

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



**EVALUACION DE LA RUGOSIDAD DE LA
CARRETERA CAÑETE – YAUYOS – CHUPACA
CON EQUIPO BUMP INTEGRATOR
TRAMO KM. 89+000 – KM. 94+000**

INFORME DE SUFICIENCIA

Para optar el Título Profesional de:

INGENIERO CIVIL

RICHARD MANRIQUE SILVA CASTILLO

Lima- Perú

2009

INDICE

| | |
|--|----|
| RESUMEN | 2 |
| LISTA DE CUADROS | 3 |
| LISTA DE FIGURAS | 4 |
| LISTA DE SIMBOLOS Y DE SIGLAS | 5 |
| INTRODUCCION | 6 |
| CAPITULO I GENERALIDADES | |
| 1.1 Antecedentes | 8 |
| 1.2 Ubicación | 10 |
| 1.3 Características de la carretera | 12 |
| 1.4 Tramo de estudio Km. 89+000 – Km. 94+000 | 22 |
| CAPITULO II ESTADO DEL ARTE | 27 |
| CAPITULO III MARCO TEORICO | |
| 3.1 Evaluación Superficial | 31 |
| 3.2 Rugosidad | 33 |
| 3.2.1 El experimento Internacional de Rugosidad de Caminos | 34 |
| 3.2.2 Índice de Rugosidad Internacional | 36 |
| 3.2.3 Escala y característica de IRI | 38 |
| 3.2.4 Clase de equipo para evaluar la rugosidad | 42 |
| 3.3 Método de Evaluación con equipo Bump Integrator | 44 |
| 3.3.1 Descripción del Bump Integrator | 44 |
| 3.3.2 El Vehículo | 45 |
| 3.3.3 Instalación del equipo en el vehículo | 46 |
| 3.3.4 Velocidad de operación | 49 |
| 3.3.5 Procedimiento de operación | 50 |
| 3.3.6 Calibración del equipo Bump Integrator | 52 |
| CAPITULO IV APLICACIÓN DEL METODO | |
| 4.1 Recopilación de datos | 55 |
| 4.2 Calibración del equipo Bump Integrator | 58 |
| 4.3 Procesamiento de datos | 62 |
| CAPITULO V ANALISIS DE RESULTADOS | 63 |
| CONCLUSIONES | 65 |
| RECOMENDACIONES | 66 |
| BIBLIOGRAFIA | 67 |
| ANEXOS | 68 |

RESUMEN

Hoy en día la evaluación de pavimentos constituye una herramienta indispensable en la gestión de carreteras por que permite controlar la evolución del pavimento mediante el monitoreo periódico y asimismo priorizar un mantenimiento oportuno sin caer en sobrecostos. Esto repercute directamente en los usuarios que hacen uso de ella optimizando los costos de transportes al minimizar los costos de operación de los vehículos.

Con este propósito se hace una evaluación a la carretera Cañete – Yauyos – Chupaca, carretera de tercer orden y de Bajo Volumen de Transito, dada en concesión en el 2008 para su rehabilitación y mantenimiento. Se emplea el Índice de Rugosidad Internacional (IRI) como parámetro de medición, obtenido con el Sistema Bump Integrator que es un Sistema Tipo Respuesta de Medida de Rugosidad de Caminos (STRRMS). Esta importante vía une los departamentos de Lima y Junín, encontrándose asfaltado del km. 0+000 (Cañete) al km. 40+950 (Lunahuaná) y el resto del tramo es base de afirmado con tratamiento superficial.

El desarrollo del informe consta de cinco capítulos. En el primer capítulo se detallan datos de importancia que caracterizan la carretera en estudio, en el segundo capítulo una breve historia de la evolución del método de evaluación del sistema Bump Integrator aplicado al tramo en estudio. En el tercer capítulo se hace mención al marco teórico en que se fundamenta la evaluación superficial de pavimentos, teniendo al Índice de Rugosidad de Pavimentos (IRI) como parámetro utilizado para determinar las características superficiales que presenta los pavimentos y finalmente en los capítulos cuarto y quinto se desarrolla la aplicación del método y análisis de resultados respectivamente.

LISTA DE FIGURAS

| | Pág. |
|--|------|
| FIGURA N°1.1 Trabajos durante la Ley de Conscripción Vial | 8 |
| FIGURA N°1.2 Área de influencia indirecta | 10 |
| FIGURA N°1.3 Área de influencia directa | 10 |
| FIGURA N°1.4 Plano clave de la carretera Cañete-Yauyos-Chupaca | 11 |
| FIGURA N°1.5 Ubicación del tramo en estudio | 22 |
| FIGURA N°1.6 Vista panorámica del tramo en estudio | 23 |
| FIGURA N°1.7 Mapa ecológico del tramo en estudio | 23 |
| FIGURA N°1.8 Perfil estratigráfico del tramo en estudio | 25 |
| FIGURA N°1.9 Procesos de ejecución de pavimentos básicos | 25 |
| FIGURA N°1.10 Sección típica del cambio de estándar | 25 |
| FIGURA N°2.1 Quarter Car Simulation | 29 |
| FIGURA N°3.1 Representación del perfil real de una carretera | 33 |
| FIGURA N°3.2 Modelo de cuarto de carro | 37 |
| FIGURA N°3.3 Esquema para la formulación del modelo | 37 |
| FIGURA N°3.4 Escala del Índice de Rugosidad | 39 |
| FIGURA N°3.5 Gráfica típica del avance del deterioro de un pavimento Respecto al tiempo | 40 |
| FIGURA N°3.6 Escala de estimación del IRI en carreteras no pavimentadas | 41 |
| FIGURA N°3.7 Clasificación de equipos para medición de rugosidad | 43 |
| FIGURA N°3.8 Sensor de desplazamiento Bump Integrator | 45 |
| FIGURA N°3.9 Posición del sensor de desplazamiento | 46 |
| FIGURA N°3.10 Instalación del sensor de desplazamiento en el vehículo | 47 |
| FIGURA N°3.11 Modelo de conexión del Rugosímetro electrónico | 48 |
| FIGURA N°3.12 Rugosímetro Bump Integrator – Contador | 48 |
| FIGURA N°3.13 Ejemplo de un procedimiento de operación | 51 |
| FIGURA N°4.1 Ecuación de correlación con cinco secciones | 59 |
| FIGURA N°4.2 Ecuación de correlación con tres secciones | 61 |
| FIGURA N°4.3 Gráfica del IRI por Kilómetro | 62 |

LISTA DE SIMBOLOS Y DE SIGLAS

| | |
|-----------------|---|
| AASHTO | American Association of State Highway and Transportation Officials |
| A.S.T.M. | American Society for Testing and Materials |
| I.R.I. | Índice de Rugosidad Internacional |
| M.D.S. | Máxima Densidad Seca |
| MTC | Ministerio de Transportes y Comunicaciones |
| N.T.P. | Norma Técnica Peruana |
| NCHRP | National Cooperative Highway Research Program |
| O.C.H. | Óptimo Contenido de Humedad |
| PCI | Índice de serviciabilidad |
| PSI | Índice de Condición del Pavimento |
| RTRRMS | Sistema Tipo Respuesta de Medida de Rugosidad de Caminos |
| S.U.C.S. | Sistema Unificado de Clasificación de Suelos |
| TSB | Tratamiento Superficial Bi capa |
| TRRL | Laboratorio de Investigación de Caminos y Transporte de Inglaterra |
| UMTRI | Instituto de Investigación del Transporte de la Universidad de Michigan |

INTRODUCCION

La importancia de la evaluación de pavimentos radica en que proporciona información que puede ser utilizada tanto en el diseño como en la gestión de la infraestructura, permitiendo priorizar las actividades de mantenimiento y rehabilitación.

La evaluación de un pavimento comprende dos tipos de condiciones: la evaluación estructural y la evaluación superficial. La primera está relacionada con la capacidad que tiene el pavimento para soportar las cargas de los vehículos y la segunda está relacionada directamente con la percepción del usuario al hacer uso de una determinada vía.

En el caso de la evaluación superficial, solamente la regularidad de la superficie de rodadura para la circulación de los vehículos ofrece condiciones de seguridad y comodidad para los usuarios de la carretera. Si la magnitud de irregularidades superficiales es alta entonces se tiene una incidencia negativa en el costo de operación de los vehículos que se refleja en el mayor consumo de combustible y un mayor desgaste de llantas. De la misma manera los efectos dinámicos de los vehículos inciden modificando el estado de esfuerzos y deformaciones de la estructura del pavimento incrementando los costos de conservación y rehabilitación.

Por lo expuesto anteriormente es vital conocer la regularidad superficial del pavimento en todo momento del periodo de su vida útil, porque permitirá definir las acciones necesarias que se deben tomar para la conservación o rehabilitación en el momento oportuno.

De manera universal se ha establecido y muchos países utilizan el Índice de Rugosidad Internacional (IRI) como parámetro para evaluar la regularidad de la superficie de rodadura de un pavimento así como para reflejar el confort y seguridad de los usuarios.

OBJETIVO PRINCIPAL

El presente informe tiene como objetivo principal valorar la condición funcional del pavimento mediante la obtención del IRI con un Método Tipo Respuesta de Medida de Rugosidad de Caminos, aplicado a una carretera con tratamiento superficial.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Los objetivos específicos que se esperan alcanzar son:

1. Obtener datos confiables para poder realizar una correcta evaluación de la rugosidad de la Carretera a estudiar empleando datos de campo con el rugosímetro Bump Integrator.
2. Procesamiento de los datos obtenidos usando las herramientas técnicas para calcular los parámetros de rugosidad.
3. Establecer las ventajas y desventajas del empleo del equipo

En el primer capítulo se da a conocer información general de la carretera tales como los antecedentes, la ubicación geográfica, las características de la vía, para finalmente dar una descripción detallada del tramo e estudio del Km. 89+000 al Km. 94+000.

En el segundo capítulo se desarrolla el estado del arte del método de evaluación aplicado al tramo en estudio como es el Sistema Bump Integrator, se describe los principios con los que se fue desarrollando los rugosímetros hasta la fecha.

En el tercer capítulo correspondiente al marco teórico se pone énfasis a conceptos muy importantes como son la evaluación superficial, la rugosidad, el Índice de Rugosidad Internacional (IRI) y finalmente se hace una descripción del método de Evaluación Bump Integrator.

En el cuarto capítulo se desarrolla la aplicación del método, empezando con la recopilación de datos, la calibración del equipo y el procesamiento de datos.

Finalmente en el quinto capítulo se analizan los resultados obtenidos evaluando la consistencia de los mismos y comparándolos con referencias establecidas por el Banco Mundial para evaluación de carreteras pavimentadas y no pavimentadas.

CAPITULO I: GENERALIDADES

1.1 Antecedentes

La carretera de penetración y enlace entre Cañete – Yauyos – Chupaca (actualmente corredor vial N° 13), fue proyectada y ejecutada por partes 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 (Ley N°4113). Durante los últimos años de este gobierno en el avance de los trabajos en el Cañón de Uchco (Yauyos-Lima), por circunstancias fatales mueren seis obreros y coincidiendo con la caída del gobierno, quedaron paralizados todos los trabajos de la carretera.



Figura N°1.1 Trabajos durante la Ley de Conscripción Vial

Fuente: <http://pe.kalipedia.com/historia-peru>

Durante el gobierno del Dr. Manuel Prado Ugarteche, entre los años 1940 y 1944 se avanzan con los trabajos de la carretera desde Cañete, llegando a Yauyos en abril de 1944, siendo inaugurado en junio del mismo año. En 1954 el Gobierno Central a través del Ministerio de Fomento continuó con los trabajos para culminar con el tramo faltante entre Yauyos - Tomas, poniéndose a cargo de las obras al Ing. Máx. Atuncar, haciéndose realidad en 1957.

En el año 1998 la Comisión de Promoción de Concesiones Privadas (PROMCEPRI) adjudicó la buena Pro al Consorcio “Asociación Aguas y Estructuras (AYESA) – ALPHA CONSULT SA” para realizar el servicio de consultoría a nivel de estudio definitivo para la rehabilitación y mejoramiento de la carretera Lunahuaná - Huancayo.

En el año 2003, el Proyecto Especial Rehabilitación de Transportes (PERT) del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC) encargó al consultor Ing. Floriano Palacios León (Contrato de Estudios N° 0412-2003-MTC/20 del 28.11.2003) la formulación del estudio de pre inversión a nivel de perfil para el mejoramiento y rehabilitación de la carretera Ruta 22, tramo Lunahuaná – Yauyos – Chupaca.

En el marco del programa “Proyecto Perú” que fue creado por Resolución Ministerial N° 223-2007-MTC-02 y modificado por Resolución Ministerial N°408-2007-MTC/02 y que es parte del Proyecto Especial de Infraestructura de Transporte Nacional (PROVIAS NACIONAL), se suscribió el CONTRATO DE SERVICIOS N° 288–2007 MTC/20 de 27 de diciembre del 2007, con el CONSORCIO GESTIÓN DE CARRETERAS por un monto total de S/.131'589,139.31 y con un plazo de contrato de cinco años, a fin que éste brinde el Servicio de Conservación Vial por Niveles de Servicio de la Carretera: Cañete – Lunahuaná – Pacarán - Chupaca y Rehabilitación del Tramo: Zúñiga – Dv. Yauyos – Ronchas.

Como parte de los compromisos contraídos por el CONSORCIO GESTIÓN DE CARRETERAS, según los términos de referencia, dentro de la fase pre-operativa se realizó un Inventario Vial Calificado (obtención de un registro de todas las estructuras y obras que conforman la carretera), el cual se ejecutó durante los meses de abril, mayo y junio del 2008.

El MTC a través de PROVIAS NACIONAL suscribió un convenio de cooperación interinstitucional con la Universidad Nacional De Ingeniería el 22 de agosto del 2008 por un periodo de cinco años, con el propósito de implementar un sistema de acompañamiento y monitoreo del contrato de conservación vial por niveles de servicio que se vienen llevando a cabo en el Corredor Vial N° 13.

1.2 Ubicación

La carretera Cañete – Yauyos – Chupaca forma parte del corredor vial N° 13, perteneciente a la Ruta N° 22 de la Red Vial Nacional.

Se encuentra ubicado en la región central del país y su ámbito de desarrollo está entre las provincias de **Cañete y Yauyos** en el departamento de **Lima** y las provincias de **Concepción y Chupaca** en el departamento de **Junín**.



Figura 1.2 Área de influencia indirecta

Fuente: Elaboración Propia



Figura 1.3 Área de influencia directa

Fuente: Elaboración Propia

| Tramo de la carretera | Progresiva proy. (km) | Progresiva real (km) | Coordenada Geográfica | Región |
|-----------------------|-----------------------|----------------------|-----------------------------|--------|
| Cañete (Inicio) | 0+000 | 1+805 | 13°04'34"(S) – 76°23'04"(O) | Costa |
| Chupaca (Fin) | 271+726 | 273+531 | 12°03'35"(S) – 75°17'16"(O) | Sierra |

Cuadro 1.1 Ubicación de la Carretera

Fuente: Informe técnico, convenio UNI-PROVIAS

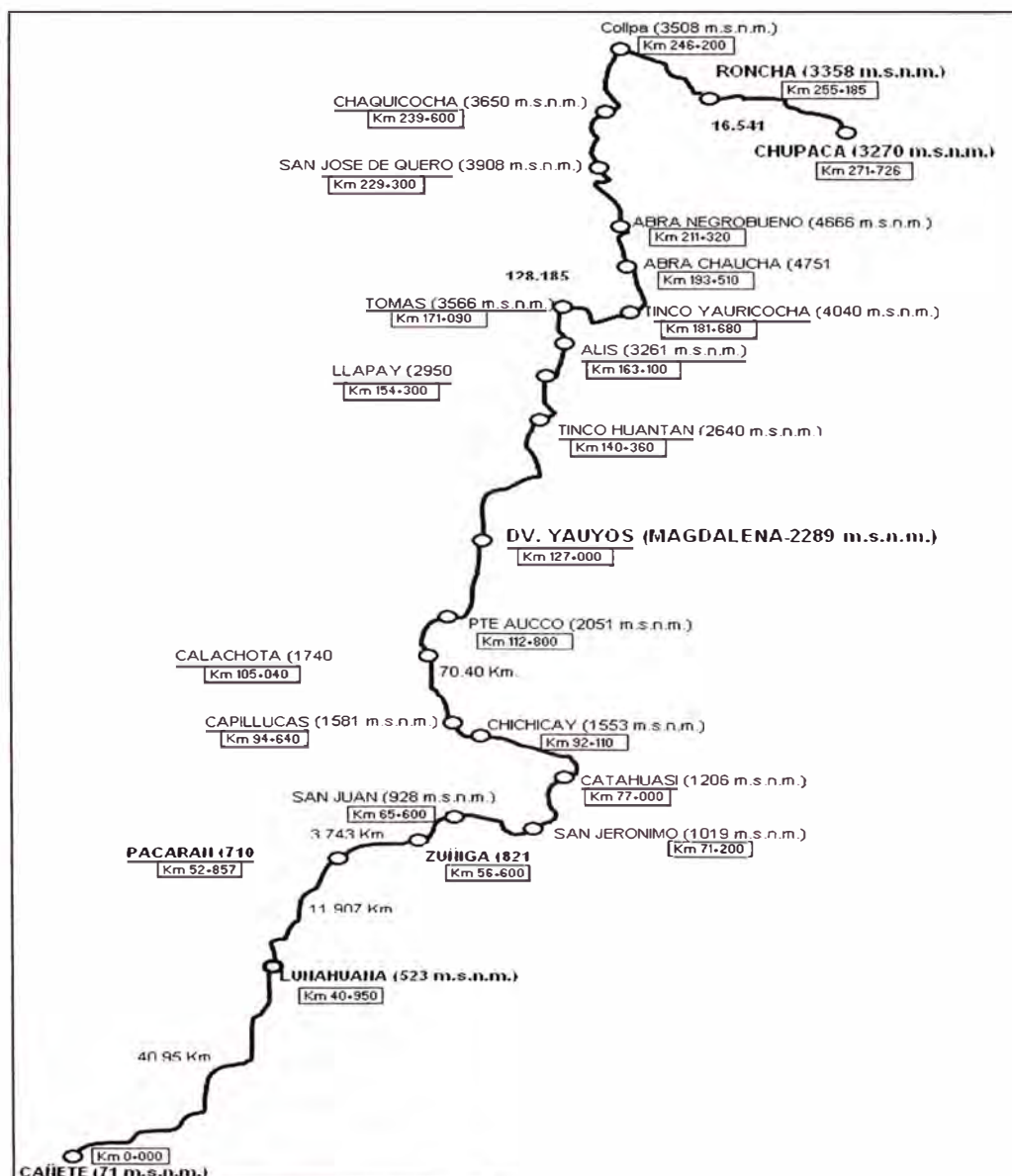


Figura N°1.4 Plano clave de la carretera Cañete-Yauyos-Chupaca

Fuente: Informe técnico, convenio UNI-PROVIAS

1.3 Características de la carretera

La vía se desarrolla en la costa y gran parte en la sierra por lo que se caracteriza por una topografía muy accidentada en la mayoría de su recorrido. Presenta una temperatura media anual entre 11°C y 16°C; las máximas entre 22°C y 29°C; y las mínimas entre 4°C y 7°C. 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)

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

Red Vial N°13

Categoría: Tercer Orden

Velocidad directriz: 30 Km/hora

Ancho de vía útil: 6.60m

Ancho de bermas: 0.50m

Bombeo: 2.5%

Longitud Total: 271.73km

Máxima Altitud: 4,666 msnm (Abra negrobueno)

a) Orografía

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.

Continúa "la quebrada" que 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. Esta área corresponde a la región **Yunga** (500 msnm - 2300 msnm). Las localidades que se encuentran con esta configuración son: Zúñiga (821 msnm) en el km 56+600, Catahuasi (1206 msnm) en el km 77+000, Capillucas (1581 msnm) en el km 94+640, Calachota (1740 msnm) en el km 105+040, y Dv. Yauyos o Magdalena (2289 msnm) en el km 127+000).

Continúa la vía por la región **Quechua** (2300 msnm – 3500 msnm), 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. Localidades ubicadas en esta región son: Tinco Huantan (2640 msnm) en el km 140+360, Llapay (2950 msnm) en el km 154+300, y Alis (3261 msnm) en el km 163+100. Al otro lado de la cordillera se ubica Ronchas (3358 msnm) en el km 255+185.

Se continúa ascendiendo llegando a la región **Suni** (3500 msnm a 4000 msnm), donde el escenario cambia a bruscas ascensiones de acantilados, peñoleras 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. La localidad llamada Tomas (km 171+090) se ubicada en esta región. Se encuentra a 3566 msnm. Al otro lado de la cordillera se ubican: San José de Quero (3908 msnm) en el km 229+300, Chaquicocha (3650 msnm) en el km 239+600, y Collpa (3508 msnm) en el km 246+200.

La carretera atraviesa también la región **Puna**, que comprende alturas entre los 4000 msnm y 4800 msnm. 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 hendiendo 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. En esta región ubicamos localidades o lugares como: Tinco Yauricocha (4040 msnm) en el km 181+680, Abra Chaucha (4751 msnm) en el km 193+510, Abra Negro Bueno (4666 msnm) en el km 211+320).

b) Clima

Como se ha visto, el área comprometida en el proyecto se ubica en diferentes regiones, según la clasificación del Dr. Javier Pulgar Vidal (expuesta en su tesis "Geografía del Perú").

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

Yunga Marítima: Esta región se caracteriza por ser de sol dominante durante casi todo el año. La temperatura fluctúa entre 20 y 27°C durante el día; las noches son 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 temperatura media anual fluctúa entre 11°C y 16°C; las máximas entre 22°C y 29°C; y las mínimas entre 7°C y -4°C.

Suni: El clima es frío debido a la elevación ya los vientos locales. La temperatura media anual fluctúa entre 7°C y 10°C, máximas superiores a 20°C y mínimas invernales de -1°C a -16°C. 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°C y -25°C.

c) Precipitación

En el tramo existen tres zonas bien diferenciadas en cuanto a niveles de precipitación:

La primera corresponde al tramo comprendido entre Cañete (71 msnm) y Catahuasi (1206 msnm). Donde las precipitaciones promedio anuales son escasas variando de 10 mm en Cañete a 29 mm en Catahuasi.

Un segundo tramo corresponde a la cuenca media del río Cañete, comprendido entre los 2000 y 3500 msnm con una precipitación promedio de de 297,1 mm anuales.

Un tercer tramo correspondiente a la cuenca alta del río Cañete; de la cota de 3500 msnm hasta el nivel de cumbre superiores a los 4500 msnm donde la precipitación se incrementa considerablemente como lo indican las estaciones de Carania 551 mm (3825 m.s.n.m. - Yauyos) y Yauricocha (4522 m.s.n.m.- Alis) 944.1 mm.

En cuanto se refiere a la variación de la precipitación promedio mensual, es conocido que en toda la zona alto andina existe una marcada estacionalidad. A partir de septiembre se inician las primeras lluvias incrementándose paulatinamente hasta el mes de marzo o abril. En el período entre enero y marzo se concentra el mayor volumen de precipitación. Entre los meses de abril y agosto son escasas las lluvias.

d) Geomorfología

El relieve en el tramo carretero puede subdividirse en tres zonas bioclimáticas que presentan patrones geomorfológicos más o menos definidos: zona alto andina, zona meso andina y la zona del matorral desértico.

Zona Alto andina (cuenca alta).- Comprende relieves de topografía agreste, de vertientes de altura relativa superior a 500 metros (entre la cima y base de las elevaciones) y pendiente generalmente superior a 50 %. Las laderas presentan considerables superficies en las que predominan las exposiciones del substrato rocoso, que se alternan con taludes coluviales periglaciares y depósitos morrénicos solifluidos.

Zona Meso andina (cuenca media).- Está constituida por un conjunto de vertientes montañosas, de topografía predominantemente agreste, que se encuentra a altitudes comprendidas aproximadamente entre 2 400 y 3 800 m.s.n.m. Aquí las glaciaciones cuaternarias no han ejercido acciones morfológicas directas, y el clima holocénico o actual es relativamente templado y húmedo, es decir, que sus temperaturas y precipitaciones permiten desde hace siglos el desarrollo de la tradicional agricultura andina de las vertientes.

En este conjunto se destaca la presencia de áreas encañonadas, de grandes vertientes y paredes rocosas, que con frecuencia superan los mil metros de desnivel entre la cima y base de las elevaciones. A este respecto cabe mencionar el impresionante cañón de paredes rocosas calcáreas ubicado sobre el río Alis, cinco kilómetros aguas abajo del distrito de Tomás.

Zona del Matorral desértico (cuenca baja).- Los sectores más llanos corresponden a la llanura aluvial reciente del río Cañete, donde las acumulaciones aluviales modernas han cubierto prácticamente todas las

irregularidades topográficas salvo algunas lomadas y colinas que aparecen sobre el llano a modo de “montes relictos”. En forma más localizada, algunos sectores de llanura interior, alejados del curso fluvial, tienen también muy poca pendiente, debido en parte a la actividad eólica y aluvial de los últimos milenios que contribuyó a rellenar las depresiones regularizando las superficies.

Pero de manera dominante, las llanuras interiores tienen numerosos accidentes topográficos, como disecciones, ondulaciones, exposiciones del substrato rocoso y dunas, que se deben a las acciones eólicas y eventuales lluvias en los últimos miles de años.

Los relieves de colinas y montañas que enmarcan las llanuras costeras, son el resultado de la orogenia y elevación plio pleistocénica de los Andes, a consecuencia de la cual, se encajonaron los cursos de agua dando lugar a la configuración montañosa actual de la cordillera andina, especialmente en la sierra y selva alta. En la costa, las colinas y montañas corresponden de manera general a las estribaciones occidentales finales de la Cordillera Occidental, y conjuntamente con las planicies, conforman los grandes conjuntos morfológicos fisiográficos de la costa.

e) Geología

De acuerdo a la información obtenida del ONERN¹ se puede indicar que la composición frecuentemente observada son las rocas ígneas intrusivas las que constituyen el batolito andino de la Costa que aflora desde la localidad de Trujillo en el Norte de forma ininterrumpida, hasta las cercanías de la quebrada de Pescadores, Arequipa, en el sur del país.

En la cuenca alta del río Cañete se observan además capas de lutitas carbonosas con areniscas de grano fino, estratos de calizas margosas, sill tipo basáltico, calizas masivas dispuestas en bancos potentes, calizas silíceas en gruesos estratos, así como pseudo brechas calcáreas. Este conjunto pétreo es de gran importancia, ya que en las calizas de este grupo está localizada la mejor mineralización de la zona, como la evidencian las minas existentes en la cuenca alta.

1 ONERN - *Inventario, evaluación y uso racional de los recursos naturales de la costa. Cuenca del Río Cañete.* - Lima: 1970

f) Ecología

Según el Mapa Ecológico del Perú² se ha identificado diez zonas de vida que se distribuyen a lo largo de la carretera entre Cañete y Chupaca, estos son:

| POBLADOS MAS INPORTANTES | SIMBOLO | FORMACION ECOLOGICA |
|-----------------------------|-----------|---|
| Cañete, Imperial, Lunahuaná | dd - S | Desierto desecado – Subtropical |
| Pacarán, Zúñiga | ds – S | Desierto semiárido – Subtropical |
| Catahuasi, Capillucas | dp – S | Desierto perárido – Subtropical |
| Calachota | md – S | Matorral desértico – Subtropical |
| | ee – MBT | Estepa espinosa - Montano Bajo Tropical |
| Magdalena, Alis | e – MT | Estepa - Montano Tropical |
| Tomas, Tinco | ph – SaT | Páramo húmedo – Subalpino Tropical |
| San José de Quero | pmh – SaT | Páramo muy húmedo – Subalpino Tropical |
| | tp - AT | Tundra pluvial – Alpino Tropical |
| Chupaca, Ronchas | bh - MT | Bosque húmedo – Montano - Tropical |

Cuadro N°1.2 Zonas de vida a lo largo de la carretera

Fuente: Plan de manejo socio-ambiental, Consorcio Gestión de Carreteras, Junio 2008

g) Flora

La determinación de la flora en el tramo de la carretera, se basó en observaciones de campo, información proporcionada por los pobladores locales, trabajo de gabinete y revisión de otros estudios realizados en la zona. Como resultado se obtuvo la siguiente información:

Vegetación en ambientes terrestres se tienen 12 especies identificadas en la zona de vida estepa-Montano Tropical; 16 especies en bosque húmedo-montano tropical; 9 especies en páramo muy húmedo - Subalpino Tropical; y algunas especies hemocriptofíticas entremezcladas con algunas gramíneas del género *Stipa* en Tundra pluvial-Alpino Tropical.

Se cuenta con las siguientes especies importantes: **aliso** (*Alnus jorullensis*), **anjojisha** (*Opuntia subulata*), **taya** (*Parastrephia lepidophylla*), **chachas** (*Escallonia pendula*), **tarwi** (*Lupinus mutabilis*), **quinual** (*Polylepis racemosa*), **quishuar** (*Buddleia incana*), **colle** (*Buddleia coriacea*), **yanacara** (*Gynoxis* sp),

² Mapa Ecológico del Perú – Guía Explicativa, INRENA 1995, Lima.

karkac (*Escallonia corymbosa*), **huamanpinta** (*Chuquiraga espinosa*), **roque** (*Colletia spinosissima*), **sauco** (*Sambucus peruviana*), **mutuy** (*Cassia* sp). En las partes más altas se encuentra *Calamagrostis vicunarum*, *Festuca dolichophylla*, *Calamagrostis rigescens*, *Hipochaeris taraxacoides*, *Calamagrostis intermedia*, *Distichia muscoides*, *Alchemilla pinnata*, *Plantago tubulosa* *azorella* spp, *Urtica* spp.

h) Fauna

En cuanto a especies de aves ligadas a ambientes acuáticos, se registran 26 especies y 46 especies de aves ligadas a ambientes terrestres, lo cual indica la importancia de estos ecosistemas como zona de tránsito y hábitat para las aves. También se refiere un número de 17 especies de mamíferos identificados en el área de estudio.

Las aves ligadas a los ambientes acuáticos son relativamente numerosas. En general estas especies tienen una densidad bastante baja, las más abundantes son los patos, el zambullidor y las garzas. Las aves ligadas a ambientes terrestres están representadas por la gran cantidad de especies típicas de la sierra peruana como: picaflores (*Agleactis cupripennis*, *Myrtis fanny*, *Patagona gigas*, *Phalcobaenus albogularis*, *Polyonymus caroli*), cotinga (*Ampelio rubrocristatu*), cotorra (*Aratinga Wagleri*), lechuza (*Athene culicularia*), perico andino (*Bolborhynchus obbygnesius*), buho (*Bubo virginianus*), gorrion cordillerano (*Zonotrichia capensis*) y aguilucho común (*Buteo polyosoma*) entre otros.

Entre los principales mamíferos se tiene a los roedores *Akodon boliviensis*, *Orizomys* sp., *Phyllotis pictus*, *Phyllotis* spp., cuy andino (*Cavia tschudii*), zorrino (*Conepatus rex*), muca (*Didelphis marsupialis*), zorro andino (*Dusicyon culpaeus*), puma (*Felis concolor*), gato silvestre (*Felis colocolor*), *Felis jacobita*, alpaca (*Lama glama pacos*), llama (*Lama glama*), vizcacha (*Lagidium peruanum*), marmosa (*Marmosa elegans*), venado gris (*Odocoileus virginianus*), vicuña (*Vicugna vicugna*).

i) Descripción de los materiales de fundación

Del análisis de los resultados de campo y laboratorio se puede configurar el perfil estratigráfico, de la siguiente manera:

km 57+000 – km 63+650: 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 subangular, 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 subangular; este estrato también contiene bolonerías entre 2% y 8% cuyo tamaño máximo es de 6".

km 63+650 – km 88+600: Sector de carretera donde, en su gran mayoría el material de la plataforma vial clasifica en el sistema SUCS como **SC-SM** y en el sistema AASHTO es variable entre A-1-b(0) y A-2-4(0). Los agregados gruesos de este material arenoso son de forma subangular, mientras que la matriz tiene plasticidad comprendida entre escasa a moderada (como máximo I.P. = 6%).

En la subrasante se han encontrado bolonerías, sin embargo a partir del km 67+700, se encuentra aproximadamente a partir de los 0,40 m (en promedio) mayor concentración de ellos, entre 40% y 50% y en tamaños variables entre 4" a 8". Desde el km 63+650 al km 66+600, la plataforma vial también se encuentra rodeada por áreas de cultivo. A partir del km 66+600 el panorama es desértico y transcurre a media ladera por la quebrada, observándose en los taludes sectores con material aluvional, terrazas de depósitos fluviales y cortes en rocas macizas.

km 88+600 – km 91+500: La subrasante es una arena arcillosa cuya plasticidad promedio es de I.P. = 12%. Su clasificación de suelos en el sistema SUCS es **SC**, mientras que en el sistema AASHTO es A-6(2). También en este estrato, a partir de los 0,40m se ha encontrado bolonería entre 40% y 50% cuyo tamaño máximo es de 7". La capacidad de soporte de este suelo expresado en CBR es de 7% al 95% de la Máxima Densidad Seca del material.

km 91+500 – km 96+600: En este sector mayoritariamente se tiene mayoritariamente suelos gravosos que en el sistema SUCS clasifican como **GC-GM**, mientras que en el sistema AASHTO es A-1-a(0) a A-1-b(0). Su Índice de Plasticidad varía se encuentra entre 4,9% y 6,1%. En estos suelos también se aprecia la presencia de bolonería, la cual se incrementa a partir de 0,40m a valores comprendidos entre 40% y 60%.

km 96+600 – km 106+600: Presencia mayoritaria de arenas limo-arcillosas, con clasificación de suelos SUCS igual a **SC-SM**, mientras que en AASHTO es igual a A-1-b(0). Su plasticidad es baja y variable entre 4,9% y 6,0%. Se tiene presencia de bolonerías, en poca proporción en la capa superior, mientras que a partir de 0,50 aumenta su presencia a 50%.

km 106+600 – km 114+600: En los estratos se encuentran gravas y arenas de matriz limo-arcillosa. Estos materiales clasifican en el sistema SUCS como **GC-GM y SC-SM**, y en el AASHTO como A-1-b(0). Las bolonerías se encuentran en todo el estrato, pero a partir de 0,40 m aproximadamente, se encuentra mayor concentración de éstos (aproximadamente entre 40% y 50%). Por debajo de esta capa se encuentra roca a partir de 1,50 m.

km 114+600 – km 130+000: Arenas limo-arcillosas, con clasificación de suelos SUCS igual a **SC-SM**, mientras que en AASHTO es igual a A-1-b(0). Su plasticidad es baja y variable entre 4,6% y 6,4%. Se tiene presencia de bolonerías, en poca proporción en la capa superior, mientras que a partir de 0,50 aumenta su presencia entre 40% y 50%.

km 130+000 – km 220+000: Arenas y gravas limosas y arcillosa, de mediana a baja plasticidad, clasificando en el sistema SUCS como **GC, GC-GM, SC, SC-SM**, y en el AASHTO, A-2-4(0). La plasticidad es variable entre 5,7% y 9,2%. Varias perforaciones no han llegado al 1,50m, debido a que aproximadamente desde los 0,30m hasta los 1,50m, se ha ubicado roca.

km 220+000 – km 240+000: Sector de carretera donde en la mayoría de los casos se tiene una capa granular superficial entre 0,20m y 0,30m que clasifica como **GM-GC o SC-SM**, mientras que en el AASHTO es A-2-4(0). Subyacente se encuentra una capa de arena-arcillosa y de arcilla SC, CL y en AASHTO A-2-6 y A-6(4), cuya capacidad de soporte CBR es bajo.

km 240+000 – km 248+000: Arena arcillosa y arena limo-arcillosa que clasifica en el sistema SUCS como **SC o SM-SC**, y en el sistema AASHTO como A-2-4(0). Su plasticidad es media, encontrándose que varía entre 6,8% y 9,7%.

km 248+000 – km 258+000: En este sector se tiene también una capa granular superficial entre 0,20m y 0,30m que clasifica como **GC y GM-GC**, mientras que en el AASHTO es A-2-4(0). Subyacente se encuentra una capa de arena-arcillosa y de arcilla **SC, CL** y en AASHTO A-6(1), cuya capacidad de soporte CBR es bajo.

De acuerdo a los resultados del estudio de suelos se ha sectorizado la carretera en función a su capacidad de soporte. Según esto se debe indicar que se han ubicado suelos gravosos y arenosos con matriz arcillosa de mediana plasticidad.

| SUBSECTOR (km – km) | CBR (%) al 95% de MDS | CALIFICACIÓN |
|---------------------|-----------------------|--------------|
| 57+450 – 130+000 | 20 | Regular |
| 130+000 – 220+000 | 18 | Regular |
| 220+000 – 240+000 | 5 | Malo |
| 240+000 – 248+000 | 15 | Regular |
| 248+000 - 258+000 | 4 | Malo |

Cuadro N°1.3 Valores de CBR por tramos

Fuente: Estudios técnicos para el cambio de estándar de afirmado a solución básica,
Consortio Gestión de Carreteras

j) Estado actual de la vía

Longitud de la vía: El Consorcio Gestión de Carreteras luego de realizar el inventario vial de la carretera en los meses de abril, mayo y junio del 2008 determinó que la longitud de la vía es de **271.726 Km**. Existe una diferencia de distancias con lo indicado en el contrato que es de 281.73 Km., siendo la diferencia 10.004 Km. En el siguiente cuadro se hace la comparación entre las longitudes iniciales y las medidas del inventario vial:

| Tramo | | Longitud | Longitud | Diferencias |
|------------|------------|---------------|-----------------|-------------|
| Inicio | Fin | contrato (km) | inventario (km) | (km) |
| Cañete | Lunahuaná | 40.750 | 40.950 | 0.200 |
| Lunahuaná | Pacarán | 12.490 | 11.907 | -0.583 |
| Pacarán | Zúñiga | 4.150 | 3.743 | -0.407 |
| Zúñiga | Dv. Yauyos | 72.600 | 70.400 | -2.200 |
| Dv. Yauyos | Ronchas | 135.130 | 128.185 | -6.945 |
| Ronchas | Chupaca | 16.610 | 16.541 | -0.069 |
| | | 281.730 | 271.726 | -10.004 |

Cuadro N°1.4 Comparación de distancias por tramos

Fuente: Consorcio Gestión de Carreteras

Trabajos ejecutados: se indica según cuadro adjunto.

| N° | Tramo | Progresivas | Altitud (m.s.n.m.) | Longitud Tramo (m) | Estado Inicial | Trabajos Realizados | | | |
|----|----------------------------|-------------------------|--------------------|--------------------|--------------------------------------|----------------------|-----|----|----|
| | | | | | | CGC | CGE | M | SS |
| 1 | Cañete - Lunahuaná | Km 0-000 - Km 40-950 | 71 - 523 | 40.75 | Concreto Asfáltico | Solo Mant. Rutinario | | | |
| 2 | Lunahuaná - Pacarán | Km 40+950 - Km 52+657 | 523 - 710 | 12.50 | Tratamiento Superficial Bicapa | Solo Mant. Rutinario | | | |
| 3 | Pacarán - Zúñiga | Km 52+657 - Km 56+600 | 710 - 821 | 4.15 | Afirmado | SI | SI | NO | SI |
| 4 | Zúñiga - Catahuasi | Km 56+600 - Km 77+000 | 821 - 1206 | 20.40 | Afirmado | SI | SI | NO | SI |
| 5 | Catahuasi - Dv. Yauyos | Km 77+000 - Km 127+000 | 1206 - 2269 | 50.00 | Afirmado | SI | SI | SI | NO |
| 6 | Dv. Yauyos - Tinco Huantan | Km 127+000 - Km 141+000 | 2269 - 2640 | 14.00 | Afirmado | SI | SI | SI | NO |
| 7 | Tinco Huantan - Alis | Km 141+000 - Km 163+100 | 2640 - 3261 | 22.10 | Afirmado | SI | SI | NO | NO |
| 8 | Alis - Roncha | Km 163+100 - Km 255+185 | 3261 - 3358 | 92.09 | Afirmado | SI | NO | NO | NO |
| 9 | Roncha - Chupaca | Km 255+185 - Km 271+726 | 3358 - 3270 | 16.54 | Afirmado | SI | NO | NO | NO |

CAPA GRANULAR CON MATERIAL DE CANTERA = CGC
CAPA GRANULAR ESTABILIZADA = CGE

MONOCAPA = M
SLURRY SEAL = SS

Cuadro N°1.5 Trabajos ejecutados a julio del 2009

Fuente: Consorcio Gestión de Carreteras

1.4 Tramo de estudio Km. 89+000 – Km.94+000

El tramo en estudio presenta las siguientes características:

- Se encuentra ubicado en la provincia de Yauyos, entre las progresivas del Km. 89+000 (próximo a la localidad de Canchán) y el Km. 94+000 (localidad de Chicchicay) de la red vial N° 13.



Figura N°1.5 Ubicación del tramo de estudio

Fuente: Elaboración Propia

- b) Esta área corresponde a la región Yunga, con una altitud que va desde 1300 – 1500 msnm aproximadamente.
- c) Los promedios máximos y mínimos de precipitación son 97,5 y 82, 3 mm respectivamente. En base al Diagrama Bioclimático de Holdridge se ha estimado que la biotemperatura media anual varía entre 17 y 24 °C.



Figura N°1.6 Vista panorámica del tramo de estudio

Fuente: www.google.com

- d) La topografía varía desde suave colinado hasta muy accidentado; la vegetación natural más abundante conformada por molle (*Schinus molle*), huarango (*Prosopis juliflora*, cactáceas y gramíneas estacionales). Los

cultivos bajo riego están compuestos esencialmente por manzanos y seguido en pequeña escala por maíz, alfalfa y hortalizas.

- e) Ecológicamente se ha identificado en el tramo de estudio una zona de vida que corresponde a un desierto perárido – Subtropical (dp – S).

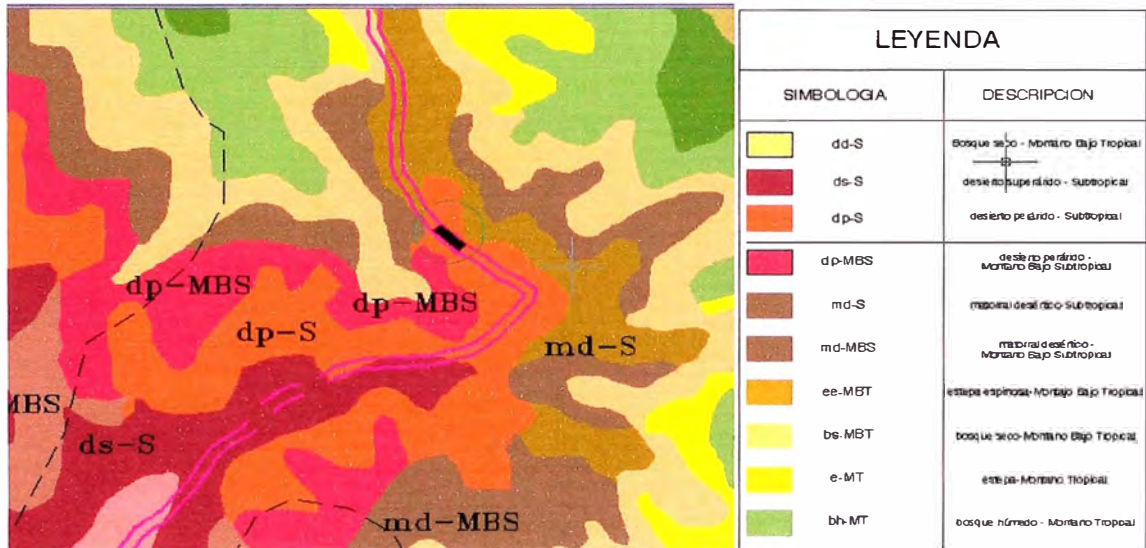


Figura N°1.7 Mapa ecológico del tramo de estudio

Fuente: Consorcio Gestión de Carreteras

- f) El Consorcio Gestión de Carreteras ejecutó prospecciones (calicatas) en la plataforma vial, ubicadas cada 1 km en el sector km 57+390 – km 130+000. Las calicatas para el tramo de estudio fueron:

| REGISTRO DE EXCAVACIÓN | | | | | |
|------------------------|---|---------|-----------|---------|-----------|
| Proyecto: | Conservación vial de la carretera Cañete-Yauyos-Chupaca | | | | |
| | CALICATAS | | | | |
| Ubicación (km.): | 89+600 | 90+700 | 91+600 | 92+600 | 93+600 |
| Lado: | Izquierdo | Derecho | Izquierdo | Derecho | Izquierdo |
| Profundidad (m): | 1.00 | 1.00 | 1.50 | 1.50 | 1.00 |
| Fecha de excavación: | 23/06/2008 | | | | |

Cuadro N°1.6 Ubicación de calicatas para el tramo de estudio

Fuente: Consorcio Gestión de Carreteras

Perfil Estratigráfico



Figura N°1.8 Perfil Estratigráfico del tramo en estudio

Fuente: Consorcio Gestión de Carreteras

- g) Como parte del programa “Proyecto Perú”, el contratista ha ejecutado un cambio de estándar mediante la aplicación de una solución básica para mejorar la transitabilidad de la vía no pavimentada. Se interviene la plataforma de la vía adicionando material granular estabilizado recubierto de bitumen. Además se ejecutan mejoras puntuales en el drenaje pero no se realizarán mejoras en la geometría de la misma.



Figura N°1.9 Proceso de ejecución de pavimentos básicos

Fuente: Dr. Enrique Cornejo Ramírez, almuerzo institucional de la Cámara de Comercio Americana del Perú

Para el tramo de estudio (km. 89+000 – km. 94+000) se ha aplicado como recubrimiento bituminoso un tratamiento superficial **monocapa**.

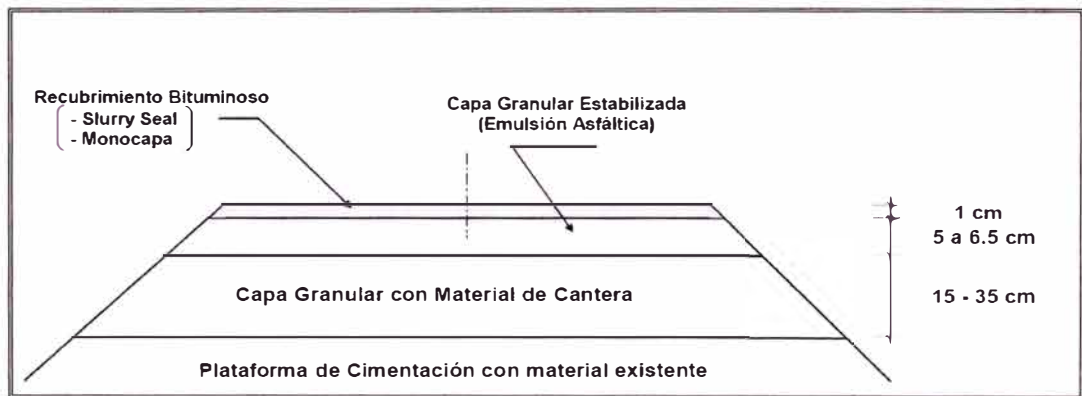


Figura N°1.10 Sección típica del cambio de estándar

Fuente: Informe técnico, convenio UNI-PROVIAS

- h) En el Anexo 01 se muestran los trabajos de cambio de estándar en el tramo de estudio, llevados a cabo en el mes de febrero del 2009.

CAPITULO II: ESTADO DEL ARTE

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

En los inicios de la década de 1960, el departamento de investigación de la General Motors (GMR) desarrolló un perfilómetro, usando instrumentación moderna, que fue capaz de medir la porción “dinámica” de un perfil de vía responsable de inducir el movimiento de un vehículo. Poco después de esto, el Departamento de Transporte de Michigan (MDOT, después llamado Departamento del Estado de Caminos y Transporte de Michigan) construyó el segundo perfilómetro en cooperación con GMR. Así también al mismo tiempo, GMR con K.J. Law ponen en venta el perfilómetro comercialmente.

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

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

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

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

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

La investigación incluyó extensos muestreos de los RTRRMS en un ambiente de laboratorio, junto con un análisis teórico formal de conceptos e instrumentos RTRRMS.

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

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

descrito en este reporte es casi idéntico a la referencia NCHRP, diferenciándose solo en el parámetro de la rueda envolvente, el cual fue cambiado sin razón alguna de 1 pie (300mm) a 250mm para simplificar los requerimientos de medición para métodos de mira y nivel.

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

El modelo de cuarto de carro

La referencia que los Sistemas Tipo Respuesta de Medida de Rugosidad de Caminos (RTRRMS) usaron para la obtención de IRI es un modelo matemático en lugar de un sistema mecánico y existe como un procedimiento de cómputo aplicado a un perfil longitudinal. El procedimiento del cómputo se llama una Simulación del Cuarto de carro (Quarter Car Simulation - QCS)

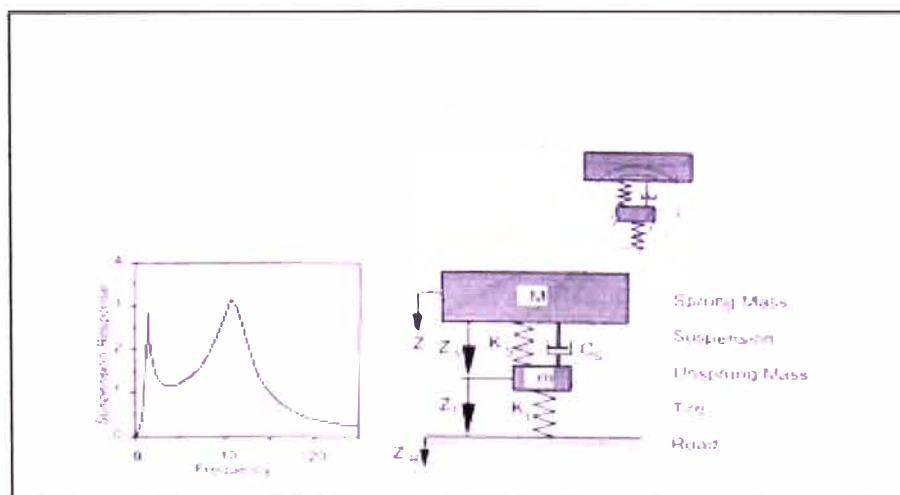


Figura N°2.1 Quarter Car Simulation

Fuente: www.mountain-plains.org

Es un modelo que incluye una rueda, representada por un resorte (K_t), la masa (m) del eje soportado por la rueda, la masa (M) soportada por la suspensión de la rueda, un resorte (K_s) y un amortiguador (C_s).

Los rugosímetros se conocen por diferentes nombres: como los medidores de marcha, medidores Mays (de Rainhart Company USA), Bump Integrator (del TRRL), medidores NAASRA (del ARRB, Australia), medidores Cox (de James Cox Company U.S.A.) y medidores PCA (de la Portland Cement Association). Si bien muchos tienen diferentes nombres y por lo general incompatibles entre sí, la mayoría son funcionalmente equivalentes. Los únicos diseños válidos dentro del IRRE han sido perfeccionados por los organismos de estudio de carreteras para su propio uso: Bump Integrator, la unidad NAASRA y el medidor Mays modificado.

CAPITULO III: MARCO TEÓRICO

3.1 Evaluación superficial

La evaluación de pavimentos comprende diversos métodos o procedimientos que se realizan con el propósito de conocer la condición de un pavimento. La condición de un pavimento está dada por el resultado que se obtenga de una evaluación superficial y una evaluación de su estructura. En este capítulo solo se tratará de la evaluación superficial.

Estas evaluaciones o controles se realizan desde su aplicación como un control de calidad durante su etapa de construcción y post construcción, hasta el monitoreo durante el tiempo de servicio del pavimento en el cual se le hace seguimiento a la evolución del deterioro debido a las sollicitaciones del tránsito o el medio ambiente.

La evaluación superficial comprende los aspectos vinculados a la función y al estado de la superficie de un pavimento y abarca tres aspectos importantes:

- a) **Determinación de las fallas, severidad y extensión:** Comprende la evaluación de fallas observadas en su superficie, mostrando la severidad y extensión del deterioro. La metodología aplicada para su determinación es variada y desarrollada por distintos organismos en el mundo, entre los más conocidos y aplicados en el Perú son: el publicado por el Consorcio de Rehabilitación Vial (CONREVIAl) y el método PCI publicado por el Cuerpo de Ingenieros de la Armada de los EE.UU. Estos métodos coinciden en clasificar las fallas en tres formas de deterioro: fisuraciones o agrietamiento, deformaciones o distorsiones y desintegraciones. Dentro de las fisuraciones tenemos la fisura longitudinal, la fisura transversal, fisuramiento en bloque y fisuras de borde. Como deformaciones se consideran los ahuellamientos, desplazamientos, ondulaciones, hundimientos, etc. Y finalmente como desintegraciones se consideran la exudación, peladuras, agregados pulidos, huecos (nidos de gallina) y disgregación superficial. El método CONREVIAl considera grupos de fallas y grados de deterioro, mientras que el PCI considera 19 tipos de falla además que califica cuantitativamente el deterioro y establece metrados para trabajos de rehabilitación. 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) **Serviciabilidad del pavimento:** ó evaluación funcional, está relacionado a la comodidad y transitabilidad que percibe un pasajero durante el recorrido de un vehículo. Se trata de conocer la serviciabilidad determinando el Índice de Serviciabilidad (PSI, Present Serviciability Index) o la rugosidad calculado el Índice de Rugosidad Internacional (IRI, International Roughness Index) a través de medios subjetivos o instrumentales. La serviciabilidad debe ser definida en relación al propósito de un pavimento construido, esto es, proveer un viaje confortable, seguro y suave a los usuarios. Es decir que la serviciabilidad debe estar explícitamente relacionada con los usuarios.

Asimismo la rugosidad se define como las irregularidades presentes en la superficie del pavimento y que afectan adversamente a la calidad de rodado, seguridad y costos de operación de vehículo. Se expresa a través del Índice de Rugosidad Internacional y se tiene diversos medios o procedimientos para calcularlo los cuales se han agrupado en cuatro clases según el nivel de precisión. En la actualidad los medios más empleados son los instrumentos denominados perfilómetros y rugosímetros que miden la rugosidad del pavimento. Estos últimos obtienen valores que mediante una ecuación de correlación estos datos son convertidos para obtener el Índice de Rugosidad Internacional – IRI. Uno de los más conocidos es el rugosímetro Bump Integrator desarrollado en el presente informe.

- c) **Seguridad del pavimento:** La 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, etc. Todos estos factores utilizados adecuadamente nos ayudan a evitar y reducir el número de accidentes del país que actualmente tiene uno de los índices más altos de accidentabilidad de América Latina

3.2 Rugosidad

La American Society of Testing and Materials (ASTM), E867 lo define de la siguiente manera:

“Es la desviación de la superficie del pavimento respecto de una superficie plana verdadera con las dimensiones características que afectan la dinámica del vehículo y calidad del recorrido”.

Es decir la rugosidad se define como las irregularidades en la superficie del pavimento que afectan la calidad de rodadura, seguridad y costos de operación del vehículo.

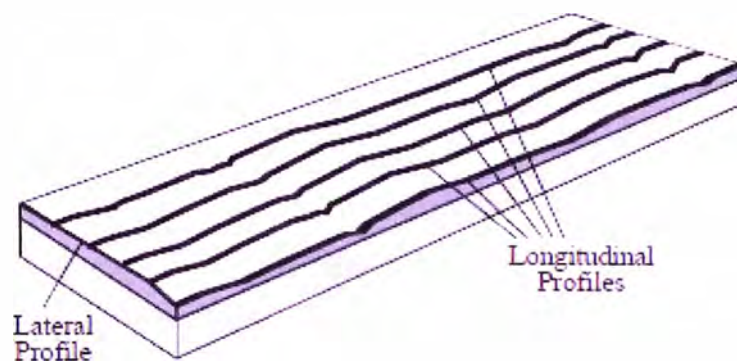


Figura N°3.1 Representación del perfil longitudinal real de una carretera

Fuente: The Little Book of Profile Sayers

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

En la década de 1970, el Banco Mundial financió diferentes programas de investigación a gran escala, entre los cuales se encontraba un proyecto relacionado con la calidad de las vías y los costos a los usuarios, a través del cual se detectó que los datos de regularidad superficial de diferentes partes del

mundo no podían ser comparados. Aún datos de un mismo país no eran confiables, debido a que las mediciones fueron realizadas con equipos y métodos que no eran estables en el tiempo.

Con el objetivo de relacionar y unificar los parámetros que se utilizaban en diferentes países para determinar la regularidad superficial de las carreteras, se realizó en Brasil en 1982, el proyecto International Road Roughness Experiment (IRRE), promocionado por el Banco Mundial; en el cual participaron equipos de investigación de Brasil, Inglaterra, Francia, Estados Unidos y Bélgica. En este proyecto se realizó la medición controlada de la regularidad superficial de pavimentos para vías bajo diferentes condiciones y con una variedad de instrumentos y métodos. A partir de dicho proyecto, se seleccionó un parámetro de medición de la regularidad superficial denominado Índice de Regularidad Internacional (IRI, International Roughness Index).

De esta manera se definió como: “El IRI resume matemáticamente el perfil longitudinal de la superficie de camino en una huella, representando las vibraciones inducidas por la rugosidad del camino en un auto de pasajeros típico, está definido por el valor de referencia de la pendiente promedio rectificadas (RARS80, Reference Average Rectified Slope, razón entre el movimiento acumulado de la suspensión y la distancia recorrida) producto de la simulación del modelo de cuarto de carro, (RQCS, Reference Quarter Car Simulation), para una velocidad de desplazamiento de 80 km/h”.

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

3.2.1 El Experimento Internacional de Rugosidad de Caminos (IRRE)

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

consistentes ni estables con el tiempo. Así, la utilización de dato de seguridad puede ser difícil, particularmente cuando se consideran datos de rugosidad obtenidos por más de un método.

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

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

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

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

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

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

3.2.2 Índice de Rugosidad Internacional (IRI)

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

El perfil real de una carretera recién construida tiene un estado cero definido por su IRI inicial (mayor a 0) debido a ciertos defectos propios del proceso constructivo. Una vez puesta en servicio la geometría del pavimento se modifica lentamente en función del paso del tránsito evolucionando hacia valores más elevados del IRI (mayores irregularidades).

El IRI se determina mediante un cálculo matemático realizado con las ordenadas o cotas de una línea del perfil longitudinal.

La definición de IRI se estableció a partir de conceptos asociados a la mecánica vibratoria de los sistemas dinámicos, todo ello, en base a un modelo que simuló

el movimiento de la suspensión acumulada por un vehículo al circular por una determinada longitud de perfil de la carretera, a una velocidad estándar de 80 km/hora. Esta hipótesis descrita es conocida como el “Modelo de Cuarto de Carro”.

El IRI se define como el desplazamiento acumulado, en valor absoluto, de la masa superior con respecto a la inferior, dividido por la distancia recorrida.

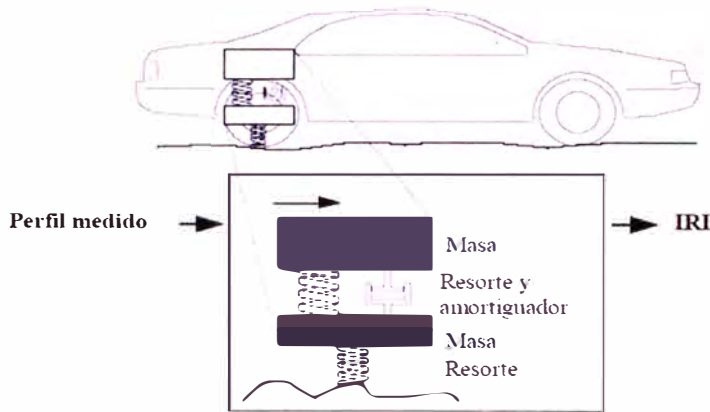


Figura N°3.2 Modelo de Cuarto de Carro

Fuente: The Little Book of Profile Sayers

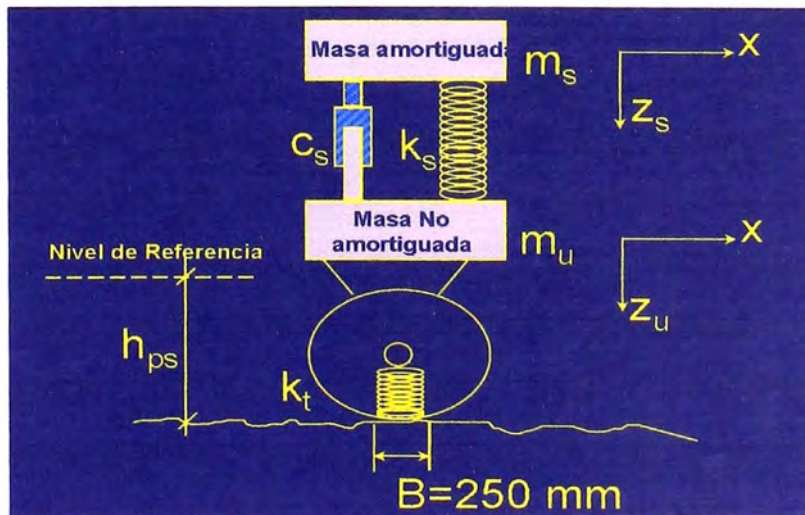


Figura N°3.3 Esquema para la formulación del modelo

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

Del planteamiento anterior y resolviendo la ecuación diferencial obtenida del planteamiento del sistema $F = \text{masa} \times \text{aceleración}$ (la solución del sistema no es el alcance del presente informe), se obtiene:

$$IRI = 1/L \int_0^{L/V} |Z_s - Z_u| dt$$

Donde:

IRI: Índice de Rugosidad Internacional (m/km)

L: longitud del perfil (km)

V: Velocidad Simulada (80 km/h)

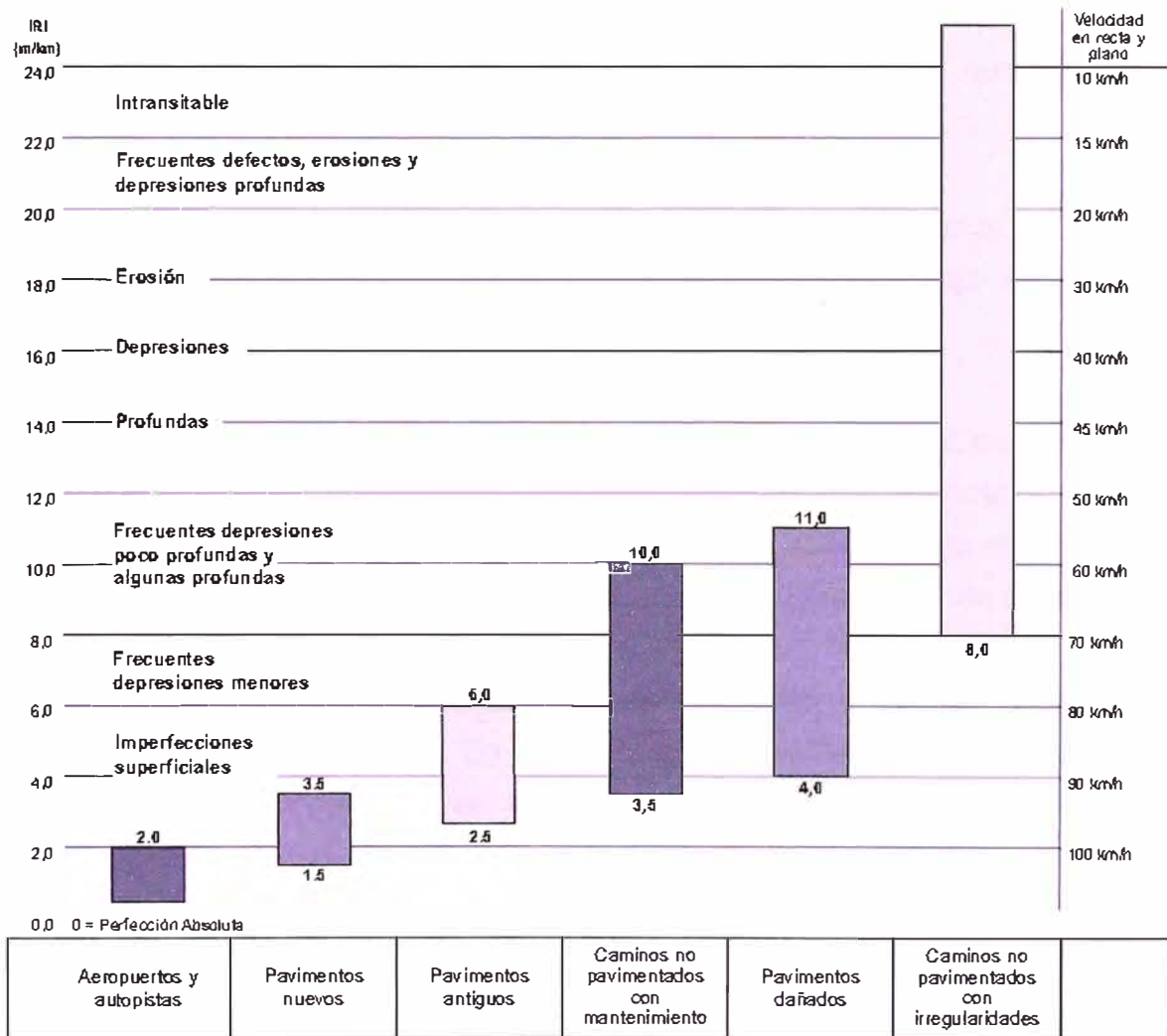
Zs: La derivada de la altura de la masa amortiguada

Zu: La derivada de la altura de la masa no amortiguada

3.2.3 Escala y características del IRI

- Es un indicador estadístico de la irregularidad superficial
- Es independiente de la técnica en que se recolectan los datos del perfil
- Idealmente expresa el valor que se obtuviera al pasar por el perfil a una velocidad de 80 km/hora
- La precisión de resultados depende del tipo de equipo que se utilice (clases)
- Se mide por huella, pero se promedia para pista
- Se reporta por kilometro (típico)
- Tiene unidades mm/m, m/km, in/milla.
- El rango para la escala de IRI para un camino pavimentado es de 0 a 12 m/km. Según la figura N°3.4 el valor de 0 corresponde a una superficie perfectamente uniforme y el valor de 12 a un pavimento totalmente dañado o intransitable.

Escalas del Índice de Rugosidad



Escala de rugosidad para pavimentos (IRI)

Figura N°3.4 Escala del Índice de Rugosidad Internacional IRI (m/km)

Fuente: Manual para la Conservación de Carreteras No Pavimentadas de Bajo Volumen de Tránsito

El IRI está directamente relacionado con la comodidad en el manejo. El mal estado de las carreteras significa altos costo en el transporte y se identifica por fallas y deterioros en la superficie de las carreteras. En las carreteras no pavimentadas con superficie de rodadura de grava, tierra y sus alternativas estabilizadas, los rangos de los IRI medidos arrojan valores entre 3.5 hasta 10.0 para carreteras calificadas por el Banco Mundial como Carreteras No Pavimentadas con Conservación. En los cuales se pueden conducir vehículos sin mayores problemas de seguridad.

Por encima del valor 10 del IRI, se tiene una serie de valores de rugosidad que corresponden a carreteras sin conservación que presentan deterioros; situación que se buscará superar con el mejoramiento de la conservación vial en el Perú, pero que para ser realistas no significa necesariamente que requieran restauración urgente, porque pudieran no estar en estado crítico.

Para estos casos son aceptables valores del IRI hasta en el rango de 16 a 22 para carreteras de muy poco tránsito, menor de 15 veh/día y baja velocidad de circulación. Ver Cuadro N° 3.1

Estas cifras dan una buena idea de las posibilidades que se tiene de fijar niveles de servicio operativo económicamente adecuados a una economía bastante estrecha como la del Perú, en concordancia con una clasificación de carreteras en base a la demanda del tránsito en conjunción con un análisis de la fisiografía en la que se localizan.

En la figura N°3.5 se representa el comportamiento típico de la condición superficial respecto al tiempo. En la primera fase se tiene un deterioro poco significativo en los primeros años; en la segunda se presenta un deterioro más evidente que la primera, en la tercera fase corresponde a una etapa de deterioro acelerado, ya que en pocos años el nivel de servicio cae de forma importante.

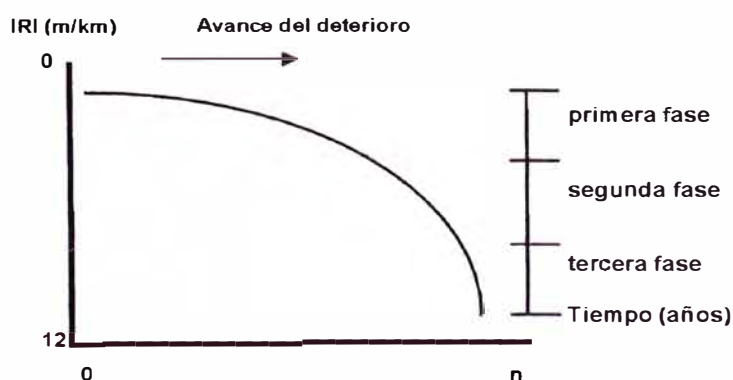


Figura N°3.5 Gráfica típica del avance del deterioro de un pavimento respecto al tiempo

Fuente: Publicación Técnica N°108 – Instituto Mexicano del Transporte

| Rugosidad IRI (m/Km) | |
|----------------------|--|
| 0 | |
| 2 | Superficie reciente nivelada de grava fina o superficie de suelo con excelente perfil longitudinal y transversal (usualmente encontrados sólo en longitudes cortas). |
| 4 | Manejo confortable entre 80 - 100 km/h (velocidad en recta y plano), se perciben ondulaciones suaves u oscilaciones. Pequeñas depresiones (por ejemplo <5 mm / 3 m) y sinbaches. |
| 6 | Manejo confortable entre 70 - 80 km/h (velocidad en recta y plano), pero se perciben movimientos repentinos y algunos golpes de neumático. Frecuentes depresiones moderadas poco profundas o baches poco profundos (por ejemplo 6-20 mm / 3 m con frecuencia de 5 - 10 en 50 m). Ondulaciones moderadas (por ejemplo 6 - 20 mm / 0.7 - 1.5 m). |
| 8 | Manejo confortable entre 50 - 70 km/h (velocidad en recta y plano). Frecuentes depresiones moderadas poco profundas o baches poco profundos (por ejemplo 20 - 30 mm / 3 - 5 m con frecuencia de 10 - 20 en 50 m), o depresiones ocasionales profundas o baches (por ejemplo 40 mm / 3 m con frecuencias menores a 5 en 50 m). Ondulaciones moderadas (por ejemplo 6 - 20 mm / 0.7 - 1.5 m). |
| 10 | |
| 12 | Manejo confortable a 50 km/h (o entre 40 - 70 km/h en secciones específicas - velocidad en recta y plano). Frecuentes depresiones transversales moderadas (por ejemplo 30 - 40 mm / 3 - 5 m con frecuencia de 10 - 20 en 50 m) o depresiones ocasionales profundas o baches (por ejemplo 40 - 80 mm / 3 m con frecuencias menores a 5 en 50 m). Ondulaciones fuertes (> 20 mm / 0.7 - 1.5 m). |
| 14 | |
| 16 | Manejo confortable aproximadamente a 30 km/h (o entre 30 - 40 km/h en secciones específicas - velocidad en recta y plano). Frecuentes depresiones transversales profundas y/o baches (por ejemplo 40 - 80 mm / 1 - 5 m con frecuencia de 5 - 10 en 50 m) o depresiones ocasionales profundas (por ejemplo 80 mm / 1 - 5 m con frecuencia menor que 5 en 50 m) con otras depresiones no profundas. No es posible evitar todas las depresiones excepto las peores. |
| 18 | |
| 20 | Velocidades mayores a 20 km/h (velocidad en recta y plano) podrían ocasionar incomodidad extrema y posibles daños al vehículo. El perfil de la carretera presenta frecuentes depresiones profundas y/o baches (por ejemplo 40 - 80 mm / 1 - 5 m en frecuencia de 10 - 15 en 50 m) y depresiones ocasionales profundas (por ejemplo > 80 mm / 0.6 - 2 m). |
| 22 | Carretera se vuelve intrasitable, con velocidades menores a 15 km/h. Presenta un perfil muy malo con frecuentes defectos severos, depresiones y ahuecamientos muy profundos > 120 mm. |
| 24 | |

Figura N°3.6 Escala de estimación de rugosidad en carreteras no pavimentadas (afirmadas o superficies de tierra)

Fuente: Manual para la Conservación de Carreteras No Pavimentadas de Bajo Volumen de Tránsito

3.2.4 Clases de equipos para evaluar la rugosidad

Los diversos métodos existentes para medir rugosidad están agrupados en cuatro categorías, en base al nivel de precisión con que se aproximan al IRI real, estos se detallan a continuación:

Clase 1: Los métodos de esta clase son aquellos que producen medidas de alta precisión que la reproducibilidad del valor del IRI no podría mejorarse. Esta clase representa las normas más altas de precisión para la medida del IRI. Un método clase requiere que se mida el perfil longitudinal de una huella de rodadura como una base para calcular el valor del IRI. El método de nivel y mira pertenece a esta clase, y por su precisión los métodos Clase 1 sirven para validar otros métodos.

Clase 2: Esta clase lo constituyen los equipos o perfilómetros que no son capaces de alcanzar la precisión requerida para una medida de Clase 1. Aunque el equipo y métodos usados para la medida del perfil se verifican funcionalmente por un proceso de calibración independiente, ellos se limitan a una precisión de rango menor que aquellos que necesitan calificar como un método Clase 1. Los perfilómetros de Clase 1 y 2 de gran velocidad tienen la desventaja de ser un sistema de instrumentación muy caro y complejo usado para medir la rugosidad de caminos y generalmente requieren de operadores con entrenamiento de ingeniería.

Clase 3: Un método para medir la rugosidad califica como Clase 3 si este usa la calibración por correlación para obtener el valor del IRI. La medida de un RTRRMS depende de la dinámica de un vehículo, por lo que es necesario transformar la escala de las medidas para interpretar las propiedades de rugosidad comparables al IRI. Las propiedades dinámicas son únicas para cada vehículo, sin embargo cambian con el tiempo, por ello deben efectuarse procedimientos de operación y mantenimiento muy rigurosos para los vehículos empleados y deben hacerse pruebas de control como una parte rutinaria del normal funcionamiento. Cuando ocurren cambios en el sistema, las correcciones simples no pueden aplicarse, el sistema completo vehículo – rugosímetro deberá recalibrarse.

Clase 4: Corresponde a evaluaciones subjetivas y medidas no calibrables. Se aplica en situaciones en que se necesita una base de rugosidad, pero la alta precisión no es esencial o no se puede proporcionar. Una evaluación subjetiva involucra una experiencia del recorrido sobre el camino o una inspección visual. Otra posibilidad es usar las medidas de un instrumento no calibrable. La conversión de estas observaciones a la escala del IRI se limita a una equivalencia aproximada que puede establecerse mejor por comparación a las descripciones verbales y/o pictóricas de caminos, identificada con sus valores del IRI asociados.

| Clasificación de equipo | Clasificación según Banco Mundial (World Bank), Papal Técnico N°46 | Clasificación según ASTM E-950-98 | |
|-------------------------|---|--|-------------------------------------|
| | Requerimientos | 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 rodadura 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 |
| Clase 3 | IRI estimado mediante ecuaciones de correlación. La obtención del perfil longitudinal se hace mediante equipos tipo respuesta (RTPRM), 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 |

Figura N°3.7 Clasificación de equipos para medición de Rugosidad

Fuente: Paper N°46 World Bank

3.3 Método de evaluación con equipo Bump Integrator

El método Bump Integrator es un Sistema Tipo Respuesta de Medida de Rugosidad de Caminos (siglas inglesas: RTRRMS), sistemas que consiste de tres componentes: un vehículo, un transductor que detecta el movimiento relativo de la suspensión y una pantalla que se conecta eléctricamente al transductor. El transductor y la pantalla juntos constituyen un rugosímetro o medidor de carretera (roadmeter) y se adquiere como un solo componente. Las medidas obtenidas del rugosímetro son en realidad la respuesta del vehículo a la superficie de la carretera a medida que se desplaza a cierta velocidad. Debemos tener en cuenta que así como la medida es el resultado del rugosímetro, el procedimiento de operación, el vehículo y todas las variables afectan su respuesta.

El Bump Integrator pertenece a los perfilómetros de clase 3. Estos métodos involucran ecuaciones de correlación para convertir data de campo a las Unidades Internacionales de medición de rugosidad. Es un método utilizado a nivel mundial, cuya precisión y calidad del resultado depende mucho de la calibración.

3.3.1 Descripción del Bump Integrator (BI)

El Bump Integrator, que en una traducción aproximada al español sería integrador de resaltos, es un instrumento que fue desarrollado por el Laboratorio de Investigación de Caminos y Transportes de Inglaterra (TRRL) que se monta en el eje posterior de un vehículo y registra los desplazamientos acumulativos del eje posterior del vehículo.

La unidad consiste en un cuerpo transductor que irá montado sobre un vehículo que contiene una polea sobre un eje que se ajusta para mantener un cable en tensión que conecta el cuerpo y el eje del vehículo. Así la polea gira proporcionalmente al movimiento de la suspensión. Un dispositivo mecánico en el interior del instrumento es usado para transmitir la rotación sólo en una dirección, a un componente generador de pulso. El efecto global es que el instrumento sigue la desviación de la suspensión en una dirección, mientras permanece insensible al movimiento en la otra dirección, acumulando el desplazamiento por esa razón. Cuando el movimiento acumulado alcanza 24.5mm (una pulgada), un pulso es enviado a un contador electrónico.

En la práctica sin embargo el transductor tiene limitaciones debido a sus propiedades mecánicas. En ocurrencia de vibraciones muy pequeñas estas no producen ninguna contestación. En el recorrido el sistema va grabando el desplazamiento acumulativo del eje de suspensión del vehículo inducido por la rugosidad del camino.



Figura N°3.8 Sensor de Desplazamiento - Bump Integrator

Fuente: Instituto de Investigación FIC - UNI

3.3.2 El vehículo

Pueden usarse tres tipos de vehículos junto con un rugosímetro tipo Bump Integrator para constituir un RTRRMS.

- a) Un automóvil de pasajeros o camión ligero con un eje trasero sólido. No debe usarse vehículos con la suspensión trasera independiente, por que se registrarán movimientos de la suspensión como irregularidades de la carretera distorsionando los resultados. Se recomienda un vehículo de tracción en el eje trasero porque la masa del eje coincide con la norma.
- b) Un remolque de dos ruedas, con un eje sólido. La configuración real del vehículo del remolque no es crítica, pero debe usarse siempre el mismo vehículo del remolque en las calibraciones porque sus características

influirán en las medidas de la pendiente promedio rectificadas. Si el vehículo del remolque se reemplaza debe recalibrarse

- c) Un remolque de una rueda. Al igual que el remolque de dos ruedas será necesaria la recalibración si el vehículo del remolque se cambia. El ajuste del enganche debe estar provisto para sostener al remolque derecho durante el uso.

3.3.3 Instalación del equipo en el vehículo

Se requiere 5 agujeros en el vehículo para fijar el sensor de desplazamiento. Accesorios como pernos y trampilla para fijar la cuerda metálica al eje del vehículo y herramientas generales.

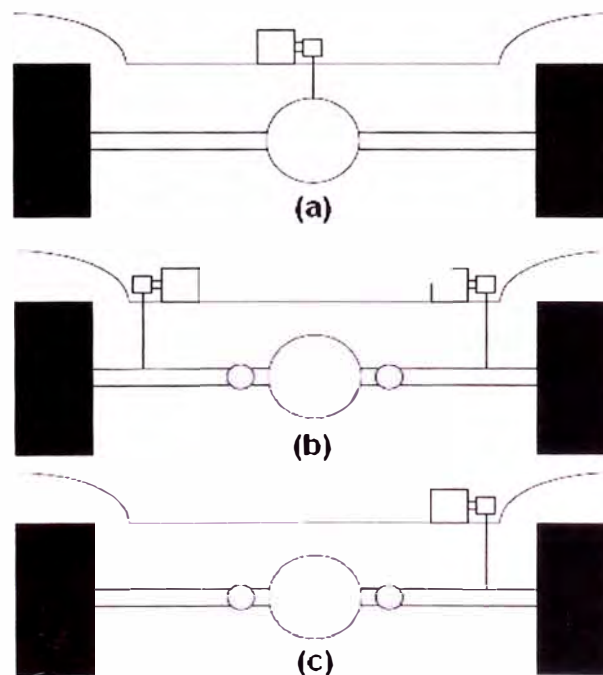


Figura N° 3.9 Posición del Sensor de Desplazamiento

Fuente: Instituto de Investigación FIC - UNI

La posición de colocación del sensor de desplazamiento puede variar. La Figura N° 3.8 muestra las diferentes posiciones donde puede colocarse. El equipo usado en la evaluación del tramo en estudio se ha colocado en la posición (a).

La conexión entre el eje y el BI es por un cordón de acero.



Figura N° 3.10 Instalación del Sensor de Desplazamiento en el vehículo

Fuente: Instituto de Investigación FIC - UNI

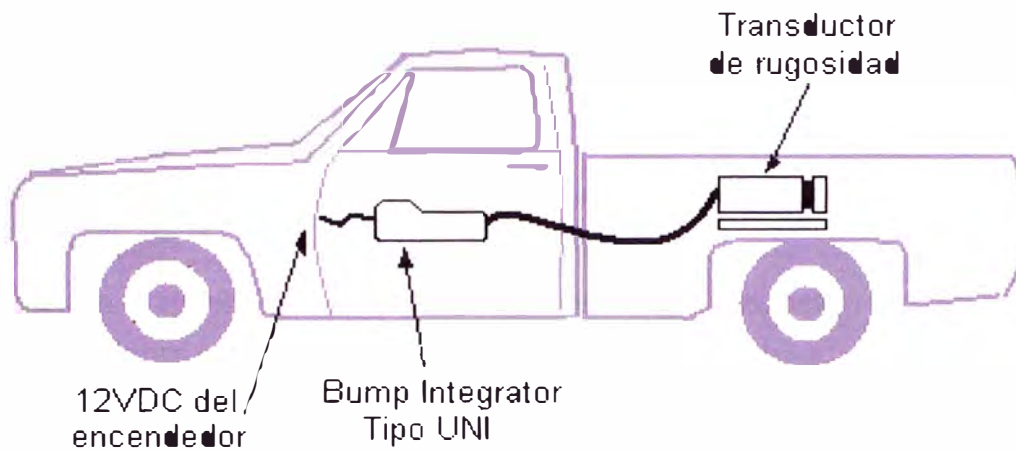


Figura N° 3.11 Modelo de conexión del Rugosímetro Electrónico

Fuente: Instituto de Investigación FIC - UNI



Figura N°3.12 Rugosímetro Bump Integrator - Contador

Fuente: Instituto de Investigación FIC - UNI

3.3.4 Velocidad de operación

La velocidad normalizada para la obtención del IRI es de 80km/hora. De esta manera la reproducibilidad asociada con un RTRRSM es mejor cuando se usa esta velocidad. Las medidas obtenidas por equipos tipo respuesta son dependientes de la velocidad y por consiguiente los operadores de los instrumentos deben apreciar la importancia de hacer todas las medidas a la misma velocidad.

Sin embargo hay situaciones en el que se permiten están velocidades por diferentes factores por lo que se necesita una velocidad más baja. Estos incluyen los casos que se detallan a continuación:

- a) Una velocidad de 80km/h no es segura, por razones de tráfico, peatones, geometría, etc.
- b) El rugosímetro produce medidas erróneas e incoherentes a 80km/h en los caminos más accidentadas.
- c) El proyecto principalmente abarca secciones de prueba cortas y la repetitividad para lugares individuales tiene alta prioridad. La corta longitud del tramo para algunas extensiones es compensada por el mayor tiempo necesario para abarcar el lugar a una velocidad reducida.
- d) El vehículo y el roadmeter son demasiado frágiles para operaciones continuas a la velocidad normalizada de 80km/h y deben operarse a menor velocidad si ellos serán utilizados permanentemente.

La solución recomendada para problemas asociados a los mecanismos frágiles es reemplazar el vehículo y/o el roadmeter por otro más robusto. Si cualquiera de estas condiciones son inevitables para la mayoría de sitios de prueba, entonces deberá ser adoptada una velocidad normalizada del RTRRMS menor para todas las medidas que serán tomadas. Se recomiendan velocidades de 50 ó 32km/h. El método de calibración descrito en la sección 3.3.6 debe ser el mismo con la diferencia que el BI es operado a la velocidad que sea seleccionada.

3.3.5 Procedimiento de operación

Existen diversos factores que alteran el normal funcionamiento de sistema tipo RTRRMS, que se refleja en la consistencia de los resultados de la medida de rugosidad, es por ello que se recomienda tener un procedimiento de operación estandarizado, el cual se tiene que cumplirse para obtener datos confiables.

Es recomendable que estos procedimientos de operación estén documentados lo cual ayuda a que se logren resultados válidos con el menor esfuerzo e inversión.

En la figura N° 3.12 se muestra un ejemplo de procedimiento de operación. No existen restricciones en cuanto a la forma de presentación de los procedimientos, lo importante es que sean fácilmente comprensibles. La secuencia lógica de estos puntos importantes deben asegurar que una calibración válida esté en vigencia y que esta función apropiada pueda verificarse por vía de las pruebas de control. Los sitios de control son secciones del camino que son medidos diariamente o semanalmente para determinar si el equipo BI ha cambiado desde el último chequeo. Las pruebas de control son mucho más simples que las pruebas de calibración.

El procedimiento involucra al funcionamiento, la calibración y la inspección del sistema para detectar daños o cambios en su funcionamiento. Además se podrían documentar procedimientos para cada uno de los objetivos básicos señalados, es decir establecer procedimientos para la calibración, otro para el funcionamiento del sistema y finalmente uno para la inspección del sistema.

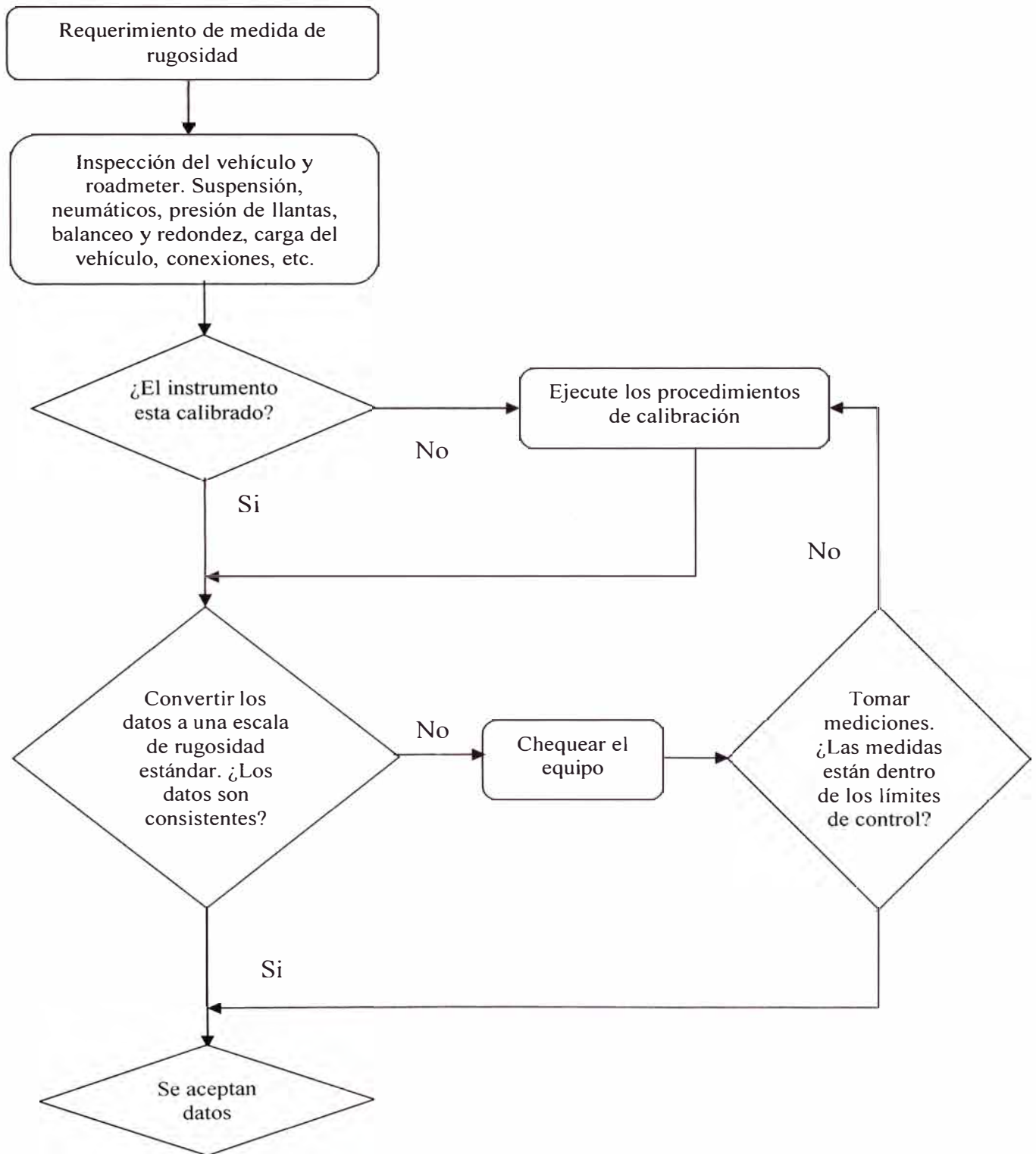


Figura N°3.13 Ejemplo de un procedimiento de operación

Fuente: Elaboración propia

3.3.6 Calibración del equipo Bump Integrator

Debido a que el comportamiento de un Sistema Tipo Respuesta de Medida de Rugosidad de Caminos es único y variable con el tiempo el sistema debe ser calibrado cuando es puesto en servicio y a lo largo de su uso. Es decir que periódicamente debe calibrarse para obtener datos consistentes en el tiempo. Sin una calibración adecuada no habría seguridad de la calidad de los resultados.

La calibración se logra obteniendo lecturas o medidas con el rugosímetro BI en lugares de calibración especial. Estos lugares de calibración son secciones de carretera en las cuales se conocen los valores de rugosidad (IRI), obtenidos o determinados con métodos de clase 1 ó 2 (Mira y nivel o perfilómetros). Se recomienda que El BI se opere de 3 a 5 veces sobre los lugares de calibración a la velocidad estándar después de un precalentamiento del vehículo.

Luego en trabajo de gabinete los valores obtenidos son graficados sobre el eje X y los valores del IRI en el eje Y. A continuación se traza una línea como ajuste a los puntos generados por los datos, la cual estima el valor del IRI de las medidas tomadas con el BI. La precisión de las medidas calibradas puede verse aproximadamente como la dispersión de los puntos sobre la línea de ajuste, cuanto menor sea la dispersión mayor es la precisión. A este análisis se le denomina análisis de correlación, que estadísticamente representa el grado de correspondencia entre dos conjuntos dados. Este análisis describe cuanto de la variación de la variable Y (valores de precisión) se relaciona a la variación en la variable X (valores del instrumento a calibrar). Esto se expresa a través de una función para predecir la variable Y como una función de la variable X. La relación puede ser lineal cuadrática o logarítmica, dependiendo principalmente de las características de la suspensión del vehículo.

El análisis de correlación se usa para cuantificar el error de la medida, de esta manera se usa para calibrar los instrumentos tipo – respuesta como el Bump Integrator.

Con respecto a los sitios de calibración, estos deben ser representativos del camino a evaluar. Cuando sea posible, los sitios deben localizarse e tangentes o

caminos con el menor número de curvas y cada una debe tener la propiedad de rugosidad que sea uniforme sobre toda la longitud del sitio.

En el cuadro N°3.2 se describen ciertos requisitos para los sitios de prueba para que una calibración pueda considerarse aceptable.

| Ítem | Descripción | Una huella | Dos huellas |
|------|---|------------|-------------|
| 1 | Número mínimo de sitios de calibración | 8 | 12 |
| 2 | Número recomendado de sitios para cada nivel de rugosidad | 2 | 3 |
| 3 | Variación máxima en el número de sitios que representa cada nivel de rugosidad | 1 | 1 |
| 4 | Longitud mínima del sitio (metros) | 200 | 200 |
| 5 | Variación aceptable en la longitud del sitio (todos los sitios deben tener la misma longitud) | 0 | 0 |
| 6 | Longitud total recomendada en km. (longitud del sitio x numero de sitios) | 4.5 | 6.0 |
| 7 | Número recomendado de medidas del RTRRMS que se deben repetir por cada sitio (L=longitud en metros) | 1000/L | 1000/L |
| 8 | Distancia de acercamiento mínimo hacia el sitio (metros) | 50 | 50 |

Cuadro N°3.1 Requisitos para la calibración de los equipos RTRRMS

Fuente: Banco Mundial

Como procedimiento de un proceso de calibración se resume lo siguiente:

1. Seleccionar los sitios de calibración, deben abarcar el rango de rugosidad de la red del camino. Deben ser rectas, llanas y no deben tener riesgo como cruce de vías.
2. Determinar el IRI de los sitios de calibración por métodos de Clase 1 o 2 sobre los sitios de prueba.
3. Realizar las medidas con el Bump Integrator a la velocidad adoptada para el estudio en general. La rugosidad obtenida deben ser el valor promedio de las repeticiones del recorrido de prueba para cada sitio,

4. Análisis de datos obtenidos descartando valores poco razonables o descartando los datos en aquellas secciones que existe duda en haber cumplido correctamente con los procedimientos, ya que estos valores pueden causar distorsión a la curva de correlación. De ser así no se obtendría un coeficiente de correlación cercano a la unidad (valor óptimo).
5. Determinación de la ecuación de calibración. Con los datos del IRI obtenidos por instrumentos de Clase 1 o 2, y los valores del equipo TRRRMS (Bump Integrator) de todas las secciones de calibración, se procede a determinar la ecuación que mejor correlaciona estos valores, aplicando el método de regresión. Es decir que la ecuación de calibración resulta del ajuste de la mejor línea entre los valores del RTRRMS y los valores IRI de las secciones de prueba. La relación puede ser lineal, cuadrática o logarítmica dependiendo de las características de la suspensión del vehículo.

CAPITULO IV: APLICACIÓN DEL MÉTODO

4.1 Recopilación de datos

La toma de datos se ha realizado con el Rugosímetro Electrónico Bump Integrator Tipo UNI (REBITU). Las características técnicas del equipo se adjuntan en el anexo N°02.

Antes de las mediciones se hizo un reconocimiento de la vía para identificar poblados o ciertas discontinuidades como badenes y gibas que pudieran interferir en la evaluación del tramo que corresponde del km 89+00 al km 94+000. En el cuadro N°4.2 se muestra el inventario obtenido de las discontinuidades en el tramo. Como siguiente paso se delimitó los tramos que no serían evaluados debido a estas interferencias.

El tramo a evaluar tiene una superficie de rodadura con tratamiento monocapa, la calzada tiene un sólo carril y presenta una plataforma de ancho útil variable entre 3.0 y 8.5 metros, presenta 32 curvas horizontales según cuadro N°4.1, con radios de curvatura que van desde 60m hasta 500m; en el Anexo N° 03 se adjuntan mayor información de las curvas.

NUMERO DE CURVAS POR KILOMETRO

| TRAMO: | N°CURVAS |
|---------------|-----------|
| KM.89-KM.90 | 6 |
| KM.90-KM.91 | 4 |
| KM.91-KM.92 | 9 |
| KM.92-KM.93 | 7 |
| KM.93-KM.94 | 6 |
| TOTAL: | 32 |

Cuadro N°4.1

Fuente: Elaboración propia

DISCONTINUIDADES POR KILOMETRO (GIBAS)

| TRAMO: | N°GIBAS | UBICACIÓN (M) | | |
|-------------|---------|---------------|----------|----------|
| | | GIBA N°1 | GIBA N°2 | GIBA N°3 |
| KM.89-KM.90 | 3 | 200 | 400 | 600 |
| KM.90-KM.91 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| KM.91-KM.92 | 2 | 600 | 700 | 0 |
| KM.92-KM.93 | 2 | 850 | 900 | 0 |
| KM.93-KM.94 | 3 | 250 | 300 | 900 |

| | |
|--------|-----------|
| TOTAL: | 10 |
|--------|-----------|

Cuadro N°4.2

Fuente: Elaboración propia

La velocidad del vehículo fue de 40 km/h y la toma de datos se ha ejecutado en tramos variables de 100 a 900 metros, como se muestra en el cuadro N°4.3

El tramo en evaluación tiene la señalización de progresiva a cada kilómetro por lo que facilito la demarcación de las zonas de trabajo. En el Anexo N° 04 se muestra un panel fotográfico por cada kilómetro evaluado.

Asimismo es importante acotar que el mayor problema que se tiene en el recorrido de la carretera es cuando se encuentran dos vehículos en calzadas reducidas de 3.0m de ancho, para lo cual uno de ellos tiene que retroceder para cederle pase al otro.

CARTILLA DE MEDICIÓN DE RUGOSIDAD CON EQUIPO BUMP INTEGRATOR

| | | | | | | | | | | | | | | | |
|------------------------------------|---------------|---|--|---------------|--|---------------|------------------|---|--------------------------|-----------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| UBICACIÓN | | Carretera Cañete -Yauyos - Chupaca del Km 89+000 al Km 94+000 | | | | | EQUIPOS | | Camioneta Piaca PGJ-179 | | | | | | |
| PARTICIPANTES | | Richard Silva Castillo | | | | | | | Bump Integrator Tipo UNI | | | | | | |
| | | Cristian Mamani | | | | | | | | | | | | | |
| | | Christian Rodríguez Zevallos | | | | | | | | | | | | | |
| | | HORA INICIO: | | | 08:40 a.m. | | HORA FIN: | | | 02:00 p.m. | | | | | |
| OBSERVACIONES | | 1 | KM. 89-KM. 90: GIBAS A 200, 400 Y 600 M | | | | 6 | EL TRAMO EN EVALUACION ES DE UN SOLO CARRIL | | | | | | | |
| | | 2 | KM. 90-KM. 91: TRAMO LIBRE DE OBSTACULOS | | | | 7 | | | | | | | | |
| | | 3 | KM. 91-KM. 92: GIBAS A 600 Y 700 M | | | | 8 | | | | | | | | |
| | | 4 | KM. 92-KM. 93: GIBAS A 850 Y 900 M | | | | 9 | | | | | | | | |
| | | 5 | KM. 93-KM. 94: GIBAS A 250, 300 Y 900 M | | | | 10 | | | | | | | | |
| IDA KM. 89-000 - KM. 94-000 | | | | | RETORNO KM. 94-000 - KM. 89-000 | | | | | RESUMEN | | | | | |
| CODIGO | INICIO | FIN | LONGITUD | MEDIDA | CODIGO | INICIO | FIN | LONGITUD | MEDIDA | KM | 89-90 | 90-91 | 91-92 | 92-93 | 93-94 |
| GBI20 | 89+000 | 89+200 | 200 | 746 | GBI01 | 94+000 | 93+900 | 100 | 258 | | | | | | |
| GBI21 | 89+200 | 89+400 | 200 | 667 | GBI02 | 93+900 | 93+300 | 600 | 1374 | Ida: | 3196 | 3648 | 3024 | 2948 | 2895 |
| GBI22 | 89+400 | 90+000 | 400 | 1783 | GBI03 | 93+300 | 93+250 | 50 | 191 | | | | | | |
| GBI23 | 90+000 | 91+000 | 1000 | 3648 | GBI04 | 93+250 | 93+000 | 250 | 640 | Retorno: | 3339 | 3647 | 3267 | 2854 | 2463 |
| GBI24 | 91+000 | 91+600 | 600 | 1709 | GBI05 | 93+000 | 92+900 | 100 | 418 | | | | | | |
| GBI25 | 91+600 | 91+700 | 100 | 462 | GBI07 | 92+900 | 92+850 | 50 | 229 | | | | | | |
| GBI27 | 91+700 | 92+000 | 300 | 853 | GBI08 | 92+850 | 92+000 | 850 | 2207 | | | | | | |
| GBI28 | 92+000 | 92+850 | 850 | 2443 | GBI09 | 92+000 | 91+700 | 300 | 776 | | | | | | |
| GBI29 | 92+850 | 92+900 | 50 | 195 | GBI10 | 91+700 | 91+600 | 100 | 378 | | | | | | |
| GBI30 | 92+900 | 93+000 | 100 | 310 | GBI11 | 91+600 | 91+000 | 600 | 2113 | | | | | | |
| GBI31 | 93+000 | 93+250 | 250 | 626 | GBI12 | 91+000 | 90+000 | 1000 | 3647 | | | | | | |
| GBI32 | 93+250 | 93+300 | 50 | 165 | GBI13 | 90+000 | 89+400 | 400 | 1841 | | | | | | |
| GBI33 | 93+300 | 93+900 | 600 | 1800 | GBI14 | 89+400 | 89+200 | 200 | 829 | | | | | | |
| GBI34 | 93+900 | 94+000 | 100 | 304 | GBI15 | 89+200 | 89+000 | 200 | 669 | | | | | | |
| | | | 4,800 | 15,711 | | | | 4,800 | 15,570 | | | | | | |

Cuadro N°4.3 Cartilla de medición de Rugosidad con Equipo BI
Fuente: Elaboración propia

4.2 Calibración del equipo Bump Integrator

Para la calibración del equipo Bump Integrator se ha utilizado el perfilómetro MERLIN. El método de medición que utiliza el MERLIN, por haber sido diseñado este equipo como una variación de un perfilómetro estático y debido a la gran exactitud de sus resultados, califica como un método **clase 2**. La correlación de los resultados obtenidos con el MERLIN, con la escala del IRI, tiene un coeficiente de determinación prácticamente igual a la unidad ($R^2=0.98$). Por su gran exactitud, sólo superado por el método topográfico (mira y nivel), algunos fabricantes de equipos tipo respuesta (Bump Integrator, Mays Meter, etc.) lo recomiendan para la calibración de sus rugosímetros.

- Para los tramos de calibración se han tomado secciones homogéneas de 400 m cada uno. El equipo utilizado para medir el IRI fue el MERLIN
- La velocidad de operación del vehículo para operar el Bump Integrator fue de 40km/h
- En cada sector evaluado se registró aquellos obstáculos que de forma alguna influyen en la determinación de la rugosidad.

En el cuadro N°4.4 se tienen los resultados obtenidos de cinco posibles secciones de calibración.

| UBICACIÓN: | TRAMOS DE CALIBRACIÓN | | | | |
|--|-----------------------|-------------|------------|-------------|-------------|
| | SECCIÓN 1 | SECCIÓN 2 | SECCIÓN 3 | SECCIÓN 4 | SECCIÓN 5 |
| DEL: | KM.80+100 | KM.84+600 | KM.91+100 | KM.97+800 | KM.99+800 |
| AL: | KM.80+500 | KM.85+000 | KM.91+500 | KM.98+200 | KM.100+200 |
| IRI (Merlin) | 3.94 | 4.93 | 4.3 | 4.79 | 6.48 |
| Lecturas con el Bump Integrator | | | | | |
| | | | | | |
| DEL: | KM.80+100 | KM.84+600 | KM.91+100 | KM.97+800 | KM.99+800 |
| AL: | KM.80+500 | KM.85+000 | KM.91+500 | KM.98+200 | KM.100+200 |
| IDA: | 3115 | 2995 | 3024 | 3721 | 3428 |
| RETORNO: | 2964 | 2758 | 3262 | 3599 | 3963 |
| Lectura BI Promedio | 3040 | 2877 | 3143 | 3660 | 3696 |
| Cálculos | | | | | |
| B.I. | 3040 | 2877 | 3143 | 3660 | 3696 |
| IRI | 3.94 | 4.93 | 4.3 | 4.79 | 6.48 |

Cuadro N°4.4 Calibración con cinco secciones

Fuente: Elaboración propia

Con estos valores se obtiene la ecuación de correlación que se indica en la Figura N° 4.1

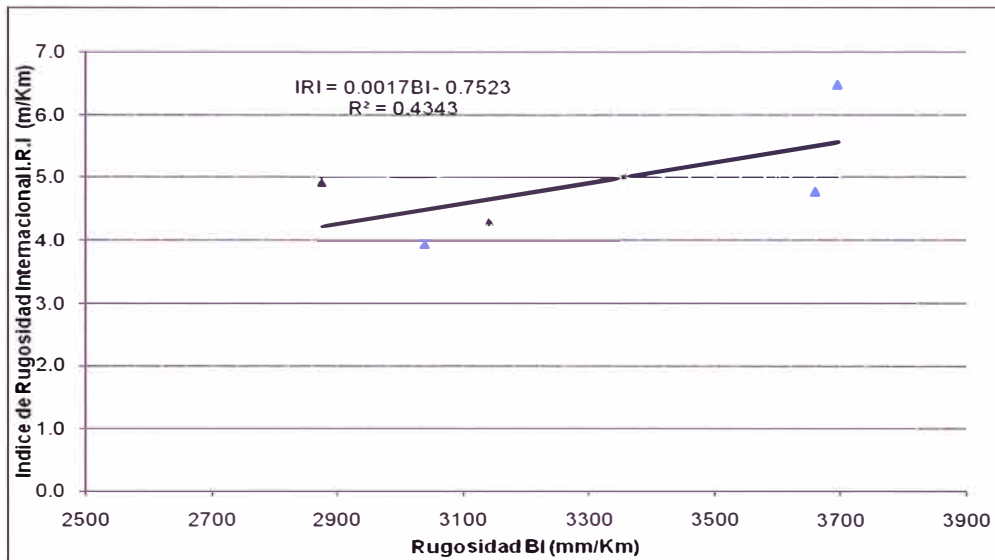


Figura N°4.1 Ecuación de correlación con cinco secciones

Fuente: Elaboración propia

En la figura N°4.1 se puede observar los valores BI Vs. IRI, los cuales están dispersos sobre la línea de ajuste, obteniendo un coeficiente de correlación muy bajo, $R^2=0.4343$, por lo que se descarta como ecuación de correlación.

La fórmula de correlación ha sido obtenida aplicando la regresión lineal, discriminando aquellos valores que hicieran dispersar los resultados.

La ecuación de calibración debe ser consistente por lo que se considera sólo tres secciones de prueba para la calibración, tomando las secciones 1,3 y 4. En el cuadro N° 4.5 se muestran los valores obtenidos en cada una de las tres secciones.

**INDICE DE RUGOSIDAD INTERNACIONAL (I.R.I.)
CALIBRACION DEL RUGOSÍMETRO BUMP INTEGRATOR**

| UBICACIÓN: | TRAMOS DE CALIBRACION | | |
|--|-----------------------|------------|-------------|
| | SECCION 1 | SECCION 3 | SECCION 4 |
| DEL: | KM.80+100 | KM.91+100 | KM.97+800 |
| AL: | KM.80+500 | KM.91+500 | KM.98+200 |
| IRI (Merlin) | 3.94 | 4.3 | 4.79 |
| Lecturas con el Bump Integrator | | | |
| DEL | KM.80+100 | KM.91+100 | KM.97+800 |
| AL | KM.80+500 | KM.91+500 | KM.98+200 |
| IDA: | 3115 | 3024 | 3721 |
| RETORNO: | 2964 | 3262 | 3599 |
| Lectura BI Promedio | 3040 | 3143 | 3660 |
| Cálculos | | | |
| B.I. | 3040 | 3143 | 3660 |
| IRI | 3.94 | 4.3 | 4.79 |

Nota:

La pista de calibración es de un sólo carril

Cuadro N°4.5 Calibración con Tres secciones

Fuente: Elaboración propia

Con los datos obtenidos se procede a calcular la ecuación de correlación, obteniéndose la ecuación que se indica en la figura N°4.2

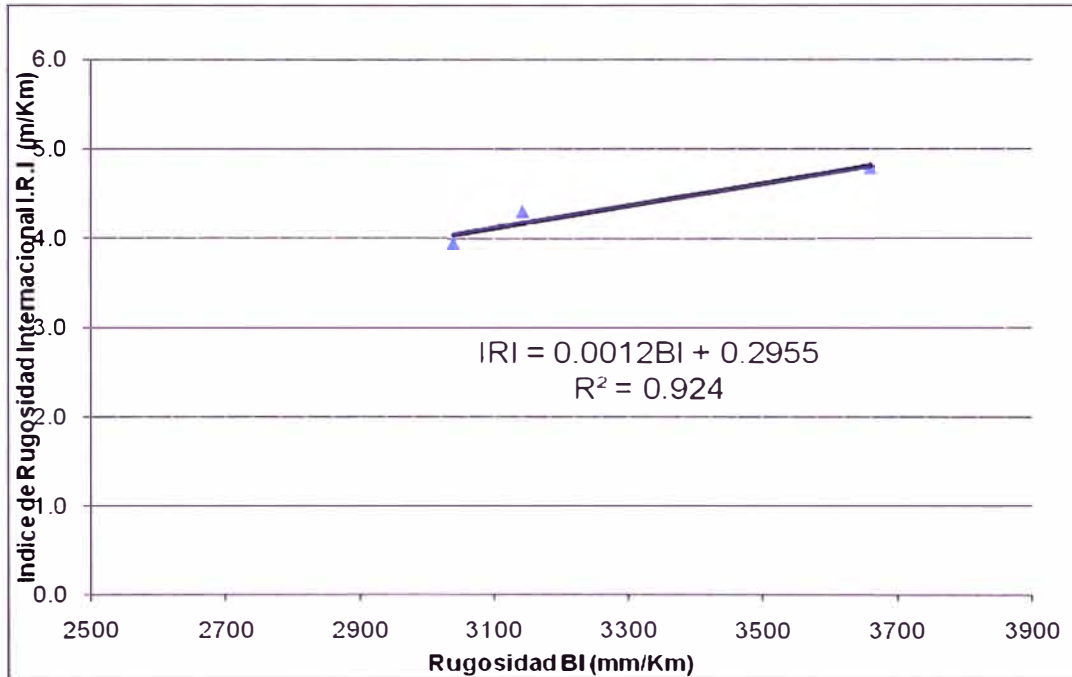


Figura N°4.2 Ecuación de correlación con tres secciones

Fuente: Elaboración propia

Para esta ecuación se tiene un coeficiente de correlación $R^2=0.924$, cercano a la unidad (valor óptimo), por lo que la ecuación obtenida es consistente.

4.3 Procesamiento de datos

Con la ecuación obtenida se procede a efectuar la transformación correspondiente de los datos obtenidos en el tramo en estudio.

$$IRI = 0.0012 \times BI + 0.2955$$

INDICE DE RUGOSIDAD INTERNACIONAL - IRI

| TRAMO: | BI (mm/km) | IRI (m/km) |
|-------------|------------|------------|
| KM.89-KM.90 | 3268 | 4.22 |
| KM.90-KM.91 | 3648 | 4.67 |
| KM.91-KM.92 | 3146 | 4.07 |
| KM.92-KM.93 | 2901 | 3.78 |
| KM.93-KM.94 | 2679 | 3.51 |

Cuadro N°4.6 Resultados de IRI por Kilómetro

Fuente: Elaboración propia

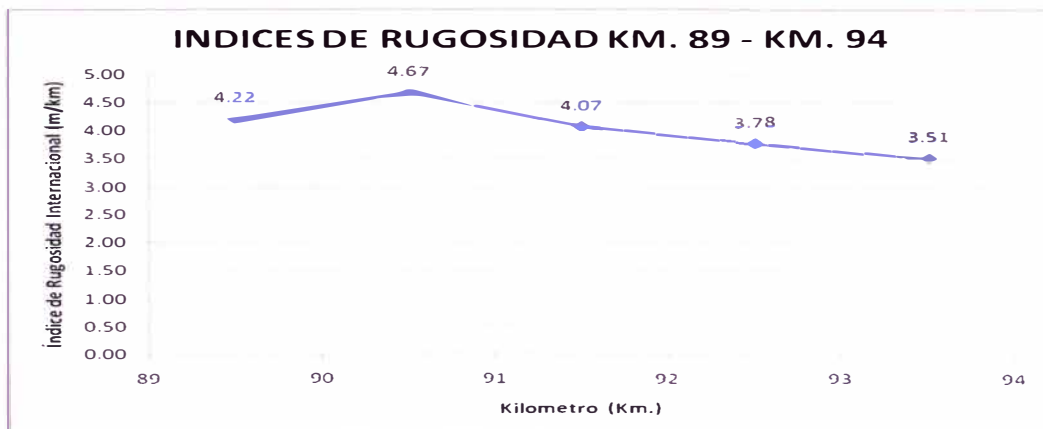


Figura N°4.3 Gráfica de IRI por Kilómetro

Fuente: Elaboración propia

CAPITULO V: ANALISIS DE RESULTADOS

El Banco Mundial establece como referencia el siguiente cuadro N°5.1 para carreteras pavimentadas:

| IRI | Estado |
|-------|-----------|
| > 9 | Muy Mala |
| 9 - 5 | Malo |
| 5 - 3 | Regular |
| 3 - 1 | Bueno |
| 1 - 0 | Muy bueno |

Cuadro N° 5.1 Estado superficial en función del IRI

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

En el cuadro 5.2 se dan los resultados del IRI para cada kilometro y el estado de conservación de la vía:

INDICE DE RUGOSIDAD INTERNACIONAL - IRI CARRETERA CAÑETE - YAUYOS - CHUPACA

| TRAMO: | IRI (m/km) | ESTADO |
|-------------|------------|---------|
| | | |
| KM.89-KM.90 | 4.22 | REGULAR |
| | | |
| KM.90-KM.91 | 4.67 | REGULAR |
| | | |
| KM.91-KM.92 | 4.07 | REGULAR |
| | | |
| KM.92-KM.93 | 3.78 | REGULAR |
| | | |
| KM.93-KM.94 | 3.51 | REGULAR |

Cuadro N° 5.2 IRI del tramo evaluado

Fuente: Elaboración propia

Comparando con el cuadro N°5.1 se determina que la condición del pavimento es regular para todos los tramos.

Tratándose de un tratamiento superficial tipo monocapa, entregada en concesión a partir del 2008, con un tiempo de servicio de un año en promedio, se afirmaría que el estado de conservación de la vía viene siendo aceptable.

Si se tomara en cuenta la escala de estimación de rugosidad en carreteras no pavimentadas, establecido en el “Manual para la conservación de Carreteras no pavimentadas de Bajo Volumen de Tránsito”, los resultados obtenidos están en el intervalo de $3.5 < IRI < 10$, calificadas como Carreteras No Pavimentadas con Conservación, en los cuales se pueden conducir vehículos sin mayores problemas de seguridad. En este rango la escala establece que el manejo debe ser confortable con algunas percepciones de ondulaciones suaves a moderadas, por lo tanto el pavimento es aceptable en cada kilómetro evaluado.

CONCLUSIONES

1. De acuerdo a los resultados obtenidos y comparando con los que se indica en la Escala de estimación de rugosidad en carretas pavimentadas y no pavimentadas, se concluye que los datos obtenidos con el equipo Bump Integrator son confiables.
2. En virtud de lo anterior, los valores IRI obtenidos en cada kilómetro de la carretera Cañete – Yauyos – Chupaca, tramo Km. 89+00 al Km. 94+000, nos indican que la condición del pavimento es regular, tal como lo establece el Banco Mundial para carreteras pavimentadas.
3. El equipo utilizado es un sistema tipo respuesta RTRRMS, cuya ventaja radica en la rapidez con que se recopilan los datos de campo, siguiendo un procedimiento adecuado que implica ser cuidadoso en tres aspectos: el funcionamiento, la calibración y la inspección del sistema.
4. La desventaja de un RTRRMS es que el movimiento del eje del vehículo depende de la dinámica del vehículo, la cual varía con el tiempo por lo cual debe hacerse calibraciones periódicas.
5. Los equipos tipo respuesta son adecuados para el monitoreo rutinario de un red pavimentada por su alto rendimiento en comparación con los equipos de clase uno, los cuales no son apropiados para grandes extensiones de carretera, obteniendo datos aceptables de evaluación que proporcionan una visión global de la condición del pavimento.
6. El mayor problema que se tiene en el uso de estos equipos es la correcta calibración, al no cumplir esta los resultados obtenidos no serán consistentes.
7. La ecuación de calibración sólo es válido para el vehículo empleado.
8. La velocidad de operación será función de la topografía de la zona, y esta debe ser constante

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda tener procedimiento de operación estandarizado, el cual debe cumplirse para obtener datos confiables.
2. Son muchos los factores que pueden afectar el valor del IRI, uno es la condición del estado superficial de la vía (ahuellamientos, baches, parches, corrimientos o superficies sin nivelar), y otros elementos lo constituyen ciertas singularidades que son colocados en la vía para cumplir un fin específico como gibas, puentes, resonadores o badenes. En el caso de las gibas se encuentra muchas veces que son colocadas a cortas distancia (100m). En estos casos se recomienda separar estos tramos además de utilizar una velocidad adecuada.
3. Para la calibración del equipo elegir tramos rectos en lo posible. De no ser así elegir tramos con el menor número de curvas y que estas sean abiertas para obtener una ecuación de correlación consistente.
4. Efectuar el monitoreo periódico (cada seis meses) de la vía a fin de verificar la evolución del IRI.
5. Las secciones de calibración no deben ser zonas en curvas.

BIBLIOGRAFIA

1. Badilla Vargas, Gustavo, Determinación de la regularidad superficial del pavimento, mediante el cálculo del Índice de Regularidad Internacional (IRI), Revista de Infraestructura Vial, Edición N°21, Universidad de Costa Rica, Febrero 2009
2. Contreras Suañe, Jorge, Evaluación Superficial de pavimentos – Aplicación del Índice Internacional de Rugosidad IRI, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, 2000
3. Ministerio de Transportes y Comunicaciones, Especificaciones Técnicas Generales para Construcción de Carreteras (EG-2000) – Lima, 2000
4. Ministerio de Transportes y comunicaciones, Manual de especificaciones técnicas para construcción de carreteras no pavimentadas de bajos volumen de tránsito, Lima, 2008
5. Ministerio de Transportes y Comunicaciones, Manual para la Conservación de Carreteras No Pavimentadas de Bajo Volumen de Tránsito, Lima, 2008
6. Sayers, Michael W., Guidelines for Conducting and Calibrating Road Roughness Measurements, World Bank Technical Paper Number 46, Washington, DC, USA, 1986
7. Sayers, Michael W., The Little Book of Profiling, University of Michigan, September 1998.
8. Sologorre Huayta, Jose Demetrio, Evaluación de la Rugosidad de Pavimentos con uso del Bump Integrator, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, 2005
9. Vigo Jáuregui, Fernando, Evaluación – integral de Pavimentos Flexibles: Carretera Central Cocachacra - Matucana, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, 1999

ANEXOS

ANEXO N°01: Panel fotográfico de Trabajos de Cambio de Estándar

ANEXO N°02: Rugosímetro Electrónico Tipo UNI

ANEXO N°03: Cuadro de Curvas del Tramo en Evaluación Km.89 – Km.94

ANEXO N°04: Panel Fotográfico Actual del Km 89+000 hasta el Km. 94+000

ANEXO N°05: Cálculo de la Rugosidad de las Secciones de Calibración

ANEXO 01

VISTAS DE TRABAJOS DE CAMBIOS DE ESTANDAR CARRETERA CAÑETE – YAUYOS CHUPACA

**(Fuente: Supervisión Proyecto Perú,
Panel fotográfico Febrero 2009)**



Colocación de capa granular con material de cantera



Estabilización de afirmado Km. 94+000



Limpieza de superficie estabilizada Km. 90+000



Riego de RC-250 sobre la superficie estabilizada



Esparcido de gravilla sobre el RC-250



Trabajos de Compactado



Trabajo terminado a la fecha de marzo del 2009



Tramo de estudio durante la vista de campo (Octubre 2009)

ANEXO 02

INSTRUMENTACIÓN DESARROLLADA EN EL INSTITUTO DE INVESTIGACION DE LA FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL IIFIC - UNI

III. RUGOSIMETRO ELECTRONICO BUMP-INTEGRATOR

El Rugosímetro Electrónico Bump-Integrator Tipo UNI (**REBITU**), es un equipo diseñado para medir la rugosidad de pavimentos y esta 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.

3.1 Instrumentación

El Rugosímetro Bum-Integrator fue diseñado utilizando criterios electrónicos sofisticados y con componentes robustos, pensado para trabajar en ambientes hostiles (calor, lluvia, humedad, etc.). El software desarrollado presenta un interfaz para el usuario sencilla e intuitiva, todas estas características brindan las mayores facilidades en la manipulación y uso del equipo.

Las especificaciones del equipo se muestran a continuación:

ESPECIFICACIONES TECNICAS DEL ADQUISIDOR DE DATOS

| | |
|----------------------------|-----------------------------------|
| 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 | |

ESPECIFICACIONES TECNICAS – SENSOR DE DISTANCIA

| | |
|-------------------------------|------------------------------|
| 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 |

Adicionalmente podemos resaltar las siguientes características:

Alimentación de 12 Voltios directa del encendedor eléctrico del vehículo.
Entrada para alimentación adicional para descarga de datos y pruebas con el equipo.

2 Bancos de memoria no volátil (24LC256), las cuales permiten almacenar datos de hasta 1600 Km.

Microcontrolador PIC16F877A.

Transductor (Encoder rotativo) de alta sensibilidad para medición del desplazamiento vertical.

Adquisición y almacenamiento de datos de forma automática.

Puerto de Comunicación para computadora.

Software para la descarga de datos almacenados en la memoria.

Pruebas de Rugosidad en la Universidad Nacional de Ingeniería

3.2 Introducción

El REBITU fue puesto a prueba tomando medidas dentro de las instalaciones de la Universidad Nacional de Ingeniería, en la vía que va desde la Puerta de Ingreso Nro. 3, pasa por el coliseo y termina en el Pabellón Q “Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica”.

El rugosímetro debe ser calibrado o comparado con la rugosidad obtenida por métodos patrón como el de Nivelación Topográfica. Se eligió secciones de calibración que presenten una condición de Bueno/Regular, y que puedan permitir la formula de correlación entre las mediciones del REBITU y el método patrón. De esta forma poder obtener el factor de correlación entre las medidas obtenidas por el REBITU y el IRI de la carretera.

3.3 Características de la Prueba

La prueba se hizo utilizando la camioneta la Facultad de Ingeniería Civil, el tramo de medida es de 400 metros, se marco puntos al inicio y final para poder iniciar y terminar la toma de datos, se hizo recorridos en ambos carriles y la velocidad promedio fue de 40 Km/h.

3.4 Conclusiones

Las medidas son mucho mas consistentes cuando la carretera no posee curvas, mientras más pronunciada y larga sea la curva, la medida será variable en el tramo que contenga dicha curva, esto por la dificultad de mantener la velocidad estable.

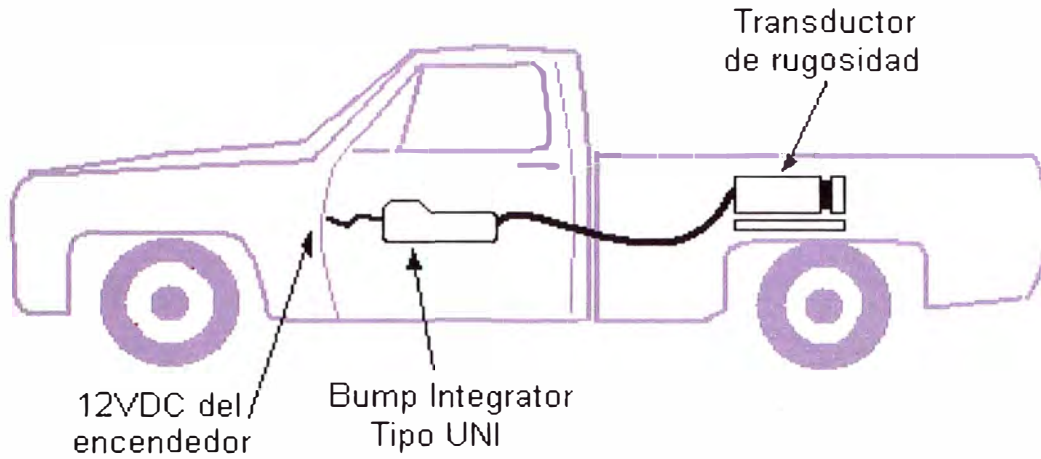


Figura 3.1 Modelo de conexión del Rugosímetro electrónico

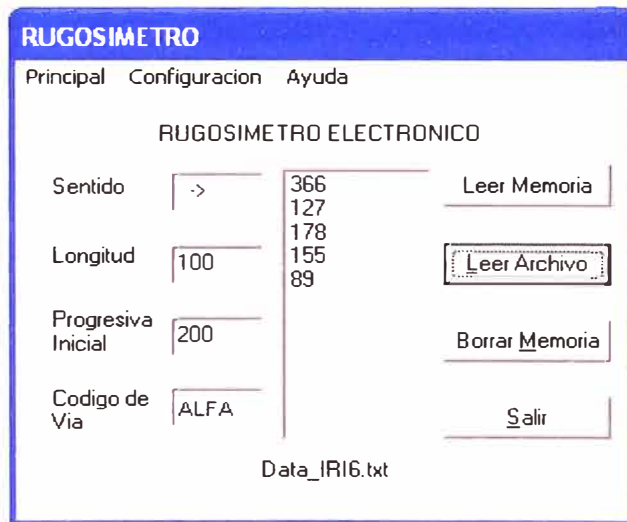


Figura 3.2 Software de Comunicación para el Rugosímetro Electrónico

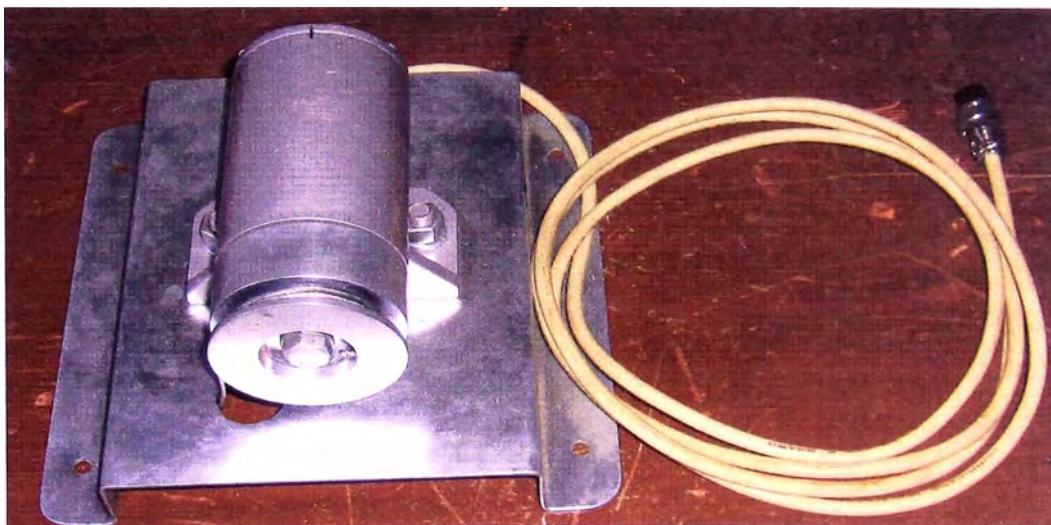


Figura 3.3 Unidad Bump Integrator



Figura 3.4 Unidad de adquisición de datos del Rugosimetro Bump Integrator

Tabla 5.1 Prueba del Rugosimetro en las instalaciones de la Universidad

| Pasadas | Carril Derecho | Carril Izquierdo |
|---------|----------------|------------------|
| 1 | 908 | 935 |
| 2 | 815 | 833 |

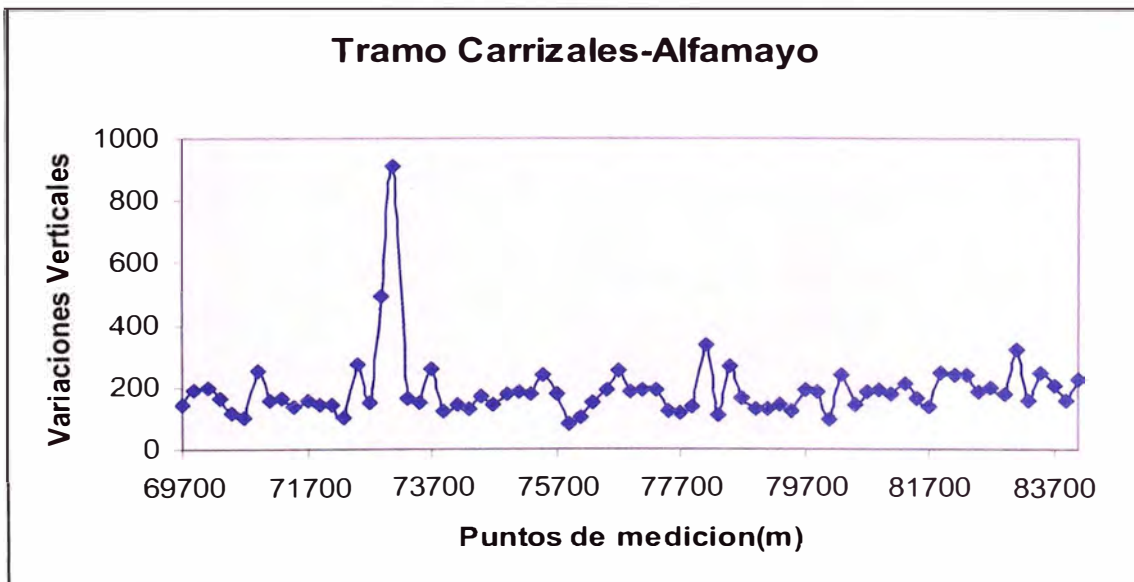


Figura 3.5 Datos en tramo carretera Alfamayo-Carrizales (Km 69.7-Km83.7)

ANEXO 03

CUADRO DE ELEMENTOS DE CURVAS Y COORDENADAS

CARRETERA CAÑETE - YAUYS - CHUPACA
TRAMO: DEL KM 89+00 AL KM 94+000

| Nº PI | SENT. | DELTA | RADIO | TANG. | L.C. | Ext. | P.I. | P.C. | P.T. | NORTE | ESTE | P% | SA | LTe | LTs |
|-------|-------|-------------|-------|-------|--------|-------|-----------|-----------|-----------|------------|-----------|-----|-----|-------|-------|
| 251 | D | 23°d56'14" | 80 | 16.96 | 33.42 | 1.78 | 89+090.74 | 89+073.79 | 89+107.21 | 8589193.13 | 400255.75 | 6.0 | 1.2 | 32.39 | 33.78 |
| 252 | D | 7°d55'24" | 400 | 27.70 | 55.32 | 0.96 | 89+274.59 | 89+246.89 | 89+302.20 | 8589377.13 | 400244.57 | 2.5 | 0.3 | 20.00 | --- |
| 253 | I | 32°d14'36" | 120 | 34.69 | 67.53 | 4.91 | 89+483.30 | 89+448.61 | 89+516.14 | 8589585.30 | 400260.75 | 5.5 | 0.9 | 40.00 | --- |
| 254 | I | 10°d58'52" | 300 | 28.84 | 57.50 | 1.38 | 89+654.66 | 89+625.82 | 89+683.32 | 8589738.51 | 400179.98 | 3.0 | 0.6 | 20.00 | --- |
| 255 | D | 10°d13'55" | 500 | 44.76 | 89.29 | 2 | 89+751.04 | 89+706.28 | 89+795.57 | 8589813.79 | 400119.50 | 2.0 | 0.3 | 14.00 | --- |
| 256 | D | 14°d40'50" | 300 | 38.65 | 76.87 | 2.48 | 89+982.00 | 89+943.36 | 90+020.22 | 8590016.88 | 400009.02 | 3.0 | 0.6 | 20.00 | --- |
| 257 | I | 30°d37'32" | 80 | 21.90 | 42.76 | 2.94 | 90+149.09 | 90+127.19 | 90+169.95 | 8590179.51 | 399968.87 | 6.0 | 1.2 | 37.29 | 18.62 |
| 258 | D | 30°d53'31" | 70 | 19.34 | 37.74 | 2.62 | 90+206.20 | 90+186.85 | 90+224.60 | 8590220.99 | 399928.12 | 6.0 | 1.2 | 16.74 | 35.41 |
| 259 | I | 4°d38'12" | 1500 | 60.73 | 121.39 | 1.23 | 90+389.04 | 90+328.31 | 90+449.70 | 8590399.62 | 399884.90 | 2.0 | 0.3 | 14.00 | --- |
| 260 | I | 12°d19'26" | 400 | 43.19 | 86.04 | 2.32 | 90+812.00 | 90+768.81 | 90+854.85 | 8590801.40 | 399752.52 | 2.5 | 0.3 | 20.00 | --- |
| 261 | D | 9°d18'48" | 450 | 36.65 | 73.15 | 1.49 | 91+004.22 | 90+967.57 | 91+040.72 | 8590967.22 | 399654.62 | 2.0 | 0.3 | 14.00 | --- |
| 262 | I | 7°d37'51" | 500 | 33.35 | 66.59 | 1.11 | 91+098.99 | 91+065.64 | 91+132.23 | 8591055.69 | 399620.22 | 2.0 | 0.3 | 14.00 | --- |
| 263 | D | 11°d35'09" | 300 | 30.44 | 60.66 | 1.54 | 91+184.47 | 91+154.03 | 91+214.70 | 8591130.63 | 399578.89 | 3.0 | 0.6 | 20.00 | --- |
| 264 | I | 36°d22'40" | 90 | 29.57 | 57.14 | 4.73 | 91+259.85 | 91+230.28 | 91+287.42 | 8591202.80 | 399556.42 | 5.5 | 0.9 | 24.10 | 24.02 |
| 265 | D | 15°d22'09" | 110 | 14.84 | 29.51 | 1 | 91+320.65 | 91+305.81 | 91+335.32 | 8591240.01 | 399505.83 | 5.5 | 0.9 | 13.90 | 32.48 |
| 266 | D | 23°d04'37" | 200 | 40.83 | 80.55 | 4.13 | 91+481.27 | 91+440.44 | 91+520.99 | 8591366.20 | 399406.17 | 4.0 | 0.6 | 27.00 | --- |
| 267 | I | 26°d55'42" | 120 | 28.73 | 56.40 | 3.39 | 91+676.51 | 91+647.78 | 91+704.18 | 8591555.65 | 399354.61 | 5.5 | 0.9 | 42.35 | 18.67 |
| 268 | D | 40°d38'38" | 140 | 51.85 | 99.31 | 9.29 | 91+760.23 | 91+708.38 | 91+807.69 | 8591618.51 | 399297.72 | 5.0 | 0.9 | 33.00 | --- |
| 269 | I | 16°d56'08" | 200 | 29.78 | 59.12 | 2.2 | 91+982.13 | 91+952.35 | 92+011.47 | 8591844.71 | 399291.77 | 4.0 | 0.6 | 27.00 | --- |
| 270 | I | 28°d51'22" | 200 | 51.46 | 100.73 | 6.51 | 92+073.89 | 92+022.44 | 92+123.17 | 8591932.18 | 399262.60 | 4.0 | 0.6 | 27.00 | --- |
| 271 | D | 23°d00'59" | 100 | 20.36 | 40.17 | 2.05 | 92+260.52 | 92+240.16 | 92+280.34 | 8592060.23 | 399123.84 | 5.5 | 0.9 | 36.39 | 29.75 |
| 272 | I | 26°d39'28" | 70 | 16.58 | 32.57 | 1.94 | 92+347.01 | 92+330.42 | 92+362.99 | 8592139.56 | 399088.05 | 6.0 | 1.2 | 26.92 | 18.77 |
| 273 | D | 27°d50'30" | 90 | 22.31 | 43.73 | 2.72 | 92+413.30 | 92+390.99 | 92+434.72 | 8592181.71 | 399036.11 | 5.5 | 0.9 | 22.81 | 31.61 |
| 274 | I | 55°d50'33" | 100 | 52.99 | 97.46 | 13.17 | 92+540.19 | 92+487.20 | 92+584.66 | 8592299.25 | 398985.99 | 5.5 | 0.9 | 40.00 | --- |
| 275 | D | 50°d13'21" | 100 | 46.87 | 87.65 | 10.44 | 92+663.94 | 92+617.08 | 92+704.73 | 8592324.62 | 398856.16 | 5.5 | 0.9 | 40.00 | --- |
| 276 | I | 69°d33'06" | 130 | 90.27 | 157.81 | 28.27 | 92+863.13 | 92+772.86 | 92+930.67 | 8592504.64 | 398757.53 | 5.0 | 0.9 | 33.00 | --- |
| 277 | D | 61°d00'58" | 120 | 70.71 | 127.79 | 19.28 | 93+067.78 | 92+997.07 | 93+124.86 | 8592471.94 | 398532.52 | 5.5 | 0.9 | 40.00 | --- |
| 278 | I | 86°d00'50" | 95 | 88.61 | 142.62 | 34.91 | 93+260.80 | 93+172.18 | 93+314.80 | 8592636.42 | 398407.43 | 5.5 | 0.9 | 40.00 | --- |
| 279 | D | 41°d14'58" | 100 | 37.64 | 71.99 | 6.85 | 93+380.76 | 93+343.12 | 93+415.12 | 8592551.63 | 398278.19 | 5.5 | 0.9 | 33.11 | 39.20 |
| 280 | D | 54°d26'36" | 90 | 46.30 | 85.52 | 11.21 | 93+506.34 | 93+460.05 | 93+545.57 | 8592569.53 | 398150.58 | 5.5 | 0.9 | 44.16 | 31.46 |
| 281 | I | 105°d17'01" | 60 | 78.60 | 110.25 | 38.88 | 93+634.29 | 93+555.70 | 93+665.95 | 8592689.22 | 398088.08 | 6.0 | 1.2 | 40.00 | --- |
| 282 | D | 63°d29'54" | 60 | 37.13 | 66.50 | 10.56 | 93+729.55 | 93+692.42 | 93+758.92 | 8592592.50 | 397983.84 | 6.0 | 1.2 | 31.11 | 46.19 |

Fuente: Consorcio Gestion de Carreteras

ANEXO 04

VISTAS DE LOS TRAMOS EN EVALUACION



03.10.2009 11:48



03.10.2009 11:54



03.10.2009 12:03

Vistas del km. 94+000 hacia el km. 93+000



Vistas del km. 93+000 hacia el km. 92+000



Vistas del km. 92+000 hacia el km. 91+000



Vistas del km. 91+000 hacia el km. 90+000



Vistas del km. 90+000 hacia el km. 89+000

ANEXO 05

INDICE DE RUGOSIDAD INTERNACIONAL - IRI (SECCION2)

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

| | |
|-----------|--------------------------------------|
| F = | 1.000 |
| D = | 92.08 mm |
| RUGOSIDAD | = $0.593 + 0.0471 * D$ = 4.93 IRI |

OBSERVACIONES :

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

INFORME DE MEDICIÓN DE RUGOSIDAD

| | | | | | | | | | | |
|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|----|
| | | | | | | | | | | 1 |
| | | | | | | | | | | 2 |
| | | | | | | | | | | 3 |
| | | | | | | | | | | 4 |
| | | | | | | | | | | 5 |
| | | | | | | | | | | 6 |
| | | | | | | | | | | 7 |
| | | | | | | | | | | 8 |
| | | | | | | | | | | 9 |
| | | | | | | | | | | 10 |
| | | | | | | | | | | 11 |
| | | | | | | | | | | 12 |
| | | | | | | | | | | 13 |
| | | | | | | | | | | 14 |
| | | | | | | | | | | 15 |
| | | | | | | | | | | 16 |
| | | | | | | | | | | 17 |
| | | | | | | | | | | 18 |
| | | | | | | | | | | 19 |
| | | | | | | | | | | 20 |
| | | | | | | | | | | 21 |
| | | | | | | | | | | 22 |
| | | | | | | | | | | 23 |
| | | | | | | | | | | 24 |
| | | | | | | | | | | 25 |
| | | | | | | | | | | 26 |
| | | | | | | | | | | 27 |
| | | | | | | | | | | 28 |
| | | | | | | | | | | 29 |
| | | | | | | | | | | 30 |
| | | | | | | | | | | 31 |
| | | | | | | | | | | 32 |
| | | | | | | | | | | 33 |
| | | | | | | | | | | 34 |
| | | | | | | | | | | 35 |
| | | | | | | | | | | 36 |
| | | | | | | | | | | 37 |
| | | | | | | | | | | 38 |
| | | | | | | | | | | 39 |
| | | | | | | | | | | 40 |
| | | | | | | | | | | 41 |
| | | | | | | | | | | 42 |
| | | | | | | | | | | 43 |
| | | | | | | | | | | 44 |
| | | | | | | | | | | 45 |
| | | | | | | | | | | 46 |
| | | | | | | | | | | 47 |
| | | | | | | | | | | 48 |

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

INDICE DE RUGOSIDAD INTERNACIONAL - IRI (SECCION5)

| | |
|--|------------------------|
| Evaluación Superficial de La Carretera Cañete - Yauyos - Huancayo (Km 99+000 - Km 104+000) | |
| Sección | Km 100+200 - Km 99+800 |
| Carril / Huella | :Derecho |
| Operador | Rene Poma |
| FECHA | : 03/10/2009 |
| ENSAYO N° | 01 |

| |
|--|
| F = 1.000 |
| D = 125.00 mm |
| RUGOSIDAD = $0.593 + 0.0471 * D$ = 6.48 IRI |

OBSERVACIONES :

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

INFORME DE MEDICIÓN DE RUGOSIDAD

| | | | | | | | | | | |
|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|----|
| | | | | | | | | | | 1 |
| | | | | | | | | | | 2 |
| | | | | | | | | | | 3 |
| | | | | | | | | | | 4 |
| | | | | | | | | | | 5 |
| | | | | | | | | | | 6 |
| | | | | | | | | | | 7 |
| | | | | | | | | | | 8 |
| | | | | | | | | | | 9 |
| | | | | | | | | | | 10 |
| | | | | | | | | | | 11 |
| | | | | | | | | | | 12 |
| | | | | | | | | | | 13 |
| | | | | | | | | | | 14 |
| | | | | | | | | | | 15 |
| | | | | | | | | | | 16 |
| | | | | | | | | | | 17 |
| | | | | | | | | | | 18 |
| | | | | | | | | | | 19 |
| | | | | | | | | | | 20 |
| | | | | | | | | | | 21 |
| | | | | | | | | | | 22 |
| | | | | | | | | | | 23 |
| | | | | | | | | | | 24 |
| | | | | | | | | | | 25 |
| | | | | | | | | | | 26 |
| | | | | | | | | | | 27 |
| | | | | | | | | | | 28 |
| | | | | | | | | | | 29 |
| | | | | | | | | | | 30 |
| | | | | | | | | | | 31 |
| | | | | | | | | | | 32 |
| | | | | | | | | | | 33 |
| | | | | | | | | | | 34 |
| | | | | | | | | | | 35 |
| | | | | | | | | | | 36 |
| | | | | | | | | | | 37 |
| | | | | | | | | | | 38 |
| | | | | | | | | | | 39 |
| | | | | | | | | | | 40 |
| | | | | | | | | | | 41 |
| | | | | | | | | | | 42 |
| | | | | | | | | | | 43 |
| | | | | | | | | | | 44 |
| | | | | | | | | | | 45 |
| | | | | | | | | | | 46 |
| | | | | | | | | | | 47 |
| | | | | | | | | | | 48 |

| | | | | | | | | | | | |
|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | |
| 19 | 26 | 17 | 15 | 25 | 16 | 13 | 10 | 17 | 22 | | 1 |
| 32 | 16 | 20 | 15 | 16 | 7 | 13 | 26 | 22 | 27 | | 2 |
| 20 | 17 | 7 | 12 | 10 | 32 | 18 | 29 | 15 | 29 | | 3 |
| 24 | 18 | 22 | 13 | 20 | 18 | 11 | 18 | 22 | 19 | | 4 |
| 15 | 15 | 12 | 12 | 17 | 20 | 23 | 25 | 20 | 28 | | 5 |
| 24 | 26 | 17 | 24 | 26 | 30 | 28 | 23 | 26 | 17 | | 6 |
| 11 | 19 | 20 | 25 | 25 | 24 | 19 | 20 | 25 | 33 | | 7 |
| 26 | 19 | 16 | 22 | 16 | 25 | 18 | 12 | 18 | 10 | | 8 |
| 19 | 23 | 23 | 21 | 16 | 12 | 25 | 12 | 13 | 19 | | 9 |
| 19 | 19 | 16 | 28 | 15 | 15 | 27 | 19 | 20 | 20 | | 10 |
| 24 | 32 | 19 | 28 | 34 | 31 | 34 | 31 | 28 | 38 | | 11 |
| 23 | 30 | 22 | 35 | 26 | 43 | 28 | 35 | 28 | 40 | | 12 |
| 31 | 28 | 28 | 32 | 33 | 27 | 27 | 21 | 27 | 34 | | 13 |
| 37 | 19 | 28 | 29 | 32 | 20 | 30 | 31 | 29 | 35 | | 14 |
| 24 | 30 | 30 | 25 | 25 | 31 | 28 | 22 | 21 | 21 | | 15 |
| 18 | 39 | 20 | 24 | 22 | 30 | 24 | 23 | 22 | 23 | | 16 |
| 27 | 27 | 20 | 20 | 25 | 27 | 37 | 21 | 37 | 20 | | 17 |
| 28 | 36 | 48 | 20 | 5 | 13 | 34 | 38 | 21 | 29 | | 18 |
| 29 | 33 | 28 | 24 | 27 | 27 | 38 | 20 | 4 | 20 | | 19 |
| 26 | 34 | 19 | 11 | 18 | 18 | 16 | 24 | 21 | 29 | | 20 |

