

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



**EVALUACION DE LA RUGOSIDAD DE LA CARRETERA  
CAÑETE – YAUYOS – CHUPACA  
CON EQUIPO BUMP INTEGRATOR  
TRAMO KM 59+000 - KM 64+000**

**INFORME DE SUFICIENCIA**

**Para optar el Título Profesional de:**

**INGENIERO CIVIL**

**JOSE EDUARDO DE LA CRUZ SALAZAR**

**Lima- Perú**

**2009**

---

**A Mamá, Maribel y Valeria**

---

## INDICE

<b>RESUMEN</b>	<b>03</b>
<b>LISTA DE CUADROS</b>	<b>05</b>
<b>LISTA DE FIGURAS</b>	<b>06</b>
<b>LISTA DE SÍMBOLOS Y DE SIGLAS</b>	<b>07</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>08</b>
<b>CAPITULO I: GENERALIDADES</b>	<b>09</b>
1.1. ANTECEDENTES	09
1.2. UBICACIÓN	13
1.3. CARACTERISTICAS DE LA CARRETERA	13
1.3.1. Geografía	15
1.3.2. Geología	16
1.3.3. Hidrografía	16
1.3.4. Clima	17
1.3.5. Estudio de Suelos	18
1.4. TRAMO EVALUADO KM.59+000 – 64+000.	20
<b>CAPITULO II: ESTADO DEL ARTE</b>	<b>21</b>
2.1. ANTECEDENTES DEL EQUIPO BUMP INTEGRATOR	21
2.2. ULTIMOS MODELOS	23
2.3. EQUIPO UTILIZADO PARA EL ESTUDIO	25
<b>CAPITULO III: MARCO TEORICO</b>	<b>28</b>
3.1. EVALUACION SUPERFICIAL	28
3.2. RUGOSIDAD	30
3.2.1. Equipos de Medición de la Evaluación Funcional del Pavimento	35
3.3. METODO DE LA EVALUACION DE LA RUGOSIDAD CON EQUIPO BUMP INTEGRATOR	44

<b>CAPITULO IV: APLICACIÓN TRAMO KM 59+000 – KM 64+000</b>	<b>48</b>
4.1. RECOPIACIÓN DE DATOS DE CAMPO	48
4.2. CALIBRACION DEL EQUIPO	49
4.3. PROCESAMIENTO DE DATOS	51
<b>CAPITULO V: ANALISIS DE RESULTADOS</b>	<b>52</b>
<b>CONCLUSIONES</b>	<b>55</b>
<b>RECOMENDACIONES</b>	<b>56</b>
<b>BIBLIOGRAFIA</b>	<b>57</b>
<b>ANEXOS</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. 59+000 - Km. 64+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: Generalidades;** Se realiza un resumen de los antecedentes de la Carretera Cañete – Yauyos – Chupaca, su ubicación, su evolución en el tiempo y sus características generales analizando con mayor detalle el tramo que se ha escogido para la evaluación.

**Capítulo II: Estado del Arte;** En este capítulo, se detalla información sobre el equipo Bump Integrator desde su creación, las modificaciones producidas al modelo original, su desarrollo y mejorando como equipo de medición de la rugosidad del Tipo Respuesta, hasta llegar al equipo utilizado en nuestras mediciones. El equipo Bump Integrator REBITU.

**Capítulo III: Marco Teorico;** En este capitulo se detallan los fundamentos y conceptos, que son el sustento de las mediciones para la evaluación de la rugosidad. Conceptos de evaluación superficial y de Rugosidad que fundamentan las acciones a seguir con el fin de obtener parámetros para la evaluación. Además se describirá la metodología usada para la obtención de dichos parámetros.

**Capítulo IV: Aplicación tramo Km. 59+000-Km. 64+000** En este capítulo, se desarrolla la aplicacion el método en el tramo seleccionado, para lo cual se detallan la recopilación de los datos de campo, la calibración del equipo y finalmente el procesamiento de los datos para la obtención del IRI.

**Capítulo V: Análisis de Resultados;** Finalmente luego de concluido el procesamiento de datos se realiza un análisis de los mismos para poder brindar las conclusiones y recomendaciones necesarias según los resultados obtenidos.

**LISTA DE CUADROS**

Cuadro N°1.01: Datos generales del contrato	11
Cuadro N°1.02: Localidades de la Región Yunga	13
Cuadro N°1.03: Localidades de la Región Quechua	14
Cuadro N°1.04: Localidades de la Región Suni o Jalca	14
Cuadro N°1.05: Localidades de la Región Puna	15
Cuadro N°1.06: Temperaturas y Precipitaciones	18
Cuadro N°1.07: Estado Inicial de la Via	19
Cuadro N°1.08: Estado Actual de la Via	19
Cuadro N°2.01: Especificaciones Tecnicas Bump Integrator RETUBI	25
Cuadro N°3.01: Valores de PSI Vs Transitabilidad	29
Cuadro N°3.02: Tipos de Equipos Existentes para la medicion de la regularidad superficial de los pavimentos	35
Cuadro N°3.03: Clasificacion de los Equipos Utilizados para la medicion de la regularidad funcional de pavimentos	41
Cuadro N°3.04: Clasificacion de los Equipos Utilizados para la medicion de la regularidad funcional de pavimentos	41
Cuadro N°3.05: Escala para la Rugosidad de Pavimentos	42
Cuadro N°3.06: Especificaciones Internacionales-Requerimientos IRI	43
Cuadro N°3.07: Especificaciones Agencias Publicas-Requerimientos IRI	43
Cuadro N°3.08: Valores de IRI para Pavimentos Asfálticos y de concreto hidráulico – norma Uruguay	47
Cuadro N°4.01: Datos Obtenidos de Medición Equipo Merlín	48

Cuadro N°4.02: Datos Obtenidos de Medicion Bump Integrator	48
Cuadro N°4.03: Datos Obtenidos de Medicion Bump Integrator -Ida	48
Cuadro N°4.04: Cálculos a Tabular	49
Cuadro N°4.05: Tramos Representativos BI y IRI	49
Cuadro N°4.06: Valores de B.I. Recolectados en los Sub Tramo	51
Cuadro N°4.07: Valores I.R.I. Obtenidos en cada Sub Tramo	51
Cuadro N°5.01: Resultados Obtenidos de la Evaluacion con Equipo Bump Integrator –RETUBI	52
Cuadro N°5.02: Valores de Rugosidad (IRI ) según tipo y estado de rodadura	52
Cuadro N°5.03: Relación de gibas encontradas en tramo de estudio	53
Cuadro N°5.04: Comportamiento de IRI Vs Tiempo	53

## LISTA DE FIGURAS

Figura N°1.01.Plano de Ubicación Carretera Cañete-Yauyos-Chupaca	11
Figura N°1.02.Plano de Recorrido de la Carretera Cañete-Yauyos-Chupaca	12
Figura N°1.03.Sección de la vía Carretera Cañete-Yauyos-Chupaca	20
Figura N°2.01. Equipo Bump Integrator	22
Figura N°2.02. Instalación de Equipo Bump Integrator	24
Figura N°2.03. Equipo Bump Integrator –Romdas	24
Figura N°2.04. Modelo de Conexión Rugosimetro Electrico	26
Figura N°2.05. Equipo Bump Integrator RETUBI	26
Figura N°2.06. Instalación de Equipo Bump Integrator RETUBI	27
Figura N°2.07. Instalación de Equipo Bump Integrator RETUBI	27
Figura N°3.01. Perfilograma de California	36
Figura N°3.02. Vista Lateral de Perfilografo de California	37
Figura N°3.03. Nivel y Estadia	38
Figura N°3.04. Equipo Dispstick y forma de operación	39
Figura N°3.05. Componentes de Equipo con Referencia Inercial	40



Figura N°3.06. Representación Grafica Modelo – Cuarto Coche

44

## 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

Conocer la condición actual de la capacidad de servicio de una vía, es uno de los principales requerimientos dentro de la elaboración de programas de conservación vial, es por esto que se debe contar con datos o parámetros que permitan determinar tal condición de la vía y poder estimar cuando es necesario, proceder a ejecutar un plan de mantenimiento y rehabilitación de la vía

Igualmente para estimar esta capacidad de servicio es necesario trabajar con equipos que brinden un alto rendimiento en la recolección de datos, además de una aceptable confiabilidad y bajo costo.

De este modo, el objetivo principal del presente estudio es evaluar la condición funcional del pavimento mediante la evaluación de la rugosidad empleando el equipo Bump Integrator en el sector escogido para el estudio, Km 59+000 al 64+000 de la Carretera Cañete – Yauyos – Chupaca

La elección en el uso del equipo Bump Integrator, se sustenta en la capacidad del mismo de adecuarse a los requerimientos mencionados mediante la obtención del Índice de Rugosidad Internacional (IRI), el cual permitirá evaluar en el tiempo el comportamiento funcional de la vía en estudio.

Otros objetivos importantes serán el establecer luego de la evaluación de resultados, las ventajas o desventajas del método usado y en el establecimiento de sectores adecuados para la realización del estudio

## **CAPITULO I: GENERALIDADES**

### **1.1 ANTECEDENTES**

La carretera de penetración y enlace entre Huancayo – Yauyos - Cañete, fue proyectada y ejecutada por tramos durante el gobierno del Sr. Augusto B. Leguía entre la década de 1920 a 1930 mediante la Ley decretada de la Conscripción Vial Territorial del Perú; sin embargo, debido a hechos lamentables ocurridos durante la construcción, y coincidiendo con la caída del gobierno de turno, todos los trabajos de la carretera quedaron paralizados hasta los años 1954 y 1957.

Por el lado de la costa, durante el gobierno del Dr. Manuel Prado Ugarteche, entre los años 1940 y 1944 en conjunto con las autoridades de Yauyos, avanzan los trabajos de la carretera desde Cañete, llegando a Yauyos en abril de 1944, siendo inaugurado por el propio Presidente en junio del mismo año. Después de estos acontecimientos, quedó postergado todo trabajo de la carretera entre Yauyos - Huancayo.

Posteriormente en los años 1956 y 1957, el esfuerzo de los pobladores de Alis y de las autoridades de los poblados vecinos, logra enlazar la carretera con dicho poblado, incidiendo directamente para que el Gobierno Central prosiga los trabajos hasta concluir la carretera pero a cuenta del Estado.

A nivel de estudio definitivo se cuenta con el que elaboró el consorcio AYESA – ALPHA CONSULT en el año 1998 mediante contrato con PROMCEPRI (Comisión de Promoción de Concesiones Privadas).

Como antecedentes a nivel de pre-inversión se cuenta con el perfil elaborado por el Ing. Floriano Palacios León en el año 2003. Este perfil fue aprobado por la Oficina General de Presupuesto y Planificación (OPP) del Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones (MTC) autorizando la elaboración del Estudio de Factibilidad del proyecto.

Como parte de la política del estado de mantener la Red Vial del Perú en buenas condiciones de transitabilidad, el MTC mediante Resolución Ministerial N° 223-2007-MTC-02, modificada por Resolución Ministerial N° 408-2007-MTC/02, crea

el Programa “Proyecto Perú”, definiéndose como un programa de infraestructura vial diseñado para mejorar las vías de integración de corredores económicos, conformando ejes de desarrollo sostenido con el fin de elevar el nivel de competitividad de las zonas rurales, en la Red Vial Nacional, Departamental y Vecinal.

El Programa “Proyecto Perú” aspira a establecer un sistema de contratación de las actividades de conservación de la infraestructura vial, mediante contratos en los que las prestaciones se controlen por niveles de servicio y por plazos iguales o superiores a tres (03) años, que implican el concepto de “transferencia de riesgo” al Contratista - Conservador. Bajo este sistema se desarrolla una cultura preventiva, con la finalidad de evitar el deterioro prematuro de las vías mediante intervenciones rutinarias y periódicas de manera oportuna. Esto significa en la práctica, actuar permanentemente para mantener la carretera en óptimas condiciones de transitabilidad.

Es así que el Ministerio de Transportes y Comunicaciones convoca a Concurso Público CP N° 0034-2007-MTC/20 para el Servicio de Conservación Vial de la Carretera Cañete - Lunahuaná – Pacarán - Chupaca y Rehabilitación de Tramo Zuñiga - Dv. Yauyos – Roncha; y luego, con fecha 27 de diciembre de 2007 se firma el contrato entre el Ministerio de Transportes y Comunicaciones y el Consorcio Gestión de Carreteras (ICCGSA, CORPORACIÓN MAYO S.A.C., Empresa de Mantenimiento Vial La Marginal S.R.L.) para la prestación del Servicios de Conservación Vial por Niveles de Servicio.

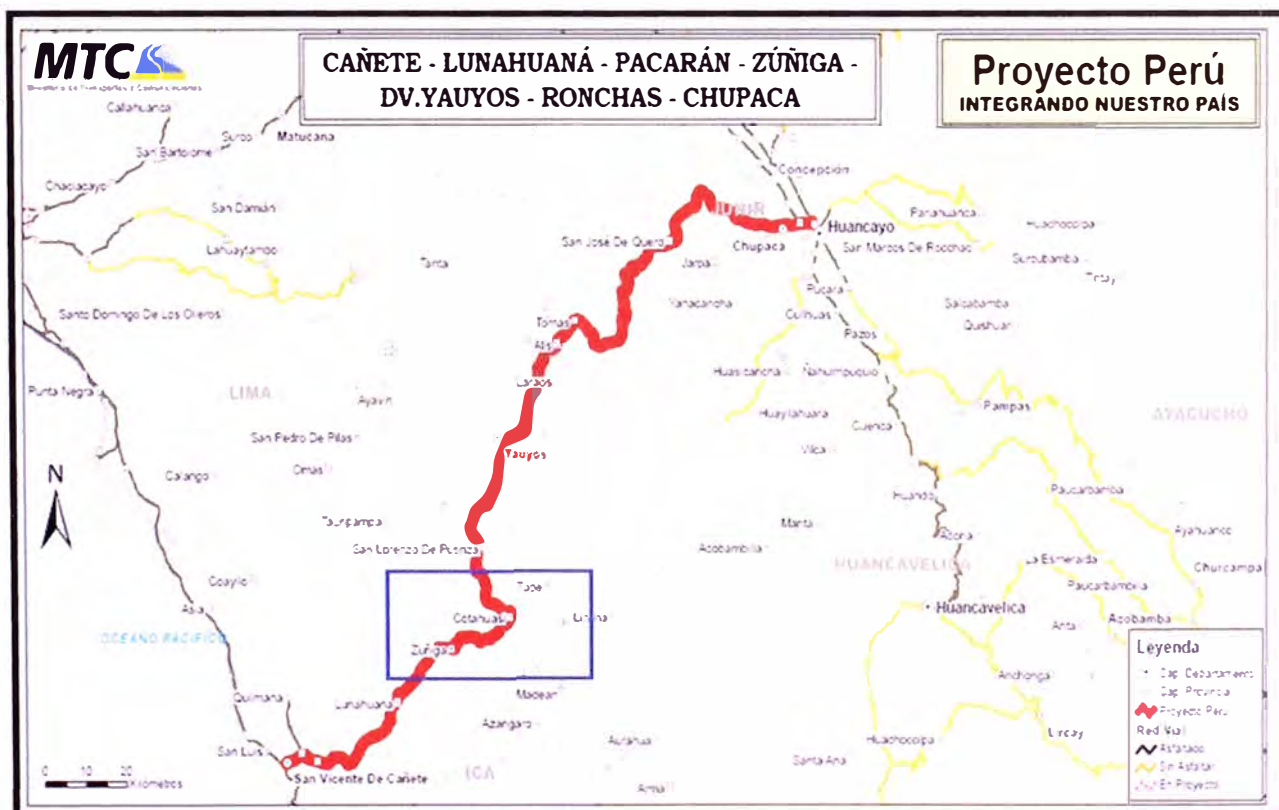
El Cuadro N° 1.01 presenta los datos generales del contrato firmado entre el MTC y el Contratista – Conservador.

**Cuadro N° 1.01: Datos Generales del Contrato**

Carretera	Cañete – Lunahuaná – Pacarán – Chupaca
Longitud Total del Tramo	281.73 Km.
Contrato de Servicios	N° 288-2007-MTC/20
Contratista-Conservador	Consortio Gestión de Carreteras (ICCGSA, Corporación Mayo S.A.C., Empresa de Mantenimiento Vial La Marginal S.R.L.
Valor Referencial	S/. 131'895,292.01
Monto del Contrato	S/. 131'589,139.71
Periodo del Contrato	05 años
Inicio del Contrato	01 de Febrero, 2008

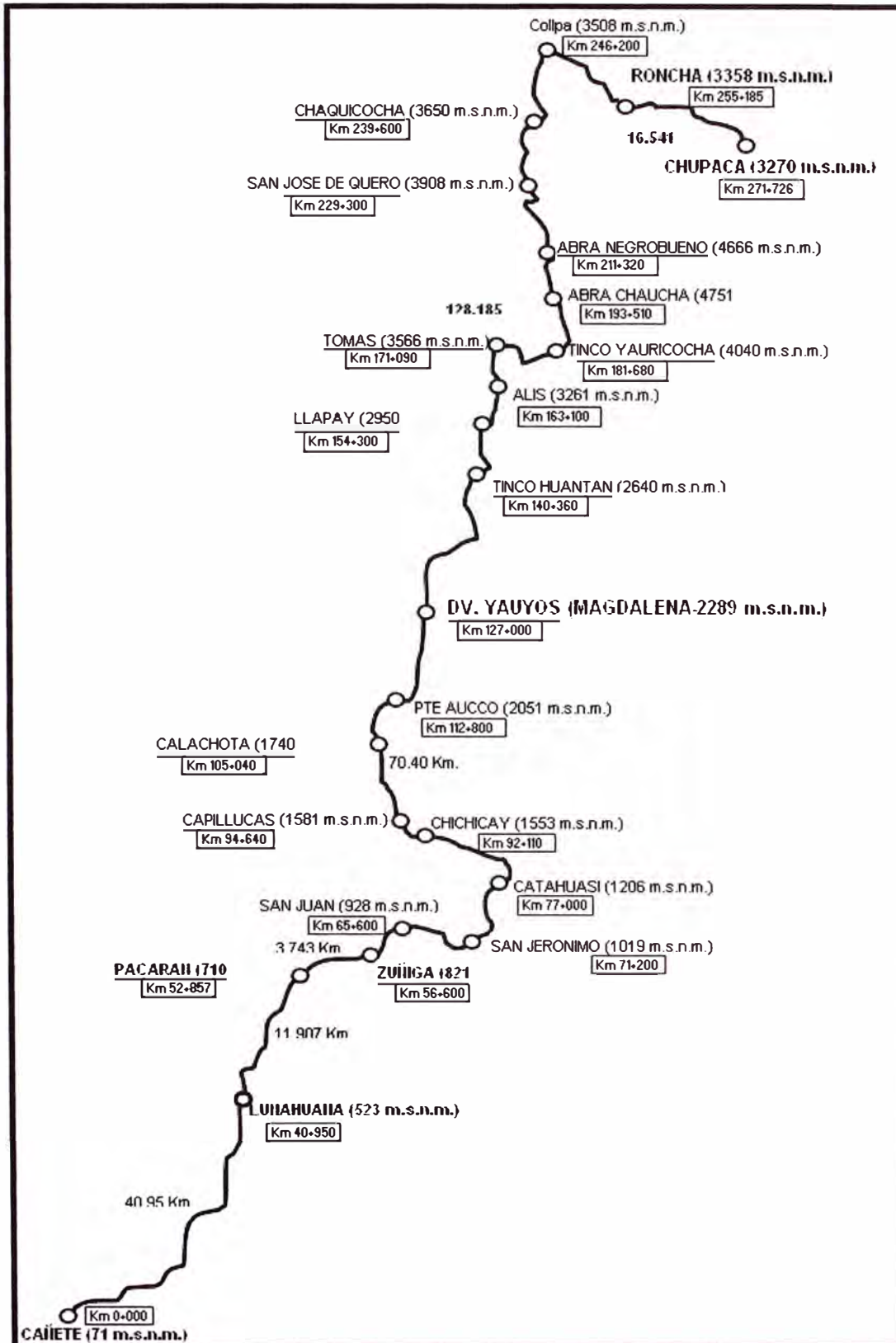
Fuente: Elaboración propia

**Figura N° 1.01: Plano de Ubicación Carretera Cañete –Yauyos-Chupaca**



Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones

Figura N° 1.02: Plano de Recorrido de la Carretera Cañete –Yauyos-Chupaca



Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones



## 1.2 UBICACIÓN

El tramo Lunahuaná – Dv. Yauyos - Chupaca, pertenece a la Red Vial Nacional, con código de ruta R22 de 243.76 Km. de longitud, con origen en Lunahuaná (Km. 42+500) y destino en Chupaca (Km. 285+900), siendo el área de evaluación el tramo correspondiente entre las progresivas (Km. 59+000 al Km. 64+000).

La carretera limita por el Norte con los cuadrángulos de Huarocharí y La Oroya, por el Este con los cuadrángulos de Andamarca y Pampas, por el Sur con los cuadrángulos de Tantará y Chincha y por el Oeste con el cuadrángulo de Mala.

Políticamente el tramo une las provincias de Cañete, Yauyos (Departamento de Lima) y Chupaca, Concepción (Departamento de Junín).

La altitud de este tramo varía entre los 450 m.s.n.m. y 4,600 m.s.n.m. y su longitud total es de 243.76 Km.

## 1.3 CARACTERÍSTICAS DE LA CARRETERA

El valle de Cañete es estrecho y de forma triangular, siendo más amplia en el límite con la región Chala o Costa y el vértice por el lugar donde ingresa generalmente uno de los afluentes principales del río; en este sector se encuentran terrazas que son empleadas para el cultivo. Una especie de quebrada se forma a manera de una estrecha garganta cuanto más se aproxima 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.; estas características corresponden a la región **Yunga** (500 m.s.n.m. - 2300 m.s.n.m.). Las localidades que se encuentran con esta configuración se presentan en el Cuadro N° 1.02.

**Cuadro N° 1.02: Localidades de la Region Yunga**

Localidad	Altitud (m.s.n.m.)	Progresiva (Km.)
Zúñiga	821	56+600
Catahuasi	1206	77+000
Capillucas	1581	94+640
Calachota	1740	105+040
Dv. Yauyos o Magdalena	2289	127+000

**Fuente: Elaboración propia**

La vía continúa por la región **Quechua** (2300 m.s.n.m. – 3500 m.s.n.m.), donde por lo general luego de una estrecha garganta o pongo, se abre una nueva quebrada cuyos fondos planos son relativamente estrechos y son inmediatamente continuados por las faldas de los cerros de suave declive, interrumpidas por lomas. Entre loma y loma quedan pequeñas hondonadas, en cuyos fondos corren pequeños arroyos o nacen los puquiales. Sus aguas provienen de las filtraciones de las lluvias o de remotas lagunas de las regiones superiores. Las localidades ubicadas en esta región se presentan en el Cuadro N° 1.03.

**Cuadro N° 1.03: Localidades de la Region Quechua**

Localidad	Altitud (m.s.n.m.)	Progresiva (Km.)
Tinco Huantan	2640	140+360
Llapay	2950	154+300
Alis	3261	163+100
Ronchas (al otro lado de la cordillera)	3358	255+185

**Fuente: Elaboración propia**

Se continúa ascendiendo llegando a la región **Suni o Jalca** (3500 m.s.n.m. a 4000 m.s.n.m.), donde el escenario cambia a bruscas ascensiones de acantilados y cerros. En este sector normalmente no se encuentran valles, mas por el contrario se tienen quebradas estrechas que abren cañones muy profundos, erosionando las rocas vivas, de modo que al recorrer esta región por el fondo de las quebradas, a orillas del río, el horizonte perceptible se cierra en circuitos pequeños que dan la sensación de un lugar amurallado. Las localidades que corresponden a esta región se presentan en el Cuadro N° 1.04.

**Cuadro N° 1.04: Localidades de la Region Suni o Jalca**

Localidad	Altitud (m.s.n.m.)	Progresiva (Km.)
Tomas	3566	171+090
San José de Quero (al otro lado de la cordillera)	3908	229+300
Chaquicocha (al otro lado de la cordillera)	3650	239+600
Collpa (al otro lado de la cordillera)	3508	246+200

**Fuente: Elaboración propia**



La carretera atraviesa también la región **Puna**, que comprende alturas entre los 4000 m.s.n.m. y 4800 m.s.n.m. Esta región aparece a ambos lados del declive andino, separando cumbres nevadas entre sí, reuniendo las cumbres, de menos de 4800 metros para formar nudos y mesetas, y agrietando las cordilleras para dar paso a las abras. Se considera a la Puna como una gran llanura elevada o altiplano; sin embargo esta región ofrece muy variados relieves en relación con su ubicación. Las localidades que corresponden a esta región se presentan en el Cuadro N° 1.05.

**Cuadro N° 1.05: Localidades de la Region Puna**

Localidad	Altitud (m.s.n.m.)	Progresiva (Km.)
Tinco Yauricocha	4040	181+680
Abra Chaucha	4751	193+510
Abra Negro Bueno	4666	211+320

**Fuente: Elaboración propia**

### 1.3.1 GEOGRAFÍA

Políticamente, la Cuenca del río Cañete forma parte de las provincias de Cañete y Yauyos, pertenecientes ambas al departamento de Lima.

La Cuenca del río Cañete tiene una extensión aproximada de 6192 Km<sup>2</sup>, de los cuales el 78.4% (4856 km<sup>2</sup>) corresponde a la cuenca húmeda.

El río Cañete nace en la laguna Ticllacochoa, ubicada al pie de las cordilleras de Ticlla y Pichahuarco, en la divisoria de cuencas con el río Mala. Sus recursos hídricos provienen de los aportes de la lluvia, así como los derivados de lagunas y deshielo de los nevados, ubicados estos principalmente en el extremo norte de la cuenca y sobre los 4500 m.s.n.m.

La longitud del río Cañete, entre su nacimiento y desembocadura, es de aproximadamente 220 Km., presentando una pendiente promedio de 2%; sin embargo, presenta sectores en donde la pendiente es mucho más pronunciada, especialmente en la parte alta, llegando hasta 8% en el tramo comprendido entre la localidad de Huancaya y la desembocadura del río Alis.

Las zonas generalmente afectadas por las lluvias están localizadas en las alturas de Matucana, Huarochirí, Oyón, Lunahuaná, etc. En general todas las cuencas hidrográficas de Lima aumentan su caudal, poniendo en peligro a las poblaciones y originan desabastecimiento, por el bloqueo de carreteras.

La cuenca del río Cañete acusa igualmente los embates de las persistentes lluvias, así como la del río Lurín.

### **1.3.2 GEOLOGÍA**

La ruta del tramo de estudio atraviesa las siguientes formaciones geológicas como son: Cañete, Cerro Negro, Torán, Cocachacra y Pariatambo.

Los procesos geodinámicos existentes en el área de estudio son esporádicos, no evidenciando procesos geodinámicos de mayor envergadura, y no existen puntos críticos que requieran tratamiento especial; sin embargo existe la posibilidad que debido a cortes de talud superior se generen procesos geodinámicos tales como: derrumbes, desprendimientos y desplomes.

Con relación a los problemas geotécnicos son mínimos, se aprecia pequeños hundimientos de plataforma por encharcamientos, debido a las aguas superficiales, asentamientos y ahuellamientos aislados.

### **1.3.3 HIDROLOGÍA**

El patrón hidrográfico que constituye la zona de estudio se halla constituido por dos cuencas principales: la Cuenca del río Cunas y la Cuenca del río Cañete.

La cuenca del río Cunas, comprende aproximadamente los últimos 52 Km. del trazo, siendo su divisoria de aguas respecto a la cuenca del río Cañete, representado por los caseríos tales como: Laguna Cunacocho, Millpo, Pishapampa y Gentilmacha; toda esta red de drenaje se ha entallado sobre rocas calizas; este río Cunas, cambia de nombre al pasar por Chupaca, cambiando su nombre por río Chupaca.

En la parte alta de la cuenca, no existen explotaciones mineras, por lo cual, la contaminación por residuos mineros es casi nula y las aguas son claras y libres de minerales pesados.

En lo que respecta a la cuenca del río Cañete, es la más larga, comprende aproximadamente 155 Km.; se halla integrada por los tributarios principales, tales como: el río Allis, río Yauyos, río Huangascar y numerosas quebradas. Este río, se halla contaminado tanto por el aporte directo de aguas servidas de la mayoría de los poblados aledaños a la red hidrográfica del río Cañete y por vertimiento de residuos mineros de algunas compañías mineras que se hallan en la cuenca alta del río.

Las precipitaciones pluviométricas entre Lunahuaná y Yauyos se encuentran entre 100 a 150 mm anuales.

#### **1.3.4 CLIMA**

A continuación se señalan las temperaturas típicas que se dan en estas regiones:

**Yunga Marítima:** El tramo en estudio pertenece a esta región, la cuál se caracteriza por presentar sol dominante durante casi todo el año con noches frescas a causa de los vientos que bajan de las regiones más altas.

**Quechua:** El clima es templado con notable diferencia entre el día y la noche, el sol y la sombra. La humedad atmosférica es poco sensible, aún cuando el suelo es normalmente húmedo, como consecuencia de las lluvias que caen con regularidad en el verano (diciembre a marzo).

**Suni o Jalca:** El clima es frío debido a la elevación ya los vientos locales. El aire es transparente y las nubes se presentan en grandes cúmulos aborregados, simulando nítidas y caprichosas esculturas, muy blancas y brillantes.

**Puna:** La temperatura media anual es superior a 0°C e inferior a 7°C. La máxima entre setiembre y abril, es superior a 15°C llegando hasta 22°C. Las mínimas

absolutas, entre mayo y agosto oscilan entre  $-9^{\circ}\text{C}$  y  $-25^{\circ}\text{C}$ . La precipitación fluctúa entre 200 mm y 1000 mm al año.

En el Cuadro N° 1.06 se presentan las temperaturas y las precipitaciones promedio anuales de las regiones por donde pasa la carretera en estudio.

**Cuadro N° 1.06: Temperaturas y Precipitaciones de las Regiones Naturales de la vía en Estudio**

Región Natural	Rango de Temperaturas (°C)	Rango de Temperaturas Máx. (°C)	Rango de Temperaturas Mín. (°C)	Observaciones
Yunga Marítima	20 a 27	-	-	Precipitación promedio de 100 y 150 mm por año.
Quechua	11 a 16	22 a 29	7 a -4	Precipitaciones durante los meses de diciembre a marzo.
Suni o Jalca	7 a 10	> 20	-1 a -16	Precipitación promedio de 800 mm por año.
Puna	0 a 7	15 a 22	-9 a -25	Precipitación promedio de 200 - 1000 mm por año

Fuente: Elaboración propia

### 1.3.5 ESTUDIO DE SUELOS

En el tramo de estudio se tiene una capa superior de 30 cm de espesor como mínimo, que corresponde a antiguos trabajos de mantenimiento del afirmado, se trata de una arenas y gravas limosas que clasifica en el Sistema SUCS como SC-SM y GC-GM, mientras que en el sistema AASHTO como A-1-b(0) y A-1-a(0); la forma de los agregados gruesos es sub-angular, su matriz de color marrón claro es de escasa plasticidad; tiene bolonería comprendido entre 3% y 10% con tamaño máximo de 7". Bajo él se encuentra un material areno-limoso, cuya clasificación SUCS es SC y AASHTO es A-2-4(0), siendo los agregados gruesos también de forma sub-angular; este estrato también contiene bolonerías entre 2% y 8% cuyo tamaño máximo es de 6".

En este sector se tiene áreas de cultivo a ambos lados de la vía, encontrándose en su gran mayoría sobre la plataforma vial.

Antes del inicio de las actividades del Contratista Conservador, la vía materia de estudio se encontraba a nivel de afirmado en mal estado de conservación.

En el Cuadro N° 1.07 se presentan las condiciones de la vía antes de la intervención del Contratista - Conservador.

**Cuadro N° 1.07: Estado Inicial de la Via**

Tramo	Vía	Tipo de Superficie de rodadura (Antes )	Longitud (Km.)
Cañete-Lunahuana	Asfaltada	Carpeta Asfáltica	40.95
Lunahuana-Pacarán	Asfaltada	Tratamiento superficial	11.907
Pacarán-Zuñiga	Afirmada	Afirmado	3.743
Zuñiga-Dv. Yauyos	Afirmada	Afirmado	70.4
Dv. Yauyos-Roncha	Afirmada	Afirmado	128.185
Roncha-Chupaca	Afirmada	Afirmado	16.541
<b>Total</b>			<b>271.726</b>

**Fuente: Elaboración propia**

A la fecha, en parte de ella se vienen efectuando actividades de conservación rutinaria cumpliendo su compromiso contractual, mejorándose por tanto la serviciabilidad, salvo por el sector comprendido entre Zúñiga (Km. 56+600) y Capillucas (Km. 94+640), donde se ha apreciado un acelerado deterioro de esta capa, por el intenso tráfico ocasionado por las labores de construcción del proyecto hidroeléctrico El Platanal.

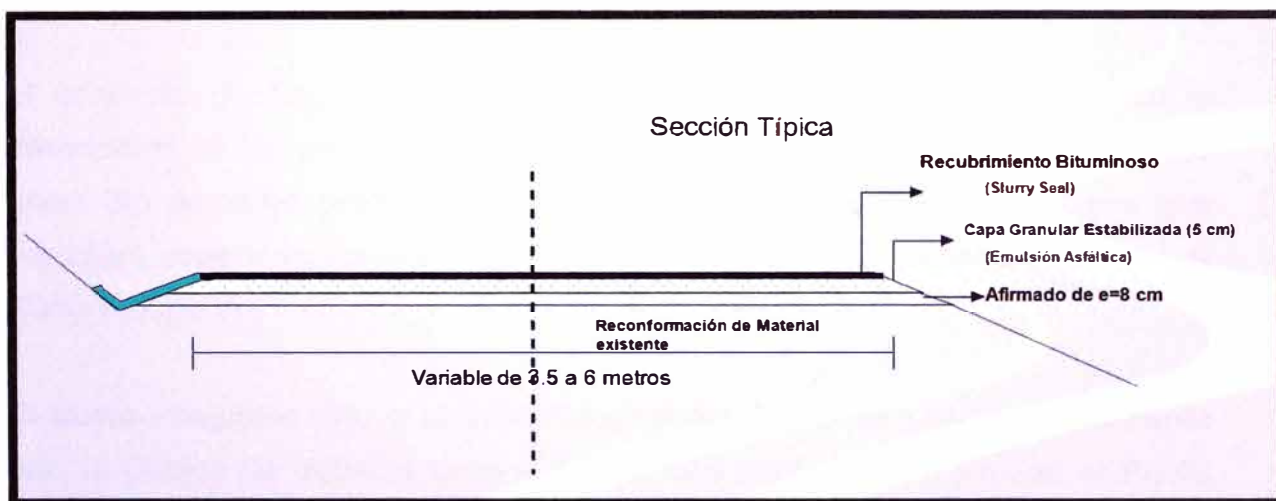
En el Cuadro N° 1.08 se presentan las condiciones de la vía después de la intervención del Contratista - Conservador.

**Cuadro N° 1.08: Estado Actual de la Via**

Tramo	Vía	Tipo de Superficie de rodadura (Ahora)	Longitud (Km.)
Cañete - Lunahuaná	Asfaltada	Carpeta Asfáltica	40.950
Lunahuaná-Pacarán	Asfaltada	Tratamiento superficial	11.907
Pacarán - Catahuasi	Afirmada	Slurry Seal	3.743
Catahuasi - Dv. Yauyos	Afirmada	Monocapa	70.400
Dv. Yauyos - Tinco Alis - Roncha	Afirmada	Monocapa (33 Km.) - Afirmado (95.185 Km.)	128.185
Roncha-Chupaca	Afirmada	Afirmado	16.541
<b>Total</b>			<b>271.726</b>

**Fuente: Elaboración propia**

**Figura N° 1.03: Sección de la Via Carretera Cañete-Yauyos-Chupaca**



Fuente: Elaboración propia

#### 1.4 TRAMO EVALUADO KM 59+000 – KM 64+000

- Carretera a media ladera paralela al río Cañete.
- Anchos de vías variables (3.2 – 6.60 m.)
- Tratamiento Superficial – 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.
- Atraviesa centros poblados (Zúñiga – San Juan).
- Existencia de 8 Gibas a lo largo del tramo



## **CAPITULO II: ESTADO DE ARTE**

### **2.1 ANTECEDENTES DEL EQUIPO BUMP INTEGRATOR**

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. Sin embargo desde antes de su propia definición existían equipos que permitían evaluar la condición de un pavimento; Uno de estos equipos es el Bump integrator

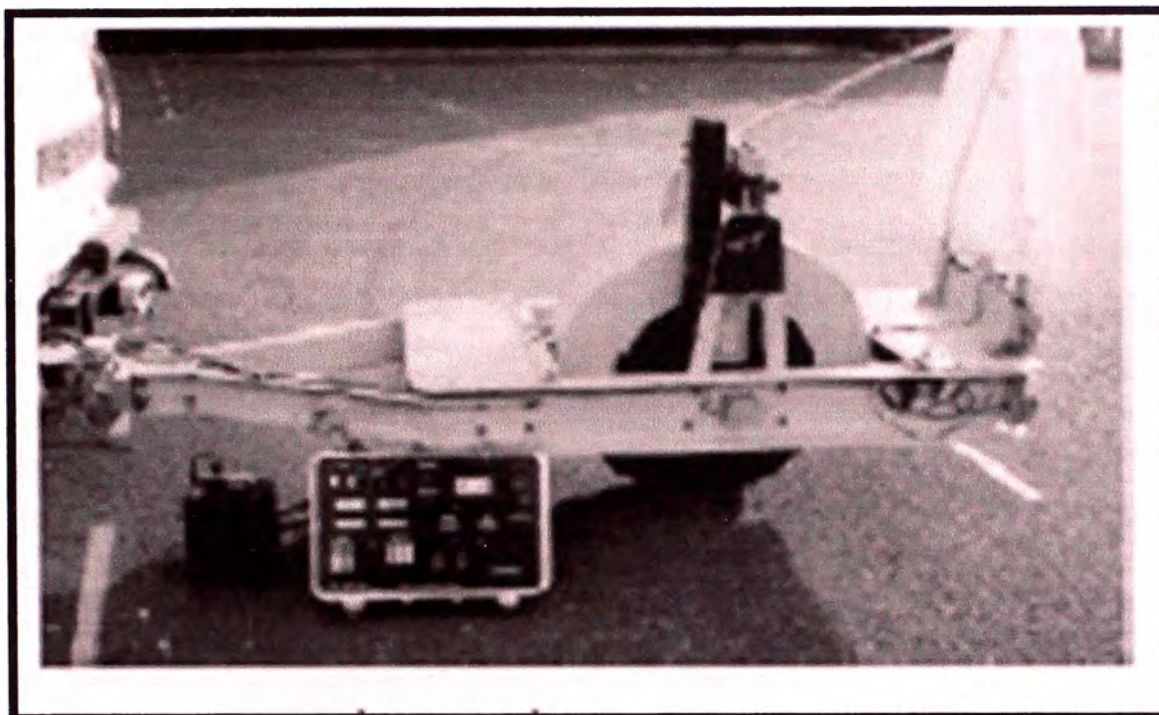
El Bump Integrator (BI), o el BPR Roughmeter, fue desarrollado originalmente por la Oficina de Estados Unidos de caminos públicos. (US Bureau of Public Roads) alrededor de la década de 1950`s

El Bump Integrator por la forma de recolección de datos, es denominado también como equipo de tipo Respuesta (Response Type Road Roughness Meters, RTRRM), y son estos equipos RTRRM los que miden los movimientos verticales del eje trasero de un automóvil o el eje de un remolque relativo al marco del vehículo. Los medidores se instalan en los vehículos con un traductor de desplazamiento localizado entre la mitad del eje y el cuerpo del automóvil o remolque. El transductor detecta pequeños incrementos del movimiento relativos entre el eje y el cuerpo del vehículo.

#### **EQUIPO ORIGINAL**

El Bump Integrator original consistía en un acoplamiento con una sola rueda y la suspensión solida el cual se conectaba a un chasis rectangular de un eje de rueda que contenía un neumático, donde con datos de la carga, tamaño del neumático y la estandarización de la presión del neumático se obtienen datos de las variaciones sobre la via. El Bump integrator tenía que ser remolcado por un vehículo similar

**Figura N° 2.01: Equipo Bump Integrator**



Fuente: Manual for maintenance of Cement Concrete Pavements  
National Highways Authority of India – Julio 2008

Esta clase de instrumentos justifican su uso en la captura de la reacción dinámica de un sistema mecánico ( un vehículo) moviéndose a lo largo de la trayectoria de la rueda al perfil del camino. La respuesta acumulativa (típicamente la suma de los movimientos ascendentes y descendentes del sistema con respecto al chasis) relaciona la rugosidad característica de un determinado perfil.

El Bump integrador fue diseñado originalmente como simulador de la teoría del cuarto-coche

El sistema esta constituido por: un vehículo con eje posterior transversal sólido instalado con el equipo Bump Integrator; así como un contador que registra las cuentas en unidades de medida.

Dada la importancia del tema en materia de conversación y mantenimiento vial el Banco Mundial patrocinó varios programas de investigación en la década de los 70 para conocer los problemas en los países en vías de desarrollo. Lo que



conllevo al desarrollo de equipos mas avanzados. Es asi que; TRRL (UK The British Trasnsport And Road Research Laboraty) desarrollo una serie de modificaciones para mejorar su funcionamiento y para simplificar mantenimiento (JORDANIA, P.G. y J.C. YOUNG- Año 1980).

El Bump Integrator, desarrollado por el (TRL) esta funcionando en el mundo entero proporcionando medios eficaces de supervisar aspereza del camino sobre grandes distancias.

En 1982 durante el evento del Experimento Internacional de Rugosidad de vías (IRRE) se define por primera vez al IRI como una escala de medida de la rugosidad de vías en un sistema "ideal" del tipo respuesta (RTRRMS).

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.

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 Integrador a través del Ministerio de Transportes Comunicaciones con la gestión del ingeniero Pablo del Águila.

## **2.2 ULTIMOS MODELOS**

Existen ya en el mercado los equipos Bump Integrator con el acoplamiento de un sensor del laser para la vibración y se utiliza con un radio de acción de trabajo de +/- 100 milímetros. Es un requisito que el vehículo dispensador de aceite usado no despide más que +/- 100m m de su altura normal del paseo.

Los sensores láseres pueden ahora proporcionar una medida mucho más exacta de la rugosidad, por lo tanto no necesita ser remolcada a una velocidad constante para producir valores de BI.

Los sistemas que utilizan equipos con sensor laser de inercia estabilizada dan precisión superior, con el objetivo de explorar la superficie de la carretera.

Estos modernos sistemas se puede montar en el vehículo, directamente al tope del mismo o montar convenientemente en un soporte que remolque el vehículo y de esta forma ahorrar costos que permite que el sistema funcione entre 20 km/hr y 120 km/hr en comparación a una velocidad fija de 30 km/hr para el acoplado original del BI.

**Figura N° 2.02: Instalacion de Equipo Bump Integrator**



Fuente: Romdas Bump Integrator Specification Sheet -Octubre 2004

**Figura N° 2.03: Equipo Bump Integrator -Romdas**



Fuente: Romdas Bump Integrator Specification Sheet -Octubre 2004

## 2.3 EQUIPO UTILIZADO PARA EL ESTUDIO:

El Rugosímetro Electrónico Bump-Integrator Tipo UNI (REBITU), es un equipo diseñado por la Universidad Nacional de Ingeniería y se usa también para medir la rugosidad de pavimentos y está conformado por un adquisidor de datos y un sensor de desplazamiento.

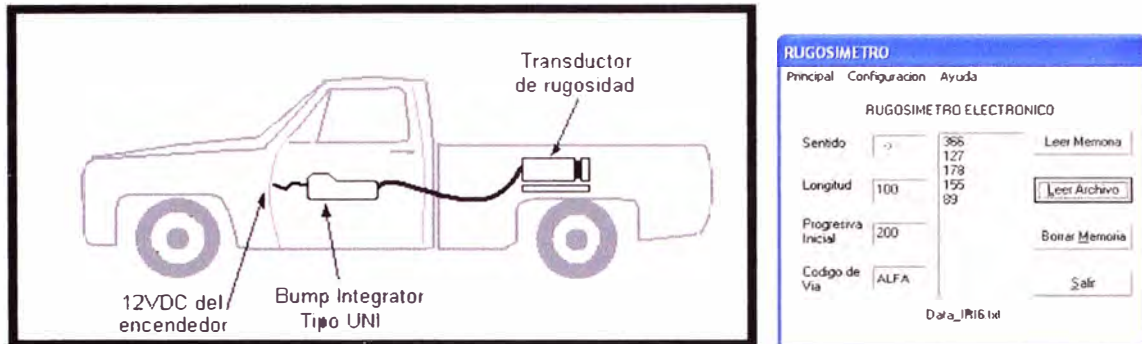
El REBITU va instalado en el eje posterior transversal de un vehículo. El desplazamiento del vehículo sobre la carretera produce desplazamientos en el eje posterior del vehículo debido a la irregularidad del asfalto, el equipo registra y acumula estos desplazamientos verticales. La velocidad del vehículo es de 40 Km/h y la toma de datos se realiza en tramos que pueden ser desde los 100 m hasta los 900 m.

**Cuadro N° 2.01: Especificaciones Técnicas Bump Integrator -RETUBI**

<u>ESPECIFICACIONES TECNICAS DEL ADQUISIDOR DE DATOS</u>	
Protocolo de comunicación:	Serial
Indicadores luminosos:	Alimentación. Cargador de batería
Dimensiones:	12.5*15.9*7 cm
Peso:	824 gr.
Alimentación:	12 VDC
Numero de sensores:	1 Sensores
Teclado 4*4	
Display LCD 2*24	
<u>ESPECIFICACIONES TECNICAS – SENSOR DE DISTANCIA</u>	
Tipo de sensor:	Mecánico - Encoder
Precisión:	0.9 mm
Rango de medida:	20 cm
Velocidad Máxima de rotación:	300 RPM
Alimentación:	5 VDC
Salida:	Tren de pulsos onda cuadrada
Dimensiones	19.5*19.7*9.5 cm
Peso	2014 gr.
Rango de temperatura:	-40 a +85 °C

Fuente: Instrumentación desarrollada en el Instituto de Investigación de la Facultad de ingeniería civil IIFIC-UNI

**Figura N° 2.04: Modelo de Conexión Rugosímetro Electrico**



Fuente: Instrumentación desarrollada en el Instituto de Investigación de la Facultad de ingeniería civil IIFIC-UNI

**Figura N° 2.05: Equipo Bump Integrator -RETUBI**



Fuente: Elaboración propia



**Figura N° 2.06: Instalación de Equipo Bump Integrator RETUBI**



Fuente: Elaboración propia

**Figura N° 2.07: Instalación de Equipo Bump Integrator RETUBI**



Fuente: Elaboración propia

## **CAPITULO III. MARCO TEORICO**

### **3.1 EVALUACION SUPERFICIAL**

Las superficies de rodadura de un pavimento se clasifican considerando la naturaleza de las irregularidades superficiales, las cuales afectan la seguridad, la comodidad y el costo de los usuarios. La evaluación superficial esta orientada a la determinación del estado o condición de la superficie de rodadura, la cual esta en contacto con los vehículos, básicamente para obtener su funcionalidad.

La evaluación superficial en superficies de rodadura forma parte de una evaluación integral de las mismas (en conjunto con la evaluación estructural), mediante esta evaluación se obtiene información sobre el estado situacional de la vía, las características de comodidad, seguridad y durabilidad. La evaluación superficial no tiene relación con la textura, apariencia o acabado superficial de la capa de rodadura sino con las deformaciones que inciden en su perfil topográfico, como son las ondulaciones, los hundimientos, los ahuellamientos y los baches; los fisuramientos tienen poca o ninguna incidencia en los resultados de rugosidad de las superficies de rodadura.

La evaluación superficial por comprender aspectos vinculados a la función y al estado de la superficie de una superficie de rodadura, abarca tres lineamientos importantes de evaluación:

A.-Evaluación de Fallas, mediante esta evaluación se observa la superficie de rodadura mostrando la severidad y extensión de su deterioro. La metodología aplicada para su determinación es variada y desarrollada por distintos organismos en el mundo, entre los más conocidos y aplicados en el Perú se encuentran el publicado por el Consorcio de Rehabilitación Vial (CONREVIAL) y el método del Índice de la Condición del Pavimento (PCI) publicado por el Cuerpo de Ingenieros de la Armada de los EE.UU. Para la recolección de los datos de fallas existen procedimientos visuales, automatizados y una combinación de ambos; los procedimientos visuales son aquellos obtenidos mediante registros en forma manual y los automatizados realizan una

recolección de fallas a través de cámaras de video o fotografía digital, que son analizadas posteriormente.

B.-Evaluación Funcional, conocido también como evaluación de la serviciabilidad de la superficie de rodadura, esta evaluación se encuentra relacionado a la comodidad y transitabilidad que percibe un pasajero durante el recorrido de un vehículo. Se trata de conocer la serviciabilidad o rugosidad determinando el Índice de Serviciabilidad Presente (PSI) o el Índice de Rugosidad Internacional (IRI) a través de medios subjetivos o instrumentales.

En el Perú, la determinación analítica del PSI se efectúa utilizando la expresión establecida por Sayers, que relaciona la Rugosidad con el Índice de Serviciabilidad, esta expresión es una correlación desarrollada con la base de datos establecida en el Ensayo Internacional sobre Rugosidad de Caminos, realizado en Brasil en 1982; clasificando los valores en una escala entre el valor 0 al 5, como se detalla en el siguiente cuadro con sus rangos de valores y la determinación de su transitabilidad, siendo la condición optima el máximo valor.

**Cuadro N° 3.01: Valores de PSI Vs Transitabilidad**

PSI	TRANSITABILIDAD
0 – 1	MUY MALA
1 – 2	MALA
2 – 3	REGULAR
3 – 4	BUENA
4 – 5	MUY BUENA

Fuente: Experiencias y resultados obtenidos en la evaluación de la Rugosidad de mas de 3000 km de pavimentos en el Peru y otros paises – Ing. Pablo del Aguila

Respecto al IRI en Octubre del año 1995, el Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú (MTC), a través del Proyecto Especial de Rehabilitación de la Infraestructura de Transportes (PERT), dio a conocer las

nuevas especificaciones técnicas para la rugosidad, las cuales se incluyeron como parte del control para la recepción de las obras.

C.-Evaluación de la Seguridad, se relaciona con la capacidad de la vía para brindar seguridad a los usuarios durante su recorrido mediante la geometría, textura de superficie, señalizaciones viales, dispositivos de seguridad, y otros.

### **3.2 RUGOSIDAD**

La rugosidad de un pavimento es el parámetro que relaciona la magnitud y frecuencia de las irregularidades superficiales o altimétricas, con la comodidad o confort al transitar sobre él. La unidad de medición de rugosidad que se emplea en el Perú es el IRI (Índice de Rugosidad Internacional), parámetro desarrollado por el Banco Mundial para uniformizar los diversos criterios que existen para medir y calibrar la rugosidad de los pavimentos.

#### **INDICE DE RUGOSIDAD INTERNACIONAL (IRI )**

Debido a la gran variedad de equipos utilizados para medir la regularidad superficial de los caminos, y los numerosos índices y escalas para establecer los criterios de aceptación de la funcionalidad de una carretera, se llegó a considerar la conveniencia de adoptar un "índice único". Cada país contaba con equipos "sui géneris", dificultando adoptar criterios de calificación universal. Estas razones han obligado a proponer a nivel mundial, el empleo del Índice Internacional de Rugosidad.

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 autopistas y 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 y permite fijar umbrales de alerta para proceder a un estudio de los daños o para realizar las labores de mantenimiento de acuerdo a la importancia del camino.

## EVALUACION DE LA RUGOSIDAD EN VIAS

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. Existen muchas definiciones (tales 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 propone Gómez (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).

Resumiendo las principales características del concepto se puede definir la rugosidad como "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 de un vehículo".

Las unidades de medida corresponden al cociente entre unidades de desplazamiento vertical en ambos sentidos del eje horizontal y unidades de longitud; mts/Km., mm/km, pulgadas/milla y otras. La rugosidad en caminos se reconoce como una variable estrechamente ligada con los siguientes factores

- 1) seguridad de los usuarios
- 2) calidad de viaje de los usuarios
- 3) sollicitaciones sobre el pavimento
- 4) vida útil de los caminos
- 5) costos de operación de los vehículos

El número e importancia de estos factores han hecho de este concepto una variable fundamental en el proceso de planificación vial integral. La variedad de instrumentos disponibles y escalas de medición hizo durante muchos años que las experiencias desarrolladas en diversos países no fuera posible traspasarlas a otros ambientes. Investigadores de Brasil, Inglaterra, Francia, Estados Unidos y Bélgica se reunieron desarrollando, después de realizar múltiples mediciones en diferentes equipos y tipos de camino, un índice internacional de rugosidad denominado IRI (Índice de Rugosidad Internacional). Este índice corresponde entonces a una medida estandarizada de la rugosidad que la relaciona con aquellos valores obtenidos por equipos de medición de diferentes características (Sayers et al, 1985). Debe sí reconocerse que el IRI es un número que resume las cualidades de la rugosidad que tienen un impacto sobre el comportamiento de los vehículos, pero que no es el más apropiado para otras aplicaciones.

Específicamente, el IRI es apropiado cuando se requiere medir rugosidad para ser relacionada con costos de operación de vehículos, calidad o confort del viaje, cargas dinámicas (daños al camino proveniente de camiones pesados) y condiciones generales de la superficie. La tecnología desarrollada en torno a la rugosidad en caminos presenta tres aspectos básicos:

- 1) métodos de medición
- 2) análisis interpretación de datos
- 3) aplicación de resultados.

Los resultados de las mediciones de rugosidad se aplican en el análisis de los cinco factores señalados anteriormente, en especial para aquellos que tienen relación con evaluación de inversiones y de conservación vial.

Los equipos o sistemas para medir rugosidad pueden agruparse en cuatro clases genéricas basadas en su facilidad, precisión y calibración para obtención del IRI. Las dos primeras, entregan una medida de la rugosidad estática según la definición de Gómez (1983) o del perfil longitudinal de un camino. Los dos últimos, entregan una medida de la rugosidad dinámica.

**a) Clase 1.** Se incluyen los métodos más precisos de mediciones del IRI. El perfil longitudinal de la huella de la rueda se mide como una serie de puntos de elevación precisos espaciados a lo largo del recorrido.

Para métodos perfilométricos estáticos la distancia entre puntos debe ser igual o menor a 25 cms. y la precisión en las mediciones de elevación debe ser 0,5 mm. en pavimentos lisos. Se acepta un número menor de mediciones e inferior precisión para caminos rugosos.

Los métodos de mayor precisión son el nivel topográfico y mira y la viga TRRL (Transport and Road Research Laboratory). Existen también perfilómetros láser, que aun están en etapa de estudio con respecto su validación frente al IRI, y perfilómetros de alta velocidad, que pueden medir el IRI de manera más rápida, sin embargo deben validarse frente al sistema de nivel y mira.

Los métodos clasificados como Clase 1 tienen como principal utilidad servir de validación a otros métodos y/o estudios que requieran una alta precisión.

**b) Clase 2.** Incluye otros métodos perfilométricos que permiten un cálculo directo del IRI aun cuando no cumplen los requisitos de precisión de clase 1. Como medidores de la clase 2 se pueden citar los siguientes instrumentos (Sayers et al, 1985; Balmer, 1973) perfilómetro inercial APL, perfilómetro inercial CMR, perfilómetro CHLOE y perfilómetros de alta velocidad. Los instrumentos de clase 1 y 2 tienen requerimientos de precisión para mediciones perfilométricas del IRI

en que, de acuerdo al rango de rugosidad, se define el intervalo entre puntos y la precisión de elevación, ambos en mm.

**C) Clase 3.** La mayoría de los rugosímetros tradicionales pertenecen a esta categoría, teniendo todos en común el hecho de entregar resultados dependientes del vehículo. Las características de los vehículos, no solo son diferentes entre sí, sino también varían con el tiempo, por lo cual una medición obtenida con un instrumento de esta clase debe corregirse a la escala IRI usando una ecuación de calibración obtenida experimentalmente. Esta última, según los cambios producidos en el vehículo, debe recalibrarse. Normalmente, se debe recorrer las pistas de calibración 2 a 3 veces en el año para reformular la ecuación de correlación del IRI y el rugosímetro.

Los rugosímetros más utilizados son; Mays Meter, Bump Integrator, BPR (Bureau of Public Roads), PCA Meter (Portland Cement Association) y el NAASRA (National Association of Australian State Roads Authorities). Algunos de ellos se instalan en un equipo propio de arrastre y otros se instalan dentro de un vehículo, normalmente Station Wagón. Dependiendo del tipo de equipo, se plantean diversos requerimientos para los sitios de calibración de un rugosímetro clase 3.

**D) Clase 4.** Corresponde a métodos de obtención de rugosidad, básicamente por inspección visual, ratings subjetivos y mediciones no calibradas. Sin embargo, también es conveniente relacionar las medidas a la escala IRI. Existen diversas escalas subjetivas, siendo la más utilizada a la fecha la que relaciona la rugosidad con el índice de serviciabilidad. El índice de serviciabilidad, generado por el ensayo vial A.A.S.H.O. Illinois, EE.UU.} 1955-1961), corresponde a una calificación de los usuarios en una escala de 0 a 5 sobre la calidad del servicio e intenta cuantificar el deterioro de una superficie de rodadura. A través de sucesivas investigaciones de la A.A.S.H.O. se buscó una relación entre la medida subjetiva (calificación de los usuarios) y una medida objetiva que incorpora parámetros medibles que representan el estado de deterioro de la superficie de la carpeta de rodadura. Los parámetros principales corresponden a deformaciones longitudinales, deformaciones transversales, agrietamientos y

superficie parchada, a partir de los cuales se dedujeron ecuaciones que derivan el índice de Serviciabilidad.

### 3.2.1 EQUIPOS DE MEDICION DE LA EVALUACIÓN FUNCIONAL DEL PAVIMENTO

Existen diferentes equipos para determinar la regularidad superficial de los pavimentos, los cuales han venido evolucionando en el tiempo, variando unos de otros en la precisión y rapidez para la obtención de los resultados. En la siguiente tabla se presentan algunos de los equipos desarrollados para determinar la regularidad superficial de los pavimentos:

A continuación se hace una breve descripción de los equipos mencionados anteriormente:

**Cuadro N° 3.02: Tipos de Equipos Existentes para la medicion de la regularidad superficial de los pavimentos**

EQUIPO	GRADO DE PRECISIÓN	IMPLEMENTACIÓN	COMPLEJIDAD DEL EQUIPO	OBSERVACIONES
Perfilógrafos (Profilographs)	Media	Control de calidad y recepción de obras	Simple	Estos equipos no son prácticos para evaluar la condición de redes viales.
Tipo Respuesta para medir la regularidad de las carreteras (Response-Type Road Roughness Measuring Systems, RTREMS)	Media	Monitoreos de red vial	Compleja	Los resultados obtenidos entre estos equipos no son comparables, ya que dependen de la dinámica particular del movimiento del vehículo y no son estables en el tiempo.
Nivel y Estadia (Rod and Level)	Muy alta	Mediciones de perfil del pavimento y calibraciones	Simple	El uso de estos equipos para proyectos largos es impráctico y los costos son muy elevados.
Dipstick	Muy alta	Mediciones de perfil del pavimento y calibraciones	Muy Simple	Se utiliza para mediciones del perfil de pavimentos en longitudes relativamente pequeñas
Perfímetro Inercial (Inertial Profilometer)	Muy Alta	Monitoreos y recepción de proyectos viales	Muy Compleja	Equipos con alta precisión que permiten la comparación de resultados y son estables en el tiempo. Además pueden ser utilizados para calibración de los equipos Tipo Respuesta

Fuente: Determinación del Índice de Regularidad Internacional (IRI) – Ministerio de Obras Públicas, Transporte y Desarrollo Urbano – República de El Salvador



### a) Perfilógrafos (Profilographs).

Los perfilógrafos han estado disponibles durante muchos años y han existido en una variedad de formas, configuraciones, y marcas. Debido a su diseño éstos no son prácticos. En la actualidad es utilizado el Perfilógrafo de California, el cual su uso más común es para la inspección de construcciones de pavimentos rígidos, control de calidad, y aceptación de proyectos. Existen diferencias entre perfilógrafos, los cuales están relacionados con la configuración de las ruedas, el funcionamiento y procedimientos de medida de los dispositivos.

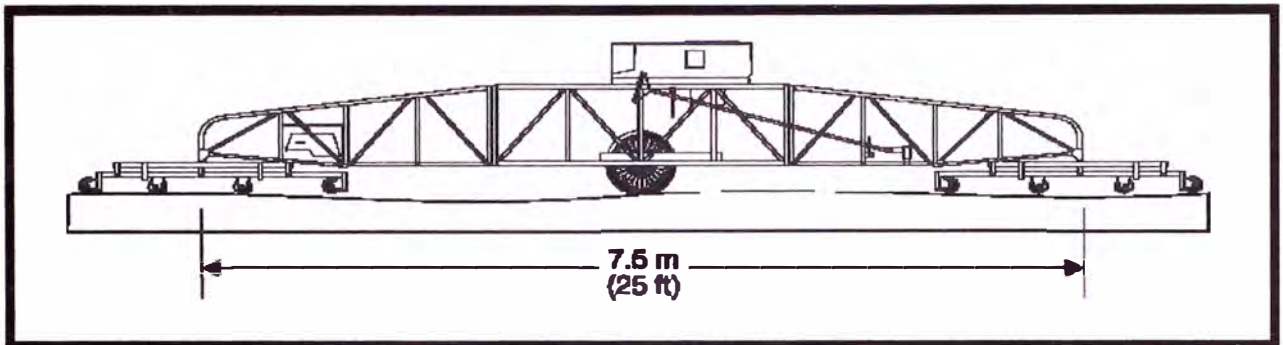
Los perfilógrafos tienen una rueda sensible, montada al centro del marco para mantener el movimiento vertical libre (ver figura 2 y 3). La desviación de un plano de la referencia, establecido por el marco del perfilógrafo, se registra (automáticamente en algunos modelos) en papel según el movimiento de la rueda sensible. Los perfilógrafos pueden calcular desviaciones muy ligeras de la superficie y ondulaciones en aproximadamente 6.0 (20 pies) en longitud.

**Figura N° 3.01: Perfilograma de California**



Fuente: Determinación del Índice de Regularidad Internacional (IRI) – Ministerio de Obras Públicas, Transporte y Desarrollo Urbano – República de El Salvador

**Figura N° 3.02: Vista Lateral de Perfilografo de California**



Fuente: Determinación del Índice de Regularidad Internacional ( IRI ) – Ministerio de Obras Publicas , Transporte y Desarrollo Urbano – Republica de El Salvador

#### **b) Equipos Tipo Respuesta (RTRRM).**

La recolección de datos de regularidad, también es realizada a través de equipos Tipo Respuesta (Response Type Road Roughness Meters, RTRRM), comúnmente llamados “Medidores de camino”. Los sistemas RTRRM son adecuados para el monitoreo rutinario de una red pavimentada y para proporcionar una visión global de la condición y el mantenimiento necesario.

Los equipos RTRRM miden los movimientos verticales del eje trasero de un automóvil o el eje de un remolque relativo al marco del vehículo. Los medidores se instalan en los vehículos con un transductor de desplazamiento localizado entre la mitad del eje y el cuerpo del automóvil o remolque (ver figura ). El transductor detecta pequeños incrementos del movimiento relativos entre el eje y el cuerpo del vehículo. La desventaja de un RTRRM es que el movimiento del eje del vehículo vs. tiempo depende de la dinámica de un vehículo particular, lo que produce dos efectos no deseados

- Medida de regularidad no estables con el tiempo. Las medidas realizadas recientemente con un RTRRM, no pueden ser comparadas con aquellas mediciones realizadas en años anteriores.
- Las medidas de regularidad no son transportables. Las mediciones realizadas por un RTRRM que utiliza un determinado sistema son raramente reproducibles por otro

### c) Nivel y Estadía (Rod and Level).

Es conocido como Perfilómetro manual, considerado de bajo rendimiento, debido a que el proceso de recolección de datos es relativamente lento en comparación con otros equipos (ver figura 3.03). Se considera que para la evaluación de la regularidad de la superficie de rodadura de proyectos de gran magnitud es impráctico y de alto costo. Sin embargo, este tipo de equipo tiene una gran precisión y puede obtener una medida exacta del perfil del pavimento.

**Figura N° 3.03: Nivel y Estadía**



Fuente: Determinación del Índice de Regularidad Internacional (IRI) – Ministerio de Obras Públicas, Transporte y Desarrollo Urbano – República de El Salvador

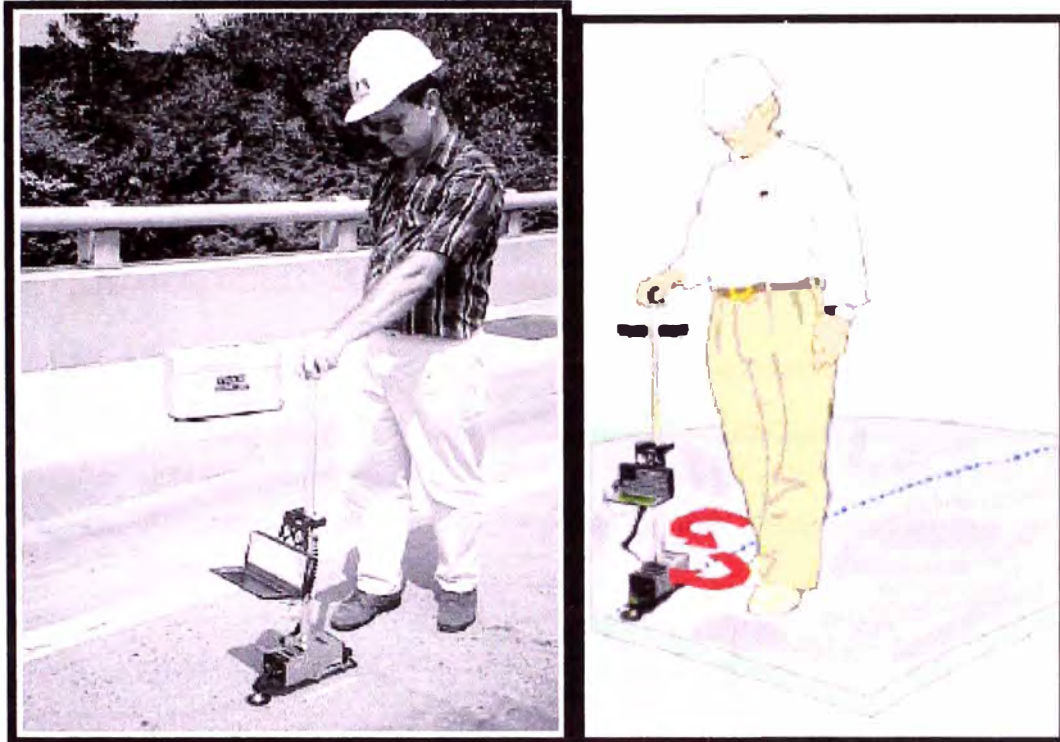
### d) Dipstick.

Los equipos Dipstick pueden usarse para obtener una cantidad relativamente pequeña de medidas del perfil de pavimento. El Dipstick (ver figura 3.04) consiste en un inclinómetro apoyado en dos apoyos separados por 305 mm (12 pulg.), los cuales registran la elevación de un apoyo relativo a la elevación del otro. El operador conduce el Dipstick sobre una sección de pavimento premarcada, rotando el instrumento alternadamente sobre cada apoyo. Se registran las lecturas secuencialmente mientras el operador recorre la sección. El dispositivo registra 10 a 15 lecturas por minuto. El software de análisis es capaz de proporcionar un perfil exacto a  $\pm 0.127$  mm ( $\pm 0.005$  pulg.). El Dipstick comúnmente es usado para medir un perfil para la calibración de instrumentos



más complejos, tal como el RTRRM, así mismo para la verificación de resultados obtenidos con los Perfilómetros Inerciales.

**Figura N° 3.04: Equipo Dipstick y forma de operación**



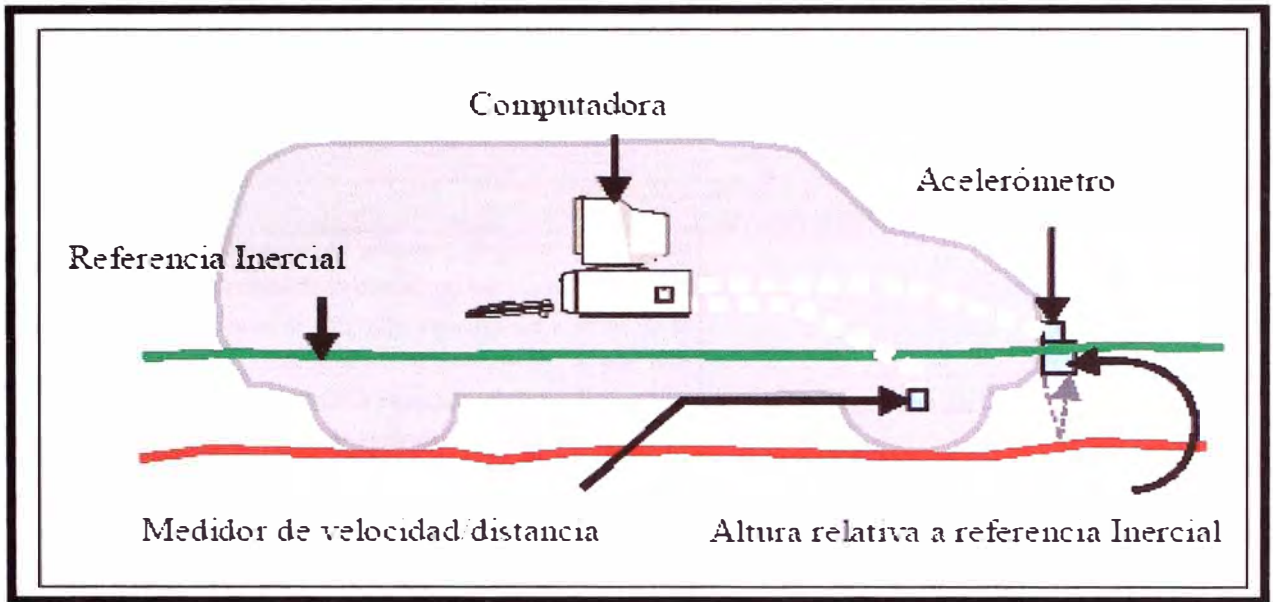
Fuente: Determinación del Índice de Regularidad Internacional ( IRI ) – Ministerio de Obras Publicas , Transporte y Desarrollo Urbano – Republica de El Salvador

#### **e) Perfilómetro Inercial (Inercial Profilometer)**

Los equipos de referencia inercial son equipos que producen medidas automáticas y de alta calidad del perfil del camino. Estos equipos producen medidas continuas del perfil longitudinal a altas velocidades a través de la creación de una referencia inercial, integrada por acelerómetros colocados en el vehículo utilizados para obtener el movimiento vertical del mismo y sensores de “no contacto” (p.ej.: Láser) utilizados para medir el desplazamiento relativo entre el vehículo y la superficie del pavimento (ver figura ).

Generalmente son llamados Perfilómetros de alto rendimiento, ya que, son muy precisos, generan el perfil longitudinal del camino en tiempo real y sobre todo tienen la ventaja de realizar las mediciones a altas velocidades, facilitando la obtención de datos en una determinada vía. Es importante mencionar que el Ministerio de Obras Públicas cuenta con un equipo de éste tipo (ver figura 3.05)

**Figura N° 3.05: Componentes de Equipo con Referencia Inercial**



Fuente: Determinación del Índice de Regularidad Internacional (IRI) – Ministerio de Obras Públicas, Transporte y Desarrollo Urbano – República de El Salvador

### CLASIFICACIÓN DE LOS EQUIPOS UTILIZADOS PARA LA MEDICIÓN DE LA REGULARIDAD FUNCIONAL DE LOS PAVIMENTOS

Los equipos que se utilizan para medir la regularidad de las carreteras son clasificados de acuerdo a dos parámetros: el intervalo de almacenamiento de datos y la resolución de medición vertical; el World Bank en su Papel Técnico N°46: "Guidelines for Conducting and Calibrating Road Roughness Measurements" y la norma ASTM E-950-98, presenta la clasificación para los diferentes métodos perfilométricos de la siguiente manera:

**Cuadro N° 3.03: Clasificación de los Equipos utilizados para la medición de la regularidad funcional de los pavimentos**

Clasificación de equipo	Clasificación según Banco Mundial (World Bank), Papel Técnico N°46  Requerimientos	Clasificación según ASTM E-950-98	
		Requerimientos	
		Intervalos longitudinales de almacenamiento de datos	Resolución de mediciones verticales
Clase 1*	Perfilómetros de precisión. Requiere que el perfil longitudinal de un camino sea medido como una serie de puntos de elevación equidistantes a través de la huella o rodera de la vía para calcular el IRI. Esta distancia no debería superar los 0.25m y la precisión en la medición de la elevación debería ser de 0.5mm para pavimentos que posean valores de IRI entre 1 y 3 m/km y de 3mm para pavimentos con valores de IRI entre 10 y 20 m/km	Menor o igual a 25 mm	Menor o igual a 0.1 mm
Clase 2	Otros métodos perfilométricos. Requieren una frecuencia de puntos de perfil no superior a 0.5m y una precisión en la medición de la elevación comprendida entre 1.0 mm para pavimentos que posean valores de IRI entre 1 y 3 m/km y 6.0 mm para pavimentos con valores de IRI entre 10 y 20 m/km	Mayor que 25 mm hasta 150 mm	Mayor que 0.1 mm hasta 0.2 mm

Fuente: Determinación del Índice de Regularidad Internacional ( IRI ) – Ministerio de Obras Publicas , Transporte y Desarrollo Urbano – Republica de El Salvador

**Cuadro N° 3.04: Clasificación de los Equipos utilizados para la medición de la regularidad funcional de los pavimentos**

Clasificación de equipo	Clasificación según Banco Mundial (World Bank), Papel Técnico N°46  Requerimientos	Clasificación según ASTM E-950-98	
		Requerimientos	
		Intervalos longitudinales de almacenamiento de datos	Resolución de mediciones verticales
Clase 3	IRI estimado mediante ecuaciones de correlación. La obtención del perfil longitudinal se hace mediante equipos tipo respuesta (RTRM), los cuales han sido calibrados previamente con Perfilómetros de precisión mediante ecuaciones de correlación	Mayor que 150 mm hasta 300 mm	Mayor que 0.2 mm hasta 0.5 mm
Clase 4	Estimaciones subjetivas y mediciones no calibradas. Incluyen mediciones realizadas con equipos no calibrados, estimaciones subjetivas con base en la experiencia en la calidad de viaje o inspecciones visuales de las carreteras.	Mayor que 300 mm	Mayor que 0.5 mm

Fuente: Determinación del Índice de Regularidad Internacional ( IRI ) – Ministerio de Obras Publicas , Transporte y Desarrollo Urbano – Republica de El Salvador

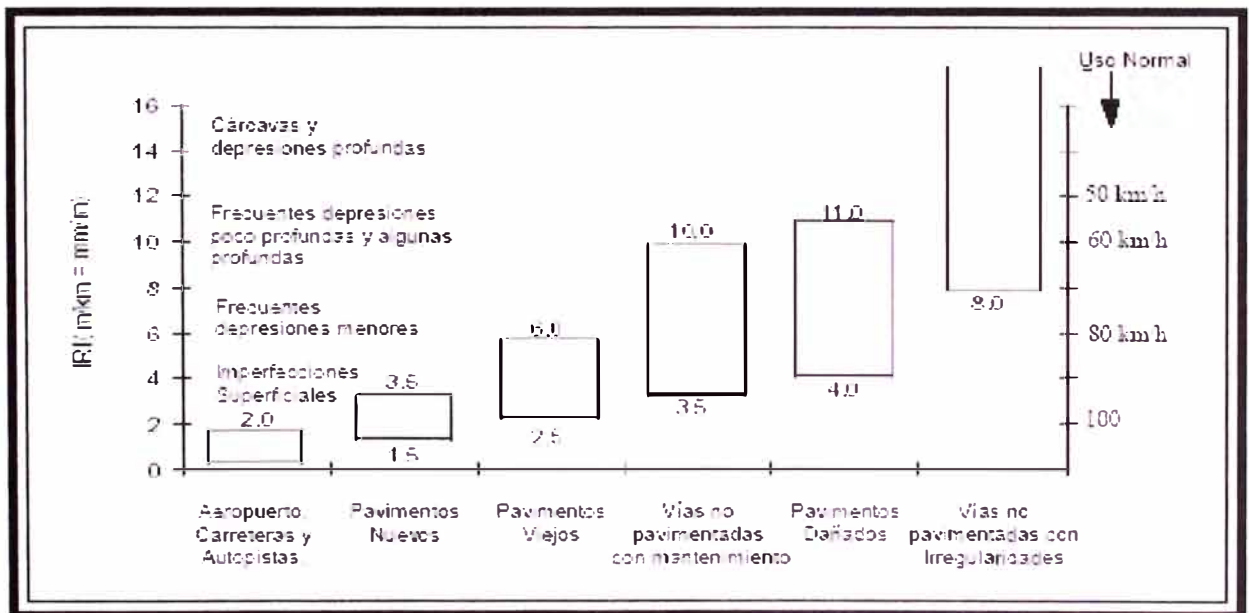
### Valores de IRI propuestos por el Banco Mundial y Especificaciones Internacionales

Con el objeto de conocer valores del Índice de Regularidad Internacional (IRI) establecidos en diferentes países, se presenta a continuación un resumen de los requisitos de IRI propuestos por el Banco Mundial y Especificaciones Internacionales; así como valores de IRI establecidos por diferentes Agencias Públicas.

#### a) Banco Mundial.

A partir del estudio realizado por el Banco Mundial en 1982 (IRRE), se propuso una escala de medición de la regularidad superficial para diferentes tipos de vías, la cual se presenta a continuación:

**Cuadro N° 3.05: Escala para Regularidad de Pavimentos (IRI)**



Fuente: Determinación del Índice de Regularidad Internacional (IRI) – Ministerio de Obras Públicas, Transporte y Desarrollo Urbano – República de El Salvador

#### Cuadro N° 3.06: Especificaciones Internacionales – Requerimientos IRI



ESPECIFICACIÓN	REQUERIMIENTOS DE IRI SEGÚN TIPO DE PAVIMENTO O SUPERFICIE			
	Procedimiento General	Asfáltico	Hidráulico	Tratamientos Superficiales
SIECA -2004 <sup>7</sup>	IRI obtenido en sub-lote de 0.1 km	No especifica		
ASTM E 1926-98	No especifica	Presenta dos escalas de valores de IRI con descripción verbal, una para pavimentos de concreto asfáltico o tratamiento superficial y una para vías no pavimentadas. Dichas escalas han sido tomadas de la especificación ASTM E 1926 "Standard Practice for Computing International Roughness Index of Roads from Longitudinal Profile Measurements" (Ver Anexo)		
AASHTO- PP 37-01	Regularidad: Promedio de los valores de IRI determinados en cada rodaje en tramos de 100 m	No especifica		
FP-1003	La regularidad del pavimento se especifica en términos del Índice de Perfil (PI)			-----

Fuente: Determinación del Índice de Regularidad Internacional ( IRI ) – Ministerio de Obras Publicas ,Transporte y Desarrollo Urbano – Republica de El Salvador

**Cuadro N° 3.07: Especificaciones de Agencias Publicas-Requerimientos IRI**

INSTITUCION PÚBLICA	REQUERIMIENTOS DE IRI SEGÚN TIPO DE PAVIMENTO O SUPERFICIE																	
	Procedimiento General	Asfáltico	Hidráulico	Tratamientos Superficiales														
Ministerio de Obras Publicas de Chile <sup>8</sup>	IRI obtenido en 5 tramos consecutivos de 100 m de secciones homogéneas	Promedio de 5 tramos $\leq 2.0$ m/km Promedio Individual $\leq 2.3$ m/km		Promedio de 5 tramos $\leq 3.0$ m/km Promedio Individual $\leq 4.0$ m/km														
Ministerio de Fomento de España <sup>9</sup>	IRI obtenido en tramos de 100 m	IRI $\leq 1.5$ m/km, en el 50% de los tramos del proyecto IRI $\leq 2$ m/km, en el 80% de los tramos del proyecto IRI $\leq 2.5$ m/km, en el 100 % de los tramos del proyecto																
Estados Unidos (Wisconsin Department of Transportation, WisDOT) <sup>10</sup>	IRI obtenido en tramos de 1.609 km (1 milla).	<table border="1"> <thead> <tr> <th>IRI m/km</th> <th>Tiempo</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td><math>\leq 1.1</math></td> <td>Pav. Nuevo</td> </tr> <tr> <td><math>\leq 1.17</math></td> <td>1 Año</td> </tr> <tr> <td><math>\leq 1.25</math></td> <td>2 Años</td> </tr> <tr> <td><math>\leq 1.33</math></td> <td>3 Años</td> </tr> <tr> <td><math>\leq 1.37</math></td> <td>4 Años</td> </tr> <tr> <td><math>\leq 1.45</math></td> <td>5 Años</td> </tr> </tbody> </table>	IRI m/km	Tiempo	$\leq 1.1$	Pav. Nuevo	$\leq 1.17$	1 Año	$\leq 1.25$	2 Años	$\leq 1.33$	3 Años	$\leq 1.37$	4 Años	$\leq 1.45$	5 Años	-----	-----
IRI m/km	Tiempo																	
$\leq 1.1$	Pav. Nuevo																	
$\leq 1.17$	1 Año																	
$\leq 1.25$	2 Años																	
$\leq 1.33$	3 Años																	
$\leq 1.37$	4 Años																	
$\leq 1.45$	5 Años																	
Canada (Québec) <sup>11</sup>	IRI obtenido en tramos de 100 m	- IRI $\leq 1.1$ m/km en 70% de datos - IRI $\leq 1.4$ m/km en 100% de datos	-----	-----														
Suecia <sup>12</sup>	IRI en tramos de 20 m	IRI $\leq 1.4$ m/km		-----														
	IRI en tramos de 100 m	IRI $\leq 2.4$ m/km		-----														
Ministerio de Obras Públicas de El Salvador	Caminos Rurales																	
	IRI obtenido en tramos de 100 m	IRI no mayor a 3.0 m/km	-----	-----														
	Vías Interurbanas																	
IRI obtenido en tramos de 100 m	IRI no mayor que 1.0 m/km	IRI no mayor que 1.5 m/km	-----															



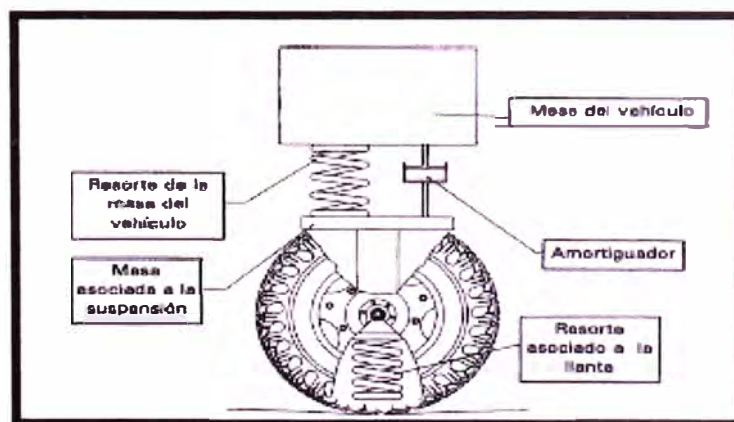
### 3.3 METODO DE EVALUACION DE LA RUGOSIDAD CON EQUIPO BUMP INTEGRATOR

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.

El cálculo del Índice Internacional de Rugosidad usando el equipo Bump Integrator se basa en un modelo matemático llamado Cuarto de Carro (Quarter-Car). El sistema del Cuarto de Carro calcula la deflexión de la suspensión de un sistema mecánico simulado como una respuesta similar a la que tuviera el pasajero, Los desplazamientos de la suspensión del modelo son acumulados y divididos entre la distancia recorrida para dar el Índice Internacional de Rugosidad, en unidades de m/km., mm/m, in/mi, etc.

Características del modelo El modelo de Cuarto de Carro utilizado en el algoritmo del IRI debe su nombre a que implica la cuarta parte de un vehículo. El modelo se muestra en la figura; que incluye una rueda representada por un resorte vertical, la masa del eje soportada por la llanta, un resorte de la suspensión, un amortiguador, y la masa del vehículo soportada por la suspensión de dicha rueda.

**Figura N° 3.06: Representacion Grafica Modelo –Cuarto Coche**



Fuente: Índice Internacional de la Rugosidad en la Red Carretera de Mexico – Instituto Mexicano del Transporte 1998

EL modelo Cuarto de Carro fue ajustado para poder establecer una correlación con los sistemas de medición de rugosidad del tipo respuesta. El programa que propone el Banco Mundial para el cálculo del Índice Internacional de Rugosidad a partir del levantamiento topográfico de un tramo carretero, se describe en este trabajo, y representa la simulación del paso del Cuarto de Carro sobre el perfil del camino.

## MODELAMIENTO MATEMATICO CUARTO DE CARRO

La investigación llevada a cabo permitió conocer la forma de obtención del Índice de Rugosidad Internacional, el cual contempla etapas claramente diferenciadas y ajustadas a un desarrollo sistemático, en el cual se involucran aspectos de análisis estadístico del perfil y una posterior modelación para medir la rugosidad asociado al perfil de un camino.

Lo anterior, involucra la utilización de herramientas matemáticas, estadísticas y computacionales que permitan derivar a la medida de rugosidad asociada al camino

El modelo de Simulación del Cuarto de Carro, consta de una masa “amortiguada o Suspendida” (masa de un cuarto 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.

A partir de lo señalado, se define el modelo del Cuarto de Carro como un conjunto de masas inerciales, resorte y sistemas de amortiguación que interactúan con el perfil del camino y cuya resolución nos lleva a medir los movimientos verticales no deseados atribuibles a la irregularidad del camino.

La figura 1 muestra un esquema del modelo de “Cuarto de Carro” ya mencionado, en el cual se incluyen los efectos dinámicos que determinan la rugosidad del camino que causan las vibraciones no deseadas a los usuarios que transitan por las vías.

Como una forma de profundizar en lo expuesto, cabe señalar que la definición del IRI se estableció a partir de conceptos asociados a la mecánica vibratoria de los sistemas dinámicos todo ello sobre la base de un vehículo que se modeló simplificada a través de un conjunto de masas ligadas entre sí y que generaban un movimiento vertical al ser desplazadas por el camino.

Para efectos prácticos, el modelo a diferencia de otros (modelo del "Medio Carro" o "Carro Entero"), permite reducir el análisis de una superficie (la calzada) al análisis de una línea que representa el perfil longitudinal, es decir, desde un análisis bidimensional a un estudio

Los movimientos sobre el perfil de la carretera están asociados a desplazamientos verticales, velocidad y aceleraciones de masas, quedando todo el sistema regido por la primera Ley de Newton,  $F = m \cdot a$ .

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 se acumula. El valor en m/km (metros acumulados por la suspensión por kilómetros viajados) es la medida final de la regularidad del camino.

El sistema que representa el modelo dinámico del cuarto de carro tiene dos grados de libertad (los desplazamientos verticales de las masas que representan el vehículo). El sistema dinámico esta excitado por una fuerza exterior que es el perfil de la carretera.

De lo antes expuesto, el modelo se puede separar en dos sistemas independientes, tanto para la masa suspendida como para la masa no suspendida y los desplazamientos verticales inducidos por ambas masas al recorrer el perfil longitudinal del camino

## ESCALAS Y CARACTERISTICAS DEL IRI

La escala y características involucradas en el IRI son las siguientes:

- Las unidades están en mm/m, m/km o in/mi
- El rango de la escala del IRI para un camino pavimentado es de 0 a 12m/km. (0 a 760 in/mi), donde 0 es una superficie perfectamente uniforme y 12 un camino intransitable.

**Cuadro N° 3.08: Valores de IRI para pavimentos asfálticos y de concreto hidraulico  
( Norma Uruguaya )**

Condición del camino	Pavimento asfáltico IRI (m/km)	Pavimento hidráulico IRI (m/km)
Muy bueno	< 3.2	< 2.8
Bueno	3.2 – 3.9	2.8 – 3.5
Regular	4.0 – 4.6	3.6 – 4.3
Malo	> 4.6	>4.3

Fuente: Indice Internacional de la Rugosidad en la Red Carretera de Mexico – Instituto Mexicano del Transporte 1998

## CAPITULO IV: APLICACIÓN TRAMO KM 59+000 - KM 64+000

### 4.1 RECOPIACION DE DATOS DE CAMPO

De los datos recogidos de la estimacion del IRI bajo el metodo del Merlin para el tramo en estudio se obtiene lo siguiente:

**Cuadro 4.01**

DATOS OBTENIDOS DE MEDICION EQUIPO MERLIN  
FECHA MUESTREO: SABADO 03 - OCTUBRE - 2009.

Km.	TRAMOS REPRESENTATIVOS DE:			
	59 - 64	64 - 69	69 - 74	74 - 79
<b>I.R.I.(M)</b>	<b>3.81</b>	<b>3.77</b>	<b>3.16</b>	<b>3.84</b>

Fuente : Elaboracion propia

Luego de la toma de datos con el equipo Bump Integrator para un recorrido de 20 kilometros ,seccionados cada 5 ;luego de 2 procesos completos ( Ida y Vuelta ) se obtiene:

**Cuadro 4.02**

DATOS OBTENIDOS DE MEDICION BUMP INTEGRATOR  
FECHA MUESTREO: SABADO 03 - OCTUBRE - 2009.  
TRAMO COMPLETO IDA Y RETORNO

Km.	TRAMOS REPRESENTATIVOS DE:			
	59 - 64	64 - 69	69 - 74	74 - 79
	B.I.	B.I.	B.I.	B.I.
<b>Ida</b>	2282	2435	2352	2361
<b>Retorno</b>	2466	2819	2109	2073
<b>Ida</b>	2582	2621	2389	2539
<b>Retorno</b>	2371	2773	2252	2198
<b>B.I. PROM.</b>	<b>2425</b>	<b>2662</b>	<b>2276</b>	<b>2293</b>

Fuente : Elaboracion propia

Dadas las consideraciones realizadas en la toma de datos para el equipo del Merlin en los tramos para la calibración del equipo se procede a realizar usando los datos obtenidos en el proceso de ida :

**Cuadro 4.03**

DATOS OBTENIDOS DE MEDICION BUMP INTEGRATOR  
FECHA MUESTREO: SABADO 03 - OCTUBRE - 2009.  
TRAMO SOLO DE IDA

Km.	TRAMOS REPRESENTATIVOS DE:			
	59 - 64	64 - 69	69 - 74	74 - 79
	B.I.	B.I.	B.I.	B.I.
<b>Ida</b>	2282	2435	2352	2361
<b>Ida</b>	2582	2621	2389	2539
<b>B.I. PROM.</b>	<b>2432</b>	<b>2528</b>	<b>2371</b>	<b>2450</b>

Fuente : Elaboracion propia



#### 4.2 CALIBRACION DEL EQUIPO

Con los valores obtenidos en la recopilacion de campo se procede a calcular la ecuacion de calibracion para el equipo Bump Integrator

**Cuadro 4.04**  
CALCULOS A TABULAR:

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

Fuente : Elaboracion propia

Con los valores obtenidos,realizado el calculo de la ecuacion por el metodo de minimos cuadrados , se tienen las siguientes observaciones :

- 1.- El valor calculado para el tramo del Km 64 al 69, esta fuera del rango considerado,entendiendose que el criterio de representacion de la ecuación de la recta debera ser una recta con pendiente positiva ,se opta por eliminar dicho parametro
- 2.- El valor calculado del IRI en el tramo Km 69 al 74, presenta un valor menor al registrado al final del mantenimiento realizado por el contratista meses atrás, por lo que no sera tomado en cuenta

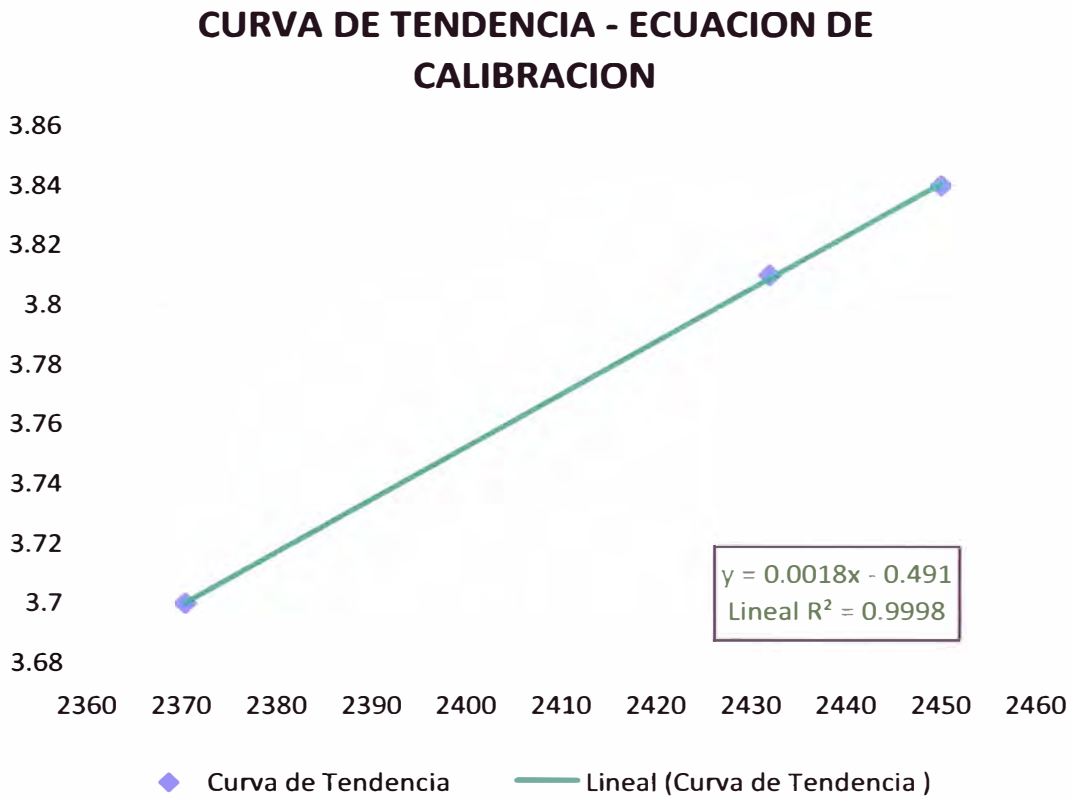
Finalmente se considerará aquel valor que hace que la ecuacion de la recta tenga un R cuadratico que se aproxime a 1, este valor es 3.70  
De esta manera nuestros valores de calibración son:

**Cuadro 4.05**

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

Fuente : Elaboracion propia

CURVA DE TENDENCIA - ECUACION DE CALIBRACION



ECUACION DE CALIBRACION:

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

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

Fuente : Elaboracion propia

#### 4.3 PROCESAMIENTO DE DATOS

Con la ecuación de calibración obtenida se procede a transformar los valores de B.I. para el tramo Km 59 al 64 en valores IRI

**Cuadro 4.06**

VALORES DE B.I. RECOLECTADOS EN SUB-TRAMO:  
KM. 59 + 000 - KM. 64 + 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°
59 - 60	<b>2522</b>	<b>2602</b>	<b>2201</b>	<b>2200</b>
60 - 61	<b>2282</b>	<b>2582</b>	<b>2466</b>	<b>2371</b>
61 - 62	<b>2198</b>	<b>2043</b>	<b>2344</b>	<b>2238</b>
62 - 63	<b>1913</b>	<b>2164</b>	<b>2015</b>	<b>2134</b>
63 - 64	<b>2564</b>	<b>2524</b>	<b>3115</b>	<b>2950</b>

Fuente : Elaboracion propia

**Cuadro 4.07**

VALORES I.R.I. OBTENIDOS EN CADA SUB-TRAMO  
KM. 59 + 000 - KM. 64 + 000  
I.R.I. SEGÚN ECUACION DE CALIBRACION

SUB-TRAMO Km.	SENTIDO DE MEDICION			
	IDA		RETORNO	
	1°	2°	1°	2°
59- 60	<b>4.0486</b>	<b>4.1926</b>	<b>3.4708</b>	<b>3.469</b>
60- 61	<b>3.6166</b>	<b>4.1566</b>	<b>3.9478</b>	<b>3.7768</b>
61 -62	<b>3.4654</b>	<b>3.1864</b>	<b>3.7282</b>	<b>3.5374</b>
62 -63	<b>2.9524</b>	<b>3.4042</b>	<b>3.136</b>	<b>3.3502</b>
63- 64	<b>4.1242</b>	<b>4.0522</b>	<b>5.116</b>	<b>4.819</b>

Fuente : Elaboracion propia

SUB-TRAMO Km.	Unidades BI PROMEDIO	Unidades IRI PROMEDIO
59- 60	2381	3.8
60- 61	2425	3.87
61 -62	2206	3.48
62 -63	2057	3.21
63- 64	2788	4.53
Promedio del Tramo ( IRI )		<b>3.778</b>

## CAPITULO V: ANALISIS DE RESULTADOS

1.-Con los valores obtenidos de los cálculos del estudio se tiene:

**Cuadro N° 5.01: Resultados Obtenido de la Evaluacion con equipo Bump Integrator –RETUBI**

SUB-TRAMO Km.	Unidades BI PROMEDIO	Unidades IRI PROMEDIO
59- 60	2381	3.80
60- 61	2425	3.87
61 -62	2206	3.48
62 -63	2057	3.21
63- 64	2788	4.53
Promedio del Tramo ( IRI )		<b>3.778</b>

Fuente: Elaboración propia

1.-Se observa que para el tramo en estudio, el valor de 3.778 (I.R.I.), representa el resultado para la evaluación funcional de la via, mostrando un estado de conservación bueno tomando como referencia el manual de carreteras del estado Chileno, para vias con tratamiento superficial

**Cuadro N° 5.02: Valores de Rugosidad (IRI ) según tipo y estado de carpeta de rodadura**

Tipo de Carpeta	BUENO	REGULAR	MALO
Concreto Asfáltico	2	3.5	6
Trat. Superficial Doble	3	4.5	6
Carpetas de Hormigón	2	3.5	6
Carpetas Granulares	6.5	8.5	14
Carpetas de Tierra	6.5	9.5	15.5

Fuente: Metodología de Preparación y Evaluacion de Proyectos de Vialidad Intermedia – Ministerio de Planificacion Gobierno de Chile

2.-También se puede apreciar que para los cuatro primeros kilómetros, la relación de sus IRI'S, se mantienen en un promedio de 3.59; a comparación del ultimo kilometro donde el valor de 4.53 representa un valor de conservación regular a pesar de no contar con la existencia de gibas a lo largo de su recorrido.

De las observaciones visuales realizadas en la visita de campo, se obtiene la siguiente información:

**Cuadro N° 5.03: Relación de Gibas encontradas en tramo de estudio**

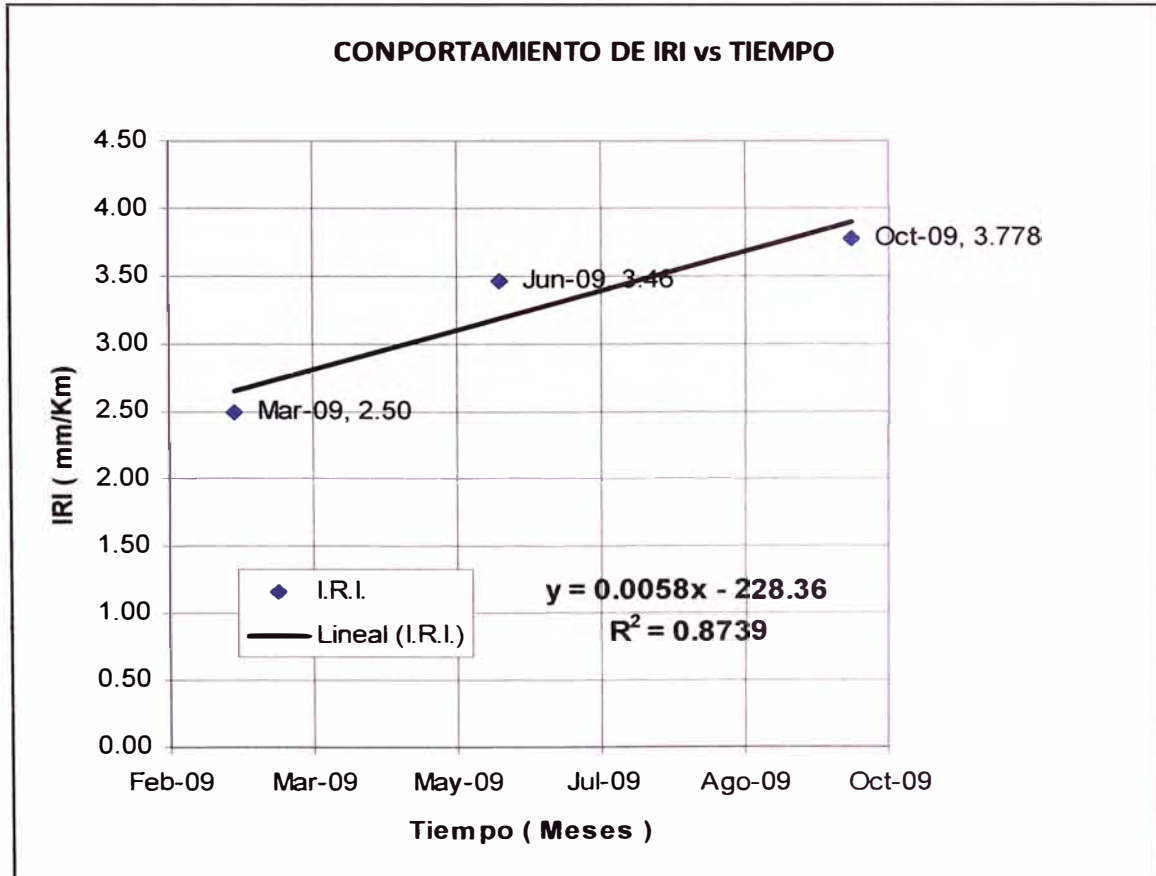
Km.	OBSERVACIONES
59 – 60	Giba presente a 300 metros
60 – 61	Giba presente a 150, 320 metros
61 – 62	Giba presente a 80, 160, 850 metros
62 – 63	Giba presente a 300, 510, 850 metros
63 – 64	Tramo de 1 kilometro sin obstaculos

Fuente: Elaboración propia

De donde se observa que tanto la geometría vial de la carretera (carretera sinuosa) y la existencia de gibas a lo largo de su recorrido

3.- Con los datos obtenidos en 3 distintos tiempos para el cálculo de IRI, se hace una estimación de su comportamiento.

**Cuadro N° 5.04: Comportamiento de IRI Vs Tiempo**





CALCULO DE IRI vs TIEMPO			
TIEMPO	Mar-09	Jun-09	Oct-09
I.R.I.	2.50	3.46	3.778

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a la línea de comportamiento mostrado, para el tramo en conjunto, su condición de funcional, estará situándose en un valor malo o deficiente a (Valores mayores o igual a 6, según tabla) partir de setiembre del 2010

4.- Del procesamiento de datos realizados a los valores de B.I. y I.R.I.S por tramo se procesan datos de media, desviación estándar, varianza y coeficiente de desviación:

De los datos observados, en la desviación estándar de ambos cuadros, se comprueba que dichos valores son pequeños e indican que la muestra de valores tomados en el tramo en estudio es homogénea, por lo que hay poca dispersión en ellos

Entonces se puede afirmar que el promedio tomado para cada una de las secciones de vía realizado para el estudio (por kilometro) es significativo, y representa la situación actual de la carpeta de rodadura

**VALORES DE B.I. RECOLECTADOS EN SUB-TRAMO:**

KM. 59 + 000 - KM. 64 + 000

VALORES B.I. OBTENIDOS CON EQUIPO BUMP  
INTEGRATOR A 40 Km/h.

SUB-TRAMO Km.	SENTIDO DE MEDICION				Promedio	Desviacion Estandar	Varianza	Coef. Variacion
	IDA		RETORNO					
	1°	2°	1°	2°				
59 - 60	2522	2602	2201	2200	2381	211.3	44627.6	0.089
60 - 61	2282	2582	2466	2371	2425	128.7	16564.9	0.053
61 - 62	2198	2043	2344	2238	2206	124.8	15566.9	0.067
62 - 63	1913	2164	2015	2134	2067	115.3	13292.3	0.056
63 - 64	2564	2524	3116	2950	2788	290.4	84348.3	0.104

Fuente : Elaboracion propia

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

KM. 59 + 000 - KM. 64 + 000

I.R.I. SEGÚN ECUACION DE CALIBRACION

SUB-TRAMO Km.	SENTIDO DE MEDICION				Promedio	Desviacion Estandar	Varianza	Coef. Variacion
	IDA		RETORNO					
	1°	2°	1°	2°				
59- 60	4.0486	4.1926	3.4708	3.469	3.80	0.38	0.14	0.10
60- 61	3.6166	4.1566	3.9478	3.7768	3.87	0.23	0.05	0.06
61 -62	3.4654	3.1864	3.7282	3.5374	3.48	0.22	0.05	0.06
62 -63	2.9624	3.4042	3.136	3.3502	3.21	0.21	0.04	0.06
63- 64	4.1242	4.0522	5.116	4.819	4.53	0.62	0.27	0.12

Fuente : Elaboracion propia

## CONCLUSIONES:

- Se efectuó la evaluación de la condición funcional del pavimento para el tramo en estudio, estimándose que la situación actual es de condición buena de acuerdo a los parámetros obtenidos (Cáp.V, Pág. 51 )
- Se realizaron mediciones para el cálculo de la rugosidad por medio de la determinación del índice internacional de Rugosidad (IRI); este valor fue de 3.778 (Cáp. IV , Pag. 50 )
- La rugosidad de un camino se ha convertido en uno de los factores que influyen de manera directa en los costos de operación de los vehículos, por ello fue necesario contar con una escala que permitiera correlacionar los valores dados por los diversos equipos existentes en el mundo para medición de rugosidad, por lo que se estableció el Índice Internacional de Rugosidad. (Cáp. III, Pag. 29 )
- Los equipos de evaluación de la rugosidad del tipo respuesta deben calibrarse periódicamente de acuerdo a las características de cada equipo y al uso del mismo. (Cáp. III, Pag. 33 )
- Los sistemas RTRRM son adecuados para el monitoreo rutinario de una red pavimentada y para proporcionar una visión global de la condición y el mantenimiento necesario. (Cáp. III, Pag. 36 )
- Las medidas tomadas por el Bump Integrator son mucho mas consistentes cuando la carretera no posee curvas, mientras mas pronunciada y larga sea la curva, la medida sera variable en el tramo que contenga dicha curva, esto por la dificultad de mantener la velocidad estable, por tanto no se debe incluir dichos tramos . Ademas la existencia de gibas dentro del tramo ( Cap.I – Pagina 19 ), restringe la longitud total a evaluar procediéndose a eliminar aquellos sectores donde existan estas estructuras ,sin considerarlo en los intervalos de estudio

## RECOMENDACIONES:

- Se recomienda el uso del equipo Bump Integrador en la evaluación funcional del pavimento, a partir del calculo de IRI, debido a que permitirá tener información en un corto periodo de tiempo del estado actual de dicho parámetro, además su aplicación ayudará a la toma de decisiones para un control de calidad de obra eficaz, durante su etapa de construcción y post construcción, hasta su aplicación como un instrumento para monitoreo de la evolución del deterioro de la via.
- Es importante evaluar la condición superficial mediante el monitoreo periódico y permanente de la red nacional de carreteras. Se recomienda que sea de manera anual con el fin de obtener valores periódicos.
- El trazo geométrico de la vía debe ser estudiado previo a la medición a fin de sectorar y limitar el estudio a aquellos secciones de la via donde se obtengan datos no sean distorsionados por factores externos a la condicion funcional de la via ,como curvas pronunciadas , gibas o otros donde no sea posible mantener la velocidad del vehiculo constante.

## 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.
- Del Águila, Pablo. "Desarrollo de la Ecuación de Correlación para la determinación de la Rugosidad de Pavimentos Asfálticos Nuevos, utilizando el equipo Merlin". III Congreso Nacional del Asfalto, Lima, 1998.
- 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.
- Mrawira, D. and R. Haas, Calibration of the TRRL's Vehicle-Mounted Bump Integrator.
- Sayers, Michael W, Thomas D. Gillespie, and William D.O.Paterson. "Guidelines for Conducting and Calibrating Road Roughness Measurements". World Bank Technical Paper Number 46. Washington D.C. 1986.
- Sayers, Michael W, Thomas D. Gillespie, and Cesar A.V. Quiroz. "The International Road Roughness Experiment". World Bank Technical Paper Number 45. Washington D.C. 1986.
- Sologorre Huayta, José. "Evaluación de la Rugosidad de Pavimentos con Uso del Bump Integrator". Tesis UNI-FIC, Lima-Perú, 2005.
- Ventura Espinal, José 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 Toole, Roughness calibration studies using different measuring systems, Overseas Centre, Transport Research Laboratory.

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

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

# ANEXOS





Figura 1: Recorrido de la Carretera Cañete- Yauyos-Chupaca Km 59+000 a Km 64+000 con Equipo Bump Integrator

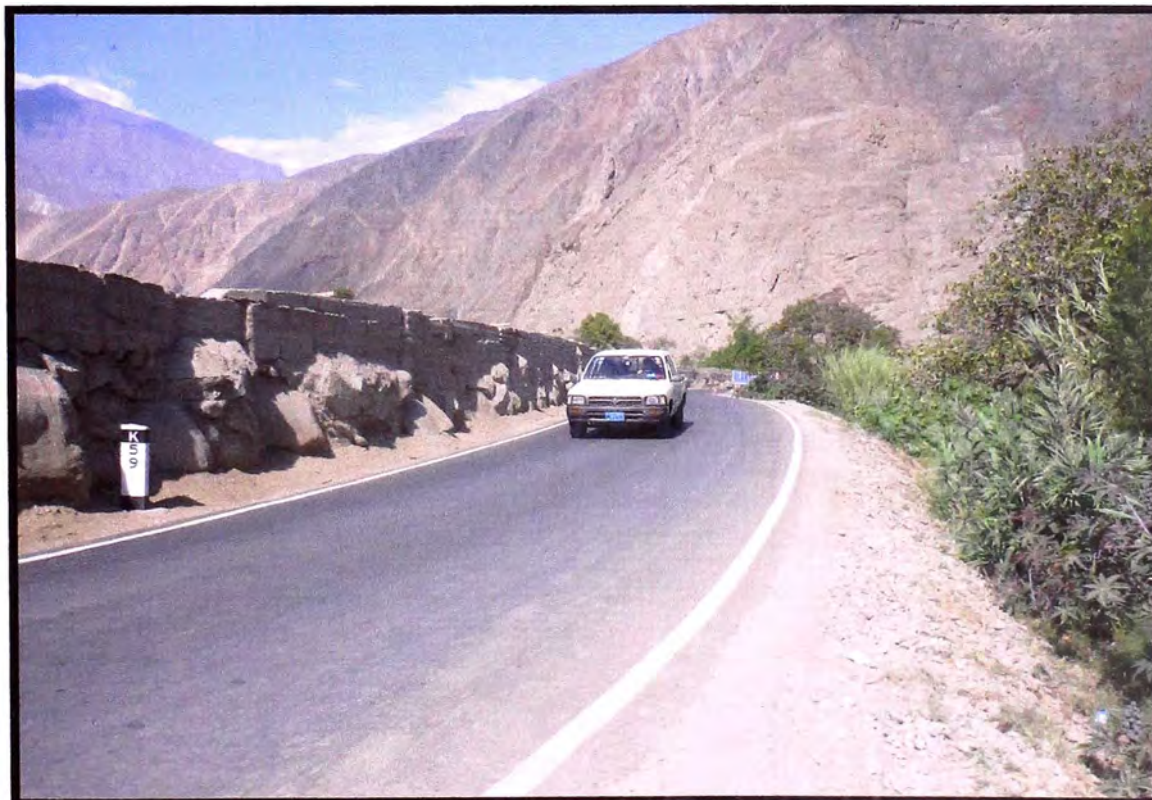


Figura 2: Termino de Recorrido para la toma de datos del equipo





Figura 3- Figura 4 : Se observa la presencia de curvas en la geometria vial a lo largo del tramo estudiado





Figura 5 – Figura 6 Presencia de areas de cultivo – moderada Vegetacion en la carretera

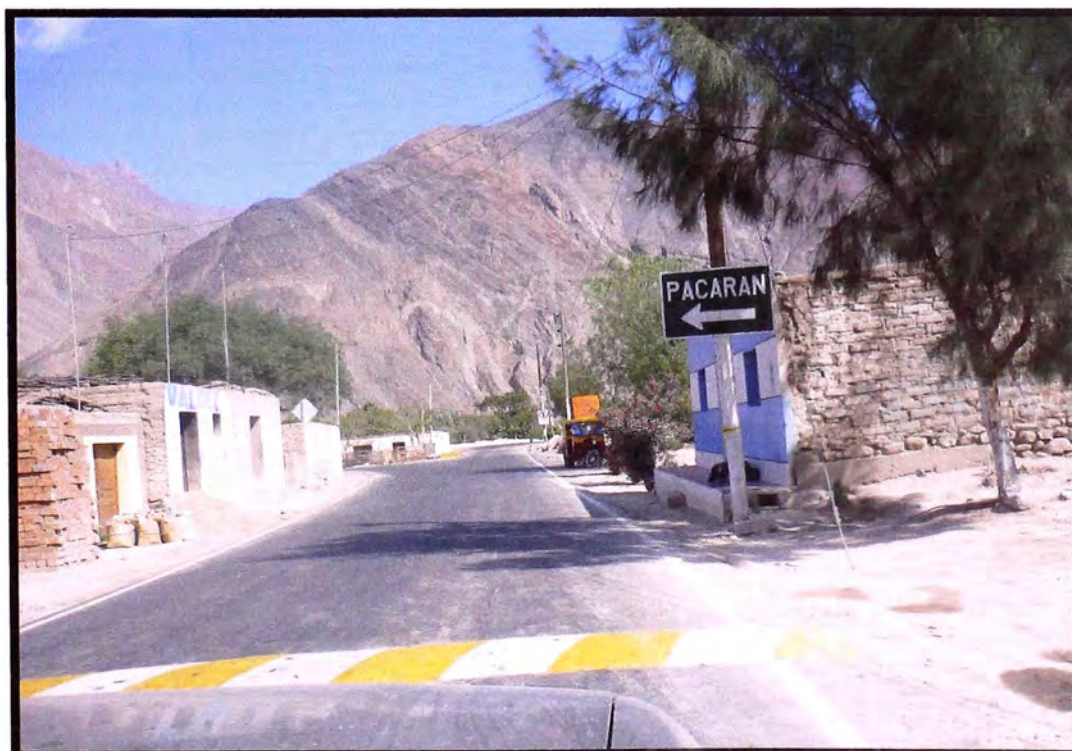


Fuente: Instrumentación desarrollada en el Instituto de Investigación de la Facultad de ingeniería civil IIFIC-UNI





Figura 7 – Figura 8 : Existencia de elementos de Señalización en el tramo de la via  
( carteles y Gibas )



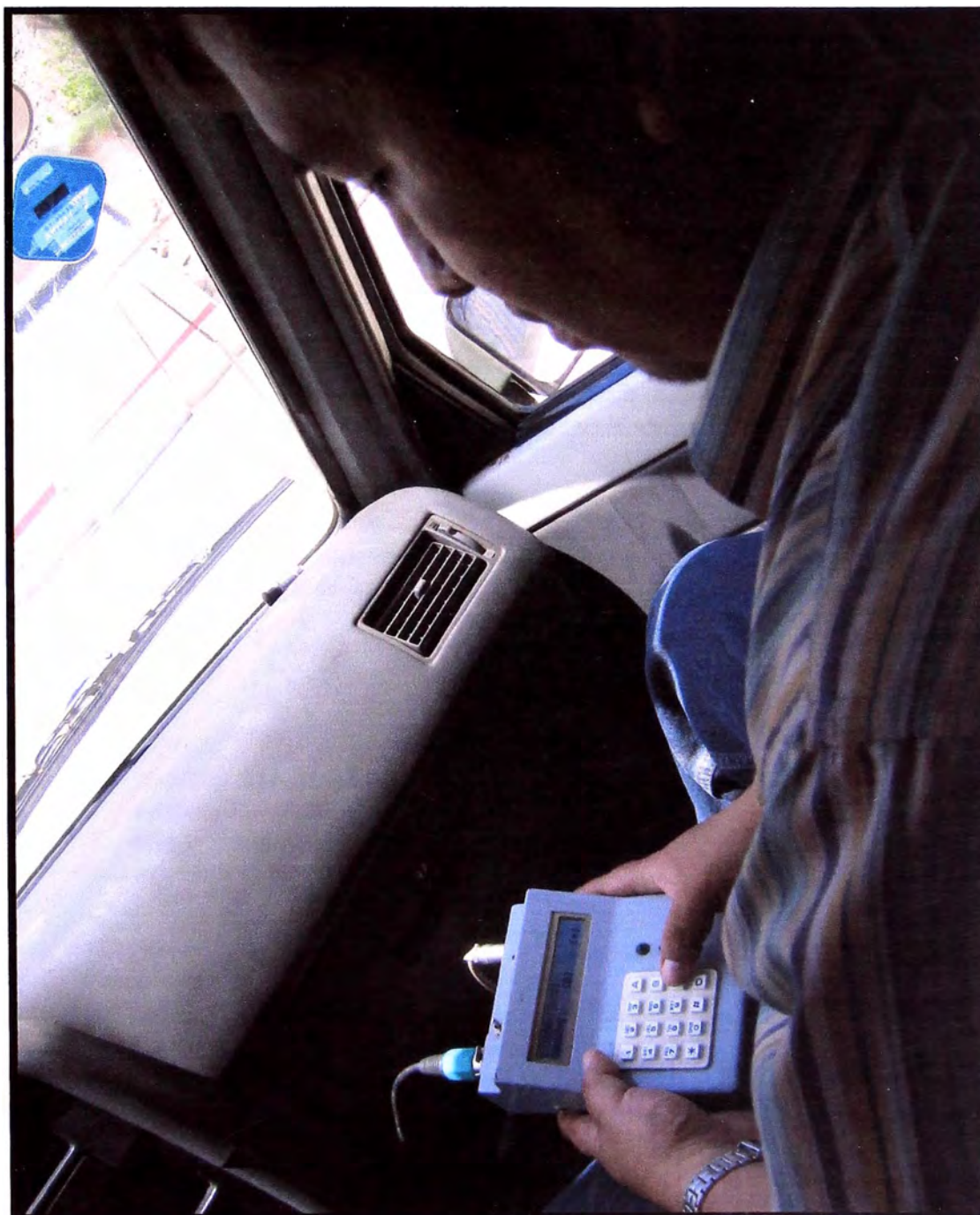
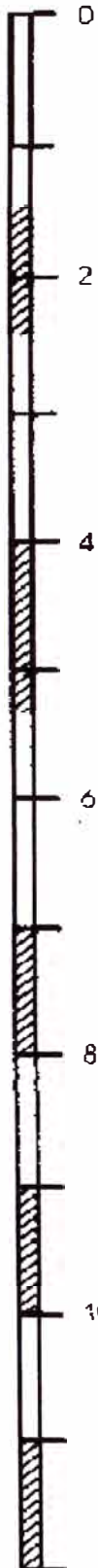


Figura 9 : Toma de Datos con Equipo Bump Integrator



Regularidad  
(m/km, IRI)



Manejo cómodo arriba de 120 km/h. Ondulación levemente perceptible a 80 km/h en rango entre 1.3 a 1.8. Depresiones, baches o corrugaciones no son fácilmente visibles; depresiones < 2mm/3m. Típicamente en asfaltos de alta calidad entre 1.4 y 2.3. Tratamiento superficial de alta calidad entre 2.0 y 3.0

Manejo cómodo entre 100-120 km/h. A 80 km/h, movimientos moderadamente perceptibles o largas ondulaciones pueden ser percibidos. Superficie defectuosa: depresiones ocasionales, parches o baches (por ejemplo 5-15mm/3m o 10-20mm/5m con frecuencia 2-1 en 50 m) o muchos baches poco profundos (por ejemplo en tratamientos superficiales mostrando desprendimiento de materiales). Superficie sin defectos: ondulaciones moderadas o largas.

Manejo cómodo entre 70-90 km/h, grandes movimientos perceptibles y oscilaciones. Usualmente asociados con defectos: frecuentes depresiones moderadas y variables o parches (por ejemplo 15-20mm/3m o 20-40mm/5m con frecuencia de 5-3 en 50 m) o baches ocasionales (por ejemplo 3-1 en 50 m). Superficie sin defecto: grandes ondulaciones o corrugaciones.

Manejo cómodo entre 50-60 km/h, frecuentes movimientos puntuales u oscilaciones. Asociados con severos defectos: frecuentes depresiones profundas y variables y parches (por ejemplo 20-40mm/3m o 40-80mm/5m con frecuencia entre 5-3 en 50 m) o frecuentes baches (por ejemplo 4-6 en 50 m).

Necesario reducir velocidad por debajo de 50 km/h. Muchos depresiones profundas, baches y desintegración severa (por ejemplo 40-80 mm de profundidad con frecuencia entre 8-16 en 50 m).

**Escala de estimación de la regularidad de vías para caminos pavimentados con concreto asfáltico o superficies con tratamiento superficial (chipseal).**

Fuente: Adaptado y traducido de la especificación ASTM E 1926 "Standard Practice for Computing International Roughness Index of Roads from Longitudinal Profile Measurements".

Regularidad  
(m/km, IRI)



Superficie recientemente nivelada de grava fina o superficie de suelo con excelente perfil longitudinal y transversal (usualmente encontrados sólo en longitudes cortas).

Manejo confortable entre 80-100 km/h, se perciben ondulaciones suaves u oscilaciones. Pequeñas depresiones (por ejemplo < 5mm/3m) y sin baches.

Manejo confortable entre 70-80 km/h, pero se perciben movimientos repentinos y algunos golpeteos de neumático. Frecuentes depresiones moderadas poco profundas o baches poco profundos (por ejemplo 6-30mm/3m con frecuencia de 5-10 en 50 m). Moderadas ondulaciones (por ejemplo 6-20mm/0.7-1.5m).

Manejo confortable a 50 km/h (o entre 40-70 km/h en secciones específicas). Frecuentes depresiones transversales moderadas (por ejemplo 20-40mm/3-5m con frecuencia entre 10-20 en 50 m) o depresiones ocasionales profundas o baches (por ejemplo 40-80mm/3m con frecuencias menores a 5 en 50 m). Ondulaciones fuertes (>20mm/0.7-1.5m).

Manejo confortable entre 30-40 km/h. Frecuentes depresiones transversales profundas y/o baches (por ejemplo 40-80mm/1-5m con frecuencia de 5-10 en 50 m); o depresiones ocasionales muy profundas (por ejemplo 80mm/1-5m con frecuencia menor que 5 en 50 m) con otras depresiones no profundas. No es posible evadir todas las depresiones excepto las peores.

Manejo confortable entre 20-30 km/h. Velocidades mayores a 40-50 km/h podrían ocasionar incomodidad extrema, y posibles daños al vehículo. En un buen perfil general: frecuentes depresiones profundas y/o baches (por ejemplo 40-80mm/1-5m en frecuencia de 10-15 en 50 m) y depresiones ocasionales muy profundas (por ejemplo >80mm/0.6-2m). En un perfil muy malo: frecuentes defectos moderados y depresiones (por ejemplo deficientes superficies de tierra).

### **Escala de estimación de regularidad de vías para caminos no pavimentados con gravas o superficies de tierra.**

Fuente: Adaptado y traducido de la especificación ASTM E 1926 "Standard Practice for Computing International Roughness Index of Roads from Longitudinal Profile Measurements".

# ANALIZADOR ELECTRÓNICO DE RUGOSIDAD DE PAVIMENTOS



Instituto de Investigación de la Facultad de Ingeniería Civil - UNI

Victor Sánchez Moya  
Mario Sardón Machuca

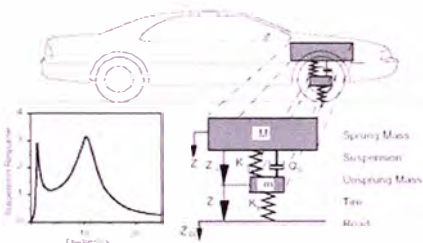
Centro de Investigación y Desarrollo de la Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica - UNI

Jorge Alberto Del Carpio Salinas  
Carlos Alberto Cárdenas Cruz

**Resumen** — El Analizador Electrónico de Rugosidad de Pavimentos o “Rugosímetro Electrónico”, es utilizado al construir un pavimento, para cumplir con estándares de calidad, para lo cual se tiene presente el análisis de la rugosidad de dicha obra. Montado en un vehículo almacena datos, para luego la descarga, análisis y procesamiento en una PC, además tiene la visualización de los procesos y variables sensadas en pantalla LCD del equipo.

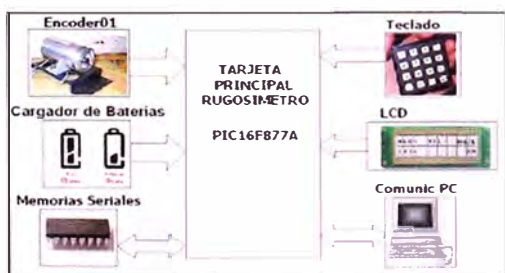
## I. INTRODUCCIÓN

El Rugosímetro electrónico modelo “Bump Integrator”, es capaz de medir la rugosidad del pavimento analizado de gran extensión, el cual va montado en un vehículo a 40Km/h.

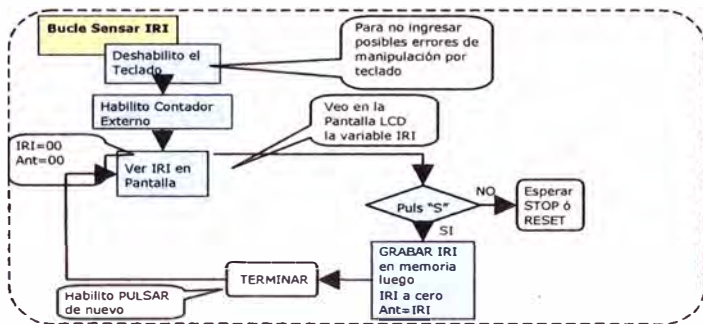


## II. DESCRIPCIÓN

El objetivo es obtener un equipo de fácil manejo (panel d control) y un método de análisis eficiente (software) con resultados confiables, por lo cual se desarrolla este proyecto consistente en el diseño y construcción de un Rugosímetro completamente electrónico, con adquisición de datos por medio de sensores de desplazamiento.

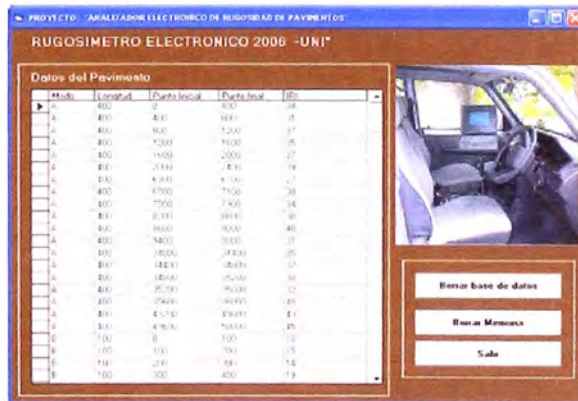


Esquema general del Circuito para el Rugosímetro Electrónico



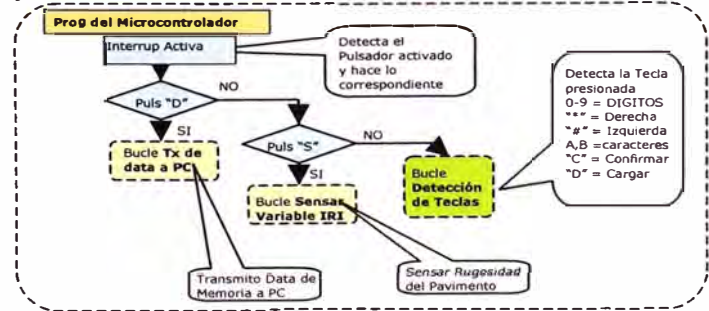
## III. RESULTADOS

El sistema analizador de rugosidad de pavimentos cuenta con hardware y software capaz de analizar pavimentos y procesar su información para determinar luego su estado de serviciabilidad y transitabilidad a partir de la rugosidad.



Software para la PC de adquisición y Procesamiento de datos.

Se ha desarrollado el equipo capaz de analizar y procesar la información programando microcontroladores y creando software para la interfaz de conexión a la PC.



Presentación Final del Equipo Electrónico

## BIBLIOGRAFIA

- [1] "Gestión de Infraestructura Vial". - Hemán de Solminihac T.
- [2] "Microcontroladores Pics Tomo I y II", Dr. Angulo Usategui, España, 2000
- [3] Pagina Web [www.camineros.com](http://www.camineros.com)



# ROMDAS

## Bump Integrator

Specification Sheet

October 2004

### OVERVIEW

The ROMDAS Bump Integrator (BI) for measuring road roughness is a response-type roughness meter. This is a mechanical instrument that measures the relative displacement of the vehicle suspension to the floor of the vehicle. Depending upon the installation either one or two BI's may be used in a vehicle.

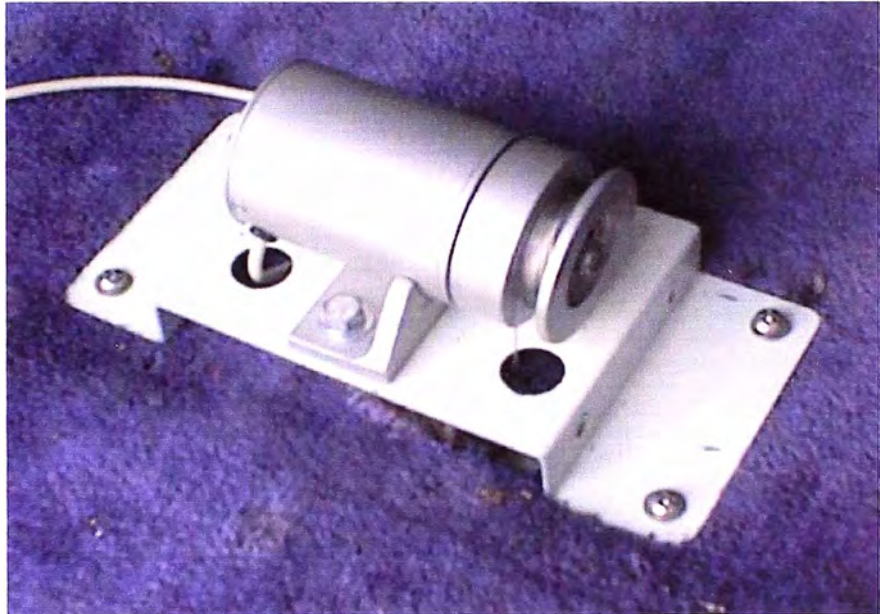
The roughness data from the BI can be recorded either directly with the ROMDAS system on a notebook computer or recorded manually from the display of a ROMDAS Manual Roughness Counter.

The raw roughness data can be converted into a suitable calibrated roughness index such as IRI through user-supplied roughness equations (determined from the roughness calibration).

Features of the BI are:

- High-resolution 360 pulse per revolution high reliability optical encoder
- Rugged one piece aluminium machined housing
- Heavy duty low maintenance bearings
- BI Wires are 210lb breaking strain nylon coated for extra strength and reliability

The BI has the following components:



- 1 x Bump integrator
- 1x Base plate and cover
- 2 x BI wire
- 1 x BI hook
- 1 x Spare BI Spring
- 4 x Self tapping mounting screws
- **Solid Rear Axle.** If the vehicle has a solid rear axle it should be installed over the centre of the differential. This will measure what is termed a 'Half-Car' roughness.
- **Independent Rear Suspension - 2 BI Units.** If there is an independent rear suspension it is recommended that two BI units be installed: one for each wheelpath. Each of these will measure a 'Quarter-Car'. The average of these two will give the overall roughness.

### INSTALLATION

The BI is installed at the rear of the vehicle above the rear suspension. The instrument is mounted on the floor of the vehicle and a cable is connected to the suspension.

There are several different configurations for installing the BI in a vehicle:

- **Independent Rear Suspension - 1 BI Unit.** The use of 1 BI unit with an independent rear suspension is possible, but not recommended. This is because the vehicle will still measure a 'Quarter-Car' but

*Providers of innovative technology for measuring and managing roads*

© 2003 Data Collection Ltd.

the roughness measurements will be dominated by the roughness in the single wheelpath—it does not matter which one—being monitored. It will prove difficult to have a good calibration of the meter because the roughnesses will vary between wheelpaths and between test sections.

All mounting accessories supplied for ease of installation. Spare BI Spring and Wire are also included.

## PRICING

The current price is available from Data Collection Ltd.  
[info@romdas.com](mailto:info@romdas.com)

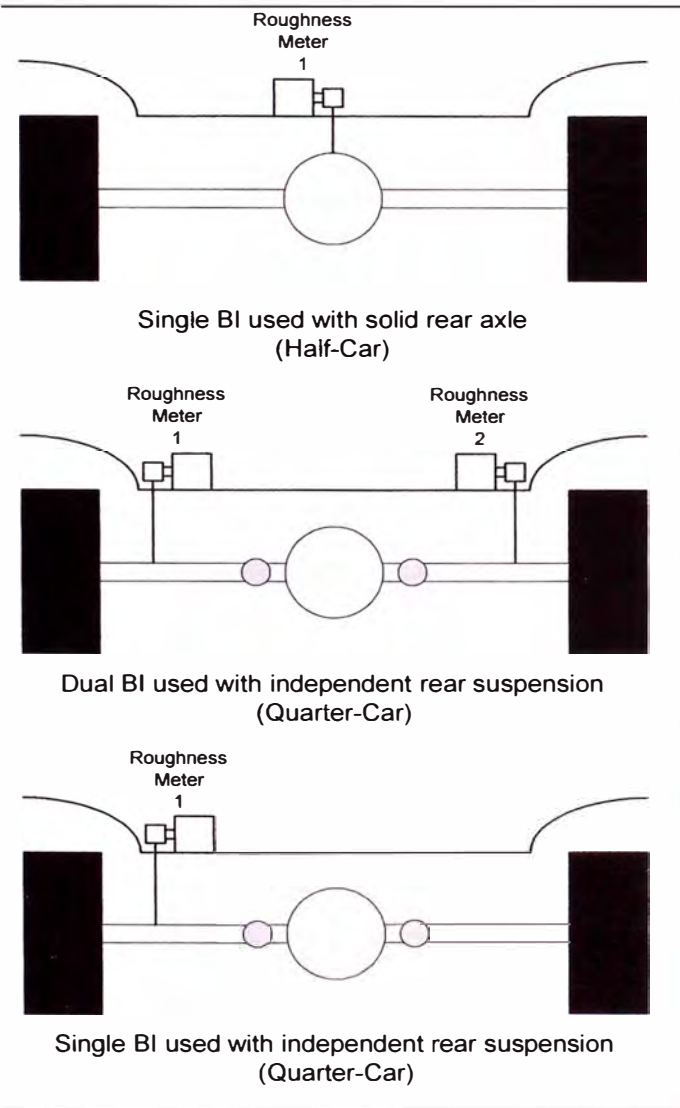
## FURTHER INFORMATION

Further information on the ROMDAS road measurement system is available for download from [www.ROMDAS.com](http://www.ROMDAS.com) or on the ROMDAS CD. This contains software, catalogue, manuals, working papers, etc. To receive a copy please contact us at:

Data Collection Ltd.  
 e-mail: [info@romdas.com](mailto:info@romdas.com)  
 fax: +64-9-820-2495  
[www.ROMDAS.com](http://www.ROMDAS.com)

## Technical Specifications

Encoder Resolution	360 Pulse per revolution
Vertical Resolution	1 pulse per 0.8mm suspension movement
Weight	2.5 Kg
BI breaking Strain	Wire 210lb



*Providers of innovative technology for measuring and managing roads*

© 2003 Data Collection Ltd.



# A Full-Car Model for Active Suspension – Some Practical Aspects

Ales Kruczek

CTU, Faculty of Electrical Engineering  
Department of Control Engineering  
Karlovo namesti 13, 121 35 Praha 2  
tel. +420 2 2435 7279, fax +420 2 2435 7330  
kruczea@fel.cvut.cz

Antonin Stribrsky

CTU, Faculty of Electrical Engineering  
Department of Control Engineering  
Karlovo namesti 13, 121 35 Praha 2  
tel. +420 2 2435 7402, fax +420 2 2435 7330  
stribrsk@fel.cvut.cz

**Abstract**—In this paper a full-car dynamic model with passengers has been designed. A four conventional quarter-car suspension models are connected to a get full-car model. In the next, braking, accelerating and steering influences are reflected, i.e. longitudinal and lateral acceleration are considered. Then impacts of steering to lateral motion are discussed. Finally passengers models was added. Resulting car model has been implemented in *Matlab* software. Usage of a vehicle model for simulation in many automotive control applications has great significance in money savings for test-beds, test circuits and another devices, which in simulations are not required.

## I. INTRODUCTION

The reason why this article has arisen is to develop vehicle model, which can be used for simulation in *Matlab Simulink* environment and which is as simple as possible. In many contributions the quarter-car models are designed only and then these models are used for analysis, synthesis and consequently for controllers validation via simulations. Of course our model is not stated here for analysis and synthesis problem, because of its high order. But usage of full-car dynamic model with passenger has great significance for simulation in many automotive control applications, where we want to observe controller property in way, which was not included in the analysis.

This paper is mainly focused to application of full-car model designed for active suspension. This lead to the first section, where types of active suspensions are discussed. Nevertheless, this affect quarter-car only and the next steps are the same for each type. In the next, high bandwidth active suspension with controlled source of force is considered.

A full-car model is based on the four identical quarter-car models, which are coupled together by solid rods with respect to pitch and roll moment of inertia. Then braking, accelerating and steering influences should be reflected, i.e. longitudinal and lateral acceleration are considered. Therefore vehicle body roll and pitch, which cause the center of gravity movements and this is an important attribute for car stability during driving through the curves.

It imply the question how the driver impacts car motion through the command to the steering wheel, in lateral direction especially. In fact it depends on the side force considerably, thus on the load force and tire characteristics. In our model,

steering wheel is not included, because it is not important in active suspension case. But some basic ideas of steering are shown in the last section.

Finally, a full-car model is completed by passengers models. Our passenger model include vertical motions only. Horizontal motions can be derived from pitch and roll. Last the influences of a vertical and lateral motions to human body are discussed.

## II. QUARTER-CAR MODEL.

Quarter-car model consist of the wheel, unsprung mass, sprung mass and suspension components (see Fig.1). Wheel is represented by the tire, which has the spring character. Wheel weight, axle weight and everything geometrically below the suspension are included in unsprung mass. Sprung mass mean body or in other words, chassis of the car. Suspension can consists of various parts, then we can talk about passive, semi-active or active suspension. Next section describes each one.

### A. Active, semi-active or passive?

Before starting of suspension design, we should decide which kind of suspension we will use. The first choice can be passive one. In this case, spring and damper is used only. So the freedom for a design is in the damping rate and stiffness. Advantages are simplicity and costs. Second possibility is a semi-active suspension, where a damper with variable damping constant is used. Then the damping can be changed either to several discrete values or continuously, but unfortunately the time constant is relatively large. Moreover energy can be dissipated only. The advantage is small energy demands. Last type is an active suspension, where energy source is added and therefore ride properties (passenger comfort, car stability, road friendliness) can be more improved. The price for improvements is complexity of design, bigger costs and in particular big energy demands.

### B. Low vs. high-bandwidth active suspension

Lets now consider the active suspension, it means energy can be supplied into the system. In the next explanation active suspension is divided into its active and passive part. As the active part controlled source of force is supposed, but generally it can be whatever for energy supplying. Passive part consist of

spring and damper or similar devices, however this part can be empty (for high-bandwidth) or rigid (for low-bandwidth active suspension) as well. Accordingly we put mind to two kinds of suspension configuration – low-bandwidth and high-bandwidth.

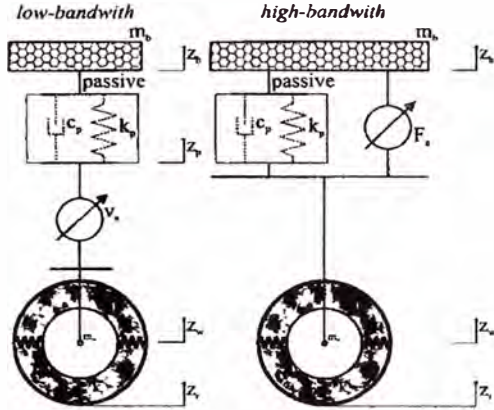


Fig. 1. Low-bandwidth (left) and high-bandwidth (right) suspension models

In a *low-bandwidth configuration* (LB), the active and passive components are linked in series (Fig.1). To get model for Simulink, differential motion equations follows (we consider both the spring  $k_p$  and the damper  $c_p$  in passive part), where  $\dot{z}_p - \dot{z}_w = v_a$  is an actuator:

$$\begin{aligned} m_b \ddot{z}_b &= -k_p(z_b - z_p) - c_p(\dot{z}_b - \dot{z}_p); \\ m_w \ddot{z}_w &= k_p(z_b - z_p) + c_p(\dot{z}_b - \dot{z}_p) - k_t(z_w - z_r). \end{aligned} \quad (1)$$

So lets introduce some advantages and disadvantages of this configuration:

- + body height control possibility
- actuator carry static load (actuator cannot be omitted or off)
- low frequency range

On the other hand, in a *high-bandwidth configuration* (HB) components are linked in parallel (Fig.1). Of course, the dynamics of the system is the same as for low-bandwidth (1), so the motion equations are similar, except an actuator is a force  $F_a$ :

$$\begin{aligned} m_b \ddot{z}_b &= F_a - k_p(z_b - z_w) - c_p(\dot{z}_b - \dot{z}_w) \\ m_w \ddot{z}_w &= -F_a + k_p(z_b - z_w) + c_p(\dot{z}_b - \dot{z}_w) - k_t(z_w - z_r) \end{aligned} \quad (2)$$

The properties of this configuration are:

- + it is possible to control at the higher frequencies than for LB
- + without actuator works as passive one
- practically impossible to control car height (only with increasing force)

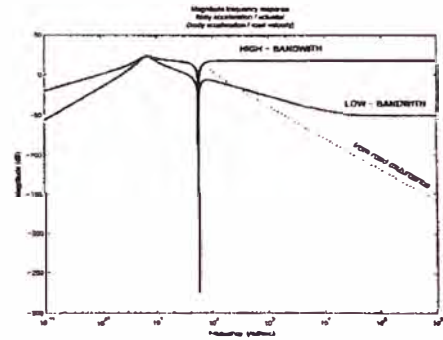


Fig. 2. High vs. low-bandwidth comparison

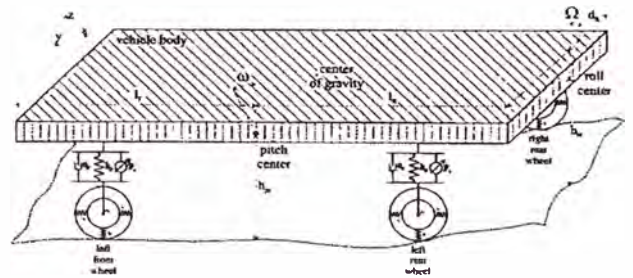


Fig. 3. Simple full-car model

These HB and LB suspension properties result from the schematic diagrams (Fig.1) and the comparison magnitude frequency response<sup>1</sup> in Fig.2.

As mentioned above, in the next model design high-bandwidth active suspension is used, mainly because of no requirements on the static load force. But in the next design all following ideas hold for both HB and LB case generally.

### III. FULL-CAR DYNAMICS

#### A. Basic model

If a quarter-car model has been done, then it is not difficult to get a simple full-car model, where the links between sprung masses are considered to be a solid rods (see Fig.3). Then we can formulate three mechanical equations for pitching, rolling and center of gravity (CG) motion respectively:

$$\begin{aligned} (F_{A_{fl}} + F_{A_{fr}})l_f - (F_{A_{rl}} + F_{A_{rr}})l_r &= J_p \dot{\omega}, \\ (F_{A_{fl}} + F_{A_{rl}})d_l - (F_{A_{fr}} + F_{A_{rr}})d_r &= J_r \dot{\Omega}, \\ F_{A_{fl}} + F_{A_{fr}} + F_{A_{rl}} + F_{A_{rr}} &= m_{body} \dot{v}_T, \end{aligned} \quad (3)$$

where  $m_{body} = m_{b_{fl}} + m_{b_{fr}} + m_{b_{rl}} + m_{b_{rr}}$ .

This equations lead to the quarter-car links for simulation model. To derive acceleration above each wheel, we can use following:

<sup>1</sup> Source of force for HB has been multiplied to scale the HB characteristics in peak point to LB one.

$$\begin{aligned}
\dot{z}_{b_{fl}} &= v_T + \omega l_f + \Omega d_l, \\
\dot{z}_{b_{rl}} &= v_T - \omega l_r + \Omega d_l, \\
\dot{z}_{b_{fr}} &= v_T + \omega l_f - \Omega d_r, \\
\dot{z}_{b_{rr}} &= v_T - \omega l_r - \Omega d_r.
\end{aligned} \quad (4)$$

So if some nonlinearities are neglected, a car model describing the impacts of road irregularities to vehicle body through suspension system is ready.

### B. Braking and cornering

Now the dynamic forces, which act directly on the car body, should be introduced. In the other words, next description should be concerned in load force changes during the braking and cornering. Some details on vehicle dynamics has been in [2].

To describe the braking and cornering influences to the dynamic load force, both influences can be analyzed separately, because of superposition principle. The equations for each wheel are similar, so equations for front-left wheel will be introduced only and the others will be easy to derive.

The front-left force acting on the wheel is:

$$F_{load_{fl}} = F_{static_{fl}} + \Delta F_{roll_{front}} + \Delta F_{pitch_{left}} \quad (5)$$

where the mentioned forces are following:

$$\begin{aligned}
F_{static_{fl}} &= m_{body} \cdot g \cdot \frac{l_r}{l} \cdot \frac{d_r}{d}, \\
\Delta F_{roll} &= m_{body} \cdot a_y \cdot \frac{h_{rc}}{d} + K_{roll} \cdot \frac{\Phi_{roll}}{d}, \\
\Delta F_{pitch} &= m_{body} \cdot \dot{v}_x \cdot \frac{h_{pc}}{l} + K_{pitch} \cdot \frac{\Phi_{pitch}}{l}, \\
\Delta F_{roll_{front}} &= \Delta F_{roll} \cdot \frac{l_f}{l}, \\
\Delta F_{pitch_{left}} &= \Delta F_{pitch} \cdot \frac{d_l}{d}.
\end{aligned} \quad (6)$$

For simplicity it is assumed that the body angle is proportional to horizontal forces. Then the symbol  $\Phi$  means the assumed angle change and the constants  $K_{roll}$  and  $K_{pitch}$  are the roll and pitch body stiffness, respectively. To make a more complex model, angle can be measured and inserted into equation.

Thus assumptions for angles are:

$$\begin{aligned}
\Phi_{roll} &= \frac{m_{body} h_{rc} a_y}{K_{roll} - m_{body} h_{rc} g}, \\
\Phi_{pitch} &= \frac{m_{body} h_{pc} \dot{v}_x}{K_{pitch} - m_{body} h_{pc} g},
\end{aligned} \quad (7)$$

where  $g = 9.81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$  is a gravitation.

If these equations are implemented into the model, a full-car model, which is able to simulate car driving with braking and cornering, is got.

### C. Steering wheel and tires influences

This model, developed above, imply the question how the driver command impacts car motion through the steering wheel, in lateral direction especially, so that this impact could be included in the model. In a simple case, when the steering without steering boost is used, the driver's force is transferred via steer mechanism to the front wheels and this mechanism we can model as a rigid arms (see Fig.4). If steering servo is included, then its model should be involved in mechanism model. But the main problem is determine the force acting on the each wheel from the road.

In fact, this force depend considerably on the tire characteristic, which is strongly nonlinear, in particular during the car skidding. Moreover even nonlinear tires models are very complicated and therefore in most applications simple linear model is used, where side force depend proportionally on load force with coefficient of friction.

The side force acting on the wheels depend not only on the tires and road, but on the car speed too, because real car must over- or understeer and therefore slip on the front and rear wheels is different and the radius of the curve vary for the fix front wheels angles.

Fortunately, if some of these nonlinearities and dependencies are neglected, relative simple model of driver's impact to lateral behavior of the car can be got. In this section some basic ideas how to get a model will be presented.

1) *Low vs. high speed cornering*: Situation during low speed cornering with very small lateral acceleration is easy, the radius of curve is proportional to wheel angle:

$$\delta = \frac{1}{R}, \quad (8)$$

where  $\delta$  is wheel angle,  $l$  is length of the car and  $R$  is curve radius.

If the car is cornering in high speed, we should consider over- or understeering behavior of the car. How the car behave depends on the placement of center of gravity. Consequently if the wheel angle is fixed, the radius of the curve increase with increasing speed of the car. Then the radius is:

$$R = \frac{l - K v^2}{\delta}, \quad (9)$$

where  $K$  is the understeer gradient defined as:

$$K = F_N \left( \frac{l_r}{l} \frac{1}{c_{fT}} - \frac{l_f}{l} \frac{1}{c_{rT}} \right), \quad (10)$$

where  $c_{xT}$  is the tire coefficient. These coefficients depend on the load force and the slip of the wheels and is nonlinear. In our model dependencies are neglected and the constant coefficient assumption is made.

If  $K$  is positive, then car is understeering and vice versa if  $K$  is negative, car is oversteering. That mean CG is in the front or in the rear of the car respectively. For  $K$  equal to zero, the car has neutral steering and the radius is the same as for low speed turning, which is impossible in the car with real properties.



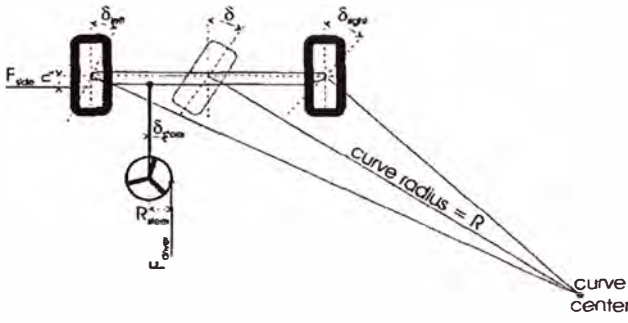


Fig. 4. Steering mechanism

The problem is that  $K$  depend on the tires and the road (via parameter  $c_{xT}$ ). So in the real car reverse way is useful: measure the lateral acceleration and the car speed, which give us the radius of the curve. Then if the yaw rate of the car will be measured too, the slip of the wheels can be estimated and roughly: tire to road situation.

In the next subsection a steering mechanism model is introduced and model with drivers command and car speed as inputs and lateral acceleration as output is got and is connected to the full-car model with cornering.

2) *Steering mechanism*: Transfer mechanism from the steering wheel to the front wheels can be modelled as a rigid arms (see Fig.4). Resulted force can be defined as the force developed by a driver without the force acting on the wheels during cornering and the force from steering servo. So the total moment acting on the steering arms is:

$$M_{tot} = F_{driver}(1 + k_{servo})R_{steer} - F_{sidefront}n_s, \quad (11)$$

where  $M_{tot}$  is a total moment which moves with the wheels,  $F_{driver}$  is the driver command to the steering wheel of radius  $R_{steer}$ ,  $F_{side}$  is force acting on the front wheels at point  $n_s$  and  $k_{servo}$  is steering servo gain (simple case of the servo functionality). Static friction and other nonlinearities has been neglected, but for small forces and angles should be included. Thus the wheel angle is:

$$\ddot{\delta}_w = \frac{M_{tot}}{J_{steer}}, \quad (12)$$

where  $J_{steer}$  is the moment of inertia of the steering mechanism and wheel. Because the term  $F_{side}$  (and consequently  $M_{tot}$ ) is not known accurately enough, it is better to measure the  $\delta_{steer}$  and consequently put the force  $F_{side}$  to the equation (11).

Moreover it should be noticed that  $\delta_w$  is average wheel angle, which is measured as the angle between direction of the wheel and longitudinal car axis. But for an accurate computation, the angle should be measured between the longitudinal axis and perpendicular line to radius of the turn for each wheel, because the left and the right wheel angle is a little bit different ( $\Delta\delta \doteq \frac{Ld}{R^2}$ ).

mass	$m_0$	2kg
	$m_1$	6kg
	$m_2$	2kg
stiffness	$k_1$	$9.99 \cdot 10^4$
	$k_2$	$3.44 \cdot 10^4$
	$k_3$	$3.62 \cdot 10^4$
damping	$c_1$	387
	$c_2$	234
	$c_3$	$1.39 \cdot 10^3$

TABLE I

PARAMETERS OF PASSENGER MODEL

For the reasons mentioned in this section, it is obvious that to obtain accurate lateral model of the car according to driver's command is very complicated task. To make the model applicable as much as possible variables must be measured.

#### IV. SEATED PASSENGERS

##### A. Passenger model

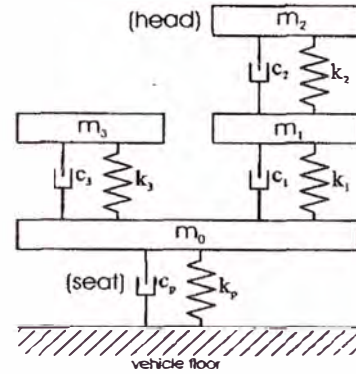


Fig. 5. Passenger model

1) *Human body*: To accomplish a complex car model for active suspension the vertical passenger model will be presented. Behavior of human body seated in a car can be (for vertical direction) modelled as 3-DOF system (see Fig.5). Values of the damping and stiffness constants illustrated in the figure are showed in the Table I. Although damping and stiffness coefficient in the model seems to has a biological reason as part of a human body, according to ISO 5982:2001 standard [1] this constants fit the measured characteristics from disturbance force to human's head (mass  $m_2$ ) only. Because the weight of the different people (man, women, strong, slim etc.) vary, the model should be corrected accordingly. It can be assumed that passenger seats at part of his overall body weight. Remaining weight is held by legs and backrest. Therefore the mass  $m_3$  represent weight of seated part of passenger in our model. ISO 5982 standard describes three typical human body masses: 55, 75 and 90kg. Then corresponding seated part mass is 30, 45 and 56kg respectively. Thus model of seats and connection to the car should be introduced now.

2) *Seats*: The connection of the human body to vehicle floor via car seat is illustrated in Fig.5. If a typical cushioned seat is considered, then the seat can be modelled as 1-DOF 2nd order system. For accurate results, the seat should be modelled as nonlinear model depended on static load, but for comfort evaluation linear model is enough. We put an assumption to average human body weight roughly equal to  $75kg$ , therefore  $m_3 = 45kg$ . Then the parameters of the seat model are  $k_p = 5.46 \cdot 10^4 Nm^{-1}$  and  $c_p = 278 Nsm^{-1}$  as described in [4].

In order to link the seat models to vehicle model, the seats should be placed into the vehicle floor. So it is supposed, that the four seats models with passengers are placed at position  $d_{sl}; d_{sr}; l_{sf}; l_{sr}$  from car center of gravity.

### B. Human perception

Finally it is necessary to discuss the human vibration perception, because the human being is not sensible to vibration at each disturbance frequency in the same way. Therefore it is important to distinguish the frequencies where passenger is sensitive to vibration considerably and the frequencies where he is not.

Moreover it should be noticed that human sensitivity to vibration is different for the vertical and horizontal direction. The vertical model of passenger has been derived above and the horizontal influences of active suspension can be observed from car pitching and rolling.

Typically it is assumed human being is most sensitive in the range

$$4 \dots 8 Hz \quad (25 \dots 50 rad/s)$$

for the vertical motions and

$$1 \dots 2 Hz \quad (6.3 \dots 12.6 rad/s)$$

for the horizontal motions.

Therefore the frequency dependent acceleration tolerance function should be band-stop filter with the frequency ranges mentioned above.

To estimate the ride comfort of passenger, it is good idea to weight the gain characteristic from disturbance to the body acceleration by reversed human sensitivity tolerance function. The weighted gain for the passive and active suspension [3] is illustrated in Fig.6, where the important frequency ranges for gain attenuation are obvious.

And what the surprising is that the less vibration level the more human sensitivity. In the other words, if the level of vibration is less, then the frequency bandwidth of sensitivity is wider and wider.

However plenty of literature measure the uncomfortable level as mechanical vibration attenuation only, the acoustics vibration, i.e. the noise, is very important factor of comfort too and therefore both requirements should be taken into account for a car design. Of course, in active suspension design first factor, vibration attenuation, can be influenced only. Fortunately in most cases the noise is correlated with mechanical vibration in a car. In addition, it should be reflected that mechanical vibrations are not perceived by seat only, but also by hands, legs etc..

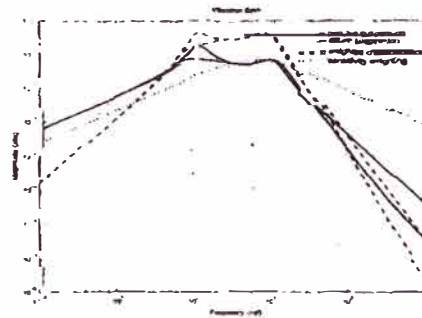


Fig. 6. Vertical vibration of car suspension

### V. CONCLUSION

In this paper, the fundamentals of a full-car dynamic model with passenger has been introduced. The main objective of the paper has been to give a directions how to easy implement behavior of the car to the simulation software, in particular for the active suspension design.

Therefore the reasons for usage of an passive, semi-active and active suspension has been discussed. The active system has been considered as the best solution for a car. Consequently the high- and low-bandwidth suspension, their advantages and disadvantages, has been introduced.

The active suspension has been appended to the full-car model and the steering dynamics has been described. Unfortunately, the cornering is too complex and non-linear process to give a simple software model implementation. Thus many issues had to be neglected.

Last the car model has been completed by the seats and passengers models. The influences of a vibrations to human body has been presented and some hints how to design active suspension systems for suitable comfort level has been introduced.

To conclude the paper, the simple equation for software implementation (e.g. *Matlab Simulink*) and simulation has been developed.

### REFERENCES

- [1] *ISO 5982: Mechanical vibration and shock – Range of idealized values to characterize seated-body biodynamic response under vertical vibration*. International Organization for Standardization, Geneva, 2001.
- [2] T. D. Gillespie. *Fundamentals of Vehicle Dynamics*. Society of Automotive Engineers, 1992.
- [3] A. Kruczek and A. Stribrsky.  $H_\infty$  control of automotive active suspension. to be published, 2004.
- [4] G. J. Stein and P. Mučka. Theoretical investigations of a linear planar model of a passenger car with seated people. In *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers*, volume 217 Part D of *Journal of Automobile Engineering*, 2003.



## ANEXO

### 1. Introducción

El modelo se encuentra desarrollado en una planilla Excel, bajo el nombre “Nueva Planilla Vialidad Intermedia” y corresponde a una actualización computacional y mejoramiento de la planilla de vialidad intermedia utilizada anteriormente. Esta planilla es un complemento a la “Metodología de Proyectos de Vialidad Intermedia a Nivel de Perfil”, con el objetivo de facilitar los cálculos de la evaluación, sin embargo, en la presentación del proyecto deberán entregarse todos los antecedentes solicitados en la metodología.

El modelo contiene 3 hojas, denominadas de la siguiente forma:

- Ingreso de Datos
- Cálculos
- Resultados

La hoja "Ingreso de Datos", permite el ingreso de toda la información necesaria para la evaluación social del proyecto.

La hoja denominada "Cálculos", es una hoja complementaria que sirve de apoyo a las operaciones efectuadas por la planilla electrónica y en la que se realizan todos los cálculos necesarios para estimar los beneficios y costos sociales del proyecto. Existe la opción de ocultar la hoja o dejarla visible para ser consultada por el evaluador, a fin de que éste tenga mayor conocimiento de los cálculos contenidos en el modelo. Sin embargo, esta hoja no podrá ser modificada ni tampoco será necesario ingresar datos en ella para realizar la evaluación, ya que está protegida.

Finalmente, la hoja "Resultados" muestra la proyección de TMDA, el flujo de beneficios y costos sociales y los indicadores de rentabilidad del proyecto. Al igual que la hoja "Cálculos", esta hoja se encuentra protegida y no podrá ser intervenida por el usuario.

Para obtener reportes impresos sólo basta ejecutar el comando imprimir, ya que el formato de impresión está configurado para cada hoja.

### 2. Ingreso de Datos

La hoja Ingreso de Datos se organiza de la siguiente forma:

- Cuadro 1: Datos del Proyecto
- Cuadro 2: Datos Encuesta de Tránsito
- Cuadro 3: Factores de Expansión Horaria
- Cuadro 4: Tasas de Crecimiento Vehicular
- Cuadro 5: Tasas de Ocupación Vehicular
- Cuadro 6: Presupuesto de Inversión Detallado (\$)
- Cuadro 7: Factores de Corrección a Precios Soc.

- Cuadro 8: Precios Sociales
- Cuadro 9: Indicadores Relevantes
- Cuadro 10: Ahorro Ctos. Manten. (\$)

A continuación se explica la información requerida en cada uno de los cuadros señalados previamente. Cabe señalar que las celdas que aparecen sombreadas en color celeste en la planilla indican que estos datos deben ser ingresados por el evaluador.

**Cuadro 1: Datos del Proyecto**

Cuadro 1: Datos del Proyecto		
Código BIP		
Nombre	Proyecto Prueba	
Año de Construcción	2005	
	Sin Proyecto	Con Proyecto
Distancia (Km)		
Rugosidad - IRI		
	Velocidad (Km/hr)	
Tipo de Vehículo	Sin Proyecto	Con Proyecto
Autos - Ctas.		
Taxis - TXC		
TXBus		
Buses		
Camiones		

Las tres primeros datos que deben ser ingresados en el Cuadro 1 corresponden al Código BIP del proyecto, su nombre y el año esperado de construcción o ejecución (debe ingresarse en forma completa; por ejemplo: 2006).

Posteriormente existe una sección para ingresar los datos de Distancia (en Kilómetros), Rugosidad (medida como IRI<sup>1</sup>) y la velocidad por tipo de vehículo (en Km/hr), tanto para las situaciones sin proyecto como con proyecto.

El ingreso de estos datos dependerá de si el proyecto se enmarca en alguno de los tres casos siguientes:

- Caso i: Proyectos nuevos en los cuales no se utiliza en la actualidad la vía analizada o no existe como vía. El flujo del proyecto se estima en base a una reasignación de vehículos desde una vía cercana al proyecto.
- Caso ii: Proyectos sobre vías utilizadas en la actualidad, pero que además tomarán vehículos de una o más vías alternativas (reasignación parcial) utilizando luego la calle proyectada.

<sup>1</sup> En caso de que la medición de rugosidad se tenga en BI (Bump Integrator), la transformación a IRI se puede realizar con la siguiente ecuación:  $IRI = 0,0032 \times (BI^{0,89})$ .

- **Caso iii:** Proyectos de mejoramiento (pavimentación o rehabilitación), donde se estima que no existe reasignación desde otras vías o esta no es importante.

La siguiente Tabla resume la forma en que se debe calcular la distancia, la rugosidad y la velocidad para cada caso identificado previamente.

Forma de estimar las variables distancia, rugosidad, velocidad y flujo de evaluación según tipo de proyecto (Situaciones sin y con proyecto).

Variable	Situación	Caso i	Caso ii	Caso iii
Distancia	Sin Proyecto	$Dalt$	$\frac{(Dalt \times Falt) + (Dact \times Fact)}{Ftotal}$	$Dproy$
	Con Proyecto	$Dproy$	$Dalt = Dproy$	$Dproy$
Rugosidad	Sin Proyecto	$Ralt$	$\frac{(Ralt \times Dalt) + (Ract \times Dact)}{Dtotal}$	$Ract$
	Con Proyecto	$Rnue$	$Rnue$	$Rnue$
Velocidad	Sin Proyecto	$Valt$	$\frac{(Valt \times Falt) + (Vact \times Fact)}{Ftotal}$	$Vact$
	Con Proyecto	$Vest$	$Vest$	$Vest$
Flujo de Evaluación		$Falt$	$\frac{(Dalt \times Falt) + (Dact \times Fact)}{Dtotal}$	$Fact$

Donde,

- $Dalt$  : Distancia de la vía alternativa
- $Dproy$  : Distancia de la vía proyectada
- $Dact$  : Distancia de la vía proyectada, sin proyecto (generalmente igual a la  $Dproy$ )
- $Dtotal$  : Distancia total, es decir,  $Dact + Dalt$
- $Fact$  : Flujo actual en la vía proyectada
- $Falt$  : Flujo que se estima se reasignará al proyecto, pero que usa actualmente la vía alternativa
- $Ftotal$  : Flujo total, es la suma de  $Fact + Falt$
- $Ralt$  : Rugosidad en la calle alternativa, de la cual se reasignarán vehículos a la vía proyectada
- $Rnue$  : Rugosidad de la vía proyectada
- $Ract$  : Rugosidad actual en la vía a mejorar
- $Valt$  : Velocidad promedio en la vía alternativa
- $Vact$  : Velocidad promedio en la actualidad, en la vía analizada
- $Vest$  : Velocidad promedio estimada para el proyecto

En caso de que la unidad que formula el proyecto no disponga de mediciones de rugosidad para el tramo de análisis, se sugiere utilizar a nivel de perfil los siguientes valores de rugosidad (IRI) según tipo y estado de la carpeta de rodadura:

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)

En tanto, la máxima diferencia que se podrá considerar entre las velocidades de la situación con y sin proyecto no podrá superar los 15 km/hra; además, la velocidad en la situación con proyecto no podrá superar el máximo permitido para las zonas urbanas.

### Cuadro 2: Datos de Encuesta de Tránsito

Cuadro 2: Datos Encuesta de Tránsito					
Ciudad					
Calle					
Punto de Control					
Tramo de Validez de la Muestra					
Fecha (dd/mm)	Año (aaaa)				
HORA ENCUESTA	VL. Particulares	Taxis-TXC	TXBuses	Buses	Camiones
08:00-09:00 A.M.					
13:15-14:15					
18:45-19:45					
10:00-11:00 A. M.					

El Cuadro 2 contiene los datos de la encuesta de tránsito. La primera parte de este cuadro requiere el ingreso de información para caracterizar la encuesta efectuada e incluye datos como:

- Ciudad: Identificar la ciudad en que se realizó la encuesta.
- Calle: Identificar la calle en la cual se efectuó la encuesta
- Punto de control: Identificar el lugar donde se realizó la encuesta (calle, intersección).
- Tramo de validez de la muestra: Identificar el tramo en el cual la muestra de tránsito es válida
- Fecha: Identificar el día y mes en que se efectuó la encuesta (por ejemplo, 17/08)
- Año: Identificar el año en que se efectuó la medición de tránsito (por ejemplo, 2005). Este dato es muy importante para la estimación ya que de no ingresarse correctamente, la hoja "Resultados" mostrará un error.

La segunda parte del Cuadro 2 solicita el ingreso de la medición de tránsito efectuada por el evaluador (flujo horario: vehículos / hora). Tal como se puede apreciar, se identifican cuatro periodos representativos, los que corresponden a:

- Punta mañana: Se debe realizar el conteo de tránsito entre 08:00 y 09:00 hrs.