

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



**EVALUACIÓN DE LA RUGOSIDAD DE LA CARRETERA CAÑETE-YAUYOS-CHUPACA
CON EQUIPO BUMP INTEGRATOR TRAMO Km. 84+000 – Km. 89+000**

INFORME DE SUFICIENCIA

Para optar el Título Profesional de:

INGENIERO CIVIL

CHRISTIAN HUMBERTO RODRÍGUEZ ZEVALLOS

Lima - Perú

2009

AGRADECIMIENTOS

A DIOS

Por permitirme acumular experiencia en mi quehacer diario, viendo el alba de un nuevo día.

A MIS PADRES, GLORIA Y MARIO

Por la enorme tarea encomendada al tenerme entre su seno familiar, brindándome lo justo y necesario para poder ser profesional.

A MI ABUELITA JUANA

Por sus enseñanzas en mi adolescencia y por todas las jaladas de oreja, que nunca olvidaré.

A MIS HERMANOS FRANZ, SABRINA, MERLE Y ANGEL

Por la confianza y el apoyo oportuno en mis obligaciones como estudiante universitario.

A MI NOVIA GINA MILAGROS

Por creer y confiar en mi persona; por sus palabras, devolviéndome el ánimo y la confianza en la perseverancia por encontrar un sendero radiante de luz.

A LOS MIEMBROS DE LA ESCUELA PROFESIONAL FIC-UNI

Por sus asesorías y motivaciones constantes al realizar el presente informe de suficiencia. Y por la confianza y comprensión oportuna de mis quehaceres diarios.

*“He observado, constantemente,
que para prosperar en el mundo
hay que tener aire de tonto sin serlo”*

Montesquieu

*“Pueblo que no aprende su historia,
se encuentra condenada a repetirla”*

Rosseau

*Este informe de suficiencia está dedicado
a mi Sra. Madre Gloria,
por toda la comprensión y apoyo en mi vida diaria;
a mi abuelita Juana,
por todas las enseñanzas brindadas en mi adolescencia;*

CHRISTIAN RODRÍGUEZ

ÍNDICE

RESUMEN.....	2
LISTA DE CUADROS.....	3
LISTA DE FIGURAS.....	4
LISTA DE SIGLAS.....	5
INTRODUCCIÓN.....	6
CAPITULO I: GENERALIDADES.....	7
1.1.- Antecedentes.....	7
1.1.1.- Aspectos generales.....	7
1.1.2.- Planteamiento del Problema.....	9
1.2.- Ubicación del tramo en estudio.....	10
1.3.- Características de la carretera.....	15
1.3.1.- Área geográfica.....	15
1.3.2.- Clima.....	16
1.3.3.- Estudio de suelos.....	16
1.3.4.- Capacidad de soporte de los suelos.....	19
1.4.- Tramo en estudio Km.84+000 – Km.89+000.....	20
CAPITULO II: ESTADO DEL ARTE.....	22
CAPITULO III: MARCO TEÓRICO.....	30
3.1.- Evaluación Superficial.....	30
3.2.- Rugosidad.....	32
3.3.- Método de Evaluación con equipo Bump Integrator.....	36
CAPITULO IV: APLICACIÓN DEL MÉTODO Km.84+000 – Km.89+000.....	42
3.1.- Recopilación de datos.....	42
3.2.- Calibración del equipo.....	50
3.3.- Procesamiento de datos.....	57
CAPITULO V: ANALISIS DE RESULTADOS.....	60
CONCLUSIONES.....	61
RECOMENDACIONES.....	62
BIBLIOGRAFIA.....	63
ANEXOS.....	64

RESUMEN

En nuestro país, el transporte por carretera es el de mayor contribución en la actividad sectorial, por lo que es necesario que éste opere con base a parámetros de eficiencia. Debido a la gran variedad de equipos utilizados para medir la regularidad superficial de las superficies de rodadura, y los numerosos índices y escalas para establecer los criterios de aceptación de la funcionalidad de una carretera, se llegó a considerar la conveniencia de adoptar un "índice único". Estas razones han obligado a proponer a nivel mundial, el empleo del Índice Internacional de Rugosidad (IRI), el cual fue aceptado como estándar de medida de la regularidad superficial de un camino por el Banco Mundial en 1986.

En el presente Informe de Suficiencia se evalúa la rugosidad del tramo Km.84+000 – Km.89+000 de la carretera Cañete-Yauyos-Chupaca con equipo Bump Integrator que pertenece a la Clase 3 como un Sistema de Medición de la Rugosidad Tipo-Respuesta (RTRRMS) según clasificación de equipos de medición de rugosidad mostrada en la Publicación Técnica N° 46 del BM.

El cálculo matemático del Índice Internacional de Rugosidad relaciona la acumulación del desplazamiento de la carretera, de la masa superior con respecto a la inferior, dividido entre la distancia recorrida sobre un camino transitado por el vehículo a una velocidad de 40Km/h; el valor IRI se expresa en unidades de mm/m, m/Km., in/milla, etc. Se determina una ecuación de calibración que relaciona los valores IRI del equipo Merlin con los valores BI del equipo Bump Integrator; luego utilizamos esta ecuación para determinar los valores IRI de ida y de vuelta. Posteriormente calculamos los valores PSI, con los nuevos valores IRI, para determinar la transitabilidad del tramo en estudio, clasificándose los valores PSI en una escala entre el valor 0 al 5, siendo la condición óptima el máximo valor y la condición muy mala el mínimo valor.

Finalmente en el capítulo de conclusiones y recomendaciones se determina el análisis de la rugosidad del tramo evaluado, permitiendo determinar un monitoreo rutinario o periódico en conjunto con las evaluaciones efectuadas por los otros métodos de evaluación superficial como el equipo Merlin, el PCI, y la Viga Benkelman.

LISTA DE CUADROS

CUADRO N° 1.01. Tipo de Suelo y Capacidad de Soporte.....	19
CUADRO N° 4.01. Datos de Campo del Tramo Km.79+000- Km.84+000.....	50
CUADRO N° 4.02. Datos de Campo del Tramo Km.84+000- Km.89+000.....	51
CUADRO N° 4.03. Datos de Campo del Tramo Km.89+000- Km.94+000.....	51
CUADRO N° 4.04. Datos de Campo del Tramo Km.94+000- Km.99+000.....	52
CUADRO N° 4.05. Datos de Campo del Tramo Km.99+000- Km.104+000.....	52
CUADRO N° 4.06. Datos Preliminares de Campo.....	53
CUADRO N° 4.07. Datos IRI vs. BI @1000metros.....	53
CUADRO N° 4.08. Datos IRI vs. BI Corregido @1000metros.....	55
CUADRO N° 4.09. Valores IRI con BIpromedio @1000m.....	57
CUADRO N° 4.10. Valores IRI con BIpromedio Lunahuana-Yauyos.....	57
CUADRO N° 4.11. Valores IRI con BIpromedio Yauyos-Lunahuana.....	58
CUADRO N° 4.12. Valor IRI Característico Lunahuana-Yauyos.....	59
CUADRO N° 4.13. Valor IRI Característico Yauyos-Lunahuana.....	59
CUADRO N° 5.01. Rangos del PSI.....	60
CUADRO N° 5.02. Transitabilidad Lunahuana-Yauyos.....	60
CUADRO N° 5.03. Transitabilidad Yauyos-Lunahuana.....	60

LISTA DE FIGURAS

FIGURA N° 1.01. Mapa de Ubicación.....	10
FIGURA N° 1.02. Plano Clave de la Carretera Cañete-Yauyos-Chupaca.....	13
FIGURA N° 1.03. Trabajos Ejecutados en la Carretera.....	16
FIGURA N° 1.04. Clasificación de Suelos del Tramo en Estudio.....	20
FIGURA N° 1.05. Fotografía del Desgaste del Recubrimiento Monocapa.....	21
FIGURA N° 1.06. Fotografía de Hitos Kilométricos Repetidos.....	21
FIGURA N° 2.01. Modelo de Trailer Bump Integrator.....	26
FIGURA N° 2.02. Modelo del Rugosímetro BPR – Soiltest, Inc.....	27
FIGURA N° 3.01. Rangos de PSI.....	31
FIGURA N° 3.02. Escala de Valores del IRI.....	33
FIGURA N° 3.03. Representación Gráfica del Modelo Cuarto Carro.....	36
FIGURA N° 3.04. Equipo Bump Integrator Sobre un Vehículo.....	37
FIGURA N° 3.05. Representación Gráfica de la Posición del BI.....	38
FIGURA N° 3.06. Fotografía de la Instalación del REBITU.....	40
FIGURA N° 3.07. Fotografía del Contador y del Sensor.....	41
FIGURA N° 4.01. Fotografía de Ubicación de Progresiva Km.84+000.....	43
FIGURA N° 4.02. Fotografía de Ubicación de Progresiva Km.85+000.....	43
FIGURA N° 4.03. Fotografía de Ubicación de Progresiva Km.86+000.....	44
FIGURA N° 4.04. Fotografía de Ubicación de Giba Km.86+100.....	44
FIGURA N° 4.05. Fotografía de Ubicación de Giba Km.86+250.....	45
FIGURA N° 4.06. Fotografía de Ubicación de Giba Km.86+800.....	45
FIGURA N° 4.07. Fotografía de Señalización de Vía Angosta.....	46
FIGURA N° 4.08. Fotografía de Ubicación de Giba Km.86+900.....	46
FIGURA N° 4.09. Fotografía de Ubicación de Progresiva Km.87+000.....	47
FIGURA N° 4.10. Fotografía de Ubicación de Progresiva Km.88+000.....	47
FIGURA N° 4.11. Fotografía de Ubicación de Giba Km.88+600.....	48
FIGURA N° 4.12. Fotografía de Ubicación de Giba Km.88+700.....	48
FIGURA N° 4.13. Fotografía de Ubicación de Progresiva Km.89+000.....	49
FIGURA N° 4.14. Gráfico de Valores BI vs. IRI – Prueba @1000m.....	54
FIGURA N° 4.15. Gráfico de Valores BI vs. IRI – Corregido @1000m.....	55

LISTA DE SIGLAS

AASHO	Asociación Americana Oficial de Carreteras Estatales
AASHTO	Asociación Americana Oficial de Transportes
ARRB	Consejo Australiano de Investigación de Carreteras
ASTM	Sociedad Americana de Pruebas y Materiales
BI	Bump Integrator
CGC	Consorcio Gestión de Carreteras
GEIPOP	Agencia de Planeamiento de Transportes de Brasilia
GMR	Laboratorio de Investigación de General Motors
IIFIC	Instituto de Investigación de la Facultad de Ingeniería Civil
IRI	Índice de Rugosidad Internacional
IRRE	Experimento Internacional de Rugosidad de Caminos
MDOT	Departamento de Transportes de Michigan
MTC	Ministerio de Transportes y Comunicaciones
NCHRP	Cooperación Nacional de Investigación de Carreteras
PCI	Índice de la Condición del Pavimento
PSI	Índice de Serviciabilidad Presente
QCS	Simulación del Cuarto Carro
RARS	Pendiente Media de Referencia
REBITU	Rugosímetro Electrónico Bump Integrator Tipo UNI
RTRRMS	Sistema de Medición de la Rugosidad Tipo-Respuesta
SUCS	Sistema Unificado de Clasificación de Suelos
TRRL	Laboratorio Británico de Investigación de Transportes y Caminos
UMTRI	Instituto de Investigación de la Universidad de Michigan
UNI	Universidad Nacional de Ingeniería

INTRODUCCIÓN

El presente informe tiene por objetivo evaluar la Rugosidad del tramo en estudio con equipo Bump Integrator, de la carretera Cañete–Yauyos–Chupaca del Km.84+000 al Km.89+000, analizando los valores IRI; lo cual permitirá establecer preliminarmente las necesidades de mantenimiento. Para ello se obtiene datos de campo con valores BI y mediante una comparación con valores IRI se correlaciona para encontrar una ecuación de calibración; posteriormente se calcula nuevos valores IRI obtenidos con la ecuación y estos se convierten en valores PSI determinando su evaluación superficial. Por lo cual se puede especificar que contiene aportes técnicos, impartidos en temas desarrollados en el curso de Actualización de Conocimientos.

El primer capítulo rescata datos generales importantes de la carretera en estudio, la ubicaron de los centros poblados que la vía atraviesa. Además abarca un estudio Geológico, Geotécnico de la zona.

En el segundo capítulo enfoca la evolución en el tiempo del método a utilizar en la medición de la rugosidad de la vía, teniendo en cuenta los diferentes modelos utilizados en diferentes partes del mundo y como llega al Perú con muy poco conocimiento de las bondades del método.

Los conceptos básicos para el uso del método se desarrollan en el tercer capítulo, abarca el marco teórico de la evaluación superficial como un todo, la rugosidad como parte de los datos para la evaluación de la condición de funcionalidad de la vía y el método a utilizar para lograr los objetivos propuestos en el periodo proyectado.

En el cuarto capítulo se muestra la aplicación del método desde la toma de datos en campo pasando por la calibración del equipo para llegar a procesar los datos en gabinete. También se obtiene valores PSI mediante la expresión “ $PSI = 5.0 * e^{-0.1818IRI}$ ” que relaciona valores PSI con valores IRI.

Finalmente, el quinto capítulo, basándose en los resultados obtenidos de la rugosidad y de los valores PSI identifica la transitabilidad del tramo en estudio.

CAPÍTULO I: GENERALIDADES

1.1.- Antecedentes

1.1.1.- Aspectos generales

La carretera de penetración y enlace de nombre Cañete-Yauyos-Chupaca, ubicada en los departamentos de Lima y Junín, fue proyectada y ejecutada parcialmente durante el gobierno del Sr. Augusto Leguía entre los años 1920 al 1930, mediante una ley decretada por la entidad “Conscripción Vial Territorial del Perú”; por lo cual en el tramo entre los pueblos de Tomas y Alis se ejecutaron dos túneles, el primero tiene su salida cerca al campo de Olan y el segundo llega al pueblo de Luque, sin embargo se presentaba el famoso cañón de Uchco siendo un portón difícil de atravesar.

En los últimos años del gobierno de Leguía trabajaban una cuadrilla de obreros dinamitando, por el lado del pueblo de Tomas, el cañón de Uchco; pero en circunstancias fatales mueren seis obreros por el desprendimiento de rocas, y al producirse la caída del gobierno de Leguía, quedan paralizados todos los trabajos de la carretera hasta los años 1954 y 1957.

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

Como la carretera solo llegaba al pueblo de Tomas, siendo muy problemático para los pueblos del Norte de Yauyos, sobre todo por la dificultad del pase del cañón de Uchco; entonces interviene el pueblo de Alis, encabezado por sus autoridades, realizaban trabajos de la carretera en las partes planas.

Por ello crece la preocupación de la población, decidiendo gestionar ayuda ante el Ministerio de Fomento y otras autoridades de la capital; posteriormente en el año 1954 comisionan a sus representantes, y después de varias gestiones con muchos viajes a Lima consiguen la aceptación del Gobierno Central.

Luego en mayo del año 1955, llega la “Comisión y Delegación del Estado” al puente peatonal del cañón de Uchco, para la prosecución de la carretera. En los siguientes días la delegación de ingenieros comenzó la carretera con la rectificación total del trazo desde Uchco hasta Alis, quedando definido el medio túnel en el cañón de Uchco, los cortes de Parachaca, Chisne y Ñuño.

En febrero del año 1956, llega un contratista arequipeño con experiencia en carreteras para el corte del cañón de Uchco, con personal suficiente y una compresora del Ministerio de Fomento con capacidad para 4 perforadoras y herramientas. En julio del mismo año luego de realizar el corte se construyó el puente Uchco, muros y cortes en ese sector hasta que del mes de octubre a noviembre se terminó de construir el puente hacia Luque y se terminaron los trabajos.

Fue importante la intervención de hombres y mujeres alisinas, para culminar los trabajos en la carretera para integrar el pueblo de Alis con la “Comisión y Delegación del Estado”; porque el 6 de febrero de 1957, en un rápido acuerdo, nombraron la Comisión Pro-Carretera bajo la dirección del alcalde y con la población en general acordaron por unanimidad proseguir los trabajos de la carretera desde Parachaca hasta Alis.

Posteriormente, en el mismo año, como se encontraban habilitados equipos tales como las compresoras, perforadoras, herramientas y explosivos; a su vez se tenía la colaboración del personal obrero de los pueblos vecinos de Carania, Miraflores, Piños, Vitis, Huancaya y Tintín, por lo que se logra terminar los trabajos de la carretera aproximadamente en mayo del año 1957.

Posteriormente en el año 2007 el Estado Peruano mediante Resolución Ministerial N° 223-2007-MTC-02, modificada por Resolución Ministerial N° 408-2007-MTC/02, creó el Programa “Proyecto Perú”. El cual se describe como un programa de infraestructura vial diseñado para mejorar las vías de integración de corredores económicos, conformando ejes de desarrollo sostenido con el fin de elevar el nivel de competitividad de las zonas rurales, y en las redes viales nacional, departamental y vecinal.

El Programa “Proyecto Perú” aspira a establecer políticas de mantenimiento para la conservación de la infraestructura vial, mediante contratos con los cuales las prestaciones se controlen por niveles de servicio y por plazos iguales o superiores a tres (3) años, que implican el concepto de “transferencia de riesgo” al Contratista.

Mediante el Contrato N° 288-2007-MTC/20 firmado el 27 de diciembre del 2007 con PROVIAS NACIONAL, el Consorcio Gestión de Carreteras asume la responsabilidad de efectuar el servicio de Conservación del Corredor Vial Cañete–Lunahuana–Pacaran–Dv.Yauyos–Ronchas–Chupaca con 271.73Km. de longitud y el Mejoramiento del Tramo Zúñiga–Dv.Yauyos–Ronchas a nivel de solución básica.

Debido a la actual capacidad vehicular de la carretera Central la cual se encuentra colapsada, la carretera Cañete-Yauyos-Chupaca se proyecta como una vía de comunicación alterna a la carretera Central, con lo cual se puede aligerar el tránsito vehicular y disminuir el tiempo de viaje entre Lima (Cañete) y Huancayo (Chupaca).

Adicionalmente mediante el programa “Proyecto Perú” se puede establecer la integración entre las localidades que atraviesan la carretera tales como las localidades de San Vicente de Cañete, Capillucas, Calachota, Magdalena, Tinco Huantan, Llapay, Alis, Tomas, Tinco Yauricocha, San José de Quero, Chachicocha, Collpa, Roncha y Chupaca. Desarrollando también la afluencia turística en la zona y dinamizando sus economías, fomentando el tránsito de transportistas y pasajeros por esta vía.

1.1.2.- Planteamiento del Problema

Las superficies de rodadura durante su vida útil afrontan diferentes degradaciones y deterioros en su estructura provocando un comportamiento deficiente en el tiempo; todo ello debido a la existencia de factores que aceleran el desgaste de la carretera tales como el clima, proceso constructivo inadecuado, insuficiente sistema de drenaje, ó geología de la zona. Teniendo como una de las formas de establecer el estado de transitabilidad la medición de la rugosidad.

1.2.- Ubicación del tramo en estudio

La carretera Cañete–Yauyos–Chupaca se encuentra ubicada en la región central del país, abarcando las Provincias de Cañete y Yauyos, en el departamento de Lima, y Concepción, en el departamento de Junín. La cual forma parte de la “Red Vial Nacional” N° 13, y con ruta nacional N° 24, con un ámbito de influencia en un entorno de 2.5Km. a ambos lados de la vía existente abarcando diversos distritos y poblados.

El área estudiada limita por el Norte con los cuadrángulos de Huarochirí y la Oroya, por el Este con los cuadrángulos de Andamarca y Pampas, por el Sur con los cuadrángulos de Tantará y Chincha, finalmente limita por el Oeste con el cuadrángulo de Mala.

Figura N° 1.01. Mapa de Ubicación



Fuente: MTC, Provías Nacional, Proyecto Perú Lima-Junín

En la Figura N° 1.01 se puede observar el Mapa de Ubicación de la carretera Cañete-Yauyos-Chupaca que se encuentra representada con una línea gruesa roja en el mapa; y con la representación del Proyecto Perú perteneciente a la “Red Vial Nacional” N° 13 que se muestra en la leyenda.

El tramo Cañete-Lunahuana tiene una longitud de 40.95Km. y presenta como punto de inicio el segundo ovalo de Cañete (Km. 01+805) en la vía que se dirige a Lunahuana y termina en la localidad de Uchupampa (Km. 42+755). En el ámbito del proyecto se encuentran las localidades como Cañete, Imperial, Nuevo Imperial, Encañada, Caltopa, Socsi y Lunahuana. El tramo se encuentra asfaltado, teniendo una superficie de rodadura constituida por una carpeta asfáltica, tiene dos sectores en los cuales se tiene una calzada UC (dos carriles crecientes) y una calzada UD (dos carriles decrecientes) de longitudes de 2.50Km. y 0.13Km. respectivamente, con anchos promedios de 3.60m por carril. El resto de la vía presenta una calzada CD (un carril creciente y un carril decreciente) con un ancho promedio de 3.60m.

El tramo Lunahuana-Pacarán tiene una longitud de 11.907Km. y presenta como punto de inicio el sector denominado Uchupampa (Km. 42+755), donde termina la carpeta asfáltica e inicia el tratamiento superficial, y termina en la localidad de Pacarán (Km. 54+662), parte final del tratamiento superficial. En el ámbito del proyecto se encuentran las localidades como Uchupampa, Condoray, Catapalla, Jacaya, Jacayita, Romani y Pacarán. El tramo se encuentra asfaltado, teniendo una superficie de rodadura constituida por un tratamiento superficial, tiene una calzada CD (un carril creciente y un carril decreciente) con un ancho promedio de 3.20m por carril.

El tramo Pacarán-Zuñiga tiene una longitud de 3.743Km. y presenta como punto de inicio la localidad de Pacarán (Km. 54+662), donde termina el tratamiento superficial, y termina en la localidad de Zuñiga (Km. 58+405), este tramo cuenta con 100m de pavimento flexible, los cuales su mantenimiento esta a cargo del Gobierno Local Municipal. A partir de este tramo, la carretera se encuentra no pavimentada teniendo una superficie de rodadura a nivel de un recubrimiento bituminoso Slurry Seal, la calzada tiene un solo carril, y presenta una plataforma de un ancho útil que varia entre 5.0 y 7.5metros.

El tramo Zuñiga-Dv. Yauyos tiene una longitud de 70.400Km. y presenta como punto de inicio la localidad de Zuñiga (Km. 58+405), y termina en la localidad de Magdalena (Km. 128+805).

En el ámbito del proyecto se encuentran las localidades como Zuñiga, Machuranga, San Juanito, San Juan, San Jerónimo, Huayllampi, Catahuasi, Canchán, Chinchicay, Capillucas, Calachota, Puente Aucco y Magdalena. Este tramo de la carretera tiene una superficie de rodadura a nivel de un recubrimiento bituminoso Slurry Seal hasta Catahuasi y un tratamiento Monocapa hasta el Km. 99+000 aproximadamente, la calzada tiene un solo carril, y presenta una plataforma de un ancho útil que varía entre 3.0 y 8.5 metros.

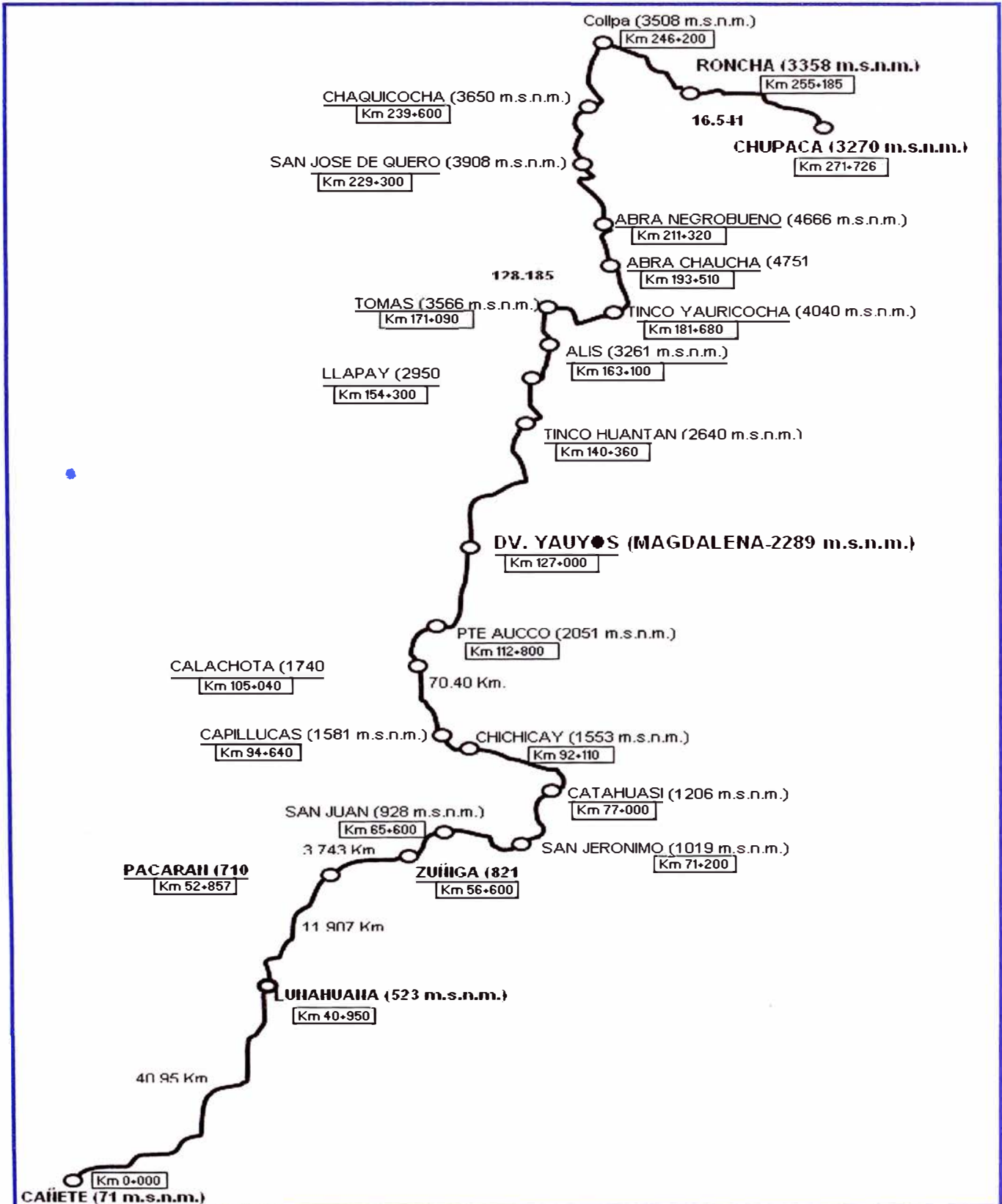
El tramo Dv. Yauyos-Roncha tiene una longitud de 128.185 Km. y presenta como punto de inicio la localidad de Magdalena (Km. 128+805), y termina en la localidad de Roncha (Km. 256+990), entrada del pueblo. En el ámbito del proyecto se encuentran las localidades como Magdalena, Tinco Huantan, Llapay, Tinco Alis, Tomas, Huancachi, Tinco de Yauricocha, Chaucha, San José de Quero, Chaquicocha, Collpa y Roncha.

En este tramo de la carretera se ubica el punto más alto cerca de la localidad de Chaucha (altitud de 4751 msnm) y también se ubica el Abra Negro Bueno (altitud de 4666 msnm) punto que delimita los departamentos de Lima y Junín (Km. 211+320). Presenta también una superficie de rodadura a nivel de un recubrimiento bituminoso Slurry Seal, la calzada tiene un solo carril y una plataforma con ancho útil variable entre 3.0 y 8.0 metros.

El tramo Roncha-Chupaca tiene una longitud de 16.541 Km. y presenta como punto de inicio la localidad de Roncha (Km. 256+990), y termina en el empalme de la carretera Huancayo-Chupaca (Km. 273+541). El tramo pasa por las localidades como Roncha, Angasmayo, Huarisca y Chupaca. La topografía del tramo es ondulada y presenta una calzada con un solo carril y una plataforma con ancho útil variable entre 3.8 y 8.5 metros.

En la Figura N° 1.02 se puede observar el Plano Clave de la carretera Cañete-Yauyos-Chupaca que muestra las localidades presentes en la carretera con la indicación de su progresiva y su altitud correspondiente; representada con una línea gruesa negra en el plano, como también muestra la longitud aproximada entre localidades.

Figura N° 1.02. Plano Clave de la carretera Cañete-Yauyos-Chupaca



Fuente: Tesis UNI-FIC, Percy Poma Salazar.

1.3.- Características de la carretera

1.3.1.- Área geográfica

El valle de Cañete es estrecho y de forma triangular, siendo mas 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 mas 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 aproximadamente en una altitud entre los 500 msnm y 2300 msnm.

Continúa la vía por la región Quechua entre los 2300 msnm y 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. Entre loma y loma quedan pequeñas hondonadas, en cuyos fondos corren pequeños arroyos o nacen los puquiales. Sus aguas proviene de las filtraciones de las lluvias o de remotas lagunas de las regiones superiores.

Se continúa ascendiendo llegando a la región Suni o Jalca entre los 3500 msnm y 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 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, reuniendo las cumbres de altitudes menores a 4800 metros para formar nudos y mesetas; y surcando a su vez las cordilleras para dar paso a las abras. Se considera a esta región como una gran llanura elevada o altiplánica, sin embargo esta ofrece muy variados relieves en relación con su ubicación.

1.3.2.- Clima

El área comprometida de la carretera Cañete-Yauyos-Chupaca se ubica en diferentes regiones naturales, según la clasificación del Dr. Javier Pulgar Vidal (expuesta en su libro "Geografía del Perú"). A continuación se señalan las temperaturas típicas que se presentan en las regiones naturales que recorre la carretera:

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. La humedad atmosférica es poco sensible, aún cuando el suelo es normalmente húmedo, como consecuencia de las lluvias que caen con regularidad en el verano (diciembre a marzo).

Suni o Jalca: El clima es frío debido a la elevación ya los vientos locales. 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; finalmente presenta una precipitación promedio es de 800mm por año.

Puna: La temperatura media anual es superior a 0°C e inferior a 7°C, la máxima temperatura se presenta entre los meses de septiembre y abril, es superior a 15°C llegando hasta 22°C. Las temperaturas mínimas absolutas se presentan entre los meses de mayo y agosto, oscilando entre -9°C y -25°C. La precipitación fluctúa entre 200mm por año y 1000mm por año.

1.3.3.- Estudio de suelos

Antes del inicio de las actividades del Consorcio de Gestión Vial, la carretera se encontraba a nivel de afirmado en mal estado de conservación, actualmente se encuentran actividades realizadas de conservación rutinaria que se describe en la Figura N° 1.03 con la descripción de los trabajos ejecutados por tramos.

Figura Nº 1.03. Trabajos Ejecutados en la Carretera

Nº	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+857	523 - 710	12.50	Tratamiento Superficial Bicapa	Solo Mant. Rutinario			
3	Pacarán - Zúñiga	Km 52+857 - 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 - 2289	50.00	Afirmado	SI	SI	SI	NO
6	Dv. Yauyos - Tinco Huantan	Km 127+000 - Km 141+000	2289 - 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

Fuente: MTC, Provías Nacional, Proyecto Perú, Convenio MTC-UNI

Para la formulación del Perfil Estratigráfico de la carretera en estudio, así como para la definición de sus propiedades físico-mecánicas y establecimiento de su comportamiento como subrasante; el Consorcio Gestión de Carreteras (CGC) procedió a efectuar los siguientes ensayos de suelos:

Análisis granulométrico por tamizado	(ASTM C-136)
Límites de consistencia (Límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad)	(ASTM D-4318)
✚ Clasificación SUCS	(ASTM D-2487)
✚ Clasificación para vías de transportes (AASHTO)	(ASTM D-3282)
✚ Contenido de humedad	(ASTM D-2216)
✚ Proctor modificado	(ASTM D-1557)
✚ California Bearing Ratio (CBR)	(ASTM D-1883)

Siendo procesada la información correspondiente a los ensayos, el CGC logro configurar el perfil estratigráfico de la siguiente forma:

Km. 57+000 – Km. 63+650, se tiene una capa superior de 30cm de espesor como mínimo, que corresponde a antiguos trabajos de mantenimiento del afirmado, se trata de arenas y gravas limosas que clasifica en el Sistema SUCS como SC-SM y GC-GM.

Mientras que en el sistema AASHTO se clasifica como A-1-b (0) y A-1-a (0), la forma de los agregados gruesos es subangular, su matriz es de color marrón claro de escasa plasticidad; tiene bolonería comprendido entre 3% y 10% con tamaño máximo de 7". Debajo 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 se presenta en gran cantidad el material de la plataforma vial cuya clasificación 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 Índice Plástico = 6%). En la subrasante se han encontrado bolonerías, sin embargo a partir del Km. 67+700 se encuentra 40cm en promedio entre 40% y 50% con tamaños variables entre 4" a 8".

Km. 63+650 - 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 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 (I.P.) 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, en su defecto a partir de 0.50m 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 los 0,40m aproximadamente, se encuentra mayor concentración de éstos (aproximadamente entre 40% y 50%), por debajo de esta capa se encuentra roca a partir de 0.30m hasta 1.50m

Km. 114+600 – Km. 130+000, presenta 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%. Tiene presencia de bolonerías, en poca proporción en la capa superior, mientras que a partir de 0.50m aumenta su presencia entre 40% y 50%.

Km. 130+000 – Km. 220+000, presenta arenas y gravas limosas-arcillosas 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%, tiene varias perforaciones que no han llegado al 1.50m debido a la presencia de roca aproximadamente desde los 0.30m hasta los 1.50m

Km. 220+000 – Km. 240+000, sector de carretera donde 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, presenta 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, presenta una capa granular superficial entre 0.20m y 0.30m que clasifica como GC y GM-GC en el sistema SUCS, y en el sistema 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.

1.3.4.- Capacidad de soporte de los suelos

El Consorcio Gestión de Carreteras (CGC) obtuvo varias muestras suficientes para efectuar los ensayos de laboratorio correspondientes a CBR (ASTM D 1883), conforme a las características de los suelos descritos anteriormente; en el Cuadro N° 1.01 se observa el resumen de los resultados obtenidos por el CGC en el tramo de la carretera a evaluar (Km. 54+000 – Km. 104+000) por el curso de titulación:

Cuadro N° 1.01. Tipo de Suelo y Capacidad de Soporte

IDENTIFICACIÓN	PROFUND. (m)	TIPO DE SUELO		CBR (%) a 2.5mm 95% MDS
		SUCS	AASHTO	
Km. 57+450 / M-1	0,0 – 0,3	GC-GM	A-1-b(0)	24
Km. 61+650 / M-1	0,0 – 1,0	SC-SM	A-1-b(0)	20
Km. 65+700 / M-2	0,0 – 1,5	SC-SM	A-2-4(0)	19
Km. 69+700 / M-1	0,0 – 1,5	SC-SM	A-2-4(0)	20
Km. 71+700 / M-1	0,0 – 1,5	SC-SM	A-1-b(0)	19
Km. 75+700 / M-1	0,0 - 1,5	SC-SM	A-1-b(0)	21
Km. 77+800 / M-1	0,0 - 1,5	SC-SM	A-1-b(0)	19
Km. 81+600 / M-1	0,0 – 1,5	SC-SM	A-1-b(0)	19
Km. 85+600 / M-1	0,0 - 1,0	SC-SM	A-1-b(0)	23
Km. 89+600 / M-1	0,0 – 1,0	SC	A-6(2)	7
Km. 90+700 / M-1	0,0 – 1,0	SC	A-6(2)	6,9
Km. 94+600 / M-1	0,0 - 1,0	GC-GM	A-1-a(0)	19
Km. 98+600 / M-1	0,0 - 1,0	SC-SM	A-1-b(0)	19
Km. 100+600 / M-1	0,0 – 1,5	SC-SM	A-1-b(0)	21
Km. 104+600 / M-1	0,0 – 1,5	SC-SM	A-1-b(0)	20

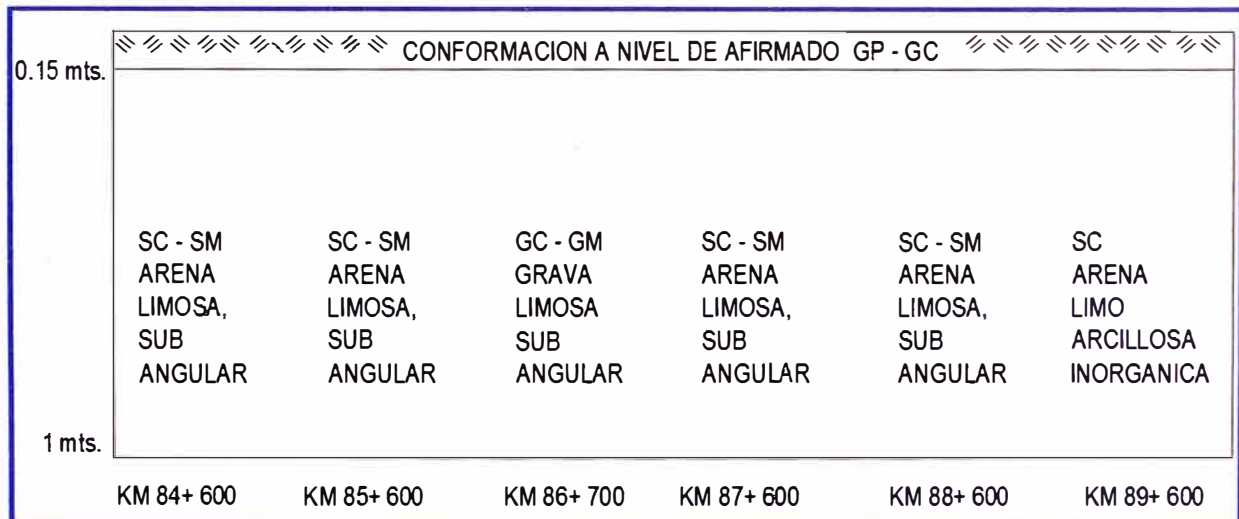
Fuente: MTC, Provías Nacional, Proyecto Perú, Memoria CGC

1.4.- Tramo en estudio Km. 84+000 – Km. 89+000

El tramo de la carretera en estudio del presente informe de suficiencia se centra entre las progresivas Km. 84+000 – Km. 89+000, el punto de inicio del tramo esta comprendido en la localidad de Canchan ubicada en el Km. 83+345 y su punto final esta comprendido en la localidad de Chichicay Km. 92+110; presenta temperaturas entre los 20°C y 27°C con una altitud comprendida entre los 1228msnm y 1392msnm. Su época de lluvias es de Diciembre a Febrero, y presenta mas de 50 años de servicio; tiene también un CBR de diseño = 20 al 95% del MDS con ejes proyectados de $W18 = 1.69 E+06$. La solución aplicada en este tramo es un recubrimiento Bituminoso Monocapa con RC-250, con una estabilización de emulsión asfáltica. Presenta una topografía accidentada sin presencia de huaycos, pero con taludes inferiores erosionados del lado derecho.

En la Figura N° 1.04 se presenta la clasificación de suelos encontrada en el tramo en estudio por kilómetro, elaborada con información encontrada de los estudios de suelos por el CGC.

Figura N° 1.04. Clasificación de Suelos del Tramo en Estudio



Fuente: Elaboración Grupal

El tramo en estudio presenta una carretera a media ladera con un mal sistema de drenaje, como se aprecia en la Figura N° 1.05, provocando el desgaste del recubrimiento Monocapa que afecta la rugosidad de la vía. La señalización es inadecuada por la presencia de hitos kilométricos repetidos como se observa en la Figura N° 1.06, y presenta insuficiente obras de arte.

Figura N° 1.05. Fotografía del Desgaste del Recubrimiento Monocapa



Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 1.06. Fotografía de Hitos Kilométricos Repetidos



Fuente: Elaboración Propia

CAPÍTULO II: ESTADO DEL ARTE

El equipo Bump Integrator forma parte de los sistemas de medición de la rugosidad tipo-respuesta (RTRRMS), por ello se presentara como prioridad el estado del arte de este sistema de medición en el presente capítulo.

En los años 1940 para establecer criterios de calidad y comportamiento de las superficies de rodadura, que indicaran sus condiciones actuales y futuras del estado superficial y funcional de las mismas; surgió la necesidad de establecer un índice que permitiera evaluar las deformaciones verticales de una superficie de rodadura, que afectan la dinámica de los vehículos que transitan sobre ella. El Banco Mundial trato de unificar los criterios de evaluación con los equipos de medición de rugosidad a nivel mundial, tales como los perfilómetros o los equipos de tipo respuesta, y que de alguna manera sustituyera el método de la "American Association of State Highway Officials" (AASHO). Actualmente llamada AASHTO, que permite calificar la condición superficial de un camino solo en forma subjetiva.

Los modelos matemáticos de respuesta de vehículos fueron utilizados desde la década de 1940 por ingenieros encargados en la elaboración y evaluación de los aviones y vehículos militares. En aquel momento, el esfuerzo asociado con la obtención de un perfil con los métodos convencionales y convertirlo en una forma compatible con métodos de cálculos diario (ordenadores analógicos) era demasiado grande como para considerar el uso de vehículos de simulación para evaluar la rugosidad de carreteras. Sin embargo, debido a graves consecuencias por un fallo de un avión al atravesar una pista de aterrizaje, o de un vehículo militar que atraviesa un terreno accidentado, el esfuerzo de la realización de simulaciones se justifica por las aplicaciones. Siendo los primeros rugosímetros construidos por la "Oficina de Caminos Públicos" - Soiltest, Inc. como ejemplo el Modelo Indicador de la Rugosidad CT444; el cual tuvo varias complicaciones por lo que tuvieron que renovar o inventar nuevos rugosímetros.

En la década de 1960, el Laboratorio de Investigación de General Motors (GMR) desarrollo un perfilómetros utilizando instrumentos capaces de medir la parte dinámica del perfil de una carretera al paso de un vehiculo.

Poco después el Departamento de Transportes de Michigan (MDOT, conocido en aquellos años como el Departamento de Caminos y Transportes del Estado de Michigan) construyó un segundo GMR, perfilómetro, en cooperación con GMR. También en esos años simultáneamente el GMR vende la licencia a K.J. Law, Inc. para ofrecer el perfilómetro comercialmente.

En aquellos años el sistema de medición de la rugosidad más conocida fue el Rugosímetro BPR; a finales de 1960, tanto MDOT y K.J.Law, Inc. desarrollaron en conjunto el equivalente electrónico del Rugosímetro BPR que emplea una simulación de vehículos usando una computadora analógica. Como el Rugosímetro BPR tiene una sola rueda, entonces el vehículo de simulación fue llamado Rugosímetro BPR de Simulación del Cuarto Carro (Quarter-Car – BPR/QCS), el cual tuvieron ecuaciones idénticas a un modelo matemático utilizado por caracterizar varios sistemas dinámicos y fueron las primeras aplicaciones para cuantificar la rugosidad. Los dos BPR/QCS utilizaron diferentes valores de parámetros, cada uno basado en mediciones diferentes estándares de los Rugosímetros BPR. En 1968 K.J.Law, Inc. presentó un segundo modelo de Simulación del Cuarto Carro (Quarter-Car Simulation - QCS) con otros parámetros obteniendo el vehículo de pasajeros Chevrolet Impala.

Uno de los perfilómetros tipo GMR utilizando BPR/QCS fue la base para la escala de la rugosidad usada en el Proyecto de Investigación de Interrelaciones entre Costos de Construcción, Mantenimiento y Uso de Carreteras (Project of Research on the Interrelationships Between Costs of Highway Construction, Maintenance and Utilization - PICR). Aunque debido a diferentes factores el dispositivo no pudo actualizar la medida del perfil durante el proyecto con mayor precisión; por ello la escala de rugosidad no es equivalente a la publicada por BPR/QCS en aquellos años.

Durante los últimos años de la década de 1970 un proyecto de investigación a gran escala llevado a cabo por el Instituto de Investigación de Transportes de la Universidad de Michigan (The University of Michigan Transportation Research Institute - UMTRI) para estudiar los sistemas de medición de la rugosidad tipo respuesta (RTRRMS), para determinar la correlación entre diferentes sistemas, y para diseñar una metodología de calibración válida.

La investigación incluyó pruebas de RTRRMS en laboratorio con un análisis teórico de su concepto e instrumentación; obteniendo problemas por lo que se hizo evidente que los instrumentos fueron diseñados sin conocer el concepto de rugosidad y como debería ser medido. En su análisis de la rugosidad se determinó que un aspecto mensurable es determinar el perfil longitudinal como referencia de calibración.

La referencia que se seleccionó es el QCS con parámetros del modelo nuevo por ofrecer máxima correlación con RTRRMS existentes; por lo cual el sistema de Simulación del Cuarto Carro fue mejorado al modelo de Simulación del Medio Carro (Half-Car) porque todos los sistemas RTRRMS usados en EEUU son basados en vehículos de doble rodaje (vehículos de pasajeros y remolques de doble rodaje). Se descubrió que la forma de la envolvente del neumático tiene influencia crítica en el QCS, utilizándose para velocidades bajas. La rugosidad del QCS descrita por el UMTRI era casi idéntica a la propuesta por el Programa de Cooperación Nacional de Investigación de Carreteras (National Cooperative Highway Research Program - NCHRP), difiriendo solamente en el parámetro de envolvimiento del neumático el cual fue cambiado de 300mm a 250mm para simplificar los requerimientos de medición y sus métodos.

El informe NCHRP-228 recomienda una estadística de rugosidad llamado "referencia de la velocidad promedio", de utilidad para la comparación de las mediciones realizadas por RTRRMS. Otras estadísticas asociadas con el Rugosímetro QCS (RQCS) fue llamado "pendiente media de referencia" (reference average rectified slope - RARS), obteniendo los valores numéricos con una velocidad de 80km/h, por lo que se seleccionó como la mejor alternativa para la medición del Índice de Rugosidad Internacional (IRI).

Paralelamente 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; aun datos de un mismo país no eran confiables, debido a que las mediciones fueron realizadas con equipos o métodos que no eran estables, ni confiables en el tiempo.

Entonces el Banco Mundial decidió motivar el desarrollo del Proyecto Experimento Internacional de Rugosidad de Caminos (International Road Roughness Experiment - IRRE), el cual fue propuesto para encontrar las mejores prácticas apropiadas para muchos tipos de equipos de medición de la rugosidad y para proveer un significado para la comparación de la rugosidad obtenida por diferentes procedimientos e instrumentos. El experimento incluyó la participación de 11 piezas de equipos los cuales fueron agrupados en 3 categorías:

- ✚ Sistemas de Medición de la Rugosidad Tipo-Respuesta (RTRRMS)
- ✚ Medición Estática del Perfil
- ✚ Medición Dinámica del Perfil (Perfilómetros)

Todos los equipos RTRRMS que participaron en el IRRE consistían en un vehículo equipado con instrumentación especial. Aunque los diseños fueran diferentes, todos los instrumentos tienen igual aplicación teórica en su sistema de medición, el cual se basaba en la acumulación de los movimientos relativos de la suspensión entre el eje y el cuerpo del vehículo. Las medidas obtenidas con estos instrumentos eran un conteo discreto, donde una cuenta correspondía a una cierta cantidad de desviación acumulada de los vehículos en suspensión. Cuando se utiliza un vehículo de pasajeros, el instrumento es montado en el cuerpo del vehículo, directamente encima del centro del eje trasero.

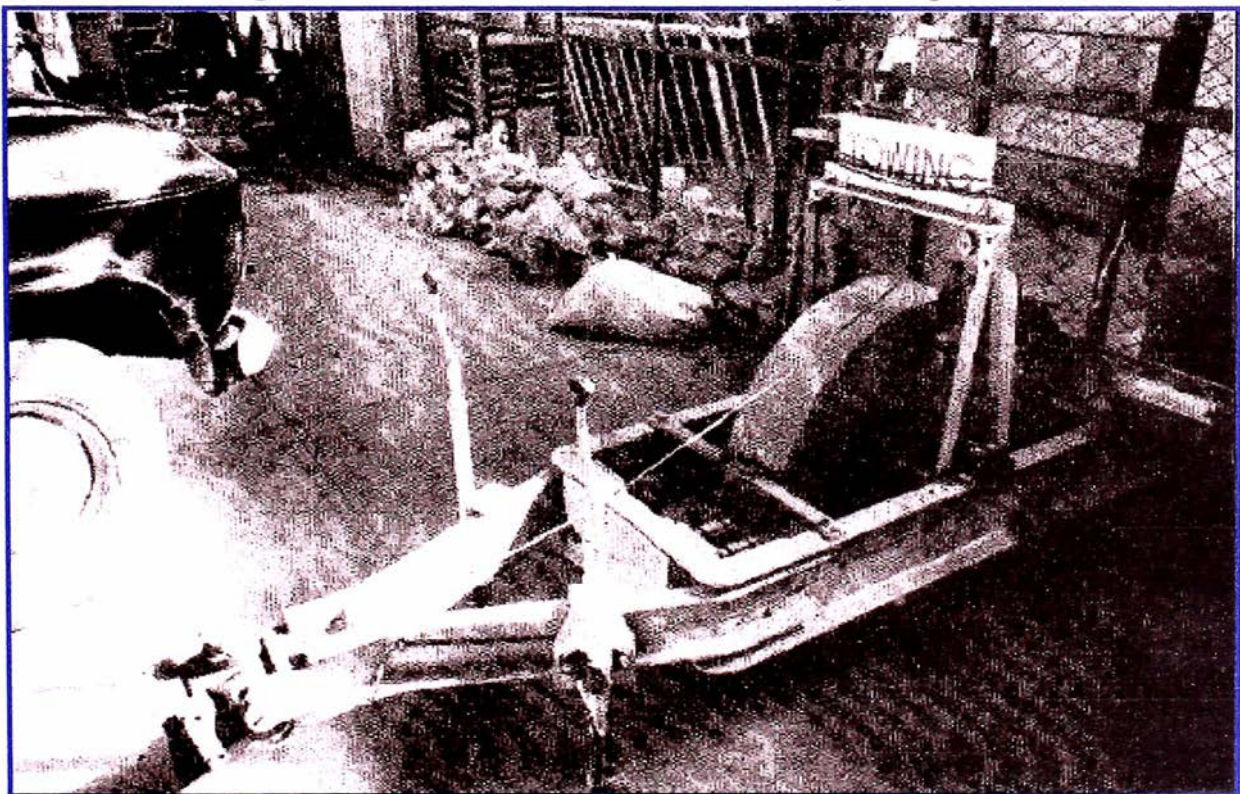
Alternativamente, algunos están montados en el marco de un remolque de una sola rueda, directamente encima del eje; en el IRRE participaron cuatro tipos de equipos RTRRMS (siete equipos en total) que se describen a continuación:

Sistema Opala-Maysmeter, fueron utilizados 3 equipos de este modelo operados por la Agencia de Planeamiento de Transportes de Brasilia (Brazilian Transportation and Planning Agency - GEIPOT). Estos consistían en vehículos de pasajeros Chevrolet Opala equipados con Maysmeter, el cual fue fabricado por la compañía Rainhart de Austin, Texas. Se hicieron modificaciones para eliminar el registrador gráfico, utilizado para leer mediciones de rugosidad, y se sustituyó por un contador electrónico con una pantalla digital. Lo cual producía un valor por cada 80 metros de viaje, también se podía ajustar para mostrar un valor cada 320 metros de viaje.

Camioneta Caravan con dos Rugosímetros, este modelo utilizó dos rugosímetros siendo el primero un equipo llamado Bump Integrator (BI) el cual fue producido y operado por el Laboratorio Británico de Investigación de Transportes y Caminos (British Transport and Road Research Laboratory - TRRL). El segundo equipo utilizado es el Rugosímetro NAASRA producido por el Consejo Australiano de Investigación de Carreteras (Australian Road Research Board - ARRB). Ambos equipos fueron instalados en una Camioneta Chevrolet Caravan, esta camioneta fue hecha en Brasil y pertenece a la familia de automóviles Opala que fue utilizado para el sistema Maysmeter. Siendo instalados y operados por el equipo de TRRL, y todas las medidas fueron realizadas con el equipo NAASRA y con el BI en forma simultánea.

Trailer Bump Integrator, el modelo de Trailer BI fue producido y operado por el TRRL, siendo un Trailer con una sola rueda equipada con una unidad de BI. Este diseño fue basado en el antiguo Rugosímetro BPR, con una mejora por parte del TRRL para lograr una mejor estandarización y mayor confiabilidad en la toma de valores, este equipo se puede observar en la Figura N° 2.01.

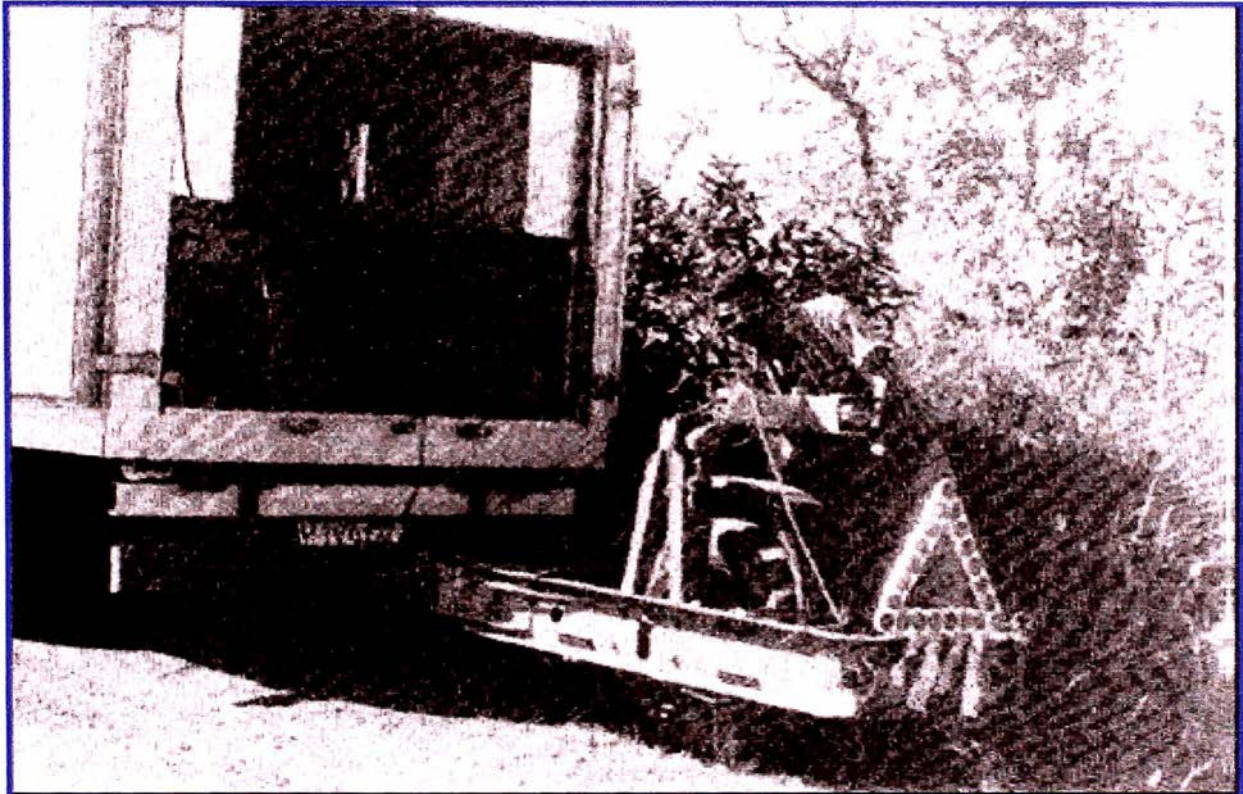
Figura N° 2.01. Modelo de Trailer Bump Integrator



Fuente: Banco Mundial, Publicación Técnica N° 45, 1986

Rugosímetro BPR Soiltest, este modelo fue producido por Soiltest, Inc. de Evanston, Illinois, propiedad de la Universidad Federal de Río de Janeiro y operado por personal del Instituto de Investigación de Caminos de Brasilia. Este equipo fue diseñado con especificaciones del BPR, a su vez se puede observar en la Figura N° 2.02 con una rueda adicional en la parte trasera del Trailer.

Figura N° 2.02. Modelo del Rugosímetro BPR – Soiltest, Inc.



Fuente: Banco Mundial, Publicación Técnica N° 45, 1986

La medición de las velocidades para dos Trailers fue de 32km/h, no existía una velocidad estándar para estos sistemas sin embargo la velocidad utilizada con mayor frecuencia y recomendada fue de 80km/h para carreteras pavimentadas, 50km/h para carreteras sin pavimentar, y 20km/h para superficies con muchas interferencias sin pavimentar. En Australia se utilizó velocidades estándares de 50km/h y 80km/h por el Rugosímetro NAASRA.

A su vez se realizó ensayos de laboratorio con cálculos matemáticos para los otros dos sistemas de medición; siendo el equipo representativo de la Viga TRRL para la medición estática y los perfilómetros para la medición dinámica.

Finalmente el Banco Mundial encargó a Gillespie Sayers entre otros especialistas del área vial, la Publicación Técnica N° 45 y la Publicación Técnica N° 46 en el año 1986; donde se presenta al Índice Internacional de Rugosidad (IRI) como medición de la irregularidad de una superficie de rodadura.

El Índice Internacional de Rugosidad es el primer índice de perfil ampliamente utilizado, donde el método de análisis está adaptado para trabajar con diferentes equipos de medición de rugosidad; siendo una propiedad del perfil de una superficie de rodadura. Las ecuaciones de análisis fueron desarrolladas y ensayadas para minimizar los efectos de algunos parámetros de mediciones de perfil, tales como el intervalo de muestreo.

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

Por otra parte originalmente, el equipo Bump Integrator TRRL fue desarrollado por una quinta rueda del dispositivo de arrastre, con masiva y estandarizada, los muelles y amortiguadores; es decir consistía en un sistema estandarizado del Cuarto Carro. El contador Bump (Bump-count) también llamada BI-count consistía en la medición con el vehículo y el equipo Bump Integrator montado; el cual se basa en la obtención de un número acumulado de oscilaciones verticales del chasis en relación con el eje posterior, siendo una medición indirecta de índice de rugosidad. El valor registrado es acumulativo para el intervalo de distancia adoptado para tomar las lecturas. Además, el contador Bump obtiene valores específicos para el vehículo con equipo BI.

Como un ejemplo de instalación en el año 1982, el Bump Integrator fue utilizado en un ensayo, con un vehículo Toyota Land Cruiser Van; sin embargo, al menos en teoría, un vehículo podría haber sido usado para montar el Bump Integrator. El Bump Integrator fue fabricado por M/s Leonard Farnell & Co. Ltd. del Norte Mymms, Hertfield, Inglaterra.

A diferencia de la práctica en la mayoría de las organizaciones y los estudios de evaluación de otros pavimentos, el Bump Integrator se utilizó en conjunto con un tacómetro Halda. El cual se trata esencialmente de un tacómetro más preciso que proporciona dos funciones claves, en primer lugar, la medición exacta de la longitud de un tramo de carretera, y en segundo lugar, proporciona los tiempos.

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

En el Perú el uso del Bump Integrator fue insertado por el Departamento de Provías Nacional del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC) en el año 1995; conociéndose experiencias de mediciones con BI en la Panamericana Norte mediante la tesis “Evaluación de la Rugosidad de Pavimentos con Uso del Bump Integrator” del Ing. José Sologorre Huayta. También ha sido utilizado el equipo BI por el Consorcio Sullana para la evaluación superficial del Sector Sullana-Aguas Verdes.

Actualmente el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC) cuenta con diferentes equipos de Rugosímetros siendo uno de ellos el Bump Integrator, a la vez que lo utiliza para sus propias mediciones de la rugosidad de carreteras, también exige su uso en la medición de la rugosidad cuando conlleva un contrato de prestación de servicios de mantenimiento a una determinada carretera. Actualmente la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI), mediante el Instituto de Investigación de la Facultad de Ingeniería Civil (IIFIC-UNI), cuenta con un equipo de Rugosímetro Electrónico Bump Integrator Tipo UNI (REBITU) conformado por un adquisidor de datos y un sensor de desplazamiento.

A su vez cabe resaltar que existen muchas diferentes empresas que se dedican a la comercialización de este equipo BI tales como Romdas, CNS Farnell.

CAPÍTULO III: MARCO TEÓRICO

3.1.- Evaluación Superficial

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

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

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

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

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

En el Perú, la determinación analítica del PSI se efectúa utilizando la expresión establecida por Sayers, que relaciona la Rugosidad con el Índice de Serviciabilidad, esta expresión es una correlación desarrollada con la base de datos establecida en el Ensayo Internacional sobre Rugosidad de Caminos, realizado en Brasil en 1982; clasificando los valores en una escala entre el valor 0 al 5, como se detalla en la Figura N° 3.01 con sus rangos de valores y la determinación de su transitabilidad, siendo la condición óptima el máximo valor.

Figura N° 3.01. Rangos del PSI

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

Fuente: Camineros, Ing. Pablo del Águila, Artículo Cam003.pdf, 2001

Respecto al IRI en Octubre del año 1995, el Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú (MTC), a través del Proyecto Especial de Rehabilitación de la Infraestructura de Transportes (PERT), dio a conocer las nuevas especificaciones técnicas para la rugosidad, las cuales se incluyeron como parte del control para la recepción de las obras.

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

3.2.- Rugosidad

La rugosidad superficial es el conjunto de irregularidades de la superficie real, definidas convencionalmente en una sección donde los errores de forma y las ondulaciones han sido eliminados, que afectan la calidad de la superficie de rodadura, la seguridad y los costos de operación del vehículo. La American Society of Testing and Materials (ASTM) E867 define rugosidad como la desviación de la superficie del pavimento respecto de una superficie plana teórica con dimensiones características que afectan la dinámica del vehículo y la calidad al manejar por la superficie de rodadura.

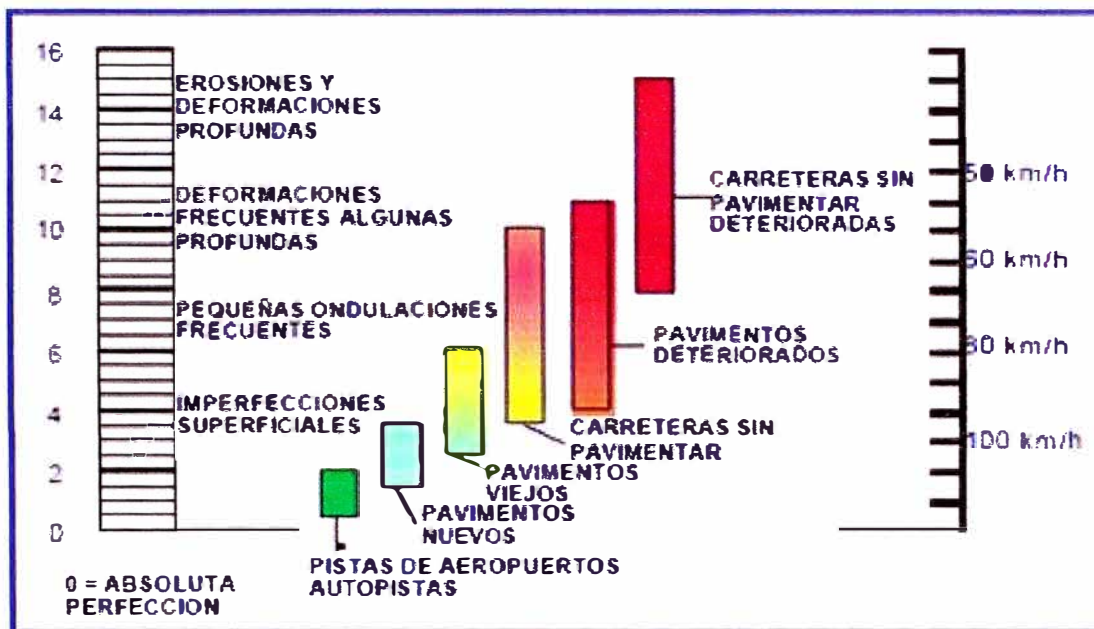
Existían muchas definiciones (tales como Darlington, 1973; Hass y Hudson, 1977; Hudson, 1977; Gómez, 1983) que abordan el concepto desde un punto de vista geométrico de un camino (perfil longitudinal) y desde un punto de vista del usuario (confort o agrado de un viaje). Un intento por resolver este problema se hace en Gómez (1983) donde se define la rugosidad estática o geométrica, independiente del instrumento de medida, y rugosidad dinámica que depende del instrumento, del vehículo donde se instala y de la velocidad. Los aparatos de medición geométrica registran un perfil detallado de las variaciones de cada uno de los puntos de la huella, mientras que los de medición dinámica registran las oscilaciones que le produce el perfil superficial (rugosidad estática), cuando son operados a una velocidad constante dada (Gómez, 1983).

Mediante el proyecto de investigación promovido en el año 1982 por el Banco Mundial (BM) llamado Experimento Internacional de Rugosidad de Caminos (International Road Roughness Experiment - IRRE) se logró definir el Índice Internacional de Rugosidad (IRI) como medición de la irregularidad de una superficie de rodadura; por lo cual es importante conocer su definición determinada por el Banco Mundial:

Índice de Rugosidad Internacional (IRI), es un parámetro que satisface completamente los criterios de ser estable en el tiempo, transferible y relevante. Constituyendo en la actualidad uno de los controles de recepción mas importantes, relacionados con el nivel de regularidad de las superficies de rodadura. El cálculo del Índice Internacional de Rugosidad se basa en un modelo matemático llamado Cuarto Carro (Quarter-Car).

En la Figura N° 3.02 se puede apreciar la escala de valores del IRI y las características de las superficies de rodadura propuesta por el Banco Mundial dado a conocer con la Publicación Técnica N° 45 en el año 1986.

Figura N° 3.02. Escala de Valores del IRI



Fuente: Adaptado de Banco Mundial, Publicación Técnica N° 45, 1986

En los Estados Unidos, la Federal Highway Administración reportó que los rangos típicos del IRI evaluados en diferentes tramos de carreteras están entre 0.8 a 4.7 m/Km. Los tramos de pavimentos con valores menores de 2.4 m/Km. son considerados como superficies en buen estado y confortables, mientras que los valores de 4.7 m/Km. o mas, son considerados como rugosos y no confortables. En España, la Orden Circular 308/89C y E de 1989, fijaba el valor de 2 m/Km. como umbral para recibir una carretera; mas tarde se modifico para admitir el IRI de 2.5 m/Km. en todo el tramo, siempre que en el 80% del tramo se alcance como máximo el IRI de 2, y debiendo comenzar además el IRI de 1.5 en la mitad de tramo.

En Chile, se considera un valor del IRI entre 0 y3 m/Km. como un camino bueno, entre 3 y 4 como uno regular y para un IRI mayor que 4 m/Km. como un camino malo; mientras que en Honduras para IRIs menores a 3.5 m/Km. se considera como bueno, entre 3.5 y 6 como regular y finalmente cuando el IRI es mayor que 6m/Km. indica que la superficie de rodadura es mala.

En el período 1992-1996, se llevó a cabo en el Perú un gran programa de rehabilitación de carreteras, financiado por el Banco Interamericano de Desarrollo, el cual estuvo bajo la administración inicial de la Unidad Ejecutora de Proyectos del Ministerio de Transportes, Comunicaciones, Vivienda y Construcción (UEP), que posteriormente se convirtió en el Programa Especial de Rehabilitación de Infraestructura de Transportes (PERT). Los trabajos comprendieron la reparación de la Carretera Panamericana y la Carretera Central, vías fundamentales para el Perú. En consecuencia, fueron dichas carreteras las primeras en ser evaluadas para la determinación de su rugosidad, primero durante los estudios para su rehabilitación y posteriormente al finalizar la etapa constructiva. Posteriormente se inicia un segundo programa de rehabilitación que continúa hasta la fecha, el que incluye las principales vías de penetración hacia el interior del país, y en consecuencia, las mediciones se extienden a dicha red vial.

Existen diferentes equipos para determinar los valores IRI, los cuales han evolucionado en el tiempo con ciertas variaciones entre unos de otros por la precisión y rapidez para la obtención de resultados. Por lo cual el Banco Mundial mediante su Publicación Técnica N° 46 clasifica en 4 grupos llamados Clases, detallados a continuación:

Clase 1, en esta clase se encuentra el uso de los perfilómetros de precisión, mediante esta clase de método se requiere que el perfil longitudinal de una superficie de rodadura sea medida como una serie de puntos de elevación equidistantes a través de la huella de la vía para calcular el IRI. Esta distancia no supera los 0.25m y la precisión en la medición para pavimentos que posean valores de IRI entre 1 y 3m/km y de 3mm para pavimentos con valores de IRI entre 10 y 20m/km; están basados en la medición del perfil del pavimento con el perfilómetro TRRL Beam y al conjunto mira-nivel de precisión.

Clase 2, en esta clase se encuentra otros perfilómetros de precisión, requieren una frecuencia de puntos de perfil no superior a 0.5m y una precisión en la medición de la elevación entre 1.0mm para pavimentos con valores de IRI entre 1 y 3m/km y 6.0mm para pavimentos con valores de IRI entre 10 y 20m/km. Tiene perfilómetros de alta velocidad como el APL Trailer y el perfilómetro GMR.

Clase 3, en esta clase se encuentra los métodos con ecuaciones de correlación, mas conocidos como Sistemas de Medición de la Rugosidad Tipo-Respuesta (RTRRMS), los cuales han sido calibrados previamente con perfilómetros de precisión (pertenecientes a las clases 1 y 2) mediante estas ecuaciones.

Las mediciones efectuadas mediante los métodos Clase 3 dependen de las características dinámicas de un vehículo, para proporcionar parámetros de rugosidad que puedan correlacionarse con el Índice de Rugosidad Internacional (IRI). Sin embargo, las propiedades dinámicas de cada vehículo son particulares y cambian con el tiempo, por lo que las mediciones directas deben ser correlacionadas con el IRI mediante una ecuación de calibración, que debe ser obtenida experimentalmente y específicamente para el vehículo empleado.

Esta clase también incluye métodos que emplean otros tipos de instrumentos para medir la rugosidad, diferentes a un RTRRMS, que sean capaces de generar parámetros razonablemente correlacionados con la escala del IRI. Entonces, un método para medir rugosidad califica como Clase 3 si emplea algún tipo de ecuación de correlación, indistintamente del tipo de instrumentación o vehículo que se utilice para la obtención de la medida de rugosidad básica.

Los métodos Clase 3 emplean diversos tipos de equipos, tales como el Mays Meter (Norteamericano), Bump Integrator (Inglés), NAASRA Meter (Australiano), entre otros; todos ellos producidos comercialmente.

Estos equipos pueden ser utilizados para intervalos longitudinales de almacenamiento de datos mayores que 150mm a 300mm, con una resolución de mediciones verticales mayores a 0.2mm hasta 0.5mm como máximo.

Clase 4, en esta clase se basa en estimaciones subjetivas y mediciones no calibradas, con base en la experiencia en la calidad de viaje o inspecciones visuales de las carreteras. Por lo cual se puede afirmar que un equipo Tipo-Respuesta no calibrado pertenece a esta clase.

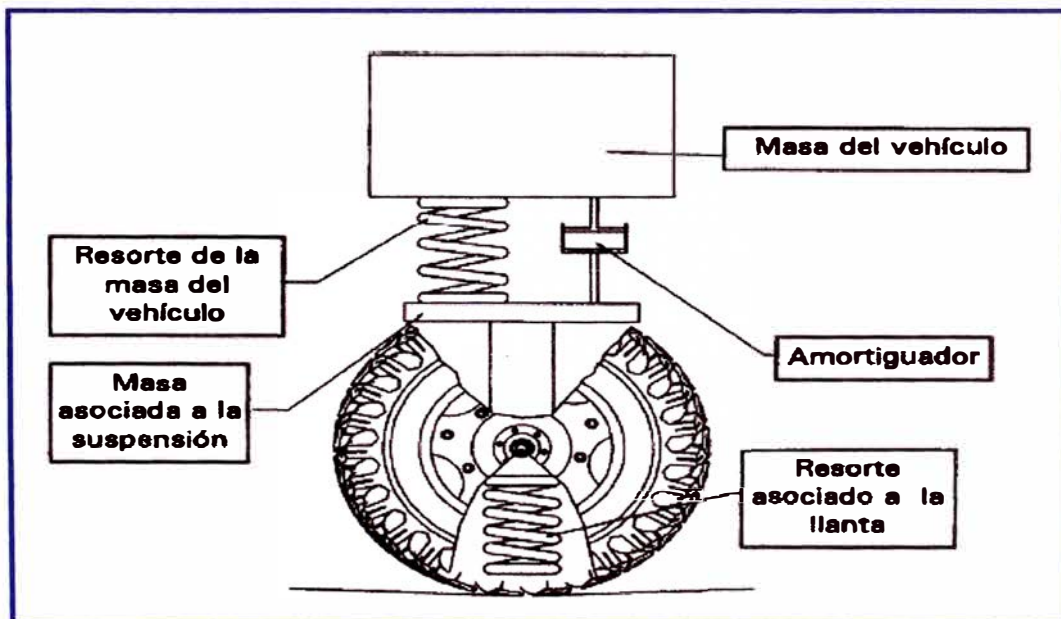
Estos equipos pueden ser utilizados para intervalos longitudinales de almacenamiento de datos mayores que 300mm, con una resolución de mediciones verticales mayores a 0.5mm.

3.3.- Método de Evaluación con equipo Bump Integrator

Conociendo que el equipo Bump Integrator (BI) pertenece a la tercera clase según clasificación del Banco Mundial para los diferentes métodos de evaluación de la rugosidad, se determinó que el Sistema BI es un sistema RTRRMS basado en el modelo matemático del Cuarto Carro.

El modelo de Cuarto Carro utilizado en el algoritmo del IRI debe su nombre a la implicancia de la cuarta parte de un vehículo para su simulación. El modelo se muestra en la Figura 3.03, en la cual se presenta una rueda representada por un resorte vertical, una masa del eje soportada por la llanta, un resorte de la suspensión, un amortiguador, y una masa del vehículo soportada por la suspensión de dicha rueda.

Figura 3.03. Representación Gráfica del Modelo Cuarto Carro



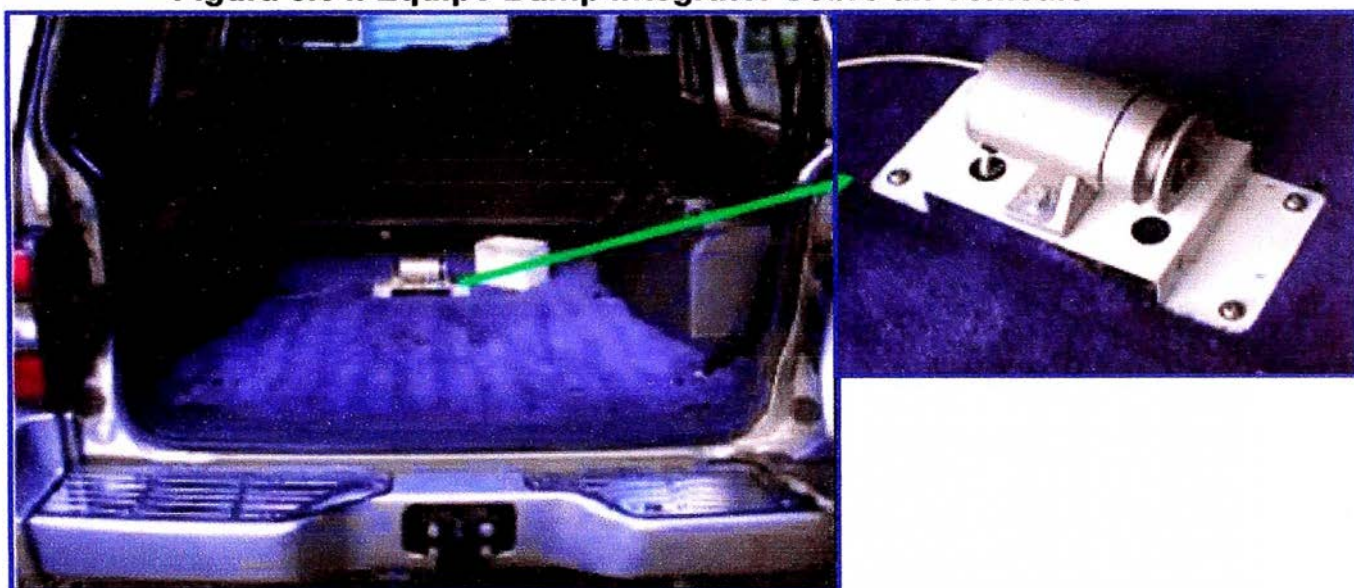
Fuente: Adaptado de Banco Mundial, Publicación Técnica N° 45, 1986

El modelo Cuarto Carro fue ajustado para poder establecer una correlación con los sistemas de medición de rugosidad del tipo respuesta; entonces, la recolección de datos es realizada a través de un equipo Tipo Respuesta comúnmente llamados "Medidores de camino". A partir del estudio realizado por el Banco Mundial en 1982 (IRRE), se propuso una escala de medición de la regularidad superficial para diferentes tipos de vías (Ver Figura 3.02)

El equipo Bump Integrator es el conjunto formado por el propio equipo BI con la unidad contadora (counter unit), siendo más conocido como Rugosímetro; pero si se habla del Sistema Bump Integrator, es el conjunto del vehículo más el Rugosímetro. Por lo cual el Sistema BI está conformado por el vehículo, la unidad BI, la unidad contadora, y adicionalmente un Odómetro.

En la Figura N° 3.04 se muestra el equipo BI colocado sobre un vehículo en su parte posterior (ó trasera), y se observa también el transductor.

Figura 3.04. Equipo Bump Integrator Sobre un Vehículo



Fuente: Adaptado de Tesis UNI-FIC, Jorge Contreras Sauñe

El significado aproximado en español de BI Roadmeter o Bump Integrator sería "Acumulador de Saltos"; siendo el BI un instrumento desarrollado por el UK Transport Research Laboratory (TRL), este equipo se coloca sobre el eje y cuerpo de un vehículo donde se produce cuentas proporcionales al movimiento de la suspensión.

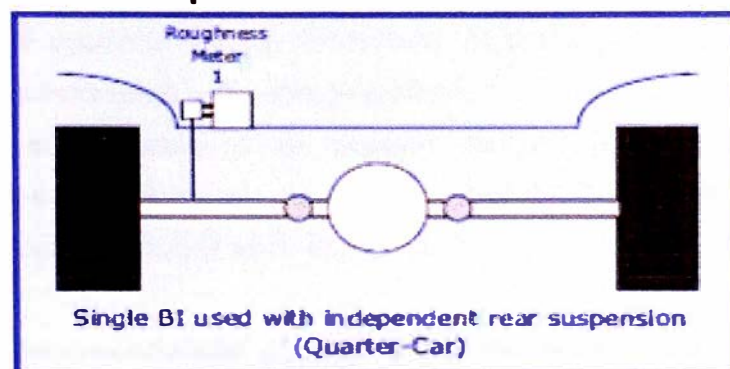
Para iniciar el uso del equipo BI se debe seguir algunas recomendaciones previas como reconocimiento de campo del tramo de carretera a evaluar, ubicación de las progresivas o interferencias, el vehículo debe desplazarse a velocidad constante conforme a las características de la vía, el tramo de medición es conforme al usado por el equipo de clase 1 o clase 2.

La unidad del sistema BI consiste en un cuerpo-transductor que se coloca montado sobre un vehículo que contiene una polea sobre un eje el cual se ajusta para mantener un cable en tensión que conecta el cuerpo y el eje del vehículo. Entonces, la polea gira proporcionalmente al movimiento de la suspensión; un dispositivo mecánico en el interior del instrumento es usado para transmitir la rotación solo en una dirección, a un componente generador de pulso. El efecto global es la desviación de la suspensión en una dirección del instrumento, mientras permanece insensible al movimiento en la otra dirección, acumulando el desplazamiento. Cuando el movimiento alcanza 25.4mm (una pulgada), un pulso es enviado a un contador electrónico; por consiguiente, cada cuenta corresponde a una pulgada de desviación en una dirección o 50.8mm al considerar dos ambas direcciones.

Sin embargo, en la práctica el transductor tiene limitaciones debido a sus propiedades mecánicas, en ocurrencias de vibraciones muy pequeñas estas no producen ninguna contestación, debido a las pequeñas cantidades de juego libre entre varias partes del sistema (los rodajes, las uniones, entre otros). Los Sistemas de Medición de la Rugosidad Tipo-Respuesta (RTRRMS) graban el desplazamiento acumulativo de un eje relativo al cuerpo del vehículo inducido por la rugosidad de la superficie de rodadura.

En la Figura N° 3.05 se muestra la representación gráfica del equipo BI sobre el vehículo en su parte posterior (ó trasera), correspondiente al Modelo de Simulación Cuarto Carro, donde se identifica claramente la implicancia de la cuarta parte del vehículo con el equipo BI.

Figura N° 3.05. Representación Gráfica de la Posición del BI



Fuente: Adaptado de Tesis UNI-FIC, Jorge Contreras Sauñe

Pueden usarse tres tipos de vehículos en conjunto con un equipo Rugosímetro (Bump Integrator) para constituir un RTRRMS, estos tres vehículos son:

Un automóvil de pasajeros, o un camión ligero con un eje posterior sólido. Un vehículo con la suspensión posterior independiente no debe usarse, porque se registrarán movimientos de la suspensión del vehículo como la rugosidad. Se recomienda un vehículo de tracción en el eje posterior porque la masa del eje se encuentra más cerrada coincidiendo con el estándar.

Un remolque de dos ruedas, con un eje posterior sólido. La configuración real del vehículo del remolque no es crítica; pero el mismo vehículo del remolque siempre debe utilizarse en las calibraciones, porque sus características influirán en las medidas. Si el vehículo no es el mismo a utilizar, debe ser re-calibrado.

Un remolque de una rueda, similar al remolque de dos ruedas. La re-calibración será necesaria si el vehículo del remolque se cambia, el ajuste del enganche debe estar provisto para sostener al remolque derecho durante el uso.

Según la Publicación Técnica N° 46 del Banco Mundial, la velocidad estándar para la medición de la rugosidad con el equipo BI bajo un sistema RTRRMS es 80km/h, sin embargo pueden presentarse casos donde es necesario utilizar velocidades más bajas, como los siguientes:

- ✚ Cuando el uso de la velocidad estándar a 80km/h no es seguro, por razones de tráfico, de zonas urbanas, de geometrías restrictivas u otros.
- ✚ Cuando el uso de la velocidad estándar a 80km/h produce medidas erróneas e inconsistentes de la rugosidad.
- ✚ Cuando el proyecto cubra secciones de prueba cortas, y repetitivas para lugares individuales y de alta prioridad.
- ✚ Cuando el vehículo o el equipo BI se presente muy frágil para operaciones continuas de gran velocidad, y deben ser operados lentamente para cubrir todo el tramo.

Las soluciones recomendables es realizar la medición a bajas velocidades que puedan oscilar entre 32km/h y 50km/h, para obtener una buena calibración.

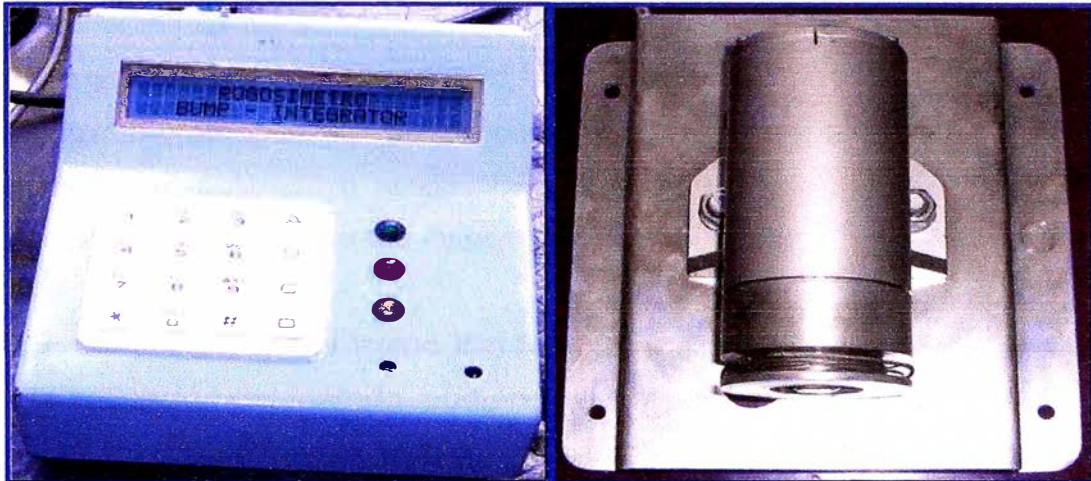
En la UNI se utiliza el Rugosímetro Electrónico Bump-Integrator Tipo UNI (REBITU) es un equipo diseñado para medir la rugosidad de pavimentos y esta conformado por un adquisidor de datos y un sensor de desplazamiento. El REBITU va instalado en el eje posterior transversal de un vehículo, su desplazamiento sobre la carretera produce desplazamientos en el eje posterior del vehículo debido a la irregularidad de la superficie de rodadura, el equipo registra y acumula estos desplazamientos verticales. La velocidad del vehículo es de 40km/h y la toma de datos se realiza en tramos que pueden ser desde los 100m hasta los 900m dependiendo de las interferencias existentes en la carretera a estudiar. En la Figura N° 3.06 se muestra una fotografía de la instalación realizada por los técnicos del IIFIC-UNI del equipo REBITU.

Figura N° 3.06. Fotografía de la Instalación del REBITU



Fuente: IIFIC-UNI, Cristian Mamani, IC_P1.ppt

Figura N° 3.07. Fotografía del Contador y del Sensor



Fuente: Adaptado de IIFIC-UNI, Cristian Mamani, IC_P1.ppt

En la Figura N° 3.07 se muestra una fotografía del contador de datos y del sensor de desplazamiento, equipos complementarios para el sistema REBITU.

La calibración de este sistema RTRRMS puede realizarse de varias maneras, uno de ellos es encontrando la ecuación de correlación entre los métodos pertenecientes a la clase 1, de alta precisión, como el equipo Nivel y Mira, o también como el equipo Merlin. Teniendo los valores de las lecturas efectuadas por el equipo Bump Integrator y los valores de IRI obtenidos con equipos de clase 1 o clase 2, se procede a realizar un análisis de regresión, del cual se obtiene la ecuación que relaciona los valores del Rugosímetro Bump Integrator con los valores de IRI. El grado de precisión depende del proceso de calibración utilizado y del grado de precisión de las ecuaciones de correlación utilizadas.

La ecuación a usar puede ser del tipo lineal, logarítmica, exponencial, polinómica o potencial y se tomara aquella ecuación cuyo valor de R sea más cercano a la unidad. La curva de mejor "ajuste" denominada ecuación de calibración será aceptada si el coeficiente de ajuste es mayor o igual a 0.8, de no cumplirse esta condición, se revisará los datos de campo (data), en particular la información correspondiente a las secciones de calibración.

Finalmente con la ecuación de calibración se procesa la data para todas las unidades de control que corresponden a los tramos evaluados, convirtiendo los valores de rugosidad de unidades BI a valores de IRI.

CAPÍTULO IV: APLICACIÓN DEL MÉTODO Km.84+000 – Km.89+000

4.1.- Recopilación de datos

Para realizar la recopilación de datos en campo es necesario con seguir un procedimiento establecido o recomendado por el Banco Mundial, el cual se ha adaptado a los siguientes pasos descritos a continuación:

- ✚ Reconocimiento del tramo Km.84+000 – Km.89+000, donde se realizará la aplicación del método, pudiendo ser repetido las veces necesarias para una interpretación correcta de las características propias del tramo.
- ✚ Reconocimiento de las zonas urbanas, entradas a minas, entre otros puesto que al momento de la medición se deberá prever el paso de vehículos y peatones.
- ✚ Ubicación de interferencias existentes, se puede escoger tiza, pintura u otras diferentes metodologías para ubicar las interferencias existentes tales como gibas, badenes, alcantarillas, cruces de río, puentes, entre otros.
- ✚ Ubicación de las progresivas o subtramos a evaluar, se puede escoger tiza, pintura u otras diferentes metodologías para ubicar las progresivas que identificaran el comienzo o fin del subtramo a evaluar.
- ✚ Conforme a las recomendaciones del Banco Mundial presentadas en el Capítulo 3 y al uso del REBITU por parte del IIFIC-UNI, se escoge una velocidad constante a 40km/h del vehículo para la medición de la rugosidad en campo. Principalmente se escoge esta velocidad por presentar el tramo de la carretera una geometría accidentada y sinuosa en sus curvas, zonas urbanas, interferencias existentes.
- ✚ El equipo Bump Integrator se asume que se encuentra calibrado para su correcto uso porque esta determinado por el técnico Cristian Mamani, asesor técnico del IIFIC-UNI, mediante su utilización en diferentes mediciones efectuadas en la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI).
- ✚ Se procede a evaluar los subtramos escogidos a una velocidad de 40km/h; por el cual se presenta un piloto del vehículo, un operador del contador, y un asistente quien toma nota de los datos almacenados y problemas presentados a la hora de la medición.

Figura N° 4.01. Fotografía de Ubicación de Progresiva Km.84+000



Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 4.02. Fotografía de Ubicación de Progresiva Km.85+000



Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 4.03. Fotografía de Ubicación de Progresiva Km.86+000



Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 4.04. Fotografía de Ubicación de Giba Km.86+100



Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 4.05. Fotografía de Ubicación de Giba Km.86+250



Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 4.06. Fotografía de Ubicación de Giba Km.86+800



Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 4.07. Fotografía de Señalización de Vía Angosta



Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 4.08. Fotografía de Ubicación de Giba Km.86+900



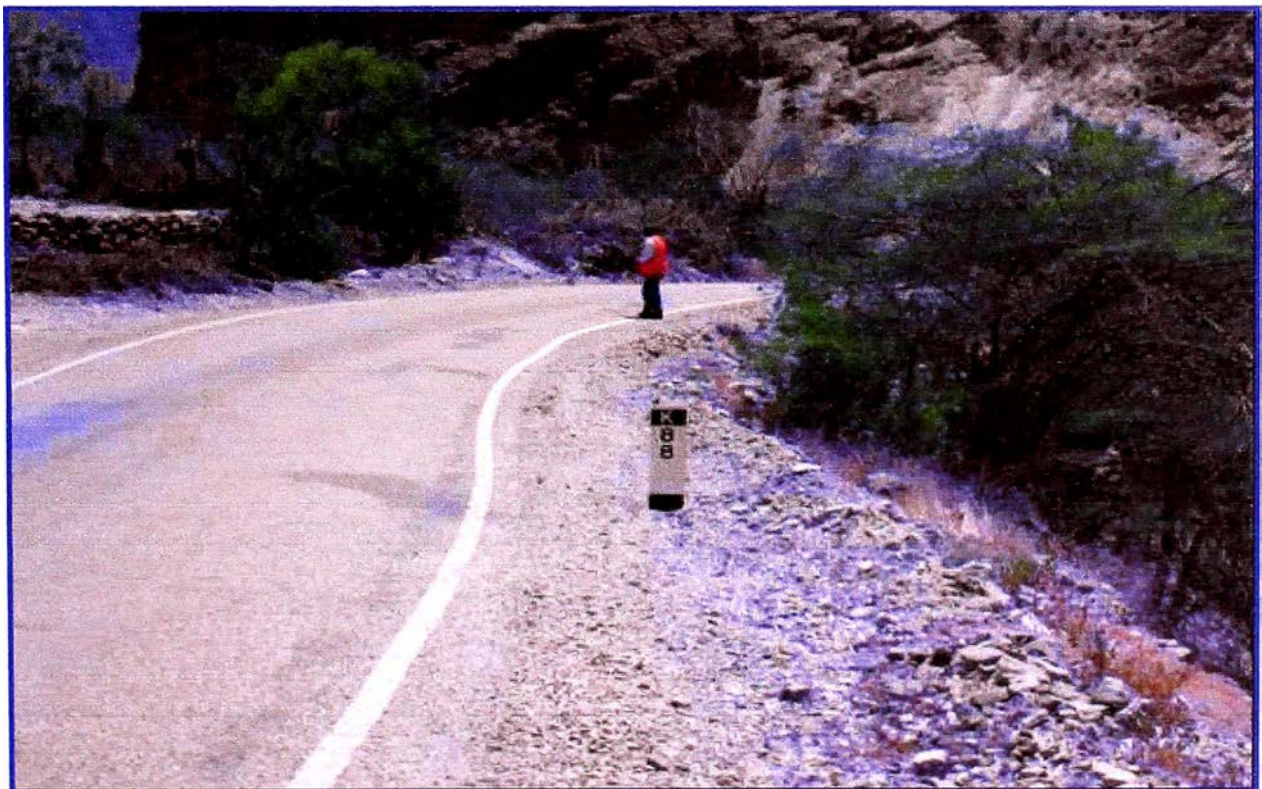
Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 4.09. Fotografía de Ubicación de Progresiva Km.87+000



Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 4.10. Fotografía de Ubicación de Progresiva Km.88+000



Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 4.11. Fotografía de Ubicación de Giba Km.88+600



Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 4.12. Fotografía de Ubicación de Giba Km.88+700



Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 4.13. Fotografía de Ubicación de Progresiva Km.89+000



Fuente: Elaboración Propia

De la Figura N° 4.01 a la Figura N° 4.13 se muestra las fotografías con las ubicaciones de las progresivas, y algunas interferencias existentes como las gibas y los badenes; también se observa la señalización de las vías del tramo.

Como se puede observar en las fotografías tomadas a lo largo del tramo a evaluar se presentan diferentes problemas en la superficie de rodadura, como exudación, desgaste, peladuras, bacheos, entre otros. Se observa también la solución aplicada por parte del Consorcio Gestión de Carreteras (CGC) en este tramo el cual es un recubrimiento Bituminoso Monocapa con RC-250, con una estabilización de emulsión asfáltica.

En resumen el subtramo del Km.84+000 – Km.85+000 se encuentra libre sin obstáculos, del Km.85+000 – Km.86+000 tiene presencia de un puente ubicado aproximadamente en el Km.85+350, del Km.86+000 – Km.87+000 se presentan gibas, del Km.87+000 – Km.88+000 se encuentra libre sin obstáculos, finalmente del Km.88+000 – Km.89+000 presenta gibas a 600 y 700metros.

4.2.- Calibración del equipo

Para llevar a cabo una correcta calibración matemática del equipo BI respecto del equipo Merlin, se decidió grupalmente tomar los datos de campo (valores IRI) de los tramos de prueba recomendados por el Convenio MTC-UNI, y debido a la presencia en mayor área de la solución aplicada por parte del CGC (recubrimiento bituminoso) se decidió tomar datos de campo (valores BI) de los grupos correspondientes a los tramos comprendidos del Km.79+000 - Km.104+000, estableciendo de esta manera una sola curva de calibración para estos grupos. Adicionalmente se agruparán los tramos comprendidos del Km.59+000 - Km.79+000 por tener un tratamiento superficial en común, el cual es Slurry Seal.

Del Cuadro N° 4.01 al Cuadro N° 4.05 se observan los datos tomados en campo por cada tramo evaluado por los grupos correspondientes del Km.79+000 - Km.104+000, así como también se muestra el resumen de las interferencias existentes en cada tramo.

Cuadro N° 4.01. Datos de Campo del Tramo Km.79+000- Km.84+000

RECOLECCION DE DATOS GRUPO 5						
Km.	79 - 80	80 - 81	81 - 82	82 - 83	83 - 84	
ida	3276	3115	3162	2157	2035	
retorno	3470	2964	2790	1995	1954	
	3356	2961	3113			
	3358	2948	3072			
Km.	OBSERVACIONES					PROMEDIOS BI
79 - 80	Tramo de 1 Km. sin obstáculos					3365
80 - 81	Tramo de 1 Km. sin obstáculos					2997
81 - 82	Tramo de 1 Km. sin obstáculos					3034
82 - 83	Giba presente a 900 metros, últimos 100 metros sin medir por badén					2076
83 - 84	Badén 100metros iniciales no medidos, giba a 450 y 800 metros					1995

Fuente: Elaboración Grupal

Cuadro N° 4.02. Datos de Campo del Tramo Km.84+000- Km.89+000

RECOLECCION DE DATOS GRUPO 6						
Km.	84 - 85	85 - 86	86 - 87	87 - 88	88 - 89	
ida	2995	2495	3400	2413	2486	
retorno	2758	2345	3098	2464	2288	
	3009					
	2857			2476		
Km.	OBSERVACIONES					PROMEDIOS
						BI
84 - 85	Tramo de 1 Km. libre sin obstáculos					2905
85 - 86	Puente ubicado entre los 350 y 400 metros aprox.					2420
86 - 87	Gibas presentes en los 100, 250, 800, 950 metros					3249
87 - 88	Tramo de 1 Km. libre sin obstáculos					2451
88 - 89	Gibas presentes en los 600, 700 metros					2387

Fuente: Elaboración Propia

Cuadro N° 4.03. Datos de Campo del Tramo Km.89+000- Km.94+000

RECOLECCION DE DATOS GRUPO 7						
Km.	89 -90	90 - 91	91 - 92	92 - 93	93 - 94	
ida	3196	3648	3024	2948	2895	
retorno	3339	3647	3262	2854	2463	
		3757				
		3761				
Km.	OBSERVACIONES					PROMEDIOS
						BI
89 -90	Gibas presente a los 200, 400 y 600 metros					3268
90 -91	Tramo de 1 Km. libre de obstáculos					3703
91 - 92	Gibas presente a los 600, 700 metros					3143
92 - 93	Gibas presente a los 850, 900 metros					2901
93 - 94	Gibas presente a los 250, 300, 900 metros					2679

Fuente: Elaboración Grupal

Cuadro N° 4.04. Datos de Campo del Tramo Km.94+000- Km.99+000

RECOLECCION DE DATOS GRUPO 8						
Km.	94 -95	95 - 96	96 - 97	97 - 98	98 - 99	
ida	1454	3232	2869	3721	3624	
retorno	1527	3340	3259	3599	3558	
		3724				
		3572				
Km.	OBSERVACIONES					PROMEDIOS
						BI
94 - 95	300 metros pedregosos sin asfaltar zona curva, badén a los 750 metros.					1491
95 - 96	Tramo de 1 Km. sin obstáculos					3467
96 - 97	Giba presente a 650, 700, 800 metros					3064
97 - 98	Giba presente a 900 metros					3660
98 - 99	Giba presente a 450, 750 metros					3591

Fuente: Elaboración Grupal

Cuadro N° 4.05. Datos de Campo del Tramo Km.99+000- Km.104+000

RECOLECCION DE DATOS GRUPO 9						
Km.	99 - 100	100 - 101	101 - 102	102 - 103	103 - 104	
ida	3428	3487	3730	3199	2469	
retorno	3963	3580	3295	2847	3457	
		3580				
		3595				
Km.	OBSERVACIONES					PROMEDIOS
						BI
99 - 100	300 m pedregosos sin asfaltar zona curva, badén a los 750 m, giba a los 1000 m					3696
100 - 101	Tramo de 1 Km. sin obstáculos					3561
101 - 102	Giba presente a 650, 700, 800 metros					3513
102 - 103	Giba presente a 900 metros					3023
103 - 104	Giba presente a 450, 750 metros					2963

Fuente: Elaboración Grupal

En el Cuadro N° 4.06 se presenta los tramos de prueba, y el tratamiento superficial en mayor área, conforme a los grupos designados para realizar una misma ecuación de correlación, y los valores IRI preliminares.

Cuadro N° 4.06. Datos Preliminares de Campo

GRUPO	TRAMO (Km.)		TRAMOS DE PRUEBA		TRAT. SUP.	FECHA DE CONSTR.	MEDICIÓN DEL IRI			
							IRI (m/Km.)	Fecha del ensayo	Tramo Evaluado	
1	59+000	64+000	59+300	60+300	SLURRY SEAL	MARZO '2009	3.75	24/06/2009	59+300 - 59+700	
							4.08	25/06/2009	59+700 - 60+100	
2	64+000	69+000	66+000	67+000		MARZO '2009	3.22	02/07/2009	66+000 - 66+400	
							3	69+000	74+000	71+500
3.55	03/07/2009	72+000 - 71+400								
4	74+000	79+000	76+000	77+000		JUNIO '2009	3.51	03/07/2009	76+300 - 76+700	
5	79+000	84+000	79+500	80+500		MONOCAPA	MARZO '2009	4.64	29/06/2009	79+500 - 79+900
								3.51	29/06/2009	79+900 - 80+300
6	84+000	89+000	84+000	85+000			FEB-MAR '2009	5.05	29/06/2009	84+000 - 84+400
								4.01	29/06/2009	84+400 - 84+800
7	89+000	94+000	90+500	91+500	FEBRERO '2009		4.51	04/07/2009	90+500 - 90+900	
							4.32	04/07/2009	91+200 - 91+600	
8	94+000	99+000	97+200	98+200	NOVIEMBRE '2008		4.3	10/07/2009	97+200 - 97+600	
							5.05	10/07/2009	98+000 - 98+400	
9	99+000	104+000	100+000	101+000	NOV-DIC '2008		5.09	30/06/2009	100+000 - 100+400	
							4.52	30/06/2009	100+400 - 100+800	
						5.42	30/06/2009	101+200 - 100+800		

Fuente: Adaptado de MTC, Provlás Nacional, Convenio MTC-UNI

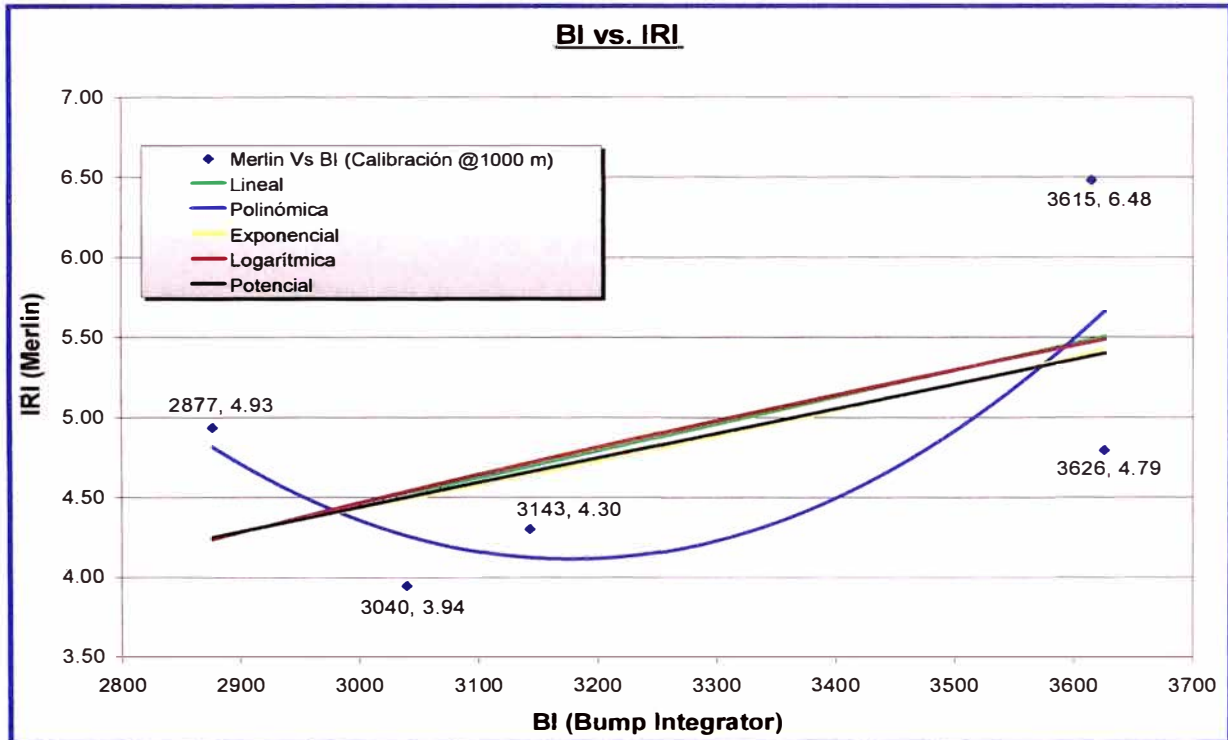
Cuadro N° 4.07. Datos IRI vs. BI @1000metros

EQUIPO MERLIN		EQUIPO BUMP INTEGRATOR	
Tramo Evaluado (400m)	IRI (m/Km.)	Tramo Evaluado (1km)	BI (mm/Km.)
80+100 - 80+500	3.94	80+000 - 81+000	3040
84+600 - 85+000	4.93	84+000 - 85+000	2877
91+100 - 91+500	4.30	91+000 - 92+000	3143
97+800 - 98+200	4.79	97+000 - 99+000	3626
99+800 - 100+200	6.48	99+000 - 101+000	3615

Fuente: Elaboración Propia

La evaluación se realizará con secciones de 1000metros cuyos datos se presentan en el Cuadro N° 4.07, datos correspondientes a valores IRI obtenidos del equipo Merlin y valores BI obtenidos del equipo Bump Integrartor.

Figura N° 4.14. Gráfico de Valores BI vs. IRI – Prueba @1000m



Fuente: Elaboración Propia

En la Figura N° 4.14 se muestra el gráfico correspondiente al Cuadro N° 4.07 con la ubicación de los puntos, y con las posibles líneas de tendencias. A continuación se muestra las ecuaciones de correlación:

- ◆ Lineal: $IRI=0.0017*BI - 0.609,$ $R^2=0.3516$
- ◆ Logarítmica: $IRI=5.4069*\ln(BI) - 38.824,$ $R^2=0.3374$
- ◆ Polinomial: $IRI=8*10^{-6}*BI^2 - 0.0491*BI + 82.12,$ $R^2=0.5499$
- ◆ Potencial: $IRI=0.0011*BI^{1.0362},$ $R^2=0.3313$
- ◆ Exponencial: $IRI=1.6758*e^{0.0003*BI},$ $R^2=0.3467$

Con los valores R^2 se obtiene un $R_{promedio}=0.616 \ll 1$, entonces se deduce que estas ecuaciones no son representativas; y es necesario evaluar que puntos eliminar o corregir para obtener un R con un óptimo grado de confiabilidad.

Para que una calibración sea válida entonces se debe seleccionar los tramos de calibración según la Publicación Técnica N° 46 del Banco Mundial, la cual nos indica los tramos a evaluar deben tener baja curvatura y estar en zonas de tangente, y propiedades de rugosidad uniforme a lo largo del tramo en evaluación incluyendo 50 metros adicionales en ambos extremos.

Con conocimiento de estas recomendaciones del BM y observando el análisis del PCI (Índice de la Condición del Pavimento) del Km.84+000 – Km.85+000 que determina presencia de exudación con severidad baja en 212.5m² de área y con severidad media en 7.0m² de área; a su vez tiene presencia de elevaciones con severidad baja en 120m de longitud y también presenta baches, zanjas, huecos y ahuellamientos en menor cantidad. Por lo cual no cumple con las recomendaciones del BM.

En el tramo del Km.99+000 – Km.101+000 no presenta uniformidad de la rugosidad a lo largo del tramo evaluado, incluso del tramo de prueba por lo cual tampoco cumple con la recomendación del BM.

En resumen se decide eliminar los puntos de valores (BI,IRI) del tramo Km.84+000 – Km.85+000 con valores (2905,4.93) por presentar zonas con curvas y fallas a lo largo del tramo; y del Km. 99+000 – Km. 101+000 (3629,6.48) por presentar 300 metros de área pedregosa sin asfaltar y en zona de curva, e interferencia con un badén a los 750 metros.

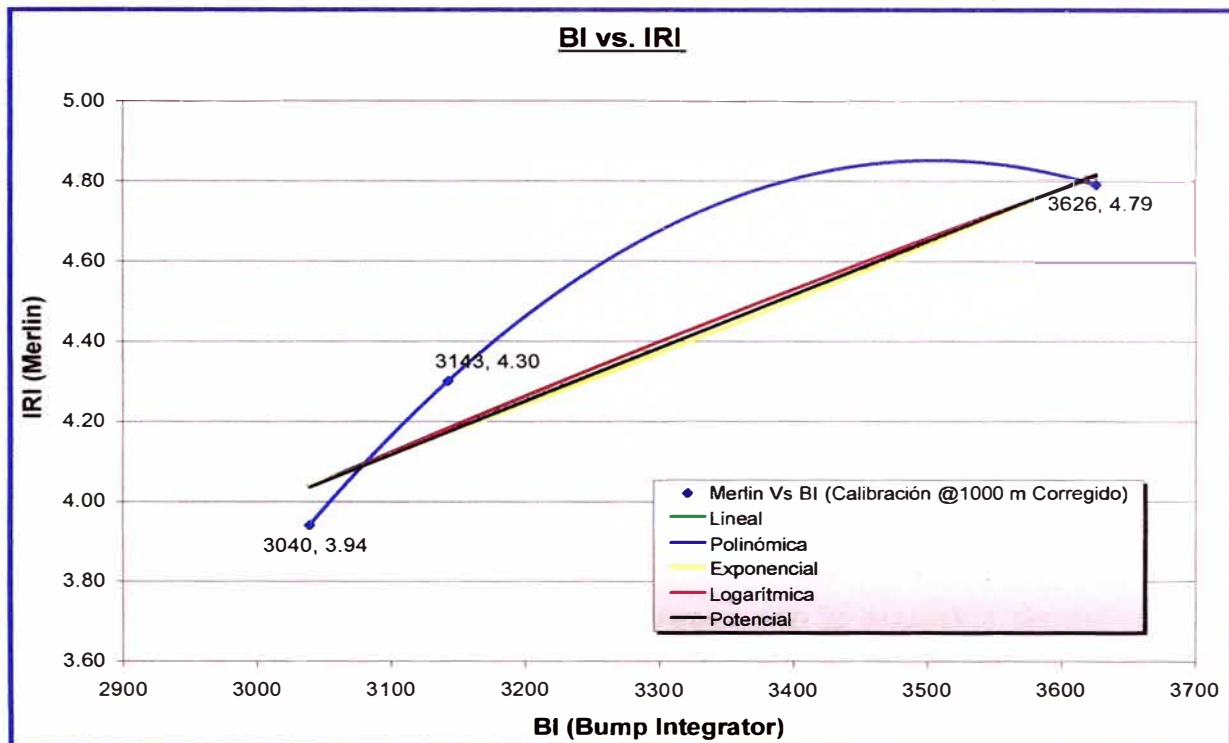
En la Figura N° 4.15 se muestra el gráfico, con sus líneas de tendencias, correspondiente al Cuadro N° 4.08 el cual es una adaptación del Cuadro N° 4.07 con los valores de dos tramos eliminados.

Cuadro N° 4.08. Datos IRI vs. BI Corregido @1000metros

EQUIPO MERLIN		EQUIPO BUMP INTEGRATOR	
Tramo Evaluado (400m)	IRI (m/Km.)	Tramo Evaluado (1km)	BI (mm/Km.)
80+100 - 80+500	3.94	80+000 - 81+000	3040
91+100 - 91+500	4.30	91+000 - 92+000	3143
97+800 - 98+200	4.79	97+000 - 99+000	3626

Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 4.15. Gráfico Valores BI vs. IRI – Corregido @1000m



Fuente: Elaboración Propia

A continuación se muestra las ecuaciones de correlación correspondientes al Gráfico de la Figura N° 4.15 evaluadas en secciones de 1000metros:

✚ Lineal:	$IRI=0.0013*BI + 0.0442,$	$R^2=0.9292$
✚ Logarítmica:	$IRI=4.4086*\ln(BI) - 31.32,$	$R^2=0.936$
✚ Polinomial:	$IRI=-4*10^{-6}*BI^2 + 0.0295*BI - 46.78,$	$R^2=1.0$
✚ Potencial:	$IRI=0.0013*BI^{1.034},$	$R^2=0.9218$
✚ Exponencial:	$IRI=1.6279*e^{0.0003*BI},$	$R^2=0.9144$

Entonces se obtiene un $R_{promedio} = 0.97$, analizando las ecuaciones de correlación se puede determinar que la ecuación polinomial no es representativa por presentar una concavidad la cual no demuestra la proporcionalidad directa de relación entre los valores IRI y BI.

Las otras ecuaciones son representativas como "Ecuación de Calibración" pero se escoge la ecuación lineal como "Ecuación de Calibración" por presentar un valor de $R=0.964$ más cercano a la unidad, con un grado de confianza de 96%.

4.3.- Procesamiento de datos

En este subcapítulo se procederá a realizar el procesamiento de los datos de campo (BI) correspondientes al tramo en estudio del Km.84+000 – Km.89+000, para su evaluación respectiva y comparación con los valores IRI realizados en meses anteriores que se muestran en el Cuadro N° 4.06.

Este procesamiento se realizará utilizando la “Ecuación de Calibración” determinada en el subcapítulo anterior, la cual es:

$$\downarrow \text{ Lineal: } \quad \text{IRI}=0.0013*\text{BI} + 0.0442, \quad R^2=0.9292$$

El Cuadro N° 4.09 muestra los valores IRI obtenidos a partir de procesar los datos de campo (BI) promedio de Ida y Vuelta con la ecuación de correlación obtenida mediante la evaluación de secciones con tramos a @1000m. El Cuadro N° 4.10 muestra los valores IRI obtenidos a partir de procesar los datos de campo (BI) promedio de Ida con la ecuación de correlación.

Cuadro N° 4.09. Valores IRI con BI promedio @1000m

Tramo Evaluado (1km)	Lunahuana -Yauyos	Yauyos-Lunahuana	Lunahuana -Yauyos	Yauyos-Lunahuana	Valores BI Promedio	Valores IRI (Ec.@1000m)
84+000 - 85+000	2995	2758	3009	2857	2905	3.82
85+000 - 86+000	2495	2345			2420	3.19
86+000 - 87+000	3400	3098			3249	4.27
87+000 - 88+000	2413	2464		2476	2451	3.23
88+000 - 89+000	2486	2288			2387	3.15

Fuente: Elaboración Propia

Cuadro N° 4.10. Valores IRI con BI promedio Lunahuana-Yauyos

Tramo Evaluado (1km)	Lunahuana-Yauyos	Lunahuana-Yauyos	Valores BI Promedio	Valores IRI IDA
84+000 - 85+000	2995	3009	3002	3.95
85+000 - 86+000	2495		2495	3.29
86+000 - 87+000	3400		3400	4.46
87+000 - 88+000	2413		2413	3.18
88+000 - 89+000	2486		2486	3.28

Fuente: Elaboración Propia

Cuadro N° 4.11. Valores IRI con BIpromedio Yauyos- Lunahuana

Tramo Evaluado (1km)	Yauyos-Lunahuana	Yauyos-Lunahuana	Valores BI Promedio	Valores IRI VUELTA
84+000 - 85+000	2758	2857	2808	3.69
85+000 - 86+000	2345		2345	3.09
86+000 - 87+000	3098		3098	4.07
87+000 - 88+000	2464	2476	2470	3.26
88+000 - 89+000	2288		2288	3.02

Fuente: Elaboración Propia

El Cuadro N° 4.11 muestra los valores IRI obtenidos a partir de procesar los datos de campo (BI) promedio de Vuelta con la ecuación de correlación.

Cuadro N° 4.12. Valor IRI Característico Lunahuana-Yauyos

Tramo Evaluado (1km)	Valores BI Promedio	Valores IRI IDA
84+000 - 85+000	3002	3.95
85+000 - 86+000	2495	3.29
86+000 - 87+000	3400	4.46
87+000 - 88+000	2413	3.18
88+000 - 89+000	2486	3.28
	Valor Min.=	3.18
	Valor Max.=	4.46
	Valor Prom.=	3.63
	Valor Característico=	4.19

Fuente: Elaboración Propia

Cuadro N° 4.13. Valor IRI Característico Yauyos- Lunahuana

Tramo Evaluado (1km)	Valores BI Promedio	Valores IRI VUELTA
84+000 - 85+000	2808	3.69
85+000 - 86+000	2345	3.09
86+000 - 87+000	3098	4.07
87+000 - 88+000	2470	3.26
88+000 - 89+000	2288	3.02
	Valor Min.=	3.02
	Valor Max.=	4.07
	Valor Prom.=	3.43
	Valor Característico=	3.87

Fuente: Elaboración Propia

Los Cuadros N° 4.12 y N° 4.13 presentan los valores IRI Característico por Carril, es decir de Lunahuana-Yauyos (Carril de Ida) y de Yauyos- Lunahuana (Carril de Vuelta) respectivamente. Con los valores de la rugosidad promedio del tramo, se realiza el cálculo del Índice de Serviciabilidad Presente (PSI) mediante la expresión:

$$\downarrow \text{PSI} = 5.0 * e^{-0.1818\text{IRI}},$$

Cuadro N° 4.14. Valor PSI Lunahuana-Yauyos

Tramo Evaluado (1km)	Valores BI Promedio	Valores IRI IDA	Valores PSI IDA
84+000 - 85+000	3002	3.95	2.44
85+000 - 86+000	2495	3.29	2.75
86+000 - 87+000	3400	4.46	2.22
87+000 - 88+000	2413	3.18	2.80
88+000 - 89+000	2486	3.28	2.76
	Valor Min.=	3.18	2.80
	Valor Max.=	4.46	2.22
	Valor Prom.=	3.63	2.58
	Valor Característico=	4.19	2.34

Fuente: Elaboración Propia

Cuadro N° 4.15. Valor PSI Yauyos- Lunahuana

Tramo Evaluado (1km)	Valores BI Promedio	Valores IRI VUELTA	Valores PSI VUELTA
84+000 - 85+000	3002	3.69	2.55
85+000 - 86+000	2495	3.09	2.85
86+000 - 87+000	3400	4.07	2.39
87+000 - 88+000	2413	3.26	2.77
88+000 - 89+000	2486	3.02	2.89
	Valor Min.=	3.02	2.89
	Valor Max.=	4.07	2.39
	Valor Prom.=	3.43	2.68
	Valor Característico=	3.87	2.47

Fuente: Elaboración Propia

Los Cuadros N° 4.14 y N° 4.15 presentan los valores PSI por Carril, es decir de Lunahuana-Yauyos (Ida) y de Yauyos- Lunahuana (Vuelta) respectivamente.

CAPÍTULO V: ANALISIS DE RESULTADOS

Con los Cuadros N° 4.14 y N° 4.15 que presentan los valores PSI por Carril, se puede determinar e interpretar según el Cuadro N° 5.01 la transitabilidad de la superficie de rodadura evaluada por tramos.

Cuadro N° 5.01. Rangos del PSI

PSI	TRANSITABILIDAD
0 - 1	Muy Mala
1 - 2	Mala
2 - 3	Regular
3 - 4	Buena
4 - 5	Muy Buena

Fuente: Camineros, Ing. Pablo del Águila, Artículo Cam003.pdf, 2001

Cuadro N° 5.02. Transitabilidad Lunahuana-Yauyos

Tramo Evaluado (1km)	Valores BI Promedio	Valores IRI IDA	Valores PSI IDA	Transitabilidad
84+000 - 85+000	3002	3.95	2.44	Regular
85+000 - 86+000	2495	3.29	2.75	Regular
86+000 - 87+000	3400	4.46	2.22	Regular
87+000 - 88+000	2413	3.18	2.80	Regular
88+000 - 89+000	2486	3.28	2.76	Regular

Fuente: Elaboración Propia

Cuadro N° 5.03. Transitabilidad Yauyos- Lunahuana

Tramo Evaluado (1km)	Valores BI Promedio	Valores IRI VUELTA	Valores PSI VUELTA	Transitabilidad
84+000 - 85+000	3002	3.69	2.55	Regular
85+000 - 86+000	2495	3.09	2.85	Regular
86+000 - 87+000	3400	4.07	2.39	Regular
87+000 - 88+000	2413	3.26	2.77	Regular
88+000 - 89+000	2486	3.02	2.89	Regular

Fuente: Elaboración Propia

Los Cuadros N° 5.02 y N° 5.03 presentan la Transitabilidad por Carril, Ida y Vuelta, respectivamente. Por lo cual se puede determinar que el tramo evaluado del Km.84+000 – Km.89+000 presenta una Transitabilidad Regular.

CONCLUSIONES

- ✚ Los valores IRI obtenidos con la ecuación de calibración del tramo en estudio varían entre 3.02 y 4.46. Y el rango de valores PSI se encuentra entre 2.22 y 2.89 por lo cual se puede concluir que el tramo del Km.84+000 – Km.89+000 presenta una Transitabilidad Regular, lo cual se verificó al transitar con un vehículo durante la evaluación de campo.
- ✚ En relación a la ecuación de correlación entre los valores de BI obtenidos con el equipo Bump Integrator y valores IRI obtenido del equipo Merlin, se observó que las ecuaciones polinómicas son la que logran una mejor correlación, R^2 más cercano a la unidad, pero no representan una ecuación de calibración correcta por tener una concavidad.
- ✚ Cada equipo de RTRRMS es independiente y se debe seguir las recomendaciones de fabricación para una correcta calibración del equipo.
- ✚ El Rugosímetro electrónico Bump Integrator Tipo-UNI puede ser utilizado a velocidades de 40Km./h, se presenta datos de campo en unidades BI. Sin embargo las mediciones se deben realizar a 30Km./h respetando la señalización encontrada en el tramo en estudio, y también por obtener una correcta toma de datos de campo.
- ✚ Las variaciones en las lecturas tomadas por el equipo REBITU son originadas principalmente por el peso, tipo, presión de inflado y condición de las llantas, tipo y condición de la suspensión.
- ✚ De acuerdo a las características del vehículo al momento de efectuar la medición, las lecturas pueden variar porque con el tiempo las características del mismo vehículo cambian.
- ✚ Los sectores escogidos como tramos de prueba o de calibración para el equipo Merlin no deben tener variación mayor a 0, es decir deben ser iguales en longitud para obtener una mejor ecuación de correlación.
- ✚ No se debe definir sectores como tramos de prueba que se encuentren ubicados en zonas de curva ó que no presenten uniformidad de la rugosidad a lo largo del tramo de evaluación, pudiendo por la geometría y por las fallas existentes.
- ✚ Los datos escogidos para determinar la ecuación de calibración entre el IRI y BI son idóneos, basándose en que al transcurrir el tiempo y la puesta en servicio de la vía, esta se degrada superficial y estructuralmente.

RECOMENDACIONES

- ✚ Utilizar la medición de la rugosidad como un análisis de evaluación superficial de una superficie de rodadura, por expresar la medida del confort que experimenta un conductor o pasajero que transita por una determinada carretera.
- ✚ Seguir con los patrones establecidos por el Banco Mundial en su Publicación Técnica N° 46 para el uso, evaluación, análisis e interpretación de la medición de la rugosidad y de los equipos a utilizar.
- ✚ El valor IRI refleja la técnica y su evolución del comportamiento constructivo del camino, si fue buena, regular, o mala desde el inicio de su puesta en servicio. Sin embargo, la geometría del trazado y otras interferencias presentes en el camino, influyen en la medición del valor IRI, por lo cual se recomienda analizar y corregir que valores deben ser eliminados para obtener una ecuación de calibración con un R cercano a la unidad que exprese la proporcionalidad directa de los valores BI – IRI.
- ✚ Realizar un análisis a los diseños geométricos de la carretera evaluada por ser un factor determinante en el cálculo de la medición de la rugosidad.
- ✚ Las personas encargadas del control de la rugosidad de las superficies de rodaduras recién construidas o con tratamientos superficiales, procedan a verificar el cumplimiento de las especificaciones del proyecto.
- ✚ Evitar para definir las ecuaciones de calibración los datos de campo que no representen correctamente la línea de tendencia.
- ✚ Disminuir la velocidad a 30km/h para obtener una mejor cuantificación de los datos de campo en tramos con interferencias y en tramos que no se presenten uniformidad en su rugosidad.
- ✚ Observar y tomar las medidas correctivas a las secciones de tramos presentados con mayor exudación o fallas longitudinales, porque estas pueden acelerar su desgaste con el tiempo.
- ✚ Efectuar el monitoreo periódico a fin de definir la tendencia del deterioro.

BIBLIOGRAFÍA

- ✚ Contreras Sauñe, José. “Evaluación Superficial de Pavimentos, Aplicación de Índice Internacional de Rugosidad IRI”. Tesis UNI-FIC, Lima-Perú, 2000.
- ✚ Del Águila, Pablo. “Desarrollo de la Ecuación de Correlación para la determinación de la Rugosidad de Pavimentos Asfálticos Nuevos, utilizando el equipo Merlín”. III Congreso Nacional del Asfalto, Lima, 1998.
- ✚ Del Águila, Pablo. “Metodología para la determinación de la Rugosidad de los Pavimentos con Equipo de Bajo Costo y Gran Precisión”. III Congreso Nacional del Asfalto, Lima, 1999.
- ✚ Michael W, Sayers, Thomas D. Gillespie, and Cesar A.V. Quiroz. “The International Road Roughness Experiment”. World Bank Technical Paper Number 45. Washington D.C. 1986.
- ✚ Michael W, Sayers, Thomas D. Gillespie, and William D.O. Paterson. “Guidelines for Conducting and Calibrating Road Roughness Measurements”. World Bank Technical Paper Number 46. Washington D.C. 1986.
- ✚ Poma Salazar, Percy Peroy. “Ampliación y Mejoramiento de la Carretera Cañete-Yauyos-Huancayo del Km. 166+500 al Km. 166+800, Diseño de Pavimentos y Análisis de Estabilidad de Taludes”. Tesis UNI-FIC, Lima-Perú, 2009.
- ✚ Sologorre Huayta, José. “Evaluación de la Rugosidad de Pavimentos con Uso del Bump Integrator”. Tesis UNI-FIC, Lima-Perú, 2005.
- ✚ www.camineros.com
- ✚ www.iific.edu.pe
- ✚ www.mtc.gob.pe
- ✚ www.proviasnac.gob.pe

ANEXOS

ANEXO 01:

Índice de Rugosidad, Traducción de “The Little Book of Profiling”

ANEXO 02:

Gráficos IRI vs. PSI

ANEXO 03:

Características de los Equipos Y Programas

ANEXO 04:

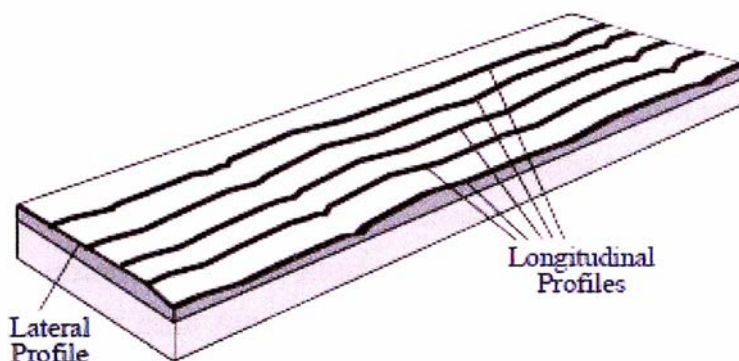
Programa Romdas

ANEXO 05:

Programa Unisurvey

ANEXO 01: Índice de Rugosidad, Traducción de “The Little Book of Profiling”

El concepto de Rugosidad está definido como la desviación de una determinada superficie respecto a una superficie plana teórica, con dimensiones que afectan la dinámica del vehículo, la calidad de manejo, cargas dinámicas y el drenaje, por ejemplo, el perfil longitudinal, perfil transversal. Así queda indicado en la norma de ensayo ASTM E 867-06 “Standard Terminology Relating to Vehicle-Pavement Systems”.



Perfil Longitudinal Real de una Carretera

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 que: “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 producto de la simulación del modelo de cuarto de carro, para una velocidad de desplazamiento de 80km/h”.

Entonces, 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 80Km./h; esta hipótesis descrita es conocida como el “Modelo de Cuarto de Carro”.

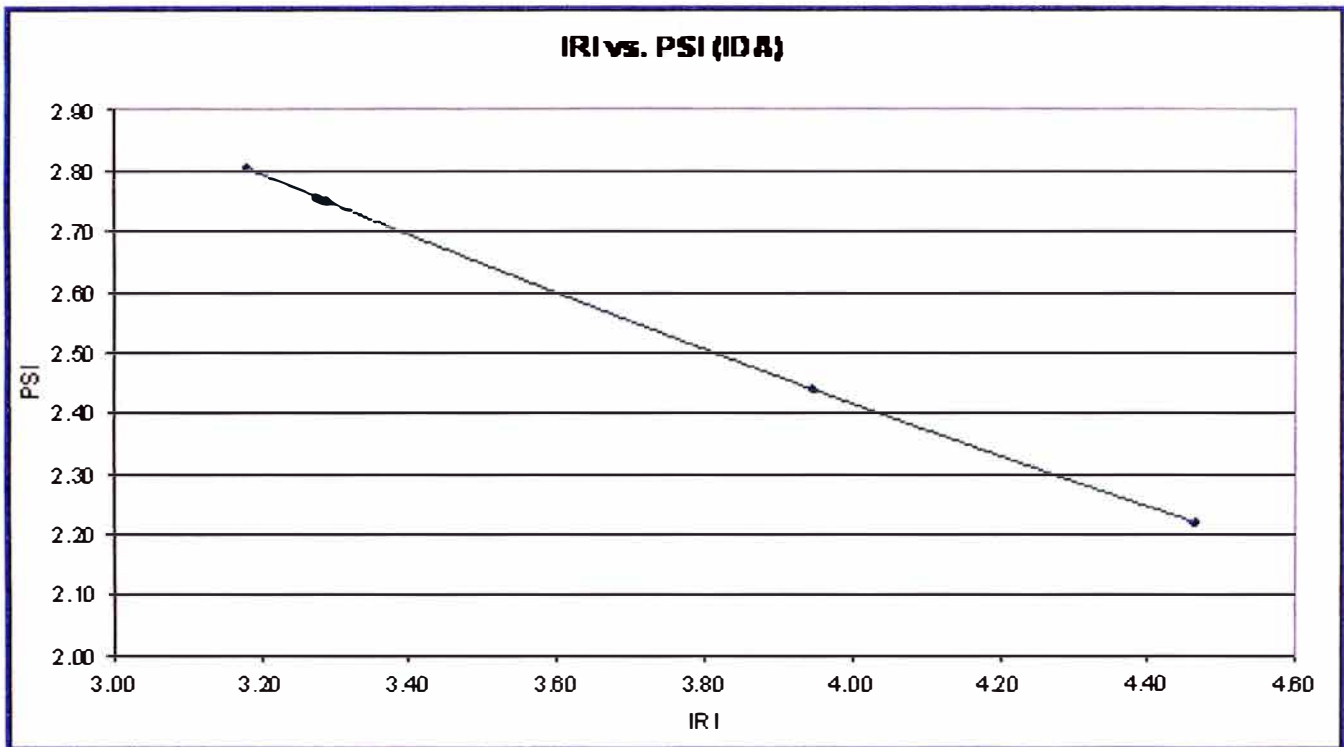
El IRI como parámetro, constituye en la actualidad uno de los controles de recepción mas importantes, relacionados con el nivel de Rugosidad de los pavimentos, que se refleja en el nivel de comodidad y costos de operación para los usuarios.

Existen normativas sobre la determinación de Rugosidad en pavimentos, tienen incidencia AASHTO, ASTM, la FWHA y el banco Mundial. Sin embargo cada una de estas agencias solo definió o procedimientos de medición, o escalas de valores en los cuales debían compararse las mediciones.

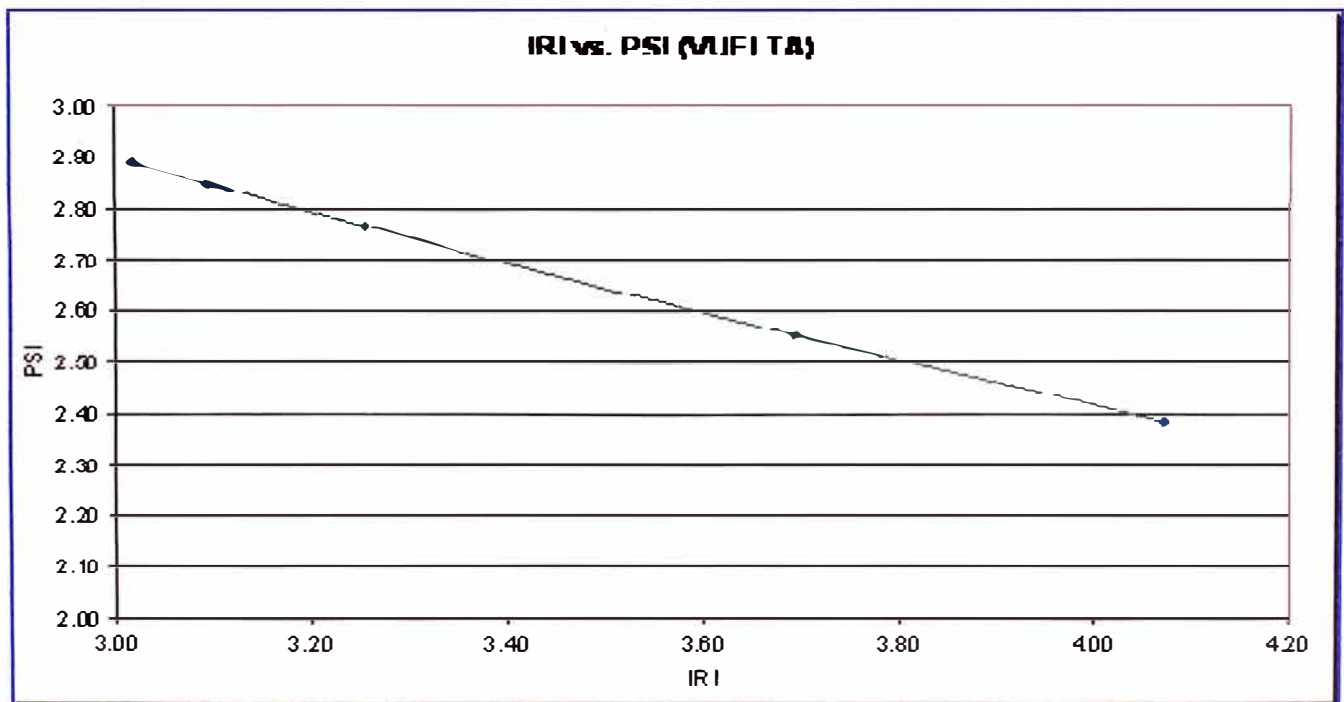
Como conclusión, podría decirse que las especificaciones internacionales solo son guías para preparar las mediciones; por esta razón, cada país debe de ajustar su metodología y establecer sus propios requerimientos.

ANEXO 02: Gráficos IRI vs. PSI

IRI vs. PSI (IDA) Lunahuana-Yauyos



IRI vs. PSI (VUELTA) Yauyos- Lunahuana



ANEXO 03: Características de Los Equipos Y Programas.

En la actualidad, la obtención de parámetros que definan las características del pavimento requiere de un trabajo más allá de laborioso, científico. Gracias a la ayuda de la Informática, podemos realizar esta captura de datos con modernos equipos que a más de generarnos beneficios con la facilidad de tiempo, nos provee de una seguridad de los parámetros ya que su grado de error es cada vez más ínfimo.

Entre los beneficios que nos brindan estos equipos están:

- ✚ *Permanencia*, basado en la continuidad y en la estabilidad de los ensayos.
- ✚ *Localización Referencial*, determina y señala el desplazamiento exacto de los ensayos a lo largo del proyecto.
- ✚ *Exactitud*, puntualidad y fidelidad de los datos obtenidos en la ejecución de los ensayos.
- ✚ *Valoración y Registro*, referente a la apreciación de los equipos.
- ✚ *Relevancia*, la información obtenida en este tipo de ensayos es destacada y de significativa importancia en los procesos de diseño y construcción.
- ✚ *Adecuación*.- la acomodación de los equipos al terreno de trabajo facilita la obtención de los datos y el procesamiento de los mismos.
- ✚ *Fiabilidad*, el buen funcionamiento y la calibración continua de los equipos, proporciona la seguridad de los datos obtenidos.
- ✚ *Precisión y Velocidad*, la exactitud y prontitud de los ensayos en la determinación de los parámetros, es la ventaja más relevante de este tipo de equipos.
- ✚ *Automatización*, el beneficio de la tecnología se hace presente en este tipo de equipos, ya que son operados manualmente desde un ordenador, sin la necesidad de bajarse del vehículo, de igual forma los datos son grabados de forma inmediata para su utilización posterior.
- ✚ *Información por Niveles*, es posible la programación de la evaluación dependiendo del grado de estudio a realizar, ya sea este a nivel de estudio, diseño, construcción o control.

- ✚ *Bajos Costos*, los costos que se generan de las inspecciones son considerablemente más bajos tomando en cuenta el tiempo de ejecución de los ensayos y de la fiabilidad de los datos obtenidos. La auscultación del firme mediante equipos de alto rendimiento proporciona información precisa y cuantitativa sobre el estado de sus características estructurales y superficiales, esto ayudado de los programas de procesamiento conforma parte de la tecnología más avanzada del primer mundo.

Teniendo en cuenta de que los Equipos y Programas son propiedad de la Compañía INEXTEC CIA. LTDA. Solo se podrá referir de estos las características principales de los mismos.

ANEXO 04: Programa Romdas

El programa ROMDAS es aplicable tanto para captura como para procesamiento de datos.

Captura de datos con el programa Romdas, el sistema ROMDAS (Road Measurement Data Acquisition System) se utiliza para la captura de varios ensayos como son:

- ✚ Perfil Longitudinal
- ✚ Perfil Transversal
- ✚ Video Digital

Los pasos de la captura son los siguientes:

- 1.- Se crea un archivo con el nombre del proyecto a realizar
- 2.- Al abrir este determinado archivo se deberá llenar la información pertinente:
 - ✚ Nombre de la carretera
 - ✚ Kilometraje inicial
 - ✚ Avance de las abscisas (incremento o decremento)
 - ✚ Fecha del ensayo
- 3.- El programa le dará la opción de insertar puntos referenciales, si la respuesta es YES, podrá insertar puntos tales como puentes, inicio y fin de pueblos a lo largo de la captura.
- 4.- Dentro de la misma captura existe la opción de utilizar el GPS, es recomendable utilizar para que los datos capturas estén georeferenciados.
- 5.- Si se desea realizar los tres ensayos a la vez (longitudinal, transversal y video digital), será necesario activar las casilla de TPL y Ventana reducida. Esto es muy recomendable para evitar realizar dos pasadas con el vehículo en un mismo proyecto.
- 6.- Al terminar el proyecto tendrá la opción de guardar o abandonar el estudio realizado.

Las normas indican que se deben realizar dos pasadas por cada carril al realizar los ensayos de Perfil Transversal y Longitudinal. El promedio de las dos pasadas se especifica como el resultado de los ensayos.

ANEXO 05: Programa Unisurvey

Es un sistema de colecta de datos de condición de la carretera e inventarios viales. Es un programa de adquisición de imágenes digitales en tiempo real y de coordinación de hardware, que permite tomar varias imágenes de la carretera y datos de localización en intervalos periódicos de distancias.

Su tecnología permite controlar los dispositivos de hardware como son: Odómetro de precisión, cámara digital y GPS Diferencial. El software ordena a la cámara scanner tomar imágenes sucesivas del pavimento a distancias predefinidas y guardarlas como archivos de imagen, junto con la información del GPS dentro de una base de datos.

Los pasos de la captura son los siguientes:

- 1.- Se crea una base de datos con el nombre del proyecto a realizar.
- 2.- Se selecciona la base de datos creada para realizar la captura en dicha base.
- 3.- Al iniciar una captura se debe comprobar si la luz de la imagen es la correcta esta variará dependiendo de la luz solar. Se debe revisar como mínimo cada hora la luz de la imagen.
- 4.- Una vez seleccionada la base se deberán ir creando los segmentos de imagen. Cada vez que cambie la luz de la imagen se deberá crear un nuevo segmento.
- 5.- Una vez creado el segmento se podrá iniciar la captura. Esta estará referenciada tanto por el odómetro como por el GPS.
- 6.- Al establecer un nuevo segmento se deberá cambiar los datos de abscisa, correspondientes al nuevo punto.
- 7.- Se podrán crear los segmentos suficientes hasta terminar un proyecto determinado.