación del IRI, puede detectar niveles altos de irregularidad, contribuyendo a obtener pavimentos con mejores niveles de seguridad y confort.

Como se puede observar de la Tabla 3.1, las variaciones en la longitud del intervalo de medición del IRI, tienen incidencia directa en los resultados, de forma tal que los valores se suavizan como consecuencia del efecto de promediar. Lo cual es bastante evidente, al observar los primeros 100 m del tramo, en el cual se dan valores de IRI mayores a 10 y valores de IRI inferiores a 2, cuando el intervalo de evolución es igual a 5 m. Por su parte, al calcular el valor del IRI en una longitud de evaluación de 100 m, el efecto de promediar los valores dentro de este tramo muestra un valor de IRI igual a 4.5.

Tabla 3.1. Variación en el valor del IRI (m/km) según la longitud de evaluación

Estación inicial (m)	Estación final (m)	Valores de IRI promediando resultados del RSP a diferentes intervalos			
		Cada 5 m	Cada 20 m	Cada 50 m	Cada 100 m
0	5	11.4	9.7	6.1	4.5
5	10	10.5			
10	15	13.0			
15	20	4.0	3.3		
20	25	3.8			
25	30	3.7			
30	35	3.5	4.5	2.9	
35	40	2.2			
40	45	4.6			
45	50	4.8	2.5		
50	55	3.8			
55	60	4.8			
60	65	2.8	2.7		
65	70	1.7			
70	75	2.3			
75	80	3.1			
80	85	3.0	2.7		
85	90	3.6			
90	95	1.6			
95	100	2.8			

Fuente: Badilla Vargas, Gustavo Laboratorio de Materiales y Modelos estructurales

### 3.3. Método de Evaluación de la Rugosidad con Equipo Bump Integrator

El Equipo Bump Integrator es un Equipo Tipo Respuesta que sirve como ya se menciona en los párrafos anteriores para la medición de la Rugosidad de las Vías, a continuación daremos algunos alcances del Equipo Utilizado en las mediciones que se han realizado en el presente informe.

#### Rugosímetro Electrónico Bump Integrator.

El Rugosímetro Electrónico Bump – Integrator Tipo UNI (REBITU), es un equipo diseñado para medir la rugosidad de pavimentos y está conformado por un adquisidor de datos y un sensor de desplazamiento.

El REBITU va instalado en el eje posterior transversal de un vehículo. El desplazamiento del vehículo sobre la carretera produce desplazamientos en el eje posterior del vehículo debido a la irregularidad del asfalto, el equipo registra y acumula estos desplazamientos verticales, en la Figura 3.10 se detalla un esquema de cómo se deberá de instalar el equipo para su utilización.

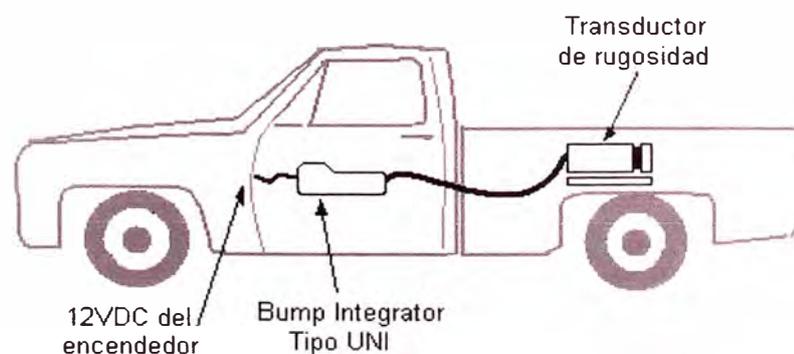


Figura 3.10 Modelo de conexión del Rugosímetro electrónico

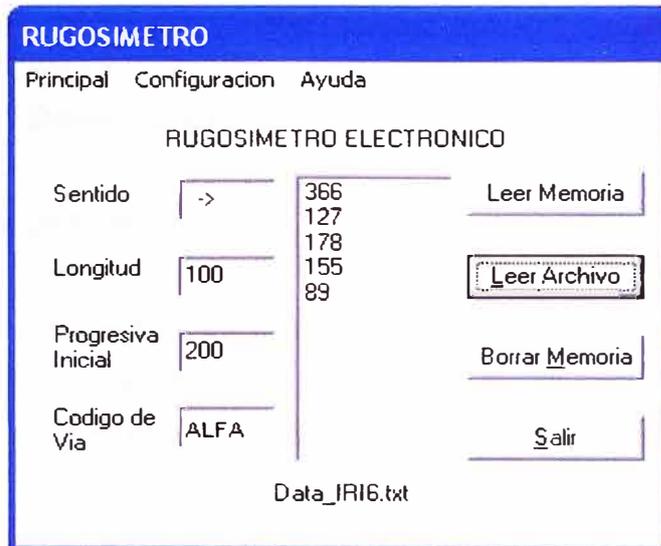


Figura 3.11 Software de Comunicación para el Rugosimetro Electrónico



Figura 3.12 Unidad Bump Integrator

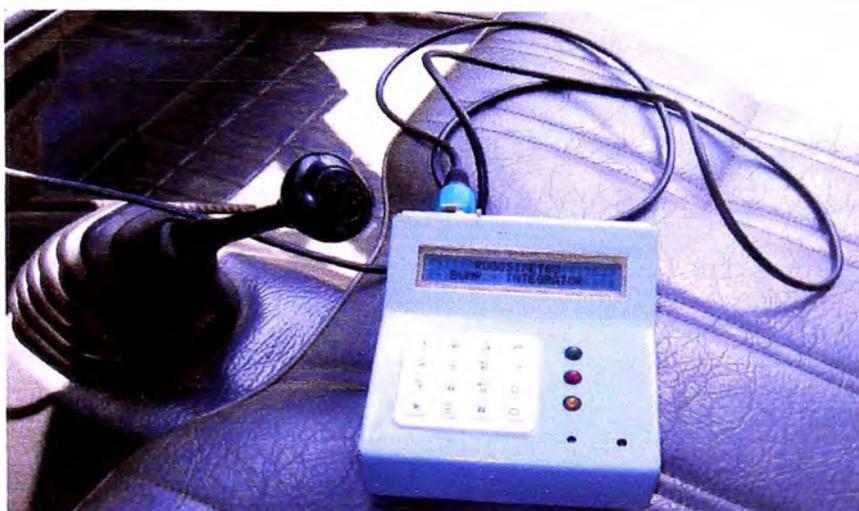


Figura 3.13 Unidad de adquisición de datos del Rugosimetro Bump Integrator

## **CAPITULO IV: APLICACION DEL TRAMO KM. 74+000 – 79+000.**

### **4.1. Recopilación de Datos de Campo.**

Actividad: Evaluación de Rugosidad.

Método: Bump Integrator

Personal: Especialista, Instructor y Alumnos.

Equipo: Bump Integrator y Camioneta.

Herramientas: Tableros, Formatos, Wincha y Pintura.

#### **Ubicación y Trazos:**

Antes de iniciar las mediciones, se deberá de identificar las singularidades existentes (gibas, badenes, puentes y otros) teniendo identificada la progresiva en donde se encuentran.

#### **Instalación de Equipo.**

Se deberá de instalar el Equipo Bump Integrator en la camioneta que ha sido proporcionada, como se ha utilizado el equipo REBITU se deberá de proceder como se indican en sus especificaciones.

#### **Medición.**

Teniendo el equipo instalado, los tramos a medir y las singularidades identificadas y debidamente señalizadas, se procede a hacer las mediciones para lo cual se deberá de tener a lo mas 3 personas en el vehículo, un apuntador un chofer y uno que realiza la lectura, movilizandolo el vehículo a una velocidad de 40km/h constante.

**VALORES DE B.I. RECOLECTADOS EN SUB – TRAMO:  
 PROGRESIVA KM. 74+000 – KM, 79+000**

Valores B.I. obtenidos con equipo Bump Integrator a 40 Km/h.

SUB-TRAMO Km.	SENTIDO DE MEDICION			
	IDA		RETORNO	
	1°	2°	1°	2°
74 - 75	2589	2601	2595	2693
75 - 76	2212	2239	2073	1978
76 - 77	2361	2539	2073	2198
77 - 78	2242	2348	2225	2424
78 - 79	1833	1807	1861	1989

Cuadro 4.1 Valores obtenidos de campo

km	OBSERVACIONES	Unidades BI PROMEDIO
74 - 75	Tramo de 1 Km sin obstaculos	2,620
75 - 76	Tramo de 1 Km sin obstaculos	2,126
76 - 77	Tramo de 1 Km sin obstaculos	2,293
77 - 78	Giba presente a 100, 280, Puente a 660 metros.	2,310
78 - 79	50 metros no medido, giba a 450 metros, puente a 780 metros, 200 metros sin medir	1,405

**4.2. Calibración de Equipo.**

**PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO DE LA CURVA DE TENDENCIA – ECUACION DE  
 CALIBRACION**

El procedimiento utilizado lo detallaremos a continuación en tres etapas:

**Primera Etapa:** Cálculo de Curva de Tendencia con Datos Originales.

Km.	TRAMOS REPRESENTATIVOS DE:			
	59 - 64	64 - 69	69 - 74	74 - 79
B.I.	2432	2528	2371	2450
I.R.I.	3.81	3.77	3.16	3.84

Cuadro 4.2 Datos para calibración

I.R.I. Datos facilitados por la Escuela Profesional de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Ingeniería.

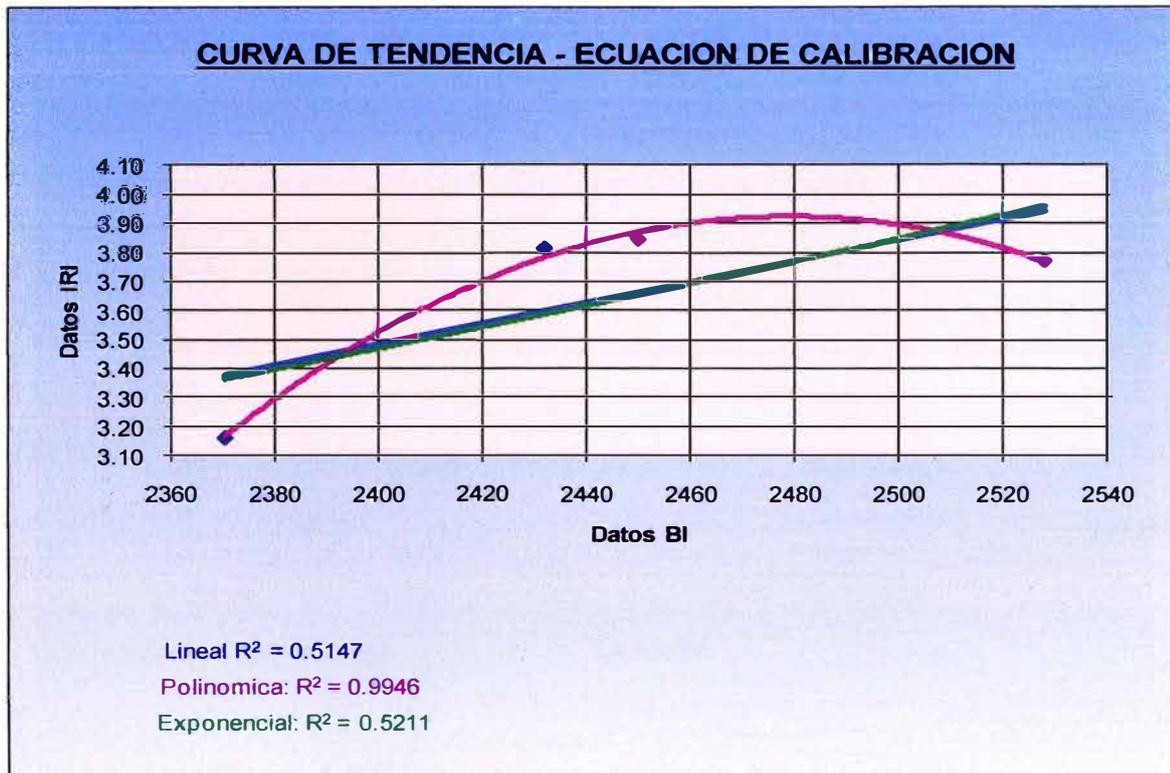


Figura 4.1 Curva de tendencia con datos originales

Nota:

Según lo observado el  $R^2$  de las Curvas de la Tendencia del tipo Lineal y Exponencial son demasiados bajos (mínimo para poder considerarse como una curva consistente debe tener un  $R^2$  igual o más de 0.80 por lo cual se deberá de evaluar los datos entregados), respecto de la Curva del Tipo Polinómica el  $R^2$  es muy bueno por lo cual le daría un buen ajuste por estar muy cerca a 1, pero la pendiente de la curva se vuelve negativo mientras va aumentando el valor de BI, concepto que no se ajusta a la realidad por lo cual también esta curva se desestima.

**Segunda Etapa:** Cálculo de Curva de Tendencia desestimando datos del Tramo II.

	TRAMOS REPRESENTATIVOS DE:			
Km.	59 - 64	64 - 69	69 - 74	74 - 79
B.I.	2432		2371	2450
I.R.I.	3.81		3.16	3.84

Cuadro 4.3 Datos con ajuste de datos

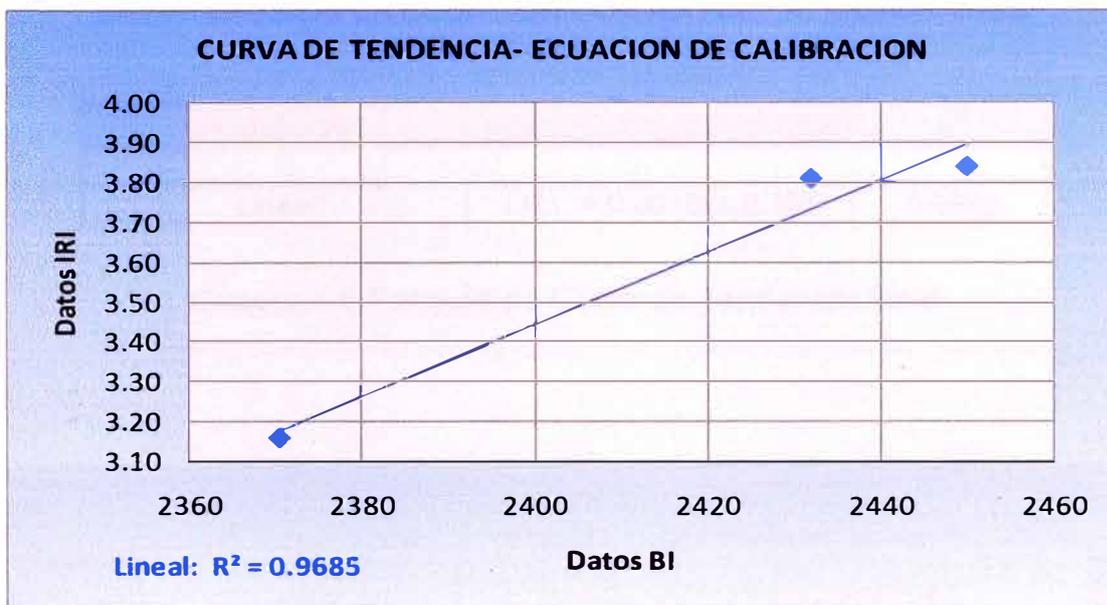


Figura 4.2 Curva de tendencia con datos ajustados

Nota:

Se ha graficado una curva de tendencia lineal para evaluar los datos obtenidos y como se observa el  $R^2$  es muy aceptable por lo tanto se podría utilizar la curva como apropiada.

De acuerdo a lo entregado mediante la Escuela Profesional de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Ingeniería se tiene que el Dato del Tramo III tiene un valor de 3.55 IRI al 03 de Julio del 2,009, como se observa el dato entregado al 03 del Octubre del 2,009 es de 3.16 IRI, teniendo esa premisa es que habrá que desestimar este dato o en su defecto ajustarlo para poder obtener la curva de calibración teniendo por lo mismo que hacer un nuevo ajuste.

Tercera Etapa: Cálculo de Curva de Tendencia con ajuste de datos del Tramo III.

Km.	TRAMOS REPRESENTATIVOS DE:			
	59 - 64	64 - 69	69 - 74	74 - 79
B.I.	2432		2371	2450
I.R.I.	3.81		3.7	3.84

Cuadro 4.4 Datos reajustados final

**ECUACION DE CALIBRACION:**

**DETERMINAMOS LA ECUACION CON MAYOR "R" CUADRATICO Y TENDENCIA POSITIVA.**

ECUACION	FORMULA MATEMATICA	R <sup>2</sup>
Lineal	I.R.I. = 0.0018BI-0.491	0.9998

Cuadro 4.5 Formula de Curva de Tendencia Final

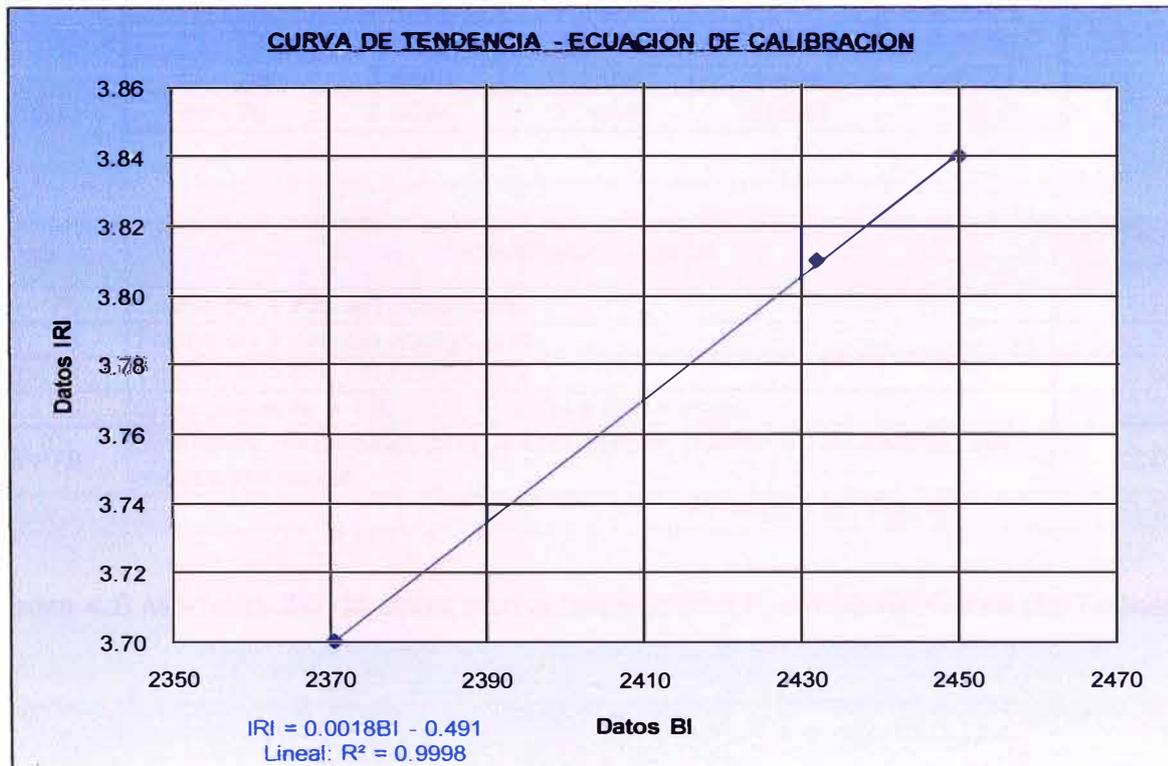


Figura 4.3 Curva de tendencia con datos finales

Nota:

Se ha graficado una curva de tendencia lineal para evaluar los datos obtenidos y como se observa el R<sup>2</sup> es bueno por lo tanto se podría considerar la curva como apropiada.

Se han tomado como se menciona anteriormente algunas consideraciones para ajustar este gráfico.

### 4.3. Procesamiento de Datos.

Con la curva obtenida se procede a calcular los datos BI a unidades IRI para la evaluación del comportamiento del Pavimento en estudio.

#### VALORES I.R.I. OBTENIDOS EN CADA SUB-TRAMO

KM. 74 + 000 - KM. 79 + 000

I.R.I. SEGÚN ECUACION DE CALIBRACION

SUB-TRAMO Km.	SENTIDO DE MEDICION			
	IDA		RETORNO	
	1°	2°	1°	2°
74 - 75	4.1692	4.1908	4.18	4.3564
75 - 76	3.4906	3.5392	3.2404	3.0694
76 - 77	3.7588	4.0792	3.2404	3.4654
77 - 78	3.5446	3.7354	3.514	3.8722
78 - 79	2.8084	2.7616	2.8588	3.0892

km	OBSERVACIONES	Unidades BI PROMEDIO
74 - 75	Tramo de 1 Km sin obstaculos	4.22
75 - 76	Tramo de 1 Km sin obstaculos	3.33
76 - 77	Tramo de 1 Km sin obstaculos	3.64
77 - 78	Giba presente a 100, 280, Puente a 660 metros.	3.67
78 - 79	50 metros no medido, giba a 450 metros, puente a 780 metros, 200 metros sin medir	2.88

Promedio de Tramo

**3.72**

Cuadro 4.6 Medidas IRI de cada tramo medido con Formula de Curva de Tendencia

De acuerdo a las observaciones indicadas en la medición del tramo IV materia del presente informe se observa que existe distorsión en los tramos 78+000 al 79+000 obteniendo un IRI muy por el debajo del obtenido en las mediciones de los sub tramos anteriores que llegan hasta un valor de 4.22 IRI.

## CAPITULO V: ANALISIS DE RESULTADOS.

A continuación se presenta en la Fig. 5.1 la variación de los IRI's obtenidos según el Sub – Tramo de Medición.

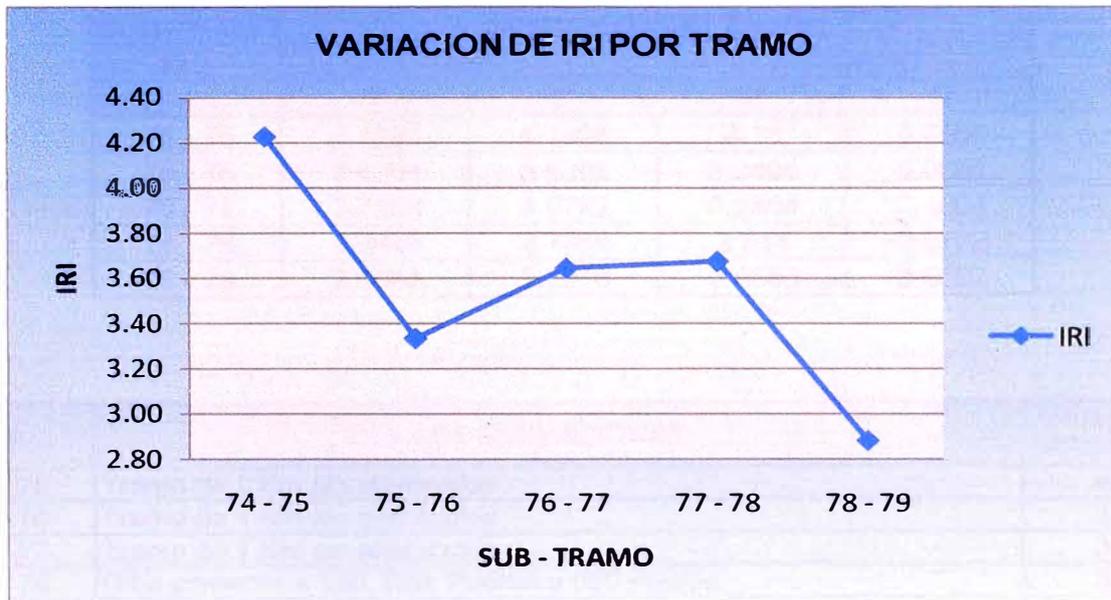


Fig. 5.1 Variación de IRI según Sub – Tramo de Medida

Habiendo obtenido los IRI's de los tramos con la Curva de Calibración se puede hacer un comparativo de resultados obtenidos entre los medidos con el Equipo Merlín y el Equipo Bump Integrator.

### DATOS ORIGINALES OBTENIDOS

Km.	TRAMOS REPRESENTATIVOS DE:			
	59 - 64	64 - 69	69 - 74	74 - 79
B.I.	2432	2528	2371	2450
I.R.I.	3.81	3.77	3.16	3.84

Cuadro 5.1 Datos originales entregados y obtenidos

**DATOS OBTENIDOS CON CURVA DE CALIBRACION**

**VALORES I.R.I. OBTENIDOS EN CADA SUB-TRAMO**

**KM. 74 + 000 - KM. 79 + 000**

**I.R.I. SEGÚN ECUACION DE CALIBRACION**

SUB-TRAMO Km.	SENTIDO DE MEDICION			
	IDA		RETORNO	
	1°	2°	1°	2°
74 - 75	4.1692	4.1908	4.18	4.3564
75 - 76	3.4906	3.5392	3.2404	3.0694
76 - 77	3.7588	4.0792	3.2404	3.4654
77 - 78	3.5446	3.7354	3.514	3.8722
78 - 79	2.8084	2.7616	2.8588	3.0892

km	OBSERVACIONES	Unidades BI PROMEDIO
74 - 75	Tramo de 1 Km sin obstaculos	4.22
75 - 76	Tramo de 1 Km sin obstaculos	3.33
76 - 77	Tramo de 1 Km sin obstaculos	3.64
77 - 78	Giba presente a 100, 280, Puente a 660 metros.	3.67
78 - 79	50 metros no medido, giba a 450 metros, puente a 780 metros, 200 metros sin medir	2.88
Promedio de Tramo		<b>3.72</b>

Cuadro 5.2 IRI's Obtenidos con Curva de Tendencia

Según lo observado en los cuadros anteriores se tiene que el IRI obtenido con el Equipo Merlín (datos entregados como ya se menciono proporcionado por la Escuela Profesional de la Facultad de Ingeniería Civil – Universidad Nacional de Ingeniería) es de 3.84 en el Tramo Representativo, mientras que la medición realizada con el Equipo Bump Integrator dio como resultado 3.64.

Habiéndose comparado los resultados entre los valores obtenidos por cada método ahora haremos una comparación de IRI,s obtenidos con relación al tiempo con 3 medidas que se tiene una la de la colocación inicial, la otra con la medida hecha por la UNI en Julio y la ultima realizada en Octubre.

**RESUMEN**

**VALORES DEL INDICE DE RUGOSIDAD INTERNACIONAL - I.R.I.**

TRAMO TOTAL: KM. 59 + 000 - 79 + 000.  
 CARRIL DE ENSAYO: DERECHO.  
 CARPETA DE RODADURA: SLURRY SEAL.  
 FECHA ENSAYO: 24-06-09 AL 03-07-09.

CODIGO	TRAMO		FECHA ENSAYO	I.R.I.
	P. INICIO	P. FINAL		
I - 26	74 + 400	74 + 800	03/07/2009	3.51
I - 27	75 + 000	75 + 400	03/07/2009	3.57
I - 28	76 + 300	76 + 700	03/07/2009	3.51
I - 29	77 + 200	77 + 600	03/07/2009	3.18
I - 30	78 + 050	78 + 450	03/07/2009	2.84

PROMEDIO ARITMETICO: 3.32

**MEDIDO POR LA ESCUELA EN FECHA INDICADA**

TRAMO		FECHA ENSAYO	I.R.I.
P. INICIO	P. FINAL		
74 + 000	79 + 000	03/07/2009	3.32

**MEDIDO POR GRUPO DE ACTUALIZACION DE CONOCIMIENTO:**

TRAMO		FECHA ENSAYO	I.R.I.
P. INICIO	P. FINAL		
74 + 000	79 + 000	03/10/2009	3.72

Cuadro 5.3 Datos medidos en 2 etapas del Tramo en Estudio

De acuerdo a lo observado se tiene una variación del IRI medido el 03 de Julio del 2009 al 03 de Octubre del 2009 que indica un deterioro de 0.40 en 03 meses.

A continuación en el cuadro 5.4 se puede observar la fecha en la que fue construido el pavimento que está siendo evaluado.

GRUPO	TRAMO (Km.)		TRAMOS DE PRUEBA		TRAT. SUP.	FECHA DE CONSTR.
1	59+000	64+000	59+300	60+300	SLURRY SEAL	MARZO '2009
2	64+000	69+000	66+000	67+000		MARZO '2009
3	69+000	74+000	71+500	72+500		JUNIO '2009
4	74+000	79+000	76+000	77+000		JUNIO '2009
5	79+000	84+000	79+500	80+500	MONOCAPA	MARZO '2009
6	84+000	89+000	84+000	85+000		FEB-MAR '2009
7	89+000	94+000	90+500	91+500		FEBRERO '2009
8	94+000	99+000	97+200	98+200		NOVIEMBRE '2008
9	99+000	104+000	100+000	101+000		NOV-DIC '2008

Cuadro 5.4 Tratamiento realizado según tramo y fecha de construcción

Teniendo la información brindada se tiene que el pavimento del Tramo IV fue colocado en el mes de Junio 2009

Teniendo la anterior consideración se ha hecho un estimado inicial de cómo podría ser la tendencia de la curva de variación de IRI's con el Tiempo Fig.5.1.

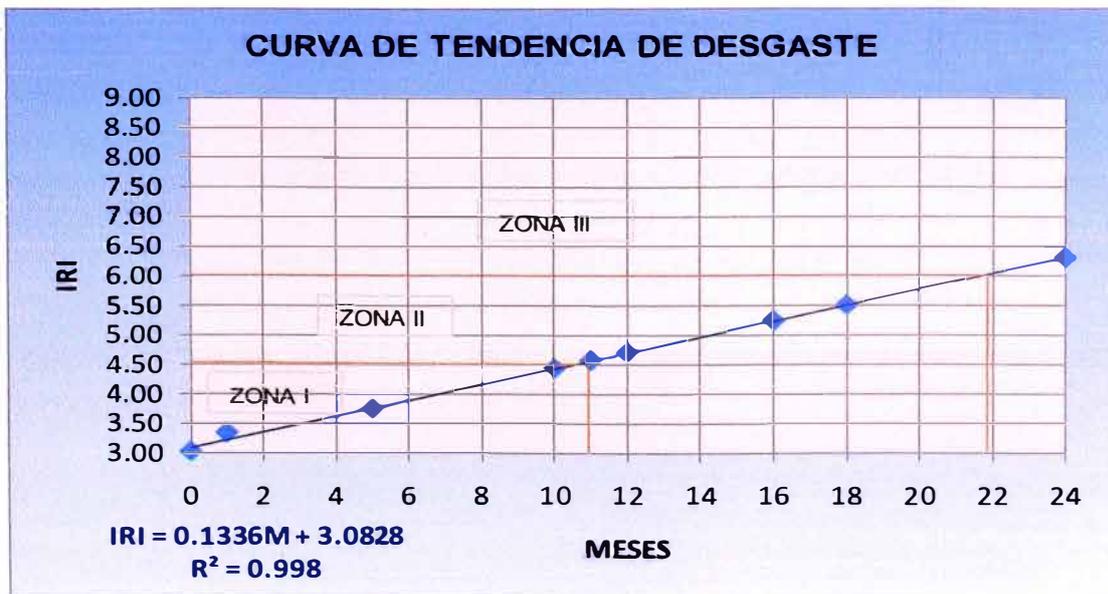


Fig. 5.2 Curva de Tendencia con datos obtenidos de Cuadro 5.5

DESCRIPCION	DETALLE DE DATOS			
	MES	0	1	5
I.R.I.	3	3.32	3.72	

Cuadro 5.5 Datos de IRI relacionados con Numero de meses Transcurridos.

Tipo de carpeta	Bueno	Regular	Malo
Concreto Asfáltico	2,0	3,5	6,0
Trat. Superficial Doble	3,0	4,5	6,0
Carpetas de Hormigón	2,0	3,5	6,0
Carpetas Granulares	6,5	8,5	14,0
Carpetas de Tierra	6,5	9,5	15,5

Fuente: Manual de Carreteras Volumen 1, Tomo II. Cuadro N° 1.302.403 (A)

Cuadro 5.6 Rangos de IRI's según el estado de la Via.

De lo observado en la Fig 5.2 se ha realizado una prolongacion de la Curva encontrando en que Número de mes se podría encontrar la variación de la definición del pavimento según el IRI hallado, tomando como referencia los datos del Cuadro 5.6 que es del Manual de carreteras Volumen 1 de la Republica de Chile.

De lo cual se tiene que a los 11 meses la vía pasara de Bueno a Regular y a los 21 meses de Regular a Malo, esta curva debera de ser actualizada en una posterior medicion para ajustar esta tendencia.

## CONCLUSIONES

- Se ha cumplido con efectuar la evaluación de la rugosidad del tramo en estudio, considerando tramos de evaluación de un Kilometro de longitud, detallando la ubicación de Puentes y Gibas (consideradas como singularidades de la Vía que crean distorsión por tener que disminuir la velocidad del vehículo en medición), las curvas siendo también un agente de distorsión se está asumiendo dentro de la medición porque las mismas están presente en toda el desarrollo de la carretera teniendo muchas de ellas radio de giro muy grandes dándole una característica de vía sinuosa, esta medición se realizo con el Equipo Bump Integrator.
- Según se observa en la Fig. 5.1 donde se grafica los resultados obtenidos de IRI según el Sub Tramo medido se podrá observar que mientras que el resultado del primer Kilometro medido es de 4.22 IRI el ultimo es de 2.88 IRI teniendo ambos resultados una diferencia bien marcada , mientras que los resultados de IRI de los Kilómetros 2 al 4 tienen un valor muy parecido, dicha singularidad de resultados también se observo en las mediciones realizadas en el mes de Julio, pudiendo deberse a agentes medio ambientales y/o externos que producen esta singularidad.
- Respecto de la comparación entre los datos obtenidos por el Equipo Merlín con el Equipo Bump Integrator se podrá observar en el Cuadro 5.2 que el Equipo Merlín obtiene un IRI de 3.84 que es mayor al del Bump Integrator que es de 3.64 en el tramo de calibración, pero hay que tener presente que el dato obtenido por el Equipo Merlín se realizo con una sola pasada y en una sola huella mientras que el Equipo Bump Integrator lo realizo con 2 idas y vueltas.
- Se ha realizado un bosquejo preliminar de una curva de tendencia de desgaste con los datos obtenidos y mediciones anteriores para poder proyectar posibles fechas de mejoras en los tratamientos de la vía, Fig. 5.2 es importante que esta curva sea realimentada periódicamente para tener una mayor base y exactitud.
- Se ha cumplido con todos los objetivos planteados al inicio del Presente informe respecto de la medición, procesamiento y los análisis que se han efectuado.

## RECOMENDACIONES

- Teniendo como premisa que el cuidado de las vías en nuestro país es importante por que es una forma de poder integrar pueblos y por lo mismo crear condiciones para un mayor desarrollo económico es que se hace imprescindible tener un plan de monitoreo de estas vías.
- La Universidad Nacional de Ingeniería debería fomentar este tipo de monitoreos en sus alumnos o directamente como entidad pública, aprovechando para lo mismo los equipos que tiene a disposición.
- Se recomienda para futuras mediciones crear un manual que estandarice el uso del equipo Bump Integrator de la Universidad Nacional de Ingeniería REBITU.
- El método evaluado según la información obtenida es recomendable para realizar mediciones rápidas y estimaciones genéricas de vías, teniendo a su vez que hacer mediciones posteriores para poder ajustar el equipo a la realidad de este tipo de vías y serlo mas certero.

## BIBLIOGRAFIA

ARRIAGA PATIÑO, MARIO C Y GARNICA ANGUAS, PAUL; Índice Internacional de Rugosidad en la Red Carretera de México, Instituto Mexicano del Transporte Secretaria de Comunicaciones y Transportes, México 1998.

MCGHEE, KEVIN; Confort and Safety of Traveled Surfaces Spring Technical Conference, Virginia USA, 2008.

MELIS, JUAN J.; El IRI y el Modelo de Coche Entero. Calculo por el Método de la Ecuación de Estado; Revista de Obras Publicas N° 3.324 Año 140, 1993.

ROMDAS; Providers of innovative technology for measuring and managing roads - Bump Integrator, 2003.

SAYERS, MICHAEL W, GILLESPIE, THOMAS D, PATERSON, WILLIAM ; Guidelines for Conducting and Calibrating Road Roughness Measurements; World Bank Technical Paper Number 46, 1986.

VENTURA ESPÍNAL, JOSE ANTONIO Y ALVARENGA, EDWIN RICARDO; Determinación del Índice de Regularidad Internacional (IRI); Viceministerio de Obras Publicas Unidad de Investigación y Desarrollo Vial; El Salvador, 2005.

WIDAYAT. A J ADHITYA AND T TOOL.; Roughness calibration studies different measuring systems; Institute of Road Engineering Agency for Reserch and Development Ministry of Public Works, Jakarta, 1990.

[www.proviasnac.gob.pe](http://www.proviasnac.gob.pe)

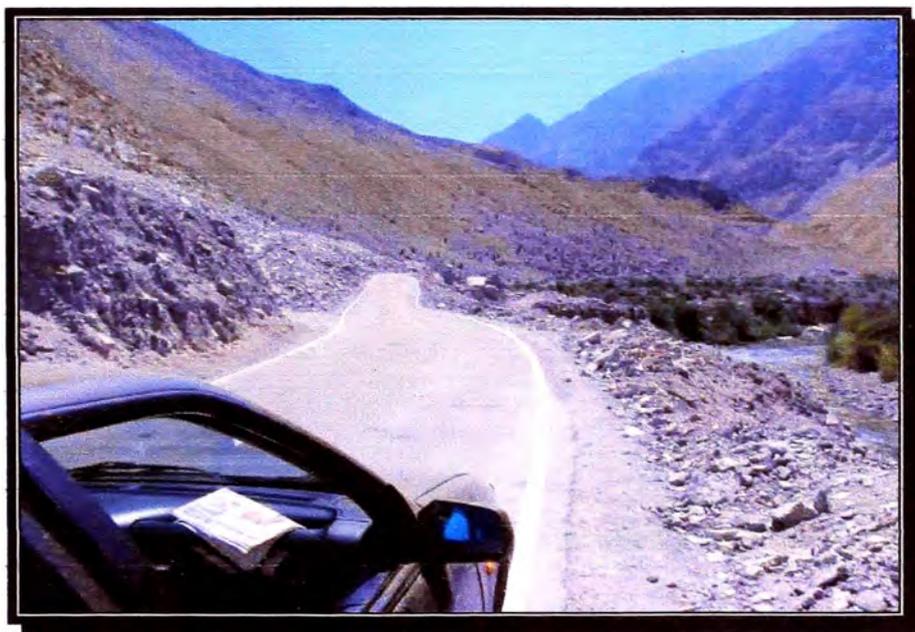
[www.mtc.gob.pe](http://www.mtc.gob.pe)

[www.camineros.com](http://www.camineros.com)

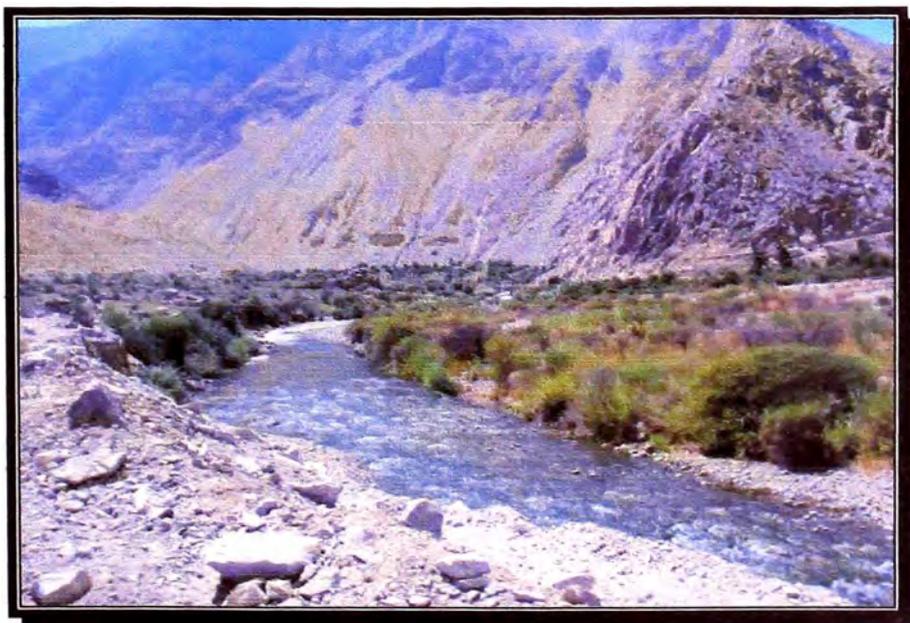
<http://www.iific.edu.pe>

## ANEXOS

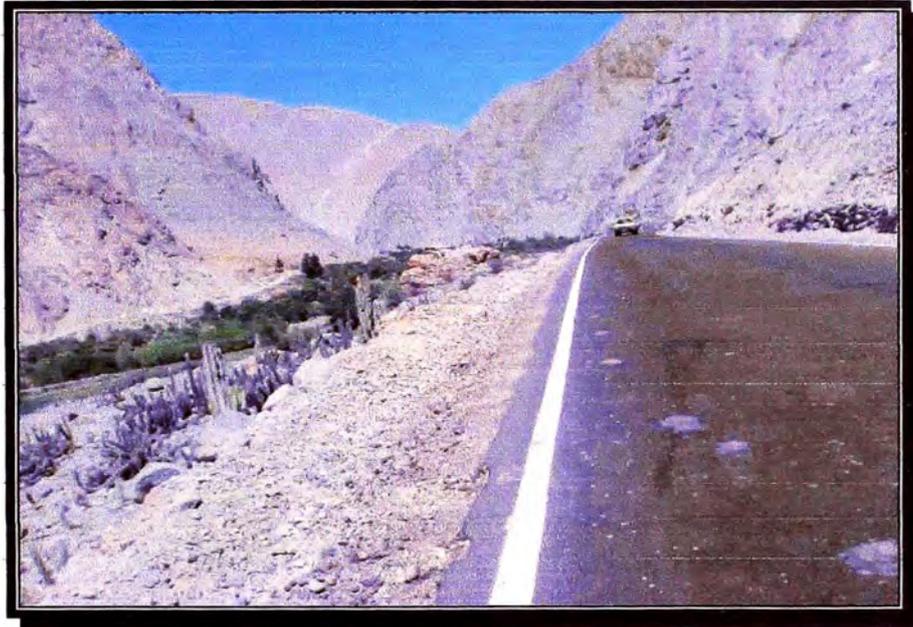
### ARCHIVO FOTOGRAFICO



Sinuosidad de la Vía en estudio



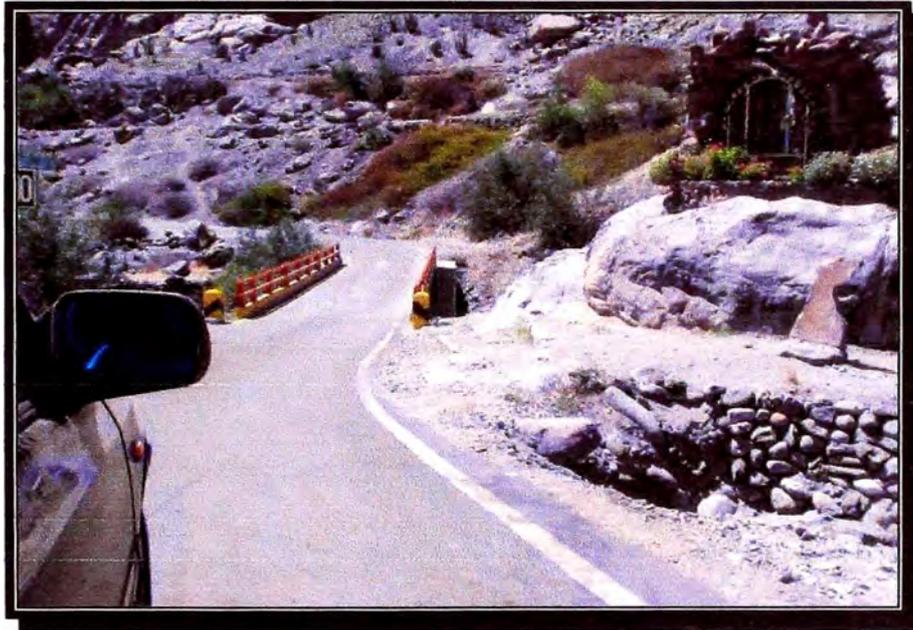
Vista del Rio Cañete



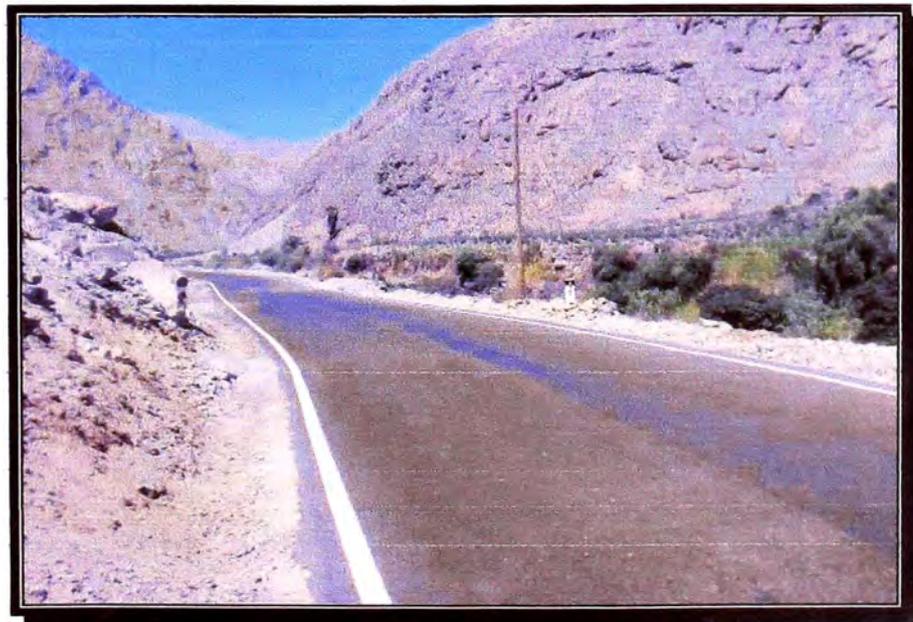
Quebrada de Cañete al fondo camioneta UNI realizando la medición



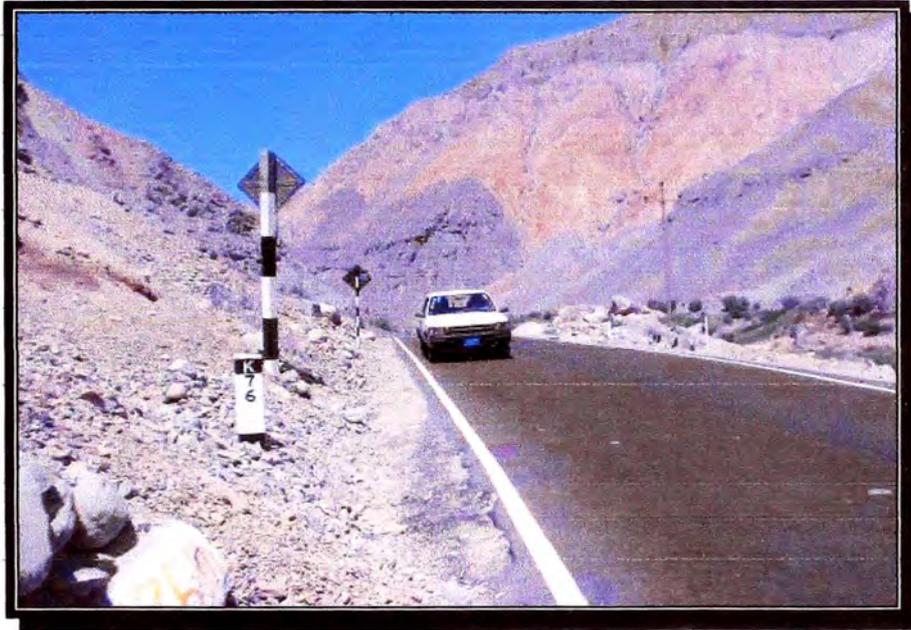
Presencia de Gibas en partes de las Vías



Presencia de Puentes en el Circuito a medir



Inicio de Tramo a medir



Medición a la altura del Km 76.00



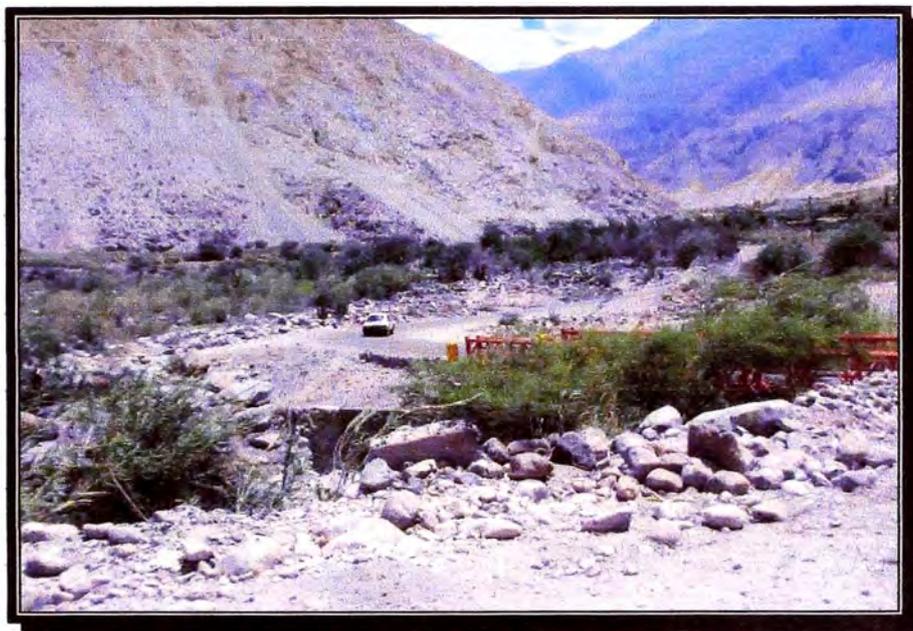
Vista de Puente de madera dentro del tramo



Vegetación al lado de la Vía



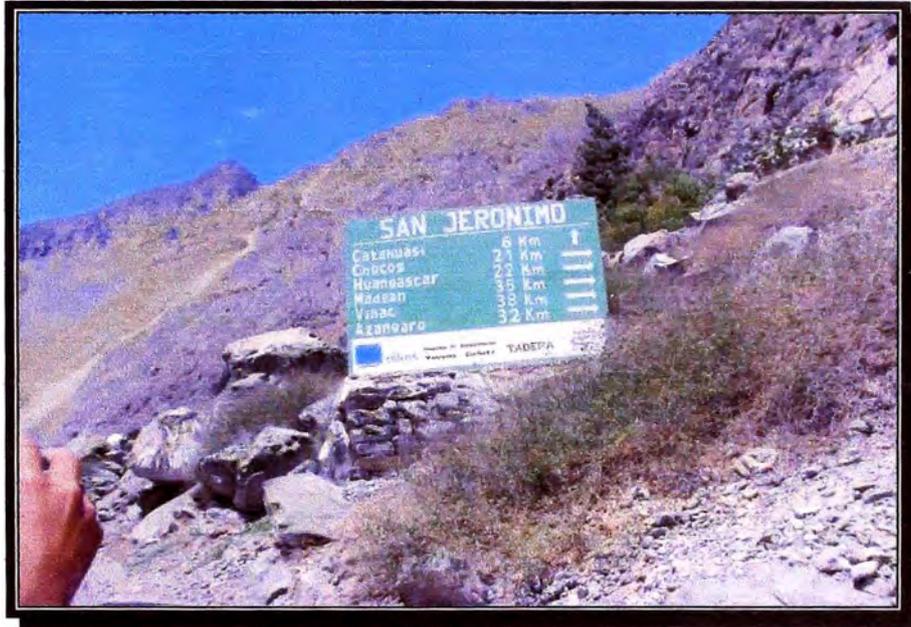
Singularidades en la Vía - Gibas



Singularidades en la Vía – Puente



Carretera Media Ladera



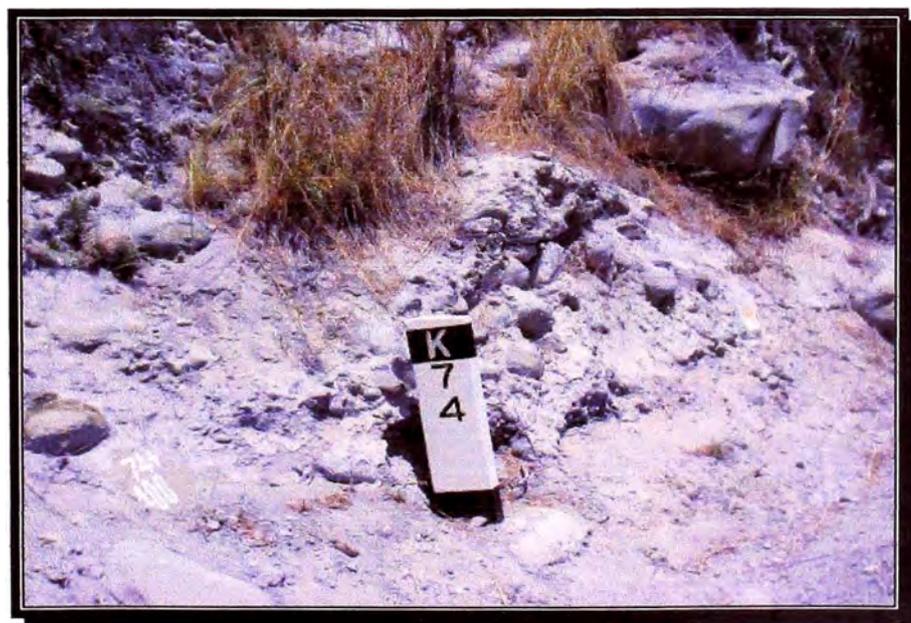
Señalización Informativa de las Poblaciones cercanas



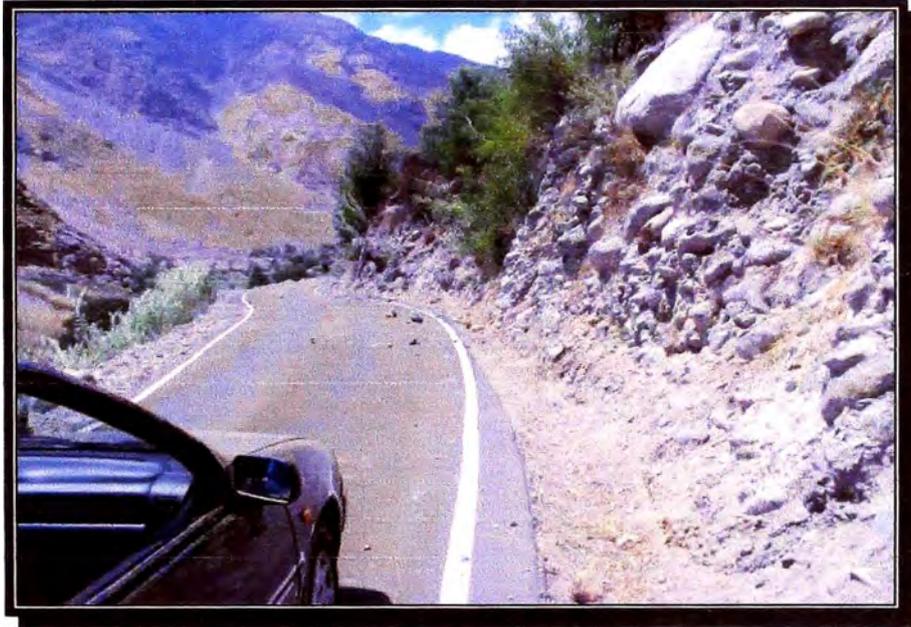
Señal de disminución de Vía



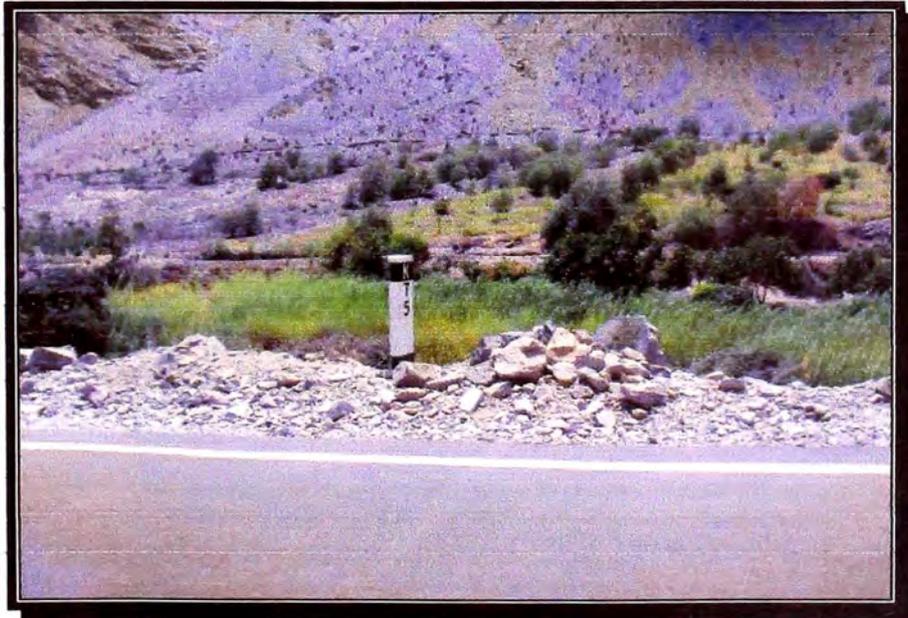
Señal indicando zona de derrumbes



Hito de inicio de Tramo



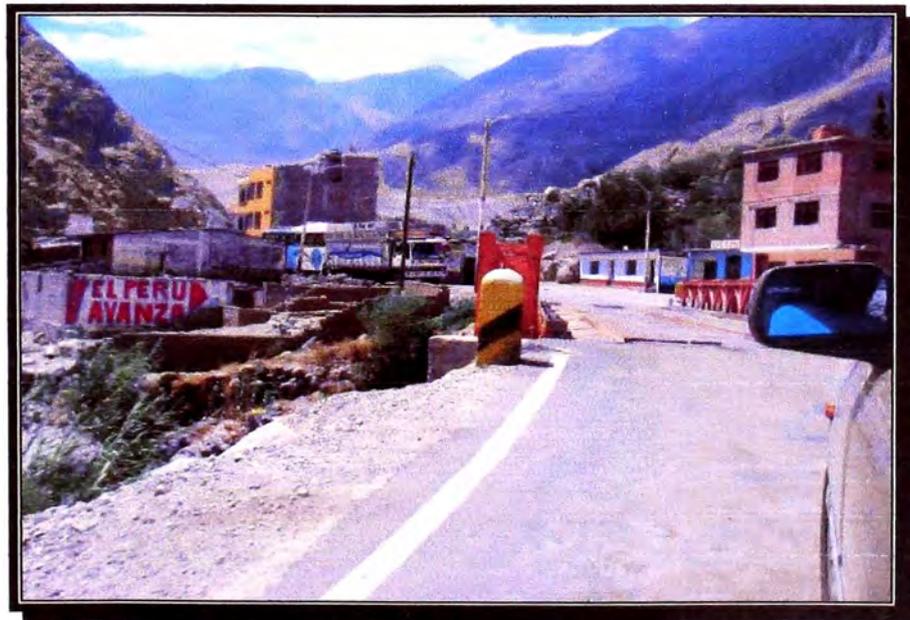
Desprendimiento de material de los cerros



Hitos indicando ubicación de los Sub Tramos a medir.



Señal preventiva que solicita baja de velocidad cerca a otra Giba



Llegada a la Zona de Catahuasi



Ingreso a la Población denominada Zúñiga