

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



**EVALUACIÓN DE LA RUGOSIDAD CON EL EQUIPO BUMP
INTEGRATOR**

**MONITOREO DE CONSERVACIÓN CARRETERA CAÑETE –
HUANCAYO Km. 114+000 AL Km. 116+000**

INFORME DE SUFICIENCIA

Para optar el Título Profesional de:

INGENIERO CIVIL

RONALD GONZALES SOLÓRZANO

Lima- Perú 010018983

2010

DEDICATORIA

El presente Informe de Suficiencia, se la dedico a mi madre y abuelitos que gracias a sus consejos, enseñanzas, amor y palabras de aliento crecí como persona. A mi familia por brindarme los recursos necesarios y estar a mi lado apoyándome y aconsejándome siempre, gracias por ayudarme a cumplir mis objetivos como persona y profesional. A mi hermano por estar siempre presente, cuidándome y brindándome aliento en seguir adelante.

	Pág.
RESUMEN.....	3
LISTA DE CUADROS.....	4
LISTA DE FIGURAS.....	5
LISTA DE SÍMBOLOS Y SIGLAS.....	6
INTRODUCCIÓN.....	7
CAPÍTULO I: PERFIL DEL PROYECTO.....	9
1.1. Antecedentes.....	9
1.2. Ubicación.....	10
1.3. Características de la carretera.....	13
1.4. Tramo en estudio Km. 114+000 – 116+000.....	15
CAPÍTULO II: ESTADO DEL ARTE.....	17
CAPÍTULO III: MARCO TEÓRICO.....	23
3.1. EVALUACIÓN SUPERFICIAL.....	23
3.2. RUGOSIDAD.....	24
3.3. MÉTODO DE EVALUACIÓN DE LA RUGOSIDAD CON EQUIPO BUMP INTEGRATOR.....	26
3.3.1. <i>Variables de desempeño</i>	27
3.3.2. <i>Calibración de un sistema de medición de rugosidad de vías tipo respuesta</i>	32
CAPÍTULO IV: EVALUACIÓN DE LA RUGOSIDAD.....	39
4.1. RECOPIACIÓN DE DATOS DE CAMPO.....	39
4.1.1. <i>Selección del sistema de medición de rugosidad tipo respuesta</i>	39
4.1.2. <i>Reconocimiento del tramo de evaluación Km 114+000–Km 116+000</i>	41
4.1.3. <i>Datos obtenidos con el equipo Bump Integrator</i>	45
4.2. CALIBRACIÓN DEL EQUIPO.....	47
4.2.1. <i>Valores obtenidos con equipos MERLIN y Bump Integrator</i>	47

4.2.2. Ecuaciones de correlación.....	49
CAPÍTULO V: ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	53
5.1. Valores BI obtenidos de campo.....	53
5.2. Secciones de calibración.....	55
5.3. Ecuaciones de calibración.....	55
5.4. Valores IRI obtenidos con el equipo Bump Integrator.....	56
CONCLUSIONES.....	59
RECOMENDACIONES.....	61
BIBLIOGRAFÍA.....	62
ANEXOS.....	63
1. <i>Resultados de las pruebas de Bump Integrator, sección “B” del 22 de mayo del 2010.</i>	
2. <i>Resumen de valores de Índices de Rugosidad Internacional – IRI - MERLIN – 2009.</i>	
3. <i>Índices de Rugosidad Internacional (IRI) obtenidos con el equipo MERLIN, sección “B” del 22 de mayo del 2010.</i>	
4. Panel fotográfico.	

RESUMEN

En el presente informe “Evaluación de la Rugosidad con el equipo Bump Integrator, Monitoreo de Conservación Carretera Cañete – Huancayo Km. 114+000 al Km. 116+000” se desarrollan aspectos necesarios para el entendimiento de la problemática actual, como es su bajo nivel de transitabilidad que perjudica la integración de la población del valle del río Cañete con Lima y Huancayo produciendo un efecto final expresado como: **“el bajo desarrollo socio-económico, productivo y del nivel de vida de la población”**.

Las causas del bajo nivel de transitabilidad se han clasificado en indirectas tales como: inadecuado mantenimiento rutinario vial y sistema de drenaje, insuficiente sección vial en algunos sectores y señalización vial, pendientes pronunciadas; y directas como: vías en exposición a condiciones exógenas desfavorables y bajas condiciones de transitabilidad, las cuales provocan diversos efectos directos entre los cuales se tiene: escasa actividad económica, aumento de los costos de transporte y tiempos de viaje; y efectos indirectos como: limitado acceso del flujo vehicular y disminución del nivel de las actividades de la población.

Por lo que se hace necesario monitorear la transitabilidad, lo cual se puede hacer midiendo la rugosidad de la vía por el método del Bump Integrator, ya que responde a un mejor rendimiento de evaluación en comparación con otros métodos.

Se debe ofrecer a los usuarios una óptima serviciabilidad y seguridad vial, y evitar al máximo posible la pérdida de valor de la infraestructura vial, incidiendo fundamentalmente en la protección de su condición superficial, estructural, funcional, y de los factores de seguridad, procurando evitar la destrucción de sus partes y la necesidad de una posterior rehabilitación o reconstrucción, además permitirá una mayor integración espacial y socioeconómica de las poblaciones que une la vía, la cual pretende convertirse en una futura ruta alterna de la Carretera Central.

LISTA DE CUADROS

Cuadro N° 1.01: Datos de población por distritos.....	14
Cuadro N° 1.02: Zonas de vida.....	15
Cuadro N° 3.01: Estado superficial en función del IRI.....	24
Cuadro N° 3.02: Requerimientos de las secciones de calibración.....	38
Cuadro N° 4.01: Tratamiento superficial Km. 114+000 - Km. 116+000.....	42
Cuadro N° 4.02: Ubicación de gibas Km. 114+000 - Km. 116+000.....	43
Cuadro N° 4.03: Secciones de calibración Km. 114+000 - Km. 116+000.....	46
Cuadro N° 4.04: Datos BI tomados en el campo.....	47
Cuadro N° 4.05: Registro de IRI obtenidos con el equipo MERLIN.....	47
Cuadro N° 4.06: Registro BI obtenidos con el equipo Bump Integrator.....	48
Cuadro N° 4.07: Ecuaciones de correlación lado derecho.....	49
Cuadro N° 4.08: Valores IRI obtenidos con el Equipo BI – lado derecho.....	50
Cuadro N° 4.09: Ecuaciones de correlación lado izquierdo.....	51
Cuadro N° 4.10: Valores IRI obtenidos con el equipo BI – lado izquierdo.....	52
Cuadro N° 5.01: Datos BI e IRI sectorizados – lado derecho.....	57
Cuadro N° 5.02: Datos BI e IRI sectorizados – lado izquierdo.....	57
Cuadro N° 5.03: Valores de IRI sectorizados.....	57
Cuadro N° 5.04: Condición de la superficie del pavimento.....	58

LISTA DE FIGURAS

FIGURA N° 1.01: Mapa de ubicación de la Ruta 22.....	11
FIGURA N° 1.02: Plano clave – Ruta 22.....	12
FIGURA N° 2.01: Recorte periodístico de la Industria Ford.....	17
FIGURA N° 2.02: Sistema tipo respuesta.....	18
FIGURA N° 2.03: Sistema tipo respuesta Bump Integrator “Quinta Rueda”.....	19
FIGURA N° 2.04: STRRMS Bump Integrator (modelo matemático).....	21
FIGURA N° 2.05: Sistema tipo respuesta Bump Integrator.....	22
FIGURA N° 3.01: Ejemplos de gráficas IRI – valores STRMRV.....	33
FIGURA N° 4.01: REBITU.....	40
FIGURA N° 4.02: Conexión del rugosímetro electrónico.....	41
FIGURA N° 4.03: Instalación del instrumento.....	41
FIGURA N° 4.04: Km. 114+000 con tratamiento superficial monocapa.....	42
FIGURA N° 4.05: Km. 114+900 con tratamiento superficial monocapa.....	43
FIGURA N° 4.06: Giba de concreto Km. 114+750.....	44
FIGURA N° 4.07: Badén de concreto Km. 114+240.....	44
FIGURA N° 4.08: Cuneta sin revestimiento.....	45
FIGURA N° 4.09: Gráfica lado derecho BI Vs. IRI (MERLIN).....	48
FIGURA N° 4.10: Gráfica lado izquierdo BI Vs. IRI (MERLIN).....	48
FIGURA N° 4.11: Gráfica lado derecho - ecuaciones de correlación.....	49
FIGURA N° 4.12: Gráfica lado izquierdo - ecuaciones de correlación.....	51
FIGURA N° 5.01: Gráfica BI elaborados con datos de campo.....	54
FIGURA N° 5.02: Gráfica valores IRI por kilometro.....	56

LISTA DE SÍMBOLOS Y SIGLAS

AASHTO	American Association of State Highway and Transportation Officials.
ASTM	American Society for Testing and Materials.
IRI	International Roughness Index (Índice de Rugosidad Internacional).
STRMRV	Sistema Tipo Respuesta de Medición de la Rugosidad de Vías.
BI	Bump Integrator.
QCS	Cuartel Car. System (Sistema del Cuarto Carro).
MTC	Ministerio de Transportes y Comunicaciones.
MDOT	Michigan Department of Transportation (Departamento de Transporte del Estado de Michigan).
PCI	Pavement Condition Index (Índice de Condición del Pavimento).
IRRE	International Roughness Road Experiment (Experimento Internacional de Rugosidad de Vías).

INTRODUCCIÓN

En la actualidad en Latinoamérica y en el Perú a través del MTC y de Provías Nacional, se emplea el Bump Integrator como Método de Evaluación, para establecer la serviciabilidad y la vida remanente de las estructuras en servicio, para controlar la calidad y aceptación de las carreteras nuevas y para el seguimiento y elaboración de estrategias de mantenimiento de la red vial.

En el presente informe “Evaluación de la Rugosidad con el equipo Bump Integrator”, tiene como objetivo general obtener mediciones de rugosidad de la superficie de la vía y proponer la metodología empleada como guía para ser extendida en una futura norma en carreteras de bajo volumen de tráfico con tratamientos superficiales como pavimentos básicos.

Así también efectuar el procesamiento de la información, obtener el Índice de Rugosidad Internacional (IRI), conocer las ventajas y desventajas del empleo del equipo Bump Integrator en la medición de la rugosidad y realizar el análisis del efecto de la solución básica en la serviciabilidad de la vía en estudio a través de la rugosidad serán los objetivos específicos al cual se abocará el presente informe.

Por otro lado, cada capítulo muestra los requerimientos mínimos para la evaluación de la rugosidad en vías de bajo volumen de tránsito, lo cual está basado en experiencias e investigaciones desarrolladas en todo el mundo con el propósito de comprender el empleo del sistema tipo respuesta Bump Integrator en la medición de la rugosidad.

El primer capítulo destaca el perfil del proyecto de la Carretera Cañete-Huancayo, los antecedentes e historia de la misma, así como sus características ingenieriles más notables y la información del estado actual del tramo en estudio.

El segundo capítulo se desarrolla el “Estado del Arte” del método que se aplica en la evaluación de la rugosidad, en éste caso el Sistema Tipo Respuesta de Medición de la Rugosidad en Vías (STRMRV) “Bump Integrator”, desde sus inicios y la evolución de éste en el tiempo.

El tercer capítulo trata de los conceptos de evaluación superficial y su importancia actual en la gestión vial, así como también de la metodología de evaluación con el equipo Bump Integrator y sus diferentes variables de desempeño a considerar en estas evaluaciones.

En el cuarto capítulo se analiza la aplicación de la metodología escogida, la cual se desarrolla sobre el tramo de estudio, así también se describe la obtención de los datos de campo, el procesamiento de los mismos en base a la curva de calibración, siendo ésta última seleccionada de acuerdo a la mejor correlación obtenida entre los datos de unidades BI y los valores IRI obtenidos con el equipo MERLIN.

El quinto capítulo examina los valores IRI obtenidos con el equipo Bump Integrator para el análisis pertinente de los mismos y de los factores que intervienen en su obtención, los cuales permitirán conocer el estado actual del tratamiento superficial.

CAPÍTULO I: PERFIL DEL PROYECTO

1.1 Antecedentes

La carretera Cañete-Yauyos-Chupaca con una ubicación geográfica entre los departamentos de Lima-Junín, fue construida por tramos, iniciándose durante el gobierno del Sr. Augusto B. Leguía en el año 1920 hasta el año 1930, continuándose luego con su construcción durante el gobierno de Manuel Prado Ugarteche entre los años 1940 y 1944. Quedando postergado todo trabajo del tramo Yauyos – Chupaca hasta su construcción en el año 1954 por el gobierno central a través del Ministerio de Fomento en el tramo faltante entre Yauyos – Tomas, la cual estuvo a cargo del Ing. Max Atuncar, culminándose los trabajos en 1957.

Durante mucho tiempo ésta vía no desarrolló trabajos de mantenimiento ni rehabilitación, presentándose en consecuencia problemas de transitabilidad y funcionalidad.

En respuesta a este problema en el año 1998 se desarrolló el “Estudio de Ingeniería e Impacto Ambiental”, el cual fue elaborado por el Consultor AYESA – ALPHA CONSULT contratado por PROMCEPRI (Comisión de Promoción de Concesiones Privadas).

En el año 2003, el Proyecto Especial Rehabilitación de Transportes (PERT) del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC) bajo la dirección de PROVIAS NACIONAL encargó la elaboración del Estudio de Preinversión a Nivel de Perfil de la Carretera Ruta 22, Tramo: Lunahuaná – Yauyos – Chupaca al consultor Ing. Floriano Palacios León con contrato de estudio N° 0412-2003-MTC/20 del 28.11.2003 obteniéndose la aprobación el 22.11.2004. Posteriormente con oficio N° 1411-2004-EF/68.01 se autoriza la elaboración del Estudio de Factibilidad del Proyecto Rehabilitación y Mejoramiento de la Carretera a cargo del Consultor AYESA – ALPHA CONSULT en el año 2005.

“Proyecto Perú” un programa bajo responsabilidad de PROVIAS NACIONAL creado mediante Resolución Ministerial N° 223-2007-MTC-02, modificado por Resolución Ministerial N° 408-2007-MTC, el cual es un programa de infraestructura vial diseñado para mejorar las vías de integración de corredores económicos, conformando ejes de desarrollo sostenido con el fin de elevar el nivel de competitividad de las zonas rurales en la Red Vial Nacional Departamental y Vecinal inserta a esta como vía piloto. Éste programa aspira establecer un sistema de contratación de las actividades de conservación de la infraestructura vial, mediante contratos en los que las prestaciones se controlen por niveles de servicio y por plazos iguales o superiores a tres (03) años.

Con fecha 27 de Diciembre de 2007 se realiza la firma del contrato N° 288-2007-MTC/20, donde el CONSORCIO GESTION DE CARRETERAS, asume las obligaciones de Contratista Conservador para realizar el Servicio de Conservación Vial por Niveles de Servicio de la Carretera Cañete – Yauyos – Chupaca.

Debido a que la actual capacidad vehicular de la carretera central está colapsada, esta carretera se proyecta como ruta alterna, con lo que se aligerará el tránsito vehicular y disminuirá el tiempo de viaje entre Lima (Cañete) y Huancayo, además de establecer la integración entre las localidades que atraviesa la carretera tales como la localidad de San Vicente de Cañete, Capillucas, Calachota, Magdalena, Tinco Huantan, Llapay, Alis, Tomas, Tinco Yauricocha, San José de Quero, Chachicocha, Collpa, Roncha y Chupaca.

La propuesta del Contratista consistió en un cambio de estándar de afirmado a una solución básica; a nivel de Tratamiento Superficial la que actualmente se ha ejecutado como Slurry en el tramo Km. 54+662 - Km. 83+345 y monocapa Km. 83+345 - Km. 139+000.

1.2 Ubicación

Políticamente la cuenca del río Cañete forma parte de las provincias de Cañete y Yauyos, pertenecientes ambas al departamento de Lima. Geográficamente, se encuentra entre los paralelos 11°58'00” y 13°09'00” de latitud Sur y los

Meridianos 75°31'00" y 76°31'00" de Longitud Oeste. La cuenca del río Cañete tiene una extensión aproximada de 6,192 Km².

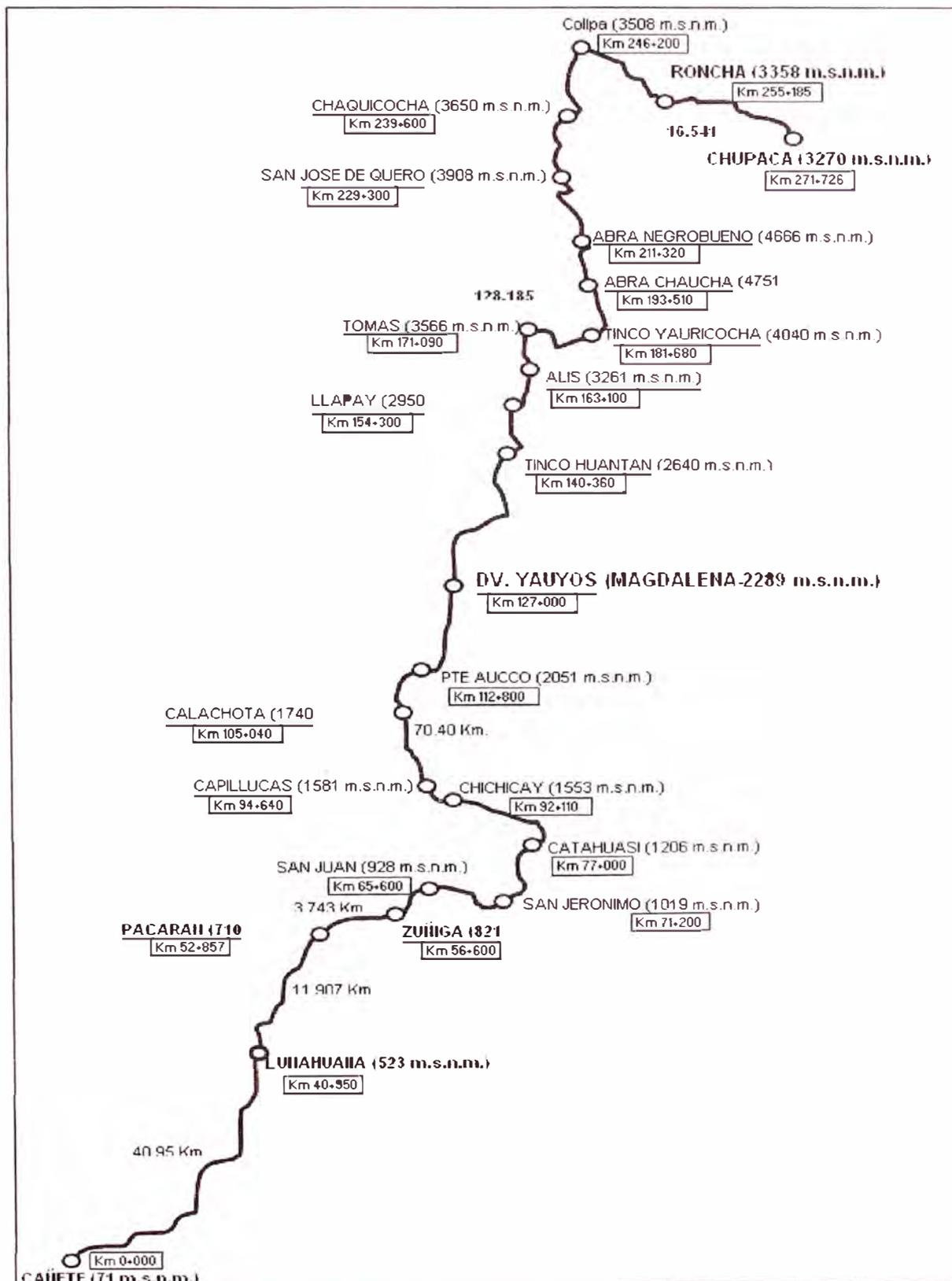
La Carretera Cañete-Yauyos-Chupaca se encuentra ubicada en la región central del país, abarcando los departamentos de Lima y Junín, tiene una longitud de 271.726 Km. considerado el inicio en el Km. 1+805 y el término en el Km. 273+531. Pasa por las principales zonas pobladas como: Lunahuaná (Km. 42+750), Pacarán (Km. 51+500) , Zúñiga (Km. 58+500), San Juan (Km. 67+000), San Jerónimo (Km. 72+500), Catahuasi (Km. 78+100), Canchán (Km. 82+580), Capilluca (Km. 94+600), Calachota (Km. 104+920), Auco (Km. 112+500), Magdalena (Km. 125+690), Huantán (Km. 139+200), Llapay (Km. 152+880), Alis (Km. 161+200), Tomas (Km. 169+200), Planta Lechera (Km. 179+850), Capillayoc (Km. 193+400), San José de Quero (Km. 219+500), Chaquicocha (Km. 225+000), Chupaca (Km. 250+500), Pilcomayo (Km. 258+000).

FIGURA N° 1.01: Mapa de ubicación de la Ruta 22



Fuente: Oficina general de de planeamiento y presupuesto Ministerio de Transportes y Comunicaciones

FIGURA N° 1.02: Plano clave – Ruta 22



Fuente: Estudio de Ingeniería e Impacto Ambiental - AYESA – ALPHA CONSULT

1.3 Características de la Carretera

Geología

Esta zona está delimitada por las estribaciones andinas y el borde del altiplano, muestra una topografía abrupta con pendientes que llegan hasta los 60° en su mayoría, también se encuentra intensamente disectada por el río Cañete y sus tributarios que descienden del altiplano a la Costa, en general con tendencia. Este a Oeste y que han labrado un valle profundo y encañonado que se hace más amplio a medida que se aproxima a la Costa, destacándose la etapa cañón y la etapa valle en forma de “V” en los flancos, modificado por la acción de las quebradas secundarias.

Recursos Hídricos

La carretera forma parte de la Cuenca del Río Cañete, sus recursos hídricos provienen de los aportes de las lluvias así como los derivados de lagunas y deshielo de los nevados ubicados estos principalmente en el extremo norte de la Cuenca y sobre los 4500 msnm Desde donde inicia un sinuoso recorrido en dirección sur hasta la comunidad de Catahuasi, donde cambia a una dirección este-oeste, para descender a las estribaciones andinas de Zuñiga, Pucará y Lunahuaná, en donde su valle se empieza a ampliar y dar lugar a cultivos de algodón, vid y pan llevar. Su recorrido es uno de los más largos del departamento ya que alcanza los 210 Km. Esta característica, además de las numerosas lagunas y cursos de agua que alimentan su recorrido es uno de los ríos de régimen estable a lo largo del año.

El tramo comprendido entre Cañete (38 msnm.) y Catahuasi (1170 msnm) donde las precipitaciones promedio anuales son escasas variando de 10 mm. en Cañete a 29 mm. en Catahuasi.

Obras de Arte

La carretera pasa por 21 puentes siendo los principales: puente sobre la quebrada (Km. 49+150), puente Pacarán (Km. 54+390), puente sobre la

quebrada del Km. 62+000, puente San Gerónimo (Km. 72+340), puente Huallanpi (Km. 77+200), puente Catahuasi (Km. 78+050), puente Calachota (Km. 105+000), puente Huantán (Km. 139+820), puente Tinco – Alis (Km. 157+500 aprox.), puente Cunas (Km. 255+420) y varios pontones a lo largo de todo el tramo.

A lo largo de la misma se observa obras de cruce como alcantarillas TMC de 24" y cunetas sin revestimiento (tierra) y concreto en los primeros kilómetros.

Población de Zonas Aledañas

La población urbana y rural de los distritos de Cañete hasta Chupaca según los datos pronosticados del censo del INEI del 2007, es de 54,698 habitantes.

Cuadro N° 1.01: Datos de población por distritos

Provincia	Distritos	Población (Hab.)
Cañete	Lunahuaná	4,428
	Pacarán	1,673
	Zúñiga	1,132
Yauyos	Catahuasi	1,079
	Chocos	1,074
	Cacra	541
	Yauyos	2,652
	Colonia	1,439
	Huantan	923
	Laraos	733
	Alis	1,423
	Tomas	814
	Chupaca	Chupaca
Ahuac		6,546
Huachac		3,728
San Juan de Yscos		2,332
Yanacancha		3,265

Fuente: INEI - CENSO 2007

Suelos

La cuenca baja del río Cañete presenta en la parte más baja suelos de textura variable, entre ligeros a finos, con cementaciones salinas, cálcicas o yeso y con incipiente horizonte A superficial con menos de 1% de materia orgánica. Actualmente prospera la actividad agrícola en el valle aluvial irrigado (frutales).

Ecología

Según el Mapa Ecológico de la Reserva Paisajística en Cochas se ha identificado diez zonas de vida que se distribuyen a lo largo de la carretera entre Cañete-Yauyos- Chupaca, estos son:

Cuadro N° 1.02: Zonas de vida

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

Fuente: Estudio de Ingeniería e Impacto Ambiental - AYESA – ALPHA CONSULT

El uso actual de estos suelos es agrícola produciendo frutales como mangos, pacaes, uvas, plátanos y algunas leguminosas y hortalizas.

En cuanto a la producción pecuaria, ella también es variable y en algunos casos dados se da lugar a actividades conexas de pequeñas industrias y comercialización; como sucede con la fabricación de quesos, venta de leche, carne, etc.

1.4 Tramo en estudio Km. 114+000 – 116+000

El estudio abarca un tramo de 2 kilómetros de la carretera Cañete-Yauyos-Chupaca (Km. 114+000 – Km. 116+000) ubicado entre los distritos de Capillucas y Calachota, provincia Cañete, región Lima, la cual se desarrolla en la margen izquierda del Río Cañete, siguiendo un corte a media ladera sobre una topografía del tipo accidentada, con una altitud promedio de 1800 msnm. y una temperatura

mínima de 17° C, una máxima de 27° C, siendo el periodo de lluvias entre los meses de Diciembre a Marzo

Con un ancho de plataforma variable entre 2.80 m a 6.00 m, cuyas pendientes varían de 3% a 6%, la velocidad máxima permisible en el tramo es de 25 y 30 km/hora, las señales verticales de control son insuficientes así como los postes delineadores y guardavías ya que existe riesgo por las curvas y anchos de vía reducidos.

En la actualidad éste tramo se encuentra con tratamiento superficial monocapa (TSM) entre los tramos Km. 114+000 y Km. 116+000.

El pavimento cuenta con un CBR de diseño de 20 en promedio y 8.4E+04 (EAL 2009-2013) Ejes Equivalentes Proyectados

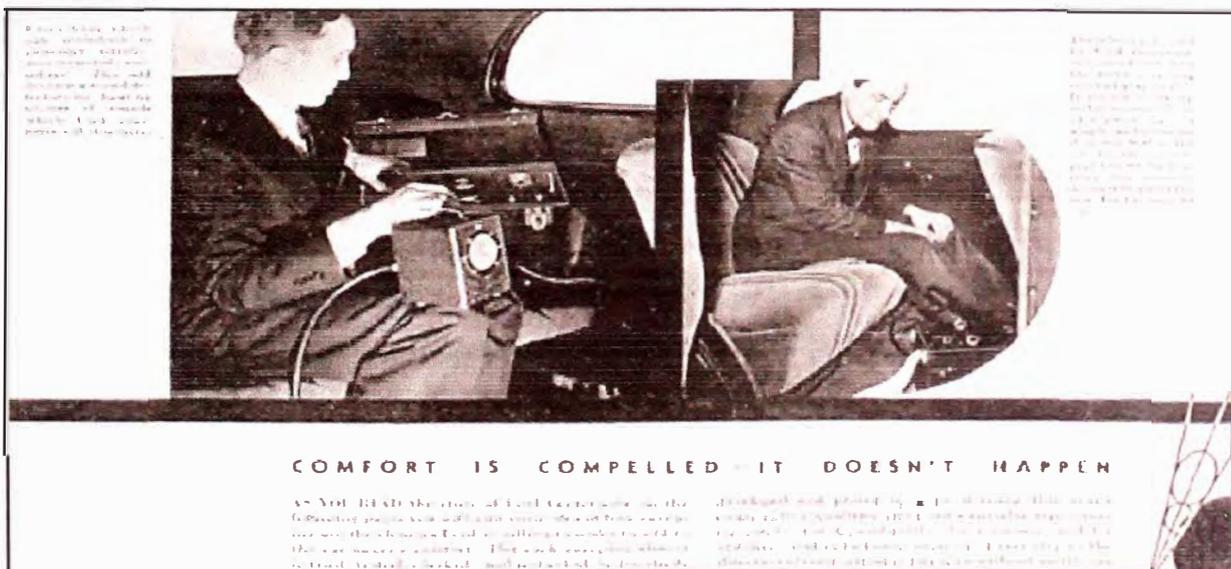
Las obras de drenaje que se observó: cunetas sin revestimiento y badén de 8 m.

Adyacente a la vía encontramos; quebradas con materiales aluvional y roca y el río Cañete donde se aprecia terrenos de cultivo, que en su mayoría tienen un riego tradicional por inundación y no tecnificado, así también la crianza de ganado vacuno.

CAPÍTULO II: ESTADO DEL ARTE

Los modelos matemáticos de vehículos tipo respuesta están siendo usados desde la década de 1920 donde los ingenieros de caminos instalaron estos accesorios en autos para registrar los movimientos de suspensión como medidas de la rugosidad, estos fueron llamados metros de vía y tuvieron diversos nombres genéricos, incluyendo el sistema de medición tipo respuesta (**STRMRV**) y sistema de metro de vía, en estos sistemas el vehículo utilizado fue una van, un auto, una camioneta ligera o un trailer especial, siendo un metro de vía la transformada de los movimientos acumulados de suspensión, algunas de las marcas mas populares que desarrollaron estos vehículos fueron Mays Ride Meter, PCA Meter, COX Meter y varios modelos hechos en casa.

FIGURA N° 2.01: Recorte periodístico de la Industria Ford

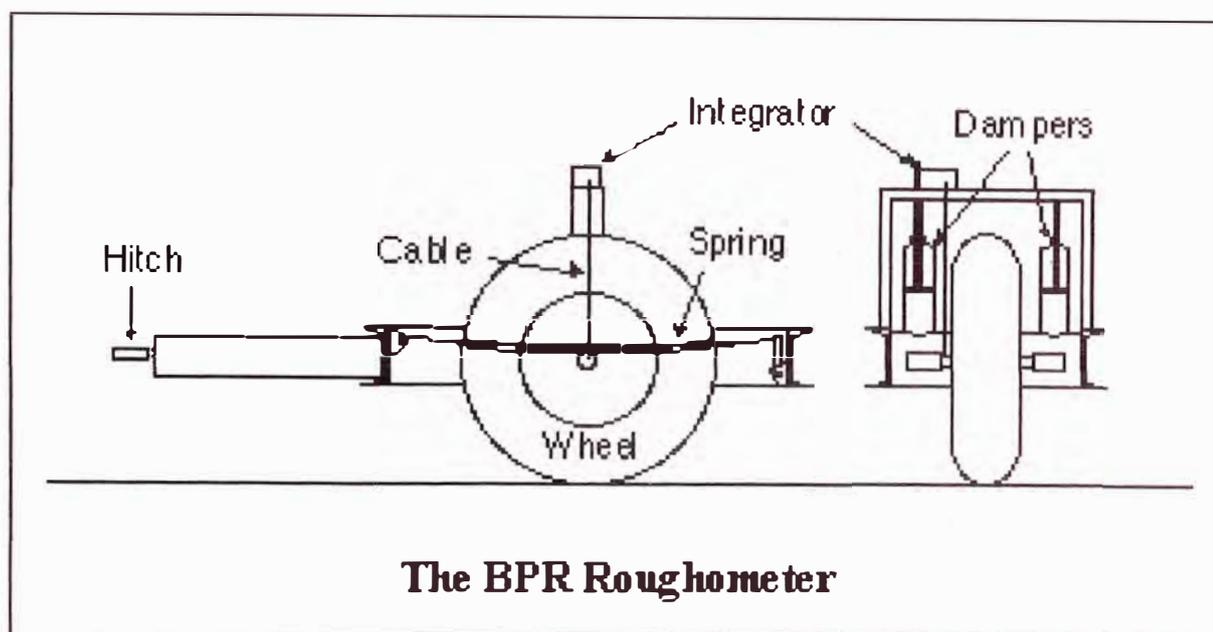


Fuente: Publicidad de Ford 1935.

Así también a inicios de 1940, ingenieros a cargo del diseño y/o evaluación de aeropuertos y vehículos militares en el afán de obtener un perfil con métodos convencionales de superficie y convertirlos estos dentro de una forma compatible con los métodos computacionales de ese entonces (análogos computarizados) estuvieron muy lejos en considerar el uso de la simulación vehicular en la evaluación de la rugosidad de vías, pero dadas las consecuencias terribles en

fallas de aeronaves mientras atravesaban las pistas de aterrizaje o de un vehículo militar mientras atravesaba un terreno rugoso justificó la aplicación de estas.

FIGURA N° 2.02: Sistema tipo respuesta



Fuente: Boletín N° 45 Banco Mundial

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

En ese entonces, el más conocido sistema de medida de rugosidad fue el BPR rugosímetro STRMRV. A finales de 1960, ambos MDOT y K.J. Law desarrollan el "equivalente" electrónico del BPR rugosímetro, el cual emplea una simulación de vehículo usando una computadora análoga. Ya que el BPR rugosímetro tiene sólo una llanta, éste vehículo de simulación fue llamado un BPR rugosímetro de simulación de un cuarto carro (BPR/QCS). El BPR/QCSs usado por MDOT y K.J. Law tiene ecuaciones idénticas en su forma a un modelo matemático de texto de

estudio usado para caracterizar varios sistemas dinámicos siendo esta la primera aplicación de éste modelo para cuantificar la rugosidad de la vía.

FIGURA N° 2.03: Sistema tipo respuesta Bump Integrator “Quinta Rueda”



Fuente: Instituto de Investigación de la Facultad de Ingeniería Civil - UNI

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

Uno de los tipo GMR perfilómetros con un BPR/QCS fue basado para el QI escala usado en el PICR Project, sin embargo, debido a un número de factores, la pieza nunca actualmente midió el perfil durante un proyecto con la precisión normalmente asociada con el instrumento. La escala QI es por lo tanto no equivalente a las características públicas de el BPR/QCS.

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

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

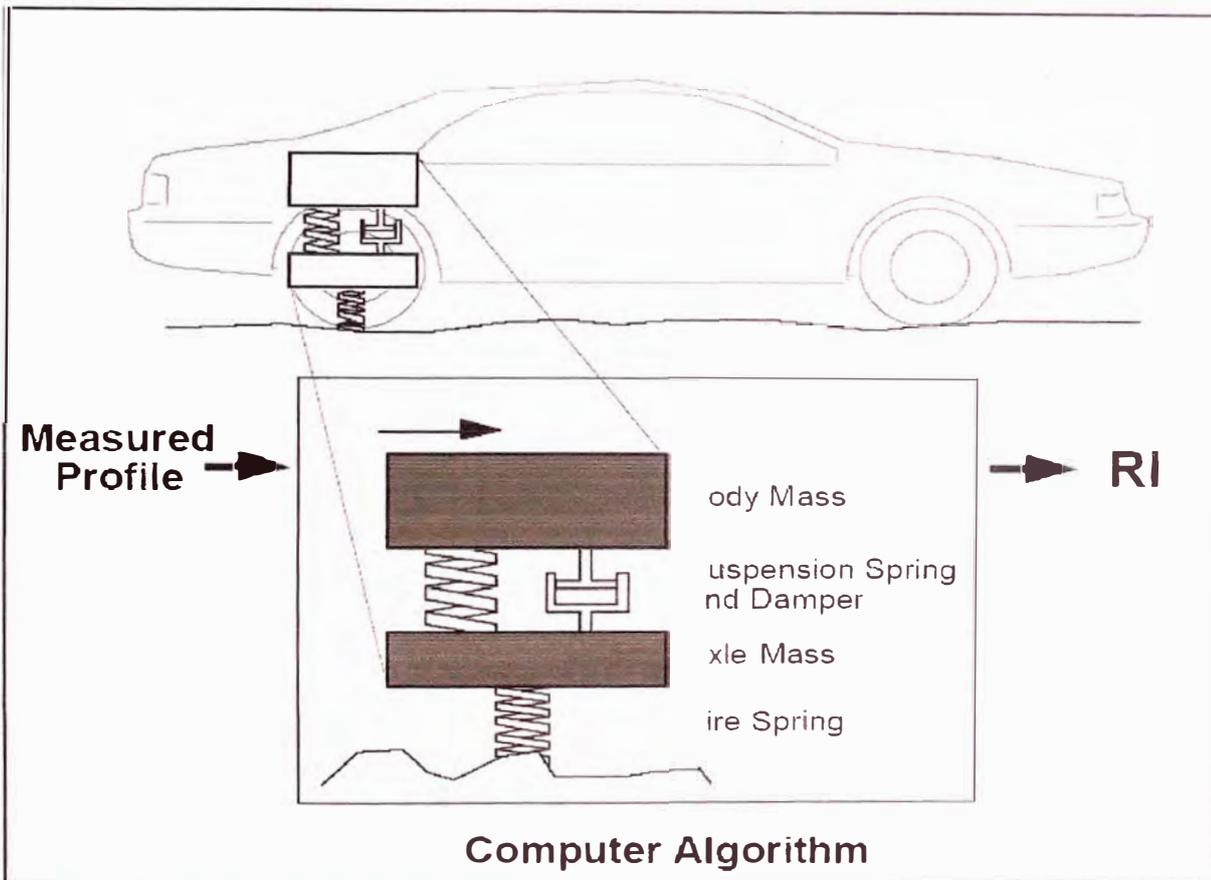
La investigación incluyó extensos muestreos del STRMRV en un laboratorio ambientado, a lo largo con un análisis teórico formal de conceptos e instrumentos STRMRV. Esto convertido aparentemente en una fuente principal de problemas cargados en el hecho que el instrumento fue inventado sin un claro concepto de que es “rugosidad” o como esto puede ser medido. En su lugar, rugosidad fue definida como: “cualquiera que el STRMRV mide” desde el requerimiento de calibración comparando la medida de el instrumento siendo calibrado para valores “verdaderos” de las variables medidas. Esto fue necesario para definir matemáticamente, un aspecto medido del verdadero perfil longitudinal que puede servir como una referencia de calibración.

La referencia que fue seleccionada es el QCS, con el nuevo modelo de parámetros escogidos para ofrecer la máxima correlación con el existente STRMRV. En adición a un nuevo conjunto de parámetros, el QCS fue ascendido para la simulación de medio-carro, debido a todo cercano de el STRMRV usado en los Estados Unidos son basados en dos-camiones vehículos (carro de pasajeros y dos-coches vagones). Sobre el camino de la llanta, pequeños golpes fueron fundados para obtener la influencia crítica cuando el QCS fue usado para similares velocidades bajas. En consecuencia, la llanta envuelta fue adherida para el modelo cuando la simulación de velocidad-baja fue desarrollada. El RQCS describió en este reporte es cercanamente idéntico a la referencia NCHRP. Diferenciándolo solo en el parámetro de rueda envuelta, el cual fue cambiado en consecuencia de 1 pie (300mm) a 250 mm. para simplificar los requerimientos de medición para método de vara y nivel.

El reporte 228 NCHRP recomienda una rugosidad estadística llamada “referencia promedio rectificada de velocidad” (RARV) el cual es usado cuando comparan

medidas por STRMRV a más de una medida de velocidad. El otro estadista asociado con el RQCS es llamado “referencia promedio de talud rectificado” (RARS). Desde el RARS numérico obtenido con una simulación a velocidad de 80 km. / h (RARS 80) es seleccionado en éste reporte como la mejor elección para un índice de rugosidad, mucho de los resultados obtenidos con el RQCS son reportados como valores RARS.

FIGURA N° 2.04: STRRMS Bump Integrator (modelo matemático)



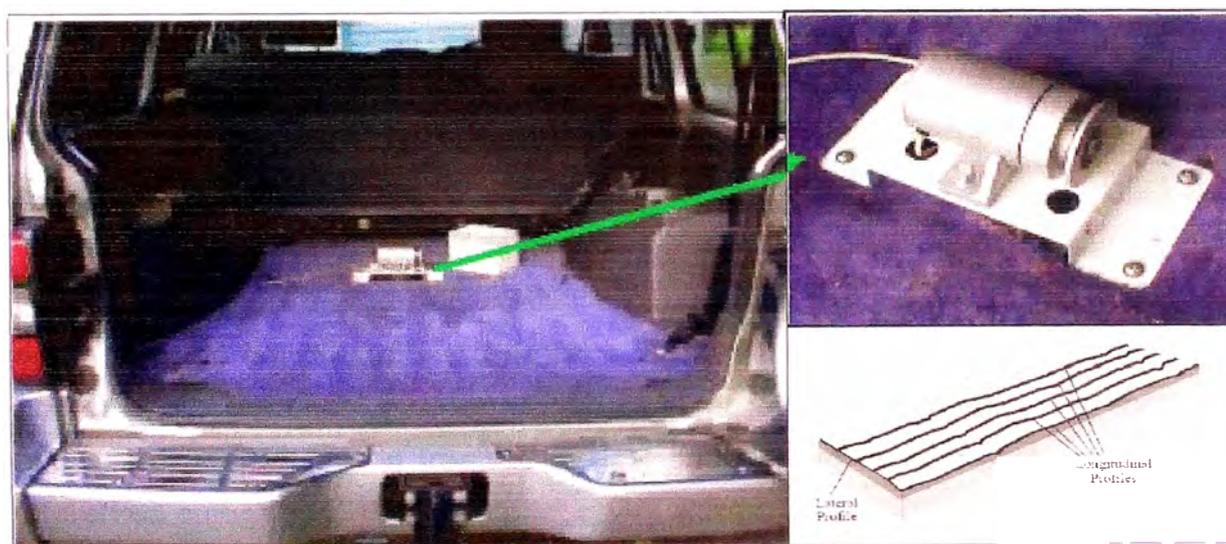
Fuente: El Pequeño Libro del Perfiles, Michel W. Sayer

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

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

Desde 1993 la ASTM publica el método estándar para medir la rugosidad de la superficie de acuerdo a la respuesta del vehículo (ASTM E 1082)

FIGURA N° 2.05: Sistema tipo respuesta Bump Integrator



Fuente: Instituto de Investigación de la Facultad de Ingeniería Civil - UNI

CAPÍTULO III: MARCO TEÓRICO

3.1 Evaluación Superficial

La evaluación de la superficie de rodadura se realiza tomando en cuenta diferentes índices como el de Serviciabilidad Presente (PSI), evaluado a partir de la rugosidad de la superficie del pavimento, empleando equipos como el MERLIN o el Bump Integrator. Actualmente el Instituto de Investigación y el Laboratorio de Mecánica de Suelos de la FIC – UNI, ha concluido un equipo sistematizado de toma datos para evaluar la rugosidad, el mismo que deberá calibrarse.

Por otro lado para conocer las condiciones que presenta la superficie de los pavimentos, se realiza los relevamientos de fallas, de los cuales el Índice de la Condición del Pavimento (PCI), permite una evaluación más completa ya que corresponde a un método cualitativo y cuantitativo, muy útil para los metrados y determinación del presupuesto de obra. Éste método frente a los recomendados por el MTC, permiten evaluar el concepto de vida remanente y rehabilitación, además de determinar la frecuencia de evaluación necesaria para carreteras de diferentes categorías, según su prioridad y tiempo de servicio.

Así también la superficie del pavimento está estrechamente relacionada con su tracción la cual refleja el agarre de la llanta al pavimento, éste último permitirá evaluar la condición de la vía frente al patinaje que pudiera sufrir el vehículo.

De lo descrito, la evaluación de la superficie de pavimentos presenta los siguientes aspectos:

- 1) Determinación de las fallas, severidad y extensión, utilizando el Índice de Condición del Pavimento
- 2) Serviciabilidad del pavimento, transitabilidad a través del Índice de Rugosidad Internacional y el Índice de Serviciabilidad del Pavimento.
- 3) Seguridad del pavimento, riesgos de patinaje.

Siendo el segundo punto desarrollado en uno de sus métodos a lo largo de éste informe.

De acuerdo a la AASHTO, la serviciabilidad es la capacidad de un pavimento que asegura una circulación suave, confortable y segura para el tráfico del cual ha sido diseñado, por ello su apreciación depende del usuario, de las características propias del vehículo, de la velocidad de operación y de la condición del pavimento.

El estado superficial o transitabilidad según los valores del Índice de Rugosidad Internacional (IRI) a nivel de la superficie de rodadura asfaltada, clasifican el estado de la superficie del pavimento de acuerdo al cuadro 3.01.

Cuadro N° 3.01: Estado Superficial en Función del IRI

IRI	ESTADO
< 3	Bueno
3 – 4	Regular
4 – 6	Malo
6 – 10	Pésimo

Fuente: Tesis de Maestría, Ing. José Wilfredo Gutierrez Lázares FIC - UNI

3.2 Rugosidad

La ASTM-E867, define la rugosidad como *“la desviación de la superficie del pavimento respecto de una superficie plana verdadera con las dimensiones características que afectan la dinámica del vehículo y calidad de recorrido”*

La rugosidad del pavimento es el parámetro que relaciona la magnitud y frecuencia de sus irregularidades superficiales, con la comodidad de transitar sobre él. No tiene relación con la textura, apariencia o acabado superficial de la capa de rodadura sino más bien 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.

Los métodos para medir la rugosidad pueden ser agrupados en cuatro clases genéricas, basados en como directamente las medidas están relacionadas al IRI, el cual es el efecto de los requerimientos de calibración y la precisión asociada con ellos.

Métodos Clase 1.- Involucran el uso de perfilómetros de precisión, representa los altos estándares de precisión, se realizan medidas muy exactas del perfil longitudinal a distancias no mayores a 25 cm.

Métodos Clase 2.- Ésta clase incluye todos los otros métodos perfilométricos, en los cuales el perfil es medido como la base para el cómputo directo del IRI, pero el cual no es capaz de alcanzar la precisión requerida en la clase 1.

Métodos Clase 3.- Estos métodos involucran ecuaciones de correlación para convertir data de campo a unidades internacionales de medición de rugosidad. Usualmente emplean rugosímetros dinámicos. La precisión depende de la calibración.

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

ÍNDICE DE RUGOSIDAD INTERNACIONAL (IRI)

El Índice de Rugosidad Internacional (IRI) es una medida de referencia de la forma de la superficie de la vía cuya denominación resulta del Estudio Cooperativo Internacional de Rugosidad de Vías (IRRE) a través del Banco Mundial desarrollado en Brasil en 1982 con la cooperación de Francia, Estados Unidos, Bélgica y Australia. El cual toma como referencia el reporte 228 (NCHRP).

El IRI es una medida del impacto del perfil de la vía en la llanta y la respuesta dinámica de un movimiento del vehículo. Esto es definido por un proceso matemático del perfil longitudinal absoluto de las elevaciones de la superficie de la vía en la huella de la llanta, simultáneamente el movimiento de la llanta viajando a

80 Km./h. El IRI es expresado en unidades de m/Km., representando el desplazamiento promedio por unidad de distancia.

El IRI puede ser determinado de diversas formas, a continuación se detallan tres de las formas más conocidas:

1. Directamente de la medida longitudinal del perfil por un proceso estándar matemático de datos de elevaciones.
2. Indirectamente por la respuesta al desplazamiento de un perfilómetro (STRMRV) calibrado con el IRI de un método más preciso.
3. Indirectamente por una estimación subjetiva en un tipo el cual es considerado para proveer suficiente exactitud por distinguirse 05 diferentes clases para la condición de superficie de vía.

3.3 Método de Evaluación de la Rugosidad con Equipo Bump Integrator

Un método para obtener la rugosidad de la superficie de las vías con un instrumento tipo respuesta es el Bump Integrator; el cual va montado en un vehículo, en nuestro país éste método es ampliamente utilizado.

El Sistema Tipo Respuesta de Medición de la Rugosidad de Vías (con sus siglas en inglés RTRRMS) registra los desplazamientos acumulativos del eje posterior del vehículo, inducido por la irregularidad del camino. El sistema está constituido por: un vehículo con un eje posterior transversal sólido instalado con el equipo Bump Integrator, capaz de registrar el movimiento del eje posterior mientras se desplaza por la carretera; así como de un contador que registra estos desplazamientos en unidades de medida BI (Bump Integrator).

Éste instrumento registra la dislocación del chasis del vehículo con respecto al eje trasero en una distancia determinada, expresada por lo general en términos de cantidades BI /Km.

Puesto que cada vehículo responde de modo diferente a la rugosidad debido a su propio sistema de suspensión y como es conocido éste cambia en un cierto plazo por el desgaste, es necesario calibrar el vehículo contra una medida estándar de rugosidad.

Así también, es necesario seguir ciertos principios para desarrollar las pruebas y así asegurarse de que los resultados sean válidos.

Un instrumento bien calibrado que funciona correctamente dará datos exactos y reproductivos a un costo muy bajo. Sin embargo, un instrumento mal calibrado dará no solamente datos cuestionables, sino puede conducir a decisiones incorrectas.

Por ahora, mucha de la data de rugosidad que es recolectada a través del mundo es obtenida con el Sistema Tipo Respuesta de Medición de Rugosidad de Vías. El STRMRV por sus siglas en ingles, es adecuado para la rápida y económica recolección de data de rugosidad en vías, cubriendo de 200 a 300 Km. por día en superficies continuas.

3.3.1 Variables de Desempeño

Para que el rendimiento obtenido de un STRMRV sea consistente, las propiedades mecánicas del vehículo y el Instrumento deben mantenerse constante a través de un buen mantenimiento y practica operacional. Variaciones en el vehículo causarán variaciones en la rugosidad medida. En la selección y mantenimiento del vehículo para su uso en un STRMRV, el profesional debe ser consciente de las muchas variables que afectan el desempeño.

Selección de un Sistema de Medición de Rugosidad Tipo Respuesta

Un sistema tipo respuesta consta de tres componentes: un vehículo, un transductor que detecta el movimiento relativo de la suspensión y un visualizador que está conectado eléctricamente al transductor.

El transductor y el visualizador juntos son llamados instrumento, la medida obtenida de un instrumento es actualmente la respuesta del vehículo a la superficie de la vía con la que ésta es manejada a una misma velocidad. Dado que la medida es el resultado del instrumento, el procedimiento de operación y el vehículo son variables que afectan esta respuesta.

El Instrumento

Los instrumentos son conocidos con varios nombres como : metros viajados, Mays Meters (Compañía Rainhart, Estados Unidos), Bump Integrator (TRRL Reino Unido), NAASRA Meters (ARRB, Australia), Cox Meters (Compañía James Cox, Estados Unidos), PCA Meters y otros, sin embargo, varios de estos vienen con instrucciones incompatibles y muchos son funcionalmente equivalentes cuando operan dentro de su rango de diseño.

Un instrumento provee un número de desplazamientos por prueba, a cada desplazamiento le corresponde una cantidad certera de movimiento de suspensión. Por acumulación de desplazamientos (una tarea que puede o no ser desarrollado por el instrumento), un número es obtenido que es proporcional a la suspensión acumulada total que ocurre durante la prueba, cuando se divide por la longitud de la sección de prueba, el resultado es un ratio con unidades de pendiente que es llamado rectificación de pendiente promedio (ARS por sus siglas en ingles).

Cuando se selecciona el instrumento, se considerará su robustez, simplicidad de uso y rango de medición de rugosidad en adición al costo y disponibilidad. Aunque muchos son funcionalmente equivalentes dentro de sus rangos de operación, no todos los instrumentos pueden ser aceptables bajo específicos términos de referencia debido al desfasado diseño de algunos sistemas, también, notar que muchos instrumentos son diseñados para la evaluación de vías pavimentadas nuevas y muchos no están dispuestos a enfrentar medios con altos niveles de rugosidad. En general, componentes electromecánicos (contador mecánico, motores de paso a paso) pueden ser evitados debido a que estos son incapaces de mantener altos ratios de golpe de suspensión del vehículo que ocurre en vías rugosas, también su rendimiento puede depender del suministro de

voltaje, el cual puede variar durante su uso, de este modo adicionando los errores de mediciones. Algunos instrumentos, tal como el PCA Meters. Están siendo usados para calcular un “ponderado” de la suma de desplazamientos, muchos PCA meter, pueden ser usados para medir el ARS por simple acumulación de desplazamientos, sin embargo, algunos pueden ser conectados a fin de evitar todos los cargos de registro, si no todos los desplazamientos se registran entonces la linealidad y precisión relativa del STRMRV son degradadas resultando en una menor precisión.

Los únicos instrumentos diseñados que están siendo validados para el uso del rango total de rugosidad cubierta en el IRRE (Experimento Internacional de Rugosidad de Vías) son el Bump Integrator, el NAARSA, y el May Meter modificado.

El Vehículo

Tres tipos de vehículos pueden ser usados en conjunción con un instrumento para constituir un STRMRV.

1. Un automóvil de pasajeros o camioneta ligera con un eje posterior rígido, un vehículo con suspensión posterior independiente no puede ser utilizado debido a que los movimientos de rotación pueden ser percibidos como rugosidad. Un vehículo de tracción se recomienda debido a la masa del eje es mas compatible con el estándar, muelles helicoidales son preferibles a las hojas de ballesta, porque tienen menos fricción de Coulomb.
2. Un remolque de dos llantas, el remolque debe de tener un eje rígido, la configuración real del tracto del vehículo no es crítico, pero el tracto del mismo vehículo debe ser usado siempre entre calibraciones, ya que sus medidas influyen en la medida del ARS. Si se sustituye el tracto del vehículo el STRMRV debe de ser recalibrado.
3. Un remolque con una llanta, al igual que el remolque con dos llantas, la calibración es necesaria si se cambia el tracto del vehículo, el enganche debe de tener disposición en mantener el remolque en posición vertical durante su uso.

Instalación del Instrumento en el Vehículo

En un vehículo de dos huellas, el transductor del instrumento puede ser montado verticalmente (entre 5 grados de la verdadera verticalidad) entre el cuerpo y el centro del eje. Cuidados pueden ser tomados para asegurar que el transductor está localizado correctamente para prevenir que el instrumento registre contadores adicionales por frenado de vehículo y aceleración (todos los cuales pueden ser mantenidos a un mínimo durante la prueba).

Velocidad de Operación

La velocidad estándar de obtención del IRI es 80km/h. El IRI numérico está diseñado para que coincida con el funcionamiento normal de un STRMRV, cuando funciona a esta velocidad, por lo que la reproducibilidad asociada con un STRMRV es generalmente mejor cuando esta velocidad es alcanzada. La medida obtenida del ARS por un STRMRV son de velocidad dependiente, por lo que los operadores de los instrumentos deben apreciar la importancia de hacer toda medición a la misma velocidad, hay situaciones, sin embargo donde una menor velocidad es necesaria. Estos incluyen los siguientes casos:

1. Una velocidad de 80 km./h no es segura, por razones de tráfico, peatones, restricciones de geometría, etc.
2. El instrumento produce medidas erróneas a 80 km./h en carreteras más ásperas.
3. El proyecto cubrirá principalmente secciones de pruebas cortas y la repetición para secciones individuales tiene una alta prioridad. Las cortas secciones son compensadas por el mayor tiempo necesario para cubrir el sitio a una velocidad reducida.
4. El vehículo y/o parte del instrumento STRMRV son bastante frágiles para la operación continua a esa velocidad por lo que debe funcionar más lento si se quiere aplicar a todos estos.

La solución recomendada para los problemas relacionados con los mecanismos frágiles o incompatibles es sustituir el vehículo y/o instrumento con alguno que sea más resistente, si alguna de estas condiciones son inevitables para más que

unas pocas secciones entonces una velocidad menor estándar puede ser adoptada para todas las medidas del STRMRV (velocidades menores de 50 a 32 Km./h son recomendadas). La referencia de calibración es aún la misma que para velocidades de 80 Km./h con diferencia de que el STRMRV funciona a la velocidad seleccionada.

Errores de Repetición

Cuando se realizan mediciones repetidas con un instrumento, un acuerdo exacto no puede esperarse, porque el proceso de medición incluye los efectos aleatorios que varían de medición a medición. El nivel de repetición no siempre puede ser evidente, porque los instrumentos a menudo implican una cuantificación de la producción que enmascara los efectos de las variaciones pequeñas. En estos casos, la repetición se debe asumir que no es buena cuando el error alcanza la mitad del tamaño de cuantificación. Por ejemplo, un STRMRV que produce desplazamiento correspondiente a 3,0 mm deberá tener un error de repetición de al máximo de 1,5 mm.

Cuando se mide la rugosidad de la vía por la superficie del perfil longitudinal cuidadosamente, la precisión está limitada por:

1. Los instrumentos utilizados para medir el perfil.
2. La ubicación aleatoria de los puntos específicos a lo largo del ancho de vía donde se toman las medidas de elevación.
3. La selección de la parte aleatoria de la posición lateral de la huella de la llanta.

Los primeros dos errores se reducen mediante las especificaciones de mayor calidad del perfil (es decir, medidas de elevación más precisas y puntos de prueba más próximos entre sí). Cuando estas fuentes de errores son controladas, entonces la imprecisión asociada con la ubicación de la huella de la llanta se convierte en el factor más importante, que representa las variaciones de hasta un 5% cuando la longitud de la huella de llanta es de 320 m.

Al medir la rugosidad con un STRMRV, las repeticiones son afectadas por la variación parcialmente aleatoria en la posición lateral del STRMRV en la vía, y también por otros factores aleatorios tales como variaciones en la operación de la velocidad y cambios menores en la dinámica de los vehículos que ocurren en lapsos de tiempo corto, estas fuentes de variabilidad pueden ser mantenidas al mismo nivel que para la medición de perfiles directamente con la operación de cuidado.

Los errores de repeticiones son básicamente de naturaleza aleatoria y por lo tanto pueden ser controlados por la ampliación del proceso de medición a fin de cancelar los errores aleatorios con el promedio. Esto puede ser logrado simplemente usando secciones de suficiente longitud.

Una segunda forma de promedio se obtiene mediante mediciones repetidas en el mismo sitio de prueba, en este tipo, errores de repeticiones puede ser reducidos a secciones cortas que son de longitud suficiente para un promedio. En general el error de repeticiones es inversamente proporcional a la raíz cuadrada de la longitud total cubierta, donde la longitud total es la suma de las veces de longitud muestreada en el sitio, así el error esperado en un sitio de 1,6 Km. De longitud es el mismo para un sitio de 320 m. con 5 mediciones, como regla una longitud de 1.6 Km. o más se recomienda para minimizar el error de repeticiones de los instrumentos utilizados a altas velocidades.

3.3.2 Calibración de un Sistema de Medición de Rugosidad de Vías Tipo Respuesta

Debido a que el comportamiento de respuesta de un STRMRV particular es único y variable en el tiempo, el sistema debe calibrarse cuando sea inicialmente puesto en servicio y periódicamente durante su uso.

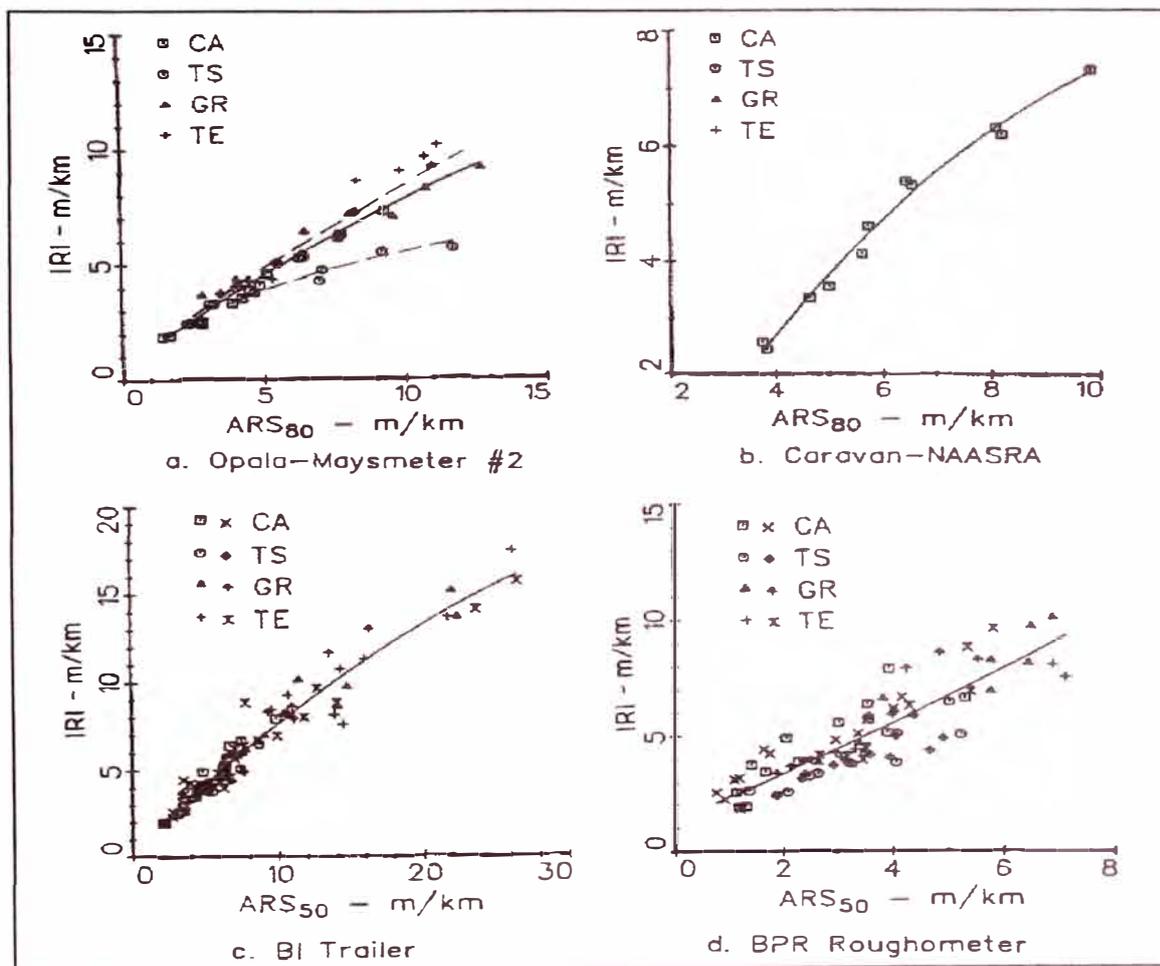
Método de Calibración

La calibración se realiza mediante la obtención de las medidas de rugosidad en las secciones de calibración (los desplazamientos/Km. u otro número similar producido como salida del instrumento). Estas son secciones de carretera que

tienen valores de rugosidad IRI conocido determinados con métodos clase 1 o 2 (mira y nivel o un perfilómetro como el MERLIN).

El STRMRV es ejecutado periódicamente sobre las secciones de calibración de 3 a 5 veces a la velocidad estándar (Secciones de calibración extensos pueden ser usados para reducir la necesidad de mediciones repetidas, como se describe en los errores por repeticiones) los valores de medición de campo ARS se grafican contra los valores IRI, con los valores del STRMRV en el eje X y los valores IRI en el eje Y, como se ilustra en 4 ejemplos de la Figura N° 3.01, una línea esta instalada en la data de puntos y se utiliza para estimar el IRI del STRMRV a partir de las mediciones tomadas en campo. La precisión de las medidas calibradas puede ser vista aproximadamente como la dispersión de los puntos sobre la línea de ajuste obtenida

FIGURA N° 3.01: Ejemplos de gráficas IRI – valores STRMRV



Fuente: Directrices para la Medición y Calibración de Medidas de Rugosidad en Vías, Banco Mundial.

Calibración de una Flota de Vehículos

Cada STRMRV requiere su propia calibración. Incluso cuando dos STRMRV usan el mismo modelo de vehículo e instrumento sus respuestas pueden diferir en más del 25 % cuando son nuevas, pueden existir muchas más grandes diferencias después de que han experimentado desgaste. Por lo que una calibración de flota no debe de intentarse

Calibración para Diferentes Velocidades

Cuando esto es necesario, por la razón que sea, para llevar a cabo pruebas a cualquier otra velocidad que no sea la estándar, la ecuación de calibración de rutina no se aplica, se separan las relaciones entre las medidas obtenidas, el IRI debe de estar desarrollado para cada una de las otras velocidades, como describe en seguida.

Compensación por Velocidades No Estándares

Estos pueden ser ocasionados en superficies rugosas de la vía donde la velocidad estándar de 80 Km./h no puede ser alcanzada. En estos casos un velocidad recomendada es de 50 Km./h. Una velocidad de 32 Km./h puede también ser usada, pero velocidades menores deben ser evitadas debido a que el promedio de pendiente ARS sufre un efecto considerable en las propiedades envueltas de la llanta usada en el STRMRV, dos métodos son conocidos para el proceso de calibración a velocidades distintas.

A continuación se describe los métodos de calibración más empleados:

a) Calibración directa para velocidades no estándares

Éste es el método preferido. La calibración se desarrolla como se describe para una velocidad estándar con la única diferencia que el STRMRV es operado a una velocidad no estándar y es correlacionado directamente contra el IRI.

b) Correlación de medidas ARS hechas a velocidades distintas.

Este es un método alternativo que envuelve dos pasos de conversión. Tiene mayor error, por lo que deberá ser utilizado cuando el primer método no puede ser utilizado.

Primer paso, una relación de correlación entre medidas STRMRV a velocidad no estándar y a velocidad de 80 Km./h es obtenida de la toma de pruebas a las dos velocidades.

Después el valor medido a una velocidad no estándar son usados para medir el valor que puede estar siendo obtenido a 80 Km./h. éste estimado de medida a los 80 Km./h es luego usado con la ecuación de calibración para que el particular STRMRV obtenga el IRI.

Notar que el rango de calibración cubierto por este segundo método no necesita cubrir el rango completo del proyecto, mas sólo necesita cubrir el rango de rugosidad sobre el cual la velocidad de conversión necesite

Calibración para Diferentes Tipos de Superficie

Dependiendo de la precisión requerida, la data de rugosidad a calibrar y las prácticas de construcción de carreteras locales, las relaciones de calibración separadas pueden estar justificadas por distintos tipos de superficie (por ejemplo pavimentadas y no pavimentadas). Esta sección presenta las directrices para una calibración única para todos los tipos de superficie. Experiencias anteriores han indicado que esto es adecuado para concreto asfáltico, PCC concrete, tratamiento superficial y caminos de grava y tierra.

Los datos de calibración pueden ser examinadas para determinar si existe un sesgo inaceptable que puede ser atribuido al tipo de superficie. Si ese sesgo existe entonces la calibración puede realizarse por separado para subconjuntos de tipos de superficie. Por ejemplo la gráfica que se muestra en la figura 3.01a incluye datos de cuatro tipos de superficie. Los puntos para el hormigón asfáltico, grava y tierra parecen ser bastante uniformemente distribuidos, sin embargo hay

cuatro puntos tomados en las secciones de tratamiento de superficie ligeramente ondulada, los cuales tienen altos valores ARS que podría ser supuesto de una sola línea de calibración (debido a que el vehículo está sintonizado a la longitud de onda de la ondulación). Mejores precisiones podrían conseguirse si la calibración se ha desarrollado para secciones de tratamiento superficial. Cuando esto se hace entonces se obtienen dos ecuaciones de calibración.

Mediante el uso de calibraciones por separado el error máximo se reduce a la mitad. Un segundo ejemplo es la gráfica que se muestra en la figura 3.01c en este caso no hay sesgo evidente, el peor error que se obtendría es de aproximadamente 3m/Km, aunque el error típico puede ser visto mucho menor, aproximadamente 1m/Km. Así la ecuación de calibración aparenta ser igualmente representativa para los cuatro tipos de superficie.

Ecuación de Calibración

Los datos de las secciones de calibración son usados para la regresión del IRI contra las mediciones del STRMRV. Reduciendo al mínimo el error entre los valores de IRI referencial y los valores estimados del STRMRV usando una ecuación de calibración. Cuando se utiliza una sola huella la regresión es calculada en base de la medida individual de la huella de la llanta. Cuando se usan dos huellas, el IRI es medido para ambas huellas de la llanta del STRMRV y estos dos son promediados. El promedio es entonces usado como una sola medida de IRI para ese carril.

Selección de Secciones de Calibración.

Para que una calibración sea válida, las secciones de calibración a ser inspeccionadas en el proyecto deben ser representativas de la carretera. Cuando sea posible, las secciones deben encontrarse en tangente o baja curvatura y deben de tener propiedades de rugosidad uniformes en toda su longitud incluyendo una ventaja de 50 m al inicio y al final, cuando se utilizan secciones para proyectos de largo plazo, las secciones de calibración deberán ser ubicadas en vías poco usadas cuyas propiedades de rugosidad no cambiarán rápidamente con el tiempo

Rango de Rugosidad

Es esencial que la sección sea de rugosidad natural, la rugosidad expuesta resulta de la normal construcción, mantenimiento o uso histórico. (Artificialmente la rugosidad inducida en las secciones de calibración no serán calibradas el STRMRV) la calibración es técnicamente válida solo sobre el rango de rugosidad cubierta por lo sitio de calibración, por lo tanto, la extrapolación deberá ser evitada. En algún caso, la extrapolación más allá del rango de calibración de más del 30% en cada dirección puede no ser considerada. Si el rango adicional es necesario entonces apropiadas secciones de calibración deberán ser muestreados.

Uniformidad

Las secciones de calibración deberán ser de rugosidad uniforme sobre su longitud, tal que el ratio el cual acumula la cuenta en el instrumento del STRMRV es completamente constante mientras atraviesa la sección. Un STRMRV responde diferentemente a una vía con uniforme y moderada rugosidad que a una que es lisa sobre mita de la longitud y rugosa sobre otra mitad. Si dos huellas están siendo calibradas, entonces la rugosidad puede también ser razonablemente uniforme a través de la huella de la llanta.

Aproximación

Recuerde que los vehículos siempre responden a las vía después de que ellos hayan pasado sobre ésta, y que la medida en el lugar es parcialmente el resultado de la superficie inmediatamente precedente del lugar. Por consiguiente se debe evitar secciones que tengan una diferente rugosidad característica en los 50 m aproximadamente del sitio.

Geometría

Las secciones de calibración pueden preferiblemente estar en secciones de carretera en tangente. Sólo en excepcionales circunstancias pueden hasta una ligera curvatura ser aceptadas. La carretera no necesita estar a nivel, pero ésta

puede cambiar en pendiente inmediatamente antes del sitio, como la transición en pendiente puede afectar la medida de un STRMRV, suave pendientes también facilitan el mantenimiento de pruebas a velocidad constante y reduce el esfuerzo necesario para manualmente medir el perfil con mira y nivel.

Distribución de la Rugosidad entre Secciones

En orden a minimizar el error de la ecuación de calibración cada nivel de rugosidad de interés puede ser representado aproximadamente igual en la calibración.

El Cuadro N° 3.02 lista los requerimientos para la distribución de la rugosidad: un mínimo de dos secciones de cada nivel de rugosidad será usado, secciones adicionales pueden ser seleccionados para mantener una distribución uniforme entre los niveles de rugosidad.

Longitud y Número de Secciones de Calibración

En orden a ser la ecuación de calibración, ésta deberá estar basada en una cantidad suficiente de datos de ensayos, el Cuadro N° 3.02 lista los requerimientos mínimos concernientes al número de secciones y sus longitudes.

Cuadro N° 3.02: Requerimientos de las Secciones de Calibración

Descripción	Dos Huellas	Una Huella
Número mínimo de secciones	8	12
Número de secciones recomendados por cada nivel	2	3
Máxima variación en el número de secciones	1	1
Longitud mínima de sección	200 m	200 m
Variación permisible en la longitud de secciones (Todos las secciones deben de ser de la misma longitud)	0	0
Longitudes total recomendada (Longitud de sitio x número de secciones)	4.50 Km.	6.0 Km.
Número recomendado de repeticiones STRMRV	1000/L	1000/L
Medidas por sitio (L = Longitud en metros)		
Mínima distancia de aproximación por sitio	50 m	50 m

Fuente: Directrices para la Medición y Calibración de Medidas de Rugosidad en Vías Banco Mundial

CAPÍTULO IV: EVALUACIÓN DE LA RUGOSIDAD

4.1. Recopilación de Datos de Campo

Para la recopilación de datos del tramo comprendido entre el Km. 114+000 – Km. 116+000 se desarrolló los siguientes pasos:

4.1.1. Selección del Sistema de Medición de Rugosidad Tipo Respuesta.

De acuerdo a las consideraciones dadas en la Guía de Calibración del Banco Mundial (Boletín N° 46), se desarrolló la selección de cada uno de los componentes del Sistema Tipo Respuesta como se detalla a continuación:

Selección del Instrumento

El instrumento que se utilizó para la toma de datos fue el Rugosímetro Electrónico Bump Integrator Tipo UNI (REBITU) desarrollado por el Instituto de Investigación de la Facultad de Ingeniería Civil, el cual está conformado por un adquisidor de datos y un sensor de desplazamiento.

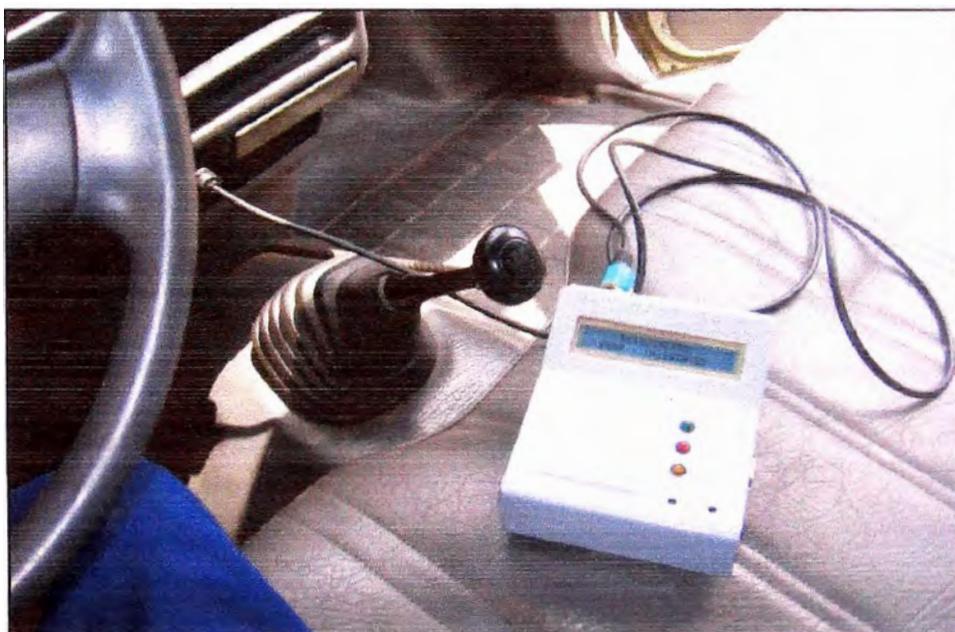
Especificaciones técnicas del adquisidor de datos:

Protocolo de comunicación:	Serial
Indicadores luminosos:	Alimentación, Batería
Dimensiones:	12.4x15.9x7 cm.
Peso:	824 gr.
Alimentación:	12 VDC
Número de sensores:	1 Sensor
Teclado:	4x4
Pantalla:	LCD 2x24

Especificaciones técnicas del sensor de desplazamientos:

Tipo de sensor:	Mecánico – Encoger
Precisión:	0.9 mm.
Rango de medida:	20 cm.
Velocidad máxima de rotación:	300 RPM
Alimentación:	5 VDC
Salida	Tren de pulsos onda cuadrada
Dimensiones:	19.5x19. 7x9.5cm.
Peso:	2014 gr.
Rango de temperatura:	-40 °C a +85 °C.

FIGURA N° 4.01: REBITU



Fuente: Instituto de Investigación de la Facultad de Ingeniería Civil - UNI

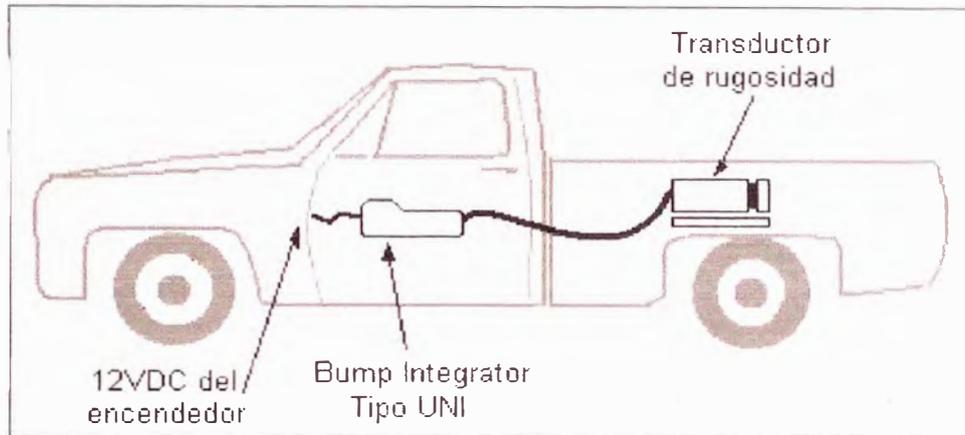
Selección del Vehículo:

El vehículo que se utilizó para las mediciones fue una camioneta 4x4 de doble cabina perteneciente a la Facultad de Ingeniería Civil.

Instalación del Instrumento en el Vehículo:

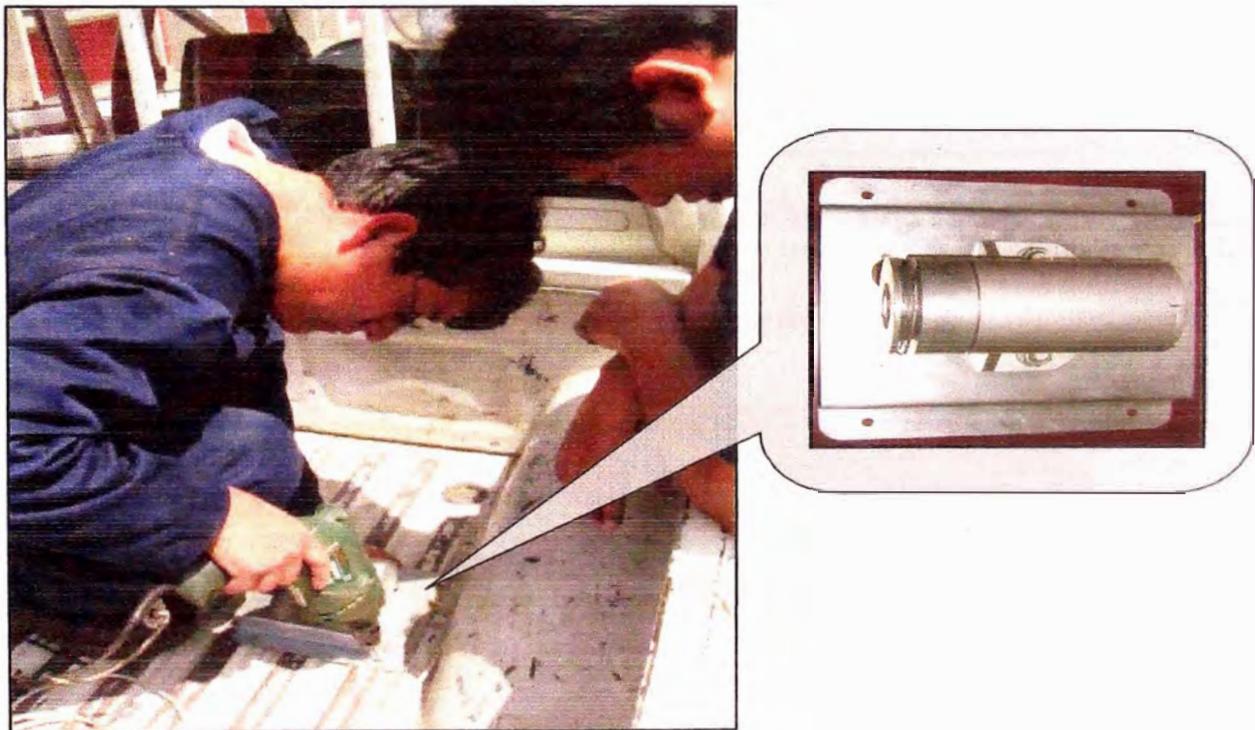
El instrumento fue instalado en el eje posterior del vehículo, la cual representará el desplazamiento de la suspensión derecha.

FIGURA N° 4.02: Conexión del rugosímetro electrónico



Fuente: Instituto de Investigación de la Facultad de Ingeniería Civil - UNI

FIGURA N° 4.03: Instalación del instrumento



Fuente: Instituto de Investigación de la Facultad de Ingeniería Civil – UNI

4.1.2. Reconocimiento del Tramo de Evaluación Km. 114+000-Km116+000.

El recorrido de reconocimiento tuvo como objetivo registrar aquellas interferencias u obstáculos físicos en la superficie que pudiesen alterar las mediciones del equipo Bump Integrator, así también reconocer aspectos del tratamiento

superficial, drenaje y taludes que logren proporcionar mayor información para el entendimiento del comportamiento en el tiempo que podría sufrir el tratamiento superficial de éste tramo.

La información fue recolectada de acuerdo a las estructuras existentes como se detalla a continuación:

Tratamiento Superficial

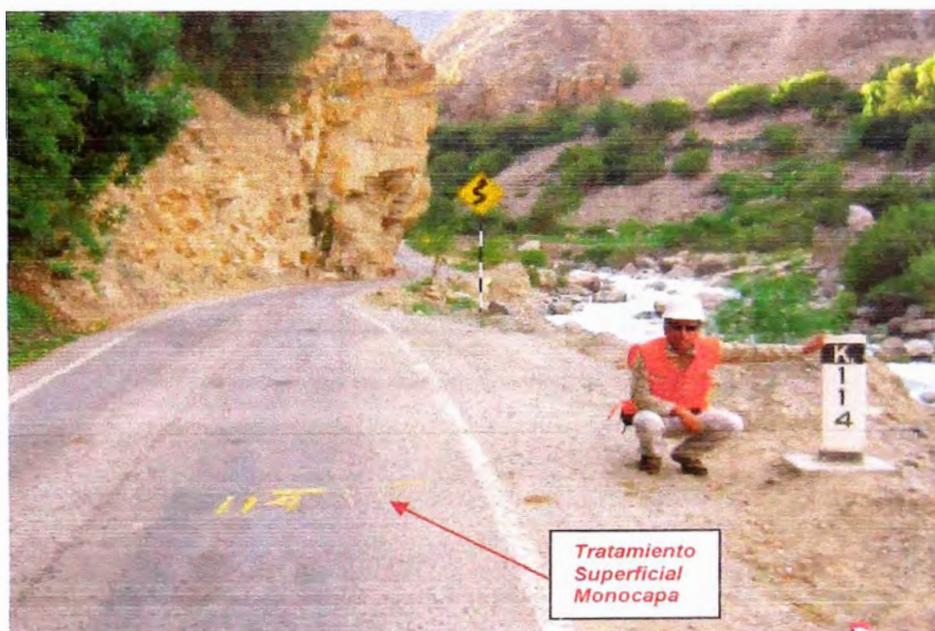
Durante el recorrido se observó en los 2 Km. de tratamiento superficial monocapa, en condiciones distintas, los cuales se pueden diferenciar de acuerdo a su ubicación en el cuadro 4.01.

Cuadro N° 4.01: Tratamiento superficial Km. 114+000 - Km. 116+000

Inicio	Fin	Tratamiento Superficial
114+000	115+000	Monocapa
115+000	116+000	Monocapa

Fuente: Evaluación de Campo UNI-FIC, 22 de Mayo del 2010.

FIGURA N° 4.04: Km. 114+000 con tratamiento superficial monocapa



Fuente: Evaluación de Campo UNI-FIC, 22 de Mayo del 2010.

FIGURA N° 4.05: Km. 114+900 con tratamiento superficial monocapa



Fuente: Evaluación de Campo UNI-FIC, 22 de Mayo del 2010.

Gibas

El recorrido realizado mostró solamente 3 gibas a lo largo del tramo de la carretera, las cuales fueron identificadas en sus progresivas, los datos fueron en muchos casos interferidos por estas gibas, obligándose a tomar los datos hasta antes de estas y reiniciándose después de las mismas:

Cuadro N° 4.02: Ubicación de Gibas Km. 114+000 - Km. 116+000

Progresiva	Estructura	Longitud/Giba
114+500	Giba	250
114+750	Giba	450
115+200	Giba	

Fuente: Evaluación de Campo UNI-FIC, 22 de Mayo del 2010.

FIGURA N° 4.06: Giba de concreto Km. 114+750



Fuente: Evaluación de Campo UNI-FIC, 22 de Mayo del 2010.

Badén

Se pudo observar a lo largo del tramo la existencia de un solo badén, el cual se encuentra ubicado en el Km. 114+240 y tiene una longitud aproximada de 8 m, construido de concreto, cuyo sentido de flujo recae hacia el río Cañete.

FIGURA N° 4.07: Badén de concreto Km. 114+240



Fuente: Evaluación de Campo UNI-FIC, 22 de Mayo del 2010.

Cunetas

A lo largo de la vía se pudo observar cunetas longitudinales sin revestimiento, que se desarrollan sobre el tramo y en algunos casos no se cuenta con éstas.

FIGURA N° 4.08: Cuneta sin revestimiento Km. 114+000



Fuente: Evaluación de Campo UNI-FIC, 22 de Mayo del 2010.

4.1.3. Datos Obtenidos con el Equipo Bump Integrator

Tomando en cuenta las consideraciones del capítulo III y de acuerdo a las condiciones en campo, se procedió con: la elección de secciones de calibración, selección de longitud de sitio, selección de la velocidad de operación, número de repeticiones y la toma de datos con el equipo Bump Integrator.

Selección de las Secciones de Calibración.

La evaluación de la carretera se desarrolló en el tramo Km. 114+000-Km.116+000; tratamiento superficial Monocapa, en el cual se dividió en tres tramos, las cuales fueron identificadas en sus progresivas, en muchos casos interferidos por las gibas, obligándose a tomar los datos hasta antes de estas y reiniciándose después de las mismas.

Las secciones de calibración para el tramo en estudio por este informe corresponde al tramo general comprendido entre el Km. 114+000-Km. 116+000, los mismos que coincidirán con los tramos de evaluación tomados con el equipo MERLIN de clase II y que en un futuro servirán para la calibración del equipo.

El siguiente cuadro muestra la ubicación de las secciones de calibración, los cuales están en concordancia con los tramos evaluados por el equipo MERLIN.

Cuadro N° 4.03: Secciones de Calibración Km. 114+000 - Km. 116+000

Sitio	Progresiva Inicial	Progresiva Final
1	114+800	115+200
2	115+230	115+630
3	115+600	116+000

Fuente: Evaluación de Campo UNI-FIC, 22 de Mayo del 2010.

Longitud de Secciones de Calibración y Velocidad de Operación:

Las secciones de calibración considerados tienen una longitud de 400 m, la velocidad de operación del vehículo fue de 40 Km./h.

Repetición en la Toma de Datos:

Se desarrolló cuatro repeticiones entre los tramos Km. 114+800 - Km. 116+000.

Datos Equipo Bump Integrator:

El siguiente cuadro detalla los datos tomados con el equipo Bump Integrator (Medidas BI).

Cuadro N° 4.04: Datos BI Tomados en el Campo

Progresiva			DERECHA	IZQUIERDA	DERECHA	IZQUIERDA
Del	Al	Longitud	BI	BI	BI	BI
110+200	110+600	400	1343	1305	1437	1360
110+900	111+300	400	1028	1110	1045	1017
112+000	112+400	400	1109	1011	1096	1066
112+400	112+800	400	1277	1292	1327	1320
113+000	113+400	400	1275	1224	1247	1268
113+600	114+000	400	1013	929	1003	942
114+800	115+200	400	1189	1177	1187	1154
115+230	115+630	400	1094	1015	1106	1097
115+600	116+000	400	1085	1149	1085	1096
116+300	116+700	400	930	1001	997	957
117+400	117+800	400	1084	1156	1158	1096
118+000	118+400	400	1286	1269	1314	1387
118+400	118+800	400	1527	1485	1532	1510
119+300	119+700	400	904	869	983	849

Fuente: Evaluación de Campo UNI-FIC, 22 de Mayo del 2010.

4.2. Calibración de Equipo

De acuerdo a las secciones de calibración seleccionados y los valores IRI obtenidos con el equipo tipo clase II MERLIN (Detallado en el Cuadro N° 4.05) se procederá a graficar la relación del IRI Vs. las medidas BI y a la obtención de su respectiva formula de calibración.

4.2.1. Valores obtenidos con equipos MERLIN y Bump Integrator

A continuación se detalla los valores IRI obtenidos a partir del uso del equipo MERLIN de acuerdo a las secciones previamente seleccionadas.

Cuadro N° 4.05: Registro de IRI obtenidos con equipo MERLIN

Sitio	Prog. Inicial	Prog. Final	IRI (Derecho)	IRI (Izquierdo)
1	114+800	115+200	5.20	5.30
2	115+230	115+630	4.69	4.86
3	115+600	116+000	4.13	4.37

Fuente: Evaluación de Campo UNI-FIC, 22 de Mayo del 2010.

(Nota: Sitio n° 2, obtenido del resumen de valores de IRI – MTC – Julio 2009)

Así también el siguiente cuadro detalla los valores BI obtenidos con el equipo Bump Integrator para las secciones de calibración seleccionados.

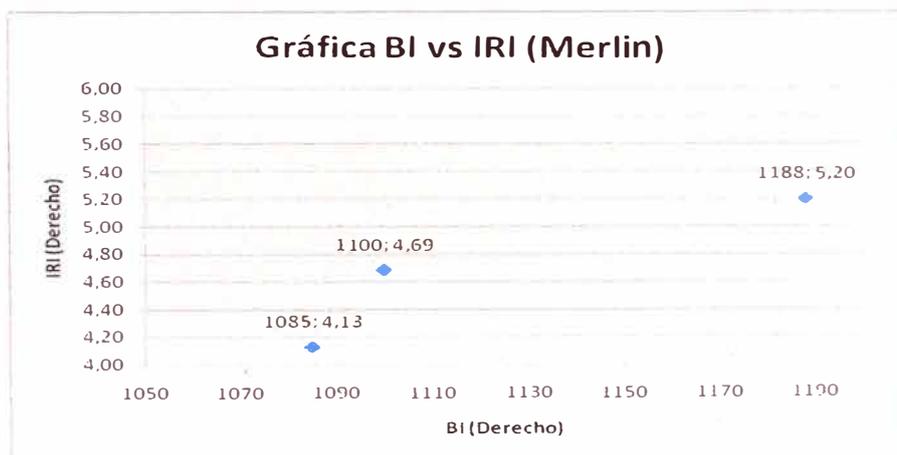
Cuadro N° 4.06: Registro BI obtenidos con Equipo Bump Integrator

Sitio	Prog. Inicial	Prog. Final	BI (Derecho)	BI (Izquierdo)
1	114+800	115+200	1188	1166
2	115+230	115+630	1100	1135
3	115+600	116+000	1085	1123

Fuente: Evaluación de Campo UNI-FIC, 22 de Mayo del 2010.

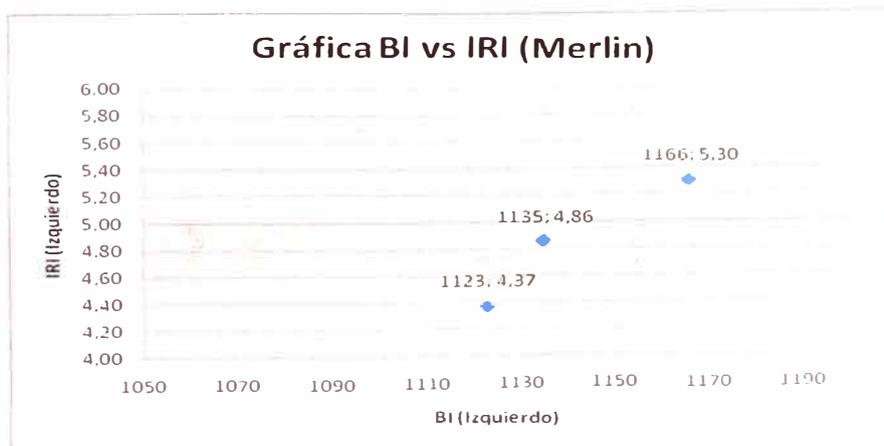
Con los datos obtenidos se procede a graficar los valores BI en las abscisas y los valores IRI en las ordenadas.

FIGURA N° 4.09: Gráfica lado derecho BI Vs. IRI (Merlin)



Fuente: Elaboración propia.

FIGURA N° 4.10: Gráfica lado izquierdo BI Vs. IRI (Merlin)



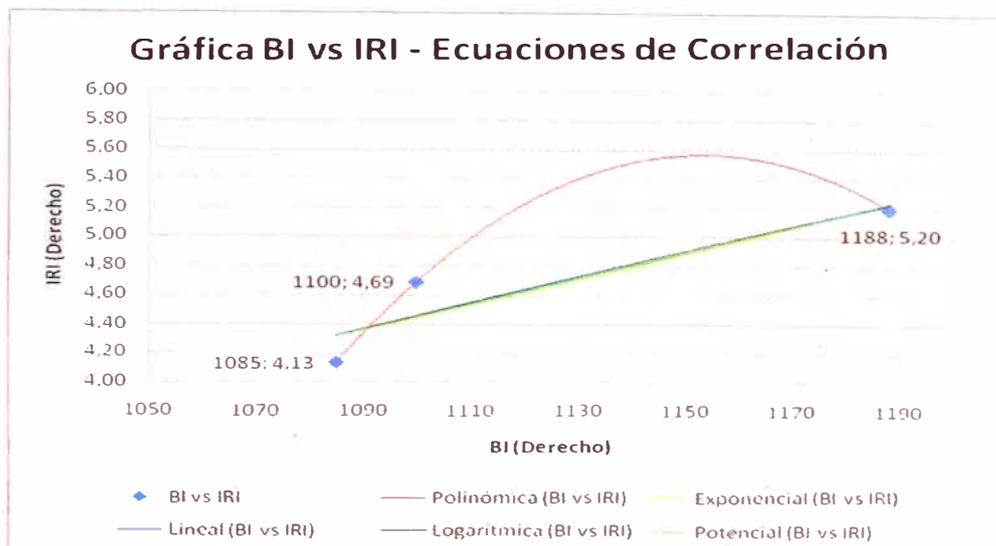
Fuente: Elaboración propia.

4.2.2. Ecuaciones de Correlación

Con el fin de obtener el factor de determinación más alto, se procede a generar las siguientes ecuaciones de correlación:

- Lineal
- Cuadrática
- Exponencial
- Potencial
- Logarítmica

FIGURA N° 4.11: Gráfica lado derecho - ecuaciones de correlación



Fuente: Elaboración propia.

El siguiente cuadro muestra las ecuaciones obtenidas por cada tipo de función empleada:

Cuadro N° 4.07: Ecuaciones de correlación lado derecho

Función	Ecuación de Correlación	Factor de Correlación
Lineal	$y = 0,008x - 5,221$	$R^2 = 0.837$
Cuadrática	$y = -0,000x^2 + 0,706x - 401,8$	$R^2 = 1.000$
Exponencial	$y = 0,569e^{0,001x}$	$R^2 = 0.812$
Logarítmica	$y = 10,04\ln(x) - 65,86$	$R^2 = 0.841$
Potencial	$y = 1E-06x^{2,133}$	$R^2 = 0.816$

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo al valor más alto de factor de determinación, la ecuación cuadrática estadísticamente representaría mejor la relación entre el IRI y los valores BI con un factor r^2 de 1.00, esta ecuación es descartada por la concavidad que muestra la función según la Figura N° 4.11 la cual contradice la proporcionalidad directa característica entre el IRI y el BI (a mayor BI mayor IRI).

Al quedar como función más representativa la función logarítmica (la cual posee un valor r^2 : 0.841) y la función lineal (con un r^2 : 0.837), ambas con un grado mayor del 80 % de la variación total de datos explicada por cada función, se procede a la elección de una sola ecuación de correlación.

Por otro lado el factor que determinará la elección será el que mejor represente la condición del pavimento, la proporcionalidad existente entre el IRI y las medidas BI, por lo que se escoge a la función lineal y a la ecuación **IRI: 0.008BI - 5.221** como la ecuación de calibración.

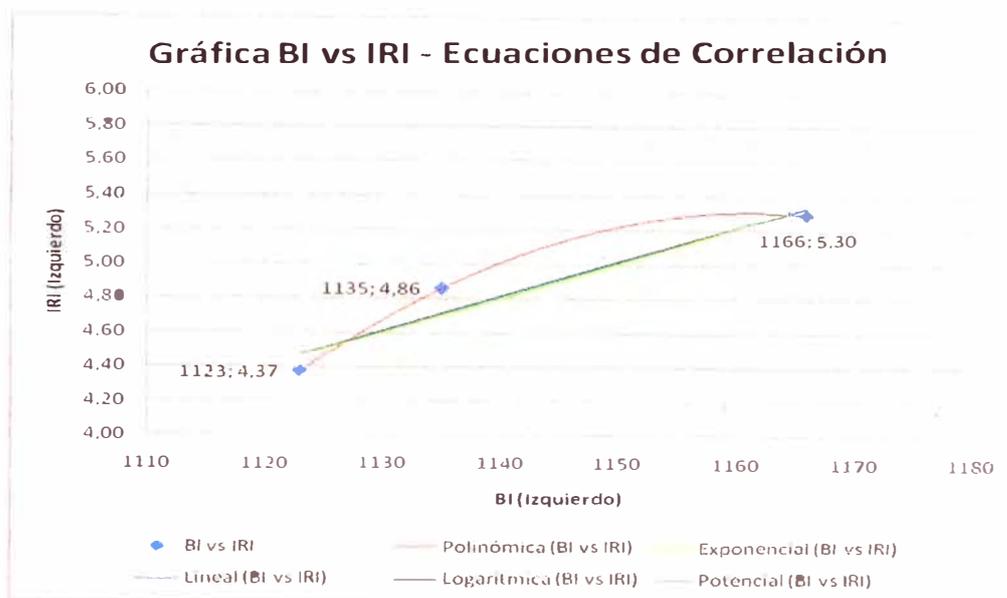
De acuerdo a la ecuación hallada se procede a obtener los valores IRI correspondientes al tramo en estudio.

**Cuadro N° 4.08: Valores IRI obtenidos con el equipo
Bump Integrator – lado derecho**

Progresiva	BI		
Del	Al	Promedio	IRI
114+800	115+200	1188	4.28
115+230	115+630	1100	3.58
115+600	116+000	1085	3.46

Fuente: Elaboración propia.

FIGURA N° 4.12: Gráfica lado izquierdo - ecuaciones de correlación



Fuente: Elaboración propia.

El siguiente cuadro muestra las ecuaciones obtenidas por cada tipo de función empleada:

Cuadro N° 4.09: Ecuaciones de correlación lado izquierdo

Función	Ecuación de Correlación	Factor de Correlación
Lineal	$y = 0,020x - 18,14$	$R^2 = 0.923$
Cuadrática	$y = -0,000X^2 + 1,439x - 831,1$	$R^2 = 1.000$
Exponencial	$y = 0,042e^{0,004x}$	$R^2 = 0.907$
Logarítmica	$y = 23,10\ln(x) - 157,8$	$R^2 = 0.925$
Potencial	$y = 1E-14x^{4,760}$	$R^2 = 0.910$

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo al valor más alto de factor de determinación, la ecuación cuadrática estadísticamente representaría mejor la relación entre el IRI y los valores BI con un factor r^2 de 1.00, esta ecuación es descartada por la concavidad que muestra la función según la Figura N° 4.12 la cual contradice la proporcionalidad directa característica entre el IRI y el BI (a mayor BI mayor IRI).

Al quedar como función más representativa la función logarítmica (la cual posee un valor r^2 : 0.925) y la función lineal (con un r^2 : 0.923), ambas con un grado

mayor del 90 % de la variación total de datos explicada por cada función, se procede a la elección de una sola ecuación de correlación.

Por otro lado el factor que determinará la elección será el que mejor represente la condición del pavimento, la proporcionalidad existente entre el IRI y las medidas BI, por lo que se escoge a la función lineal y a la ecuación **IRI: $0.020BI - 18.14$** como la ecuación de calibración.

De acuerdo a la ecuación hallada se procede a obtener los valores IRI correspondientes al tramo en estudio.

**Cuadro N° 4.10: Valores IRI obtenidos con el equipo
Bump Integrator – lado izquierdo**

Progresiva		BI	
Del	Al	Promedio	IRI
114+800	115+200	1166	5.18
115+230	115+630	1135	4.56
115+600	116+000	1123	4.32

Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO V: ANÁLISIS DE RESULTADOS

El análisis de los valores del Índice de Rugosidad Internacional (IRI) obtenidos con el equipo Bump Integrator se realizará sobre aquellos factores considerados de alta importancia que intervienen en la obtención de éste.

A continuación se listan aquellos factores:

- Datos BI Obtenidos de Campo
- Secciones de Calibración
- Ecuación de Calibración
- Valores IRI obtenidos.

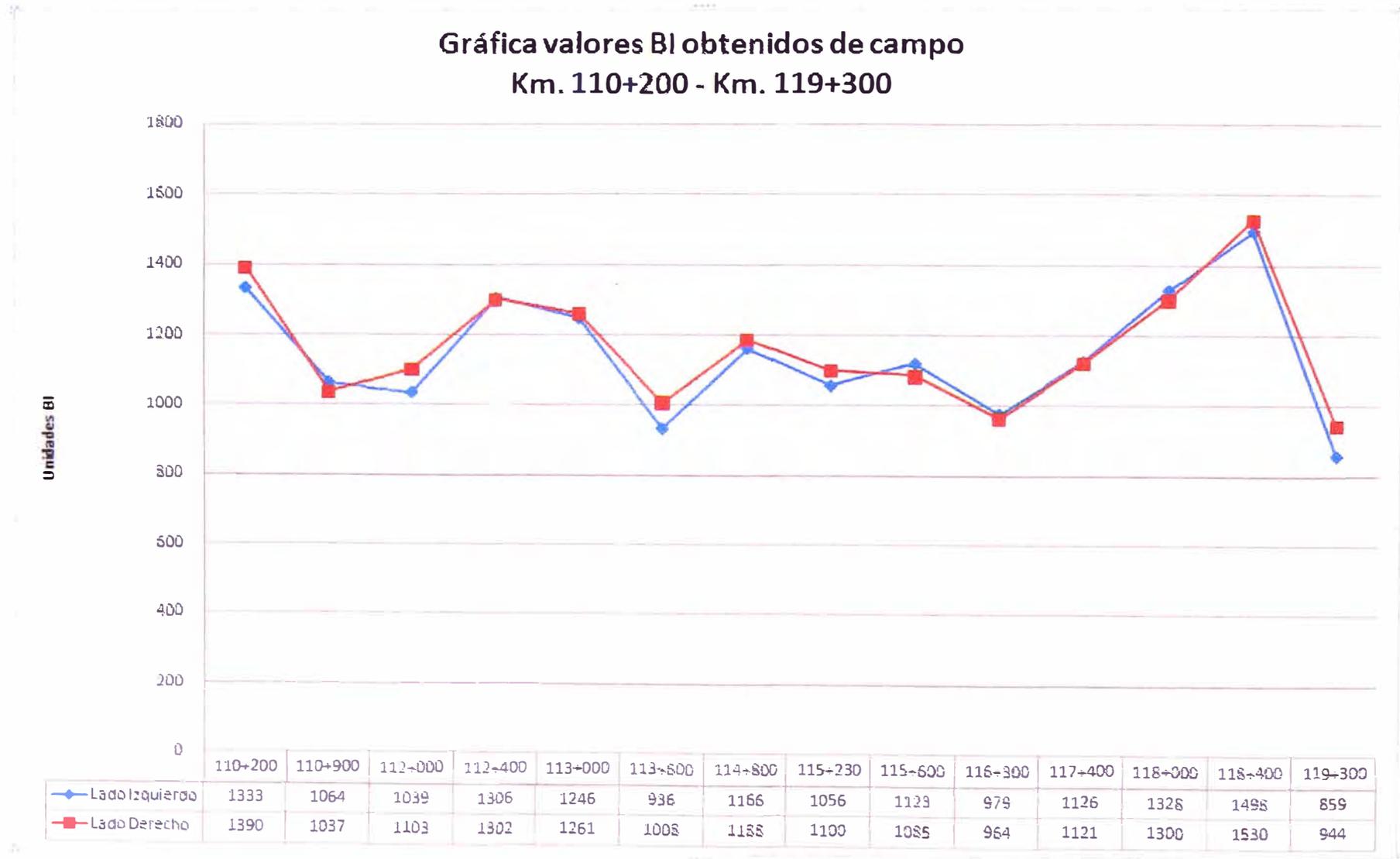
5.1. Valores BI Obtenidos de Campo

Como se muestra en el Cuadro N° 4.04, los valores BI obtenidos corresponden a medidas tomadas en los sentidos Cañete – Huancayo (lado derecho e izquierdo), cuyos valores son representados gráficamente en la Figura N° 5.01 (la progresiva en las abscisas y los valores BI en las ordenas) con la intención de reconocer de forma visual las distorsiones que podrían ser generadas por una mala operación, interferencias físicas, etc.

Los valores BI en los kilómetros que muestran diferencias menores obedecen a que el equipo utilizado realiza las mediciones en un solo lado del eje posterior del vehículo (lado derecho), lo cual para cada sentido sigue la huella existente de la vía siendo ésta ubicada aproximadamente a 1.00 m del borde de la vía.

De acuerdo a la Figura N° 5.01 se puede notar que los datos siguen la misma tendencia en ambos sentidos a lo largo del tramo, por lo que se consideran estos como valores BI representativos para fines de cálculo del IRI y obtención de la curva de calibración.

FIGURA Nº 5.01: Gráfica BI elaborados con datos de Campo



Fuente: Elaboración propia.

5.2. Secciones de Calibración

La elección de las secciones de calibración estuvo sujeta a las zonas en las cuales se realizó las mediciones del IRI con el equipo Merlin, siendo estas en algunos casos seleccionadas arbitrariamente, por lo que estas secciones no cumplen los requerimientos de uniformidad y rango de rugosidad.

Para el desarrollo de la ecuación de correlación se escogieron 3 secciones de calibración, comprendido entre los Kms: 114+800 - 115+200; 115+230 - 115+630; 115+600 - 116+000.

Mala Operación del Vehículo, una velocidad mayor a la velocidad estándar de 40 Km./h empleada a lo largo de la carretera, obvió las irregularidades de la vía ya que la respuesta de la suspensión del vehículo es menor, obteniéndose una menor cantidad de valores BI.

Tratamiento Superficial, la consideración de uniformidad sobre toda la longitud del sitio y el IRI proyectado con equipo MERLIN a partir de una sección menor de 400 m no representa la verdadera condición de la superficie del pavimento.

5.3. Ecuación de Calibración

La obtención de cinco correlaciones a partir de las funciones: lineal, cuadrática, exponencial, potencial y logarítmica. Permite escoger la mejor correlación entre los valores IRI y los valores BI en base al factor de determinación r^2 .

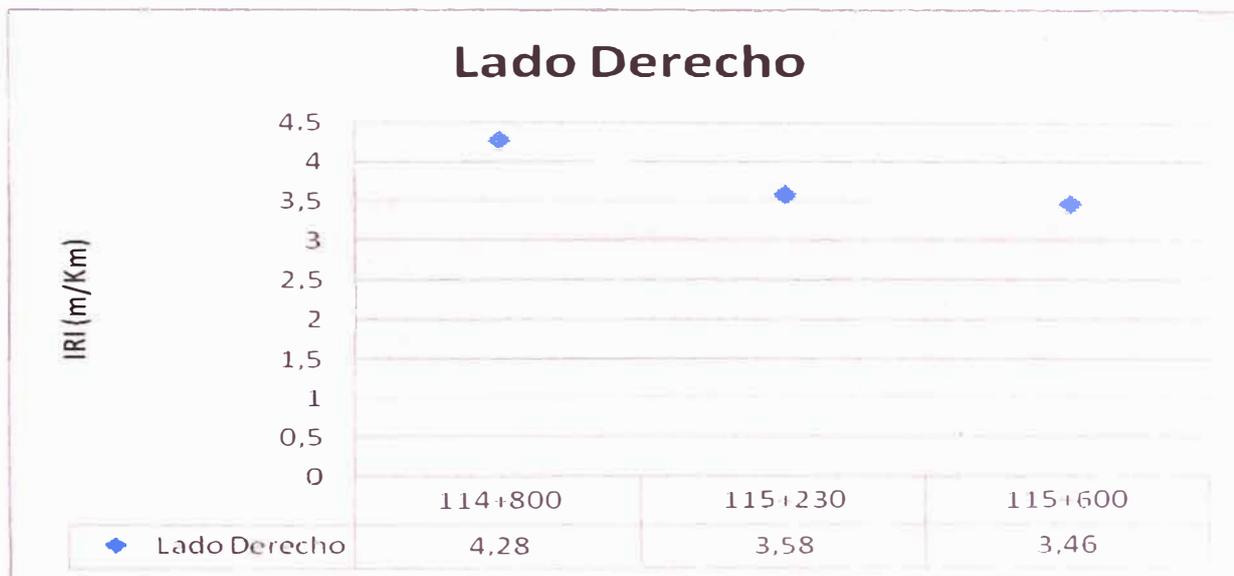
La ecuación lineal al mostrar el mejor comportamiento entre el IRI (MERLIN) y los valores BI, con una linealidad positiva, proporcionalidad directa entre ambos valores y por experiencias anteriores en el Perú al utilizar esta función, es seleccionada para ser utilizada como la ecuación de correlación.

Además, al obtener un coeficiente de determinación de 0.84 (lado derecho) y 0.92 (lado izquierdo), la ecuación de correlación representa que el 84% y 92% respectivamente, de las varianzas del IRI pueden ser explicadas por los valores BI, siendo ésta función la de mayor calidad de ajuste entre los valores IRI y BI.

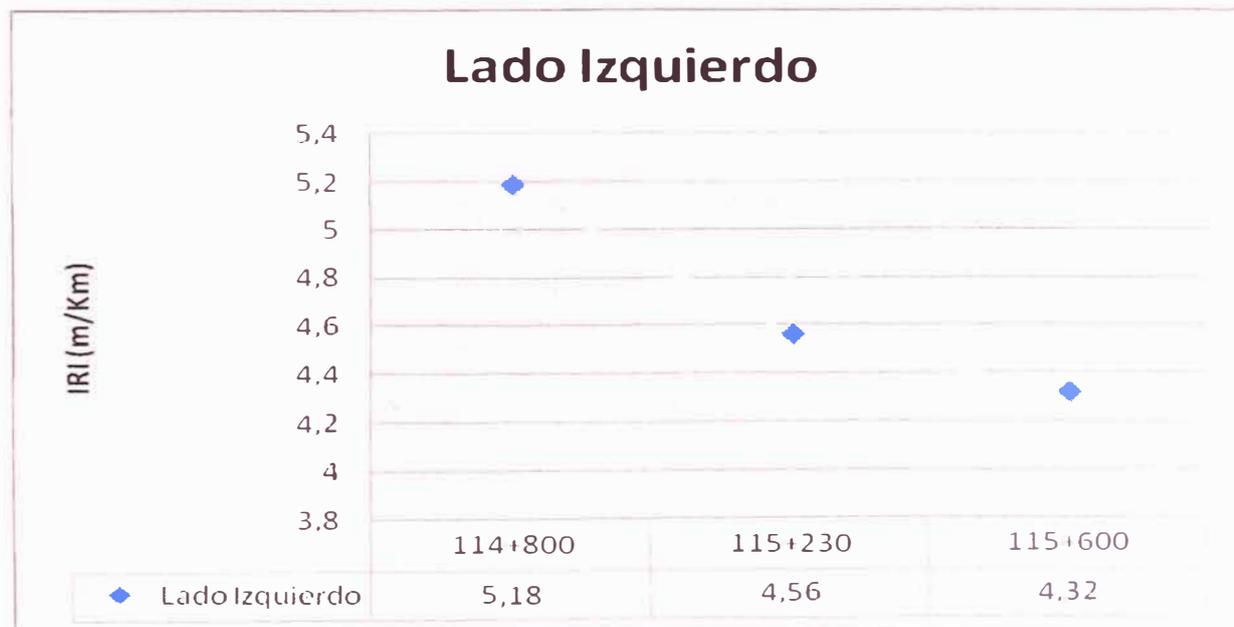
5.4. Valores IRI Obtenidos con Equipo Bump Integrator

Los valores del Índice de Rugosidad para el tramo en estudio Km. 114+000 - Km. 116+000, podrán ser sectorizados para un mejor análisis, entre los tramos: Km.110+200-Km.119+300, lo cual obedece al comportamiento mostrado en la Figura N° 5.02 en la que se puede observar los diferentes valores IRI obtenidos en estos tramos.

FIGURA N° 5.02: Gráfica valores IRI por kilómetro



Fuente: Elaboración propia.



Fuente: Elaboración propia.

A continuación se detalla los tramos de sectorización, así también los valores BI e IRI correspondiente:

Cuadro N° 5.01: Datos BI e IRI sectorizados – lado derecho

Progresiva		Longitud	BI	IRI(m/Km)
Del	Al			
114+800	115+200	1,200	1188	4.28
115+230	115+630		1100	3.58
115+600	116+000		1085	3.46

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro N° 5.02: Datos BI e IRI sectorizados – lado izquierdo

Progresiva		Longitud	BI	IRI(m/Km)
Del	Al			
114+800	115+200	1,200	1166	5.18
115+230	115+630		1135	4.56
115+600	116+000		1123	4.32

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo a la sectorización propuesta, se podrá definir valores de IRI promedio para los “lados” señalados, obteniendo un mejor reflejo de las condiciones de la superficie del pavimento, el siguiente cuadro muestra los valores de IRI (m/Km.) para cada “lado” de acuerdo a la sectorización propuesta:

Cuadro N° 5.03: Valores de IRI sectorizados

Lado	Progresiva		Longitud (Km)	IRI (Lado)
	Del	Al		
Derecho	114+000	116+000	1.20	3.77
Izquierdo	114+000	116+000	1.20	4.69

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo al cuadro N° 3.01 y a los valores obtenidos de IRI la condición del pavimento pueden ser catalogados de acuerdo al “lado” de estudio como:

Cuadro N° 5.04: Condición de la superficie del pavimento

Lado	Progresiva		IRI (m/Km.)	Condición
	Del	Al		
Derecho	114+000	116+000	3.77	Regular
Izquierdo	114+000	116+000	4.69	Malo

Fuente: Elaboración propia.

Como se muestra en el Cuadro N° 4.01, los kilómetros pertenecientes al Tramo muestra 02 Kilómetros de tratamiento superficial monocapa, de acuerdo al recorrido de campo realizado, la evaluación de la rugosidad de la superficie en el “lado derecho e izquierdo” puede considerarse en estado regular.

Por otro lado el Cuadro N° 3.01 clasifica el estado de la superficie de rodadura para vías asfaltadas con tratamientos tradicionales, a diferencia de esto la Carretera Cañete-Yauyos-Chupaca posee tratamientos superficiales básicos no tradicionales como el Slurry Seal y el Monocapa, cuyo comportamiento difiere del tradicional, por lo que se considera la clasificación anterior como una guía para la condición del pavimento.

CONCLUSIONES

1. El procesamiento de la información se desarrolló de acuerdo a estándares internacionales, siendo las etapas más importantes: análisis de los datos obtenidos en el campo, selección de las secciones de calibración y obtención de la ecuación de correlación.
2. El equipo utilizado es un sistema tipo respuesta, cuya ventaja radica en la rapidez con que se recopilan los datos de campo, siguiendo un procedimiento adecuado que implica ser cuidadoso en tres aspectos: el funcionamiento, la calibración y la inspección del sistema.
3. La desventaja de un sistema tipo respuesta es que el movimiento del eje del vehículo depende de la dinámica de éste, la cual varía con el tiempo por lo cual debe hacerse calibraciones periódicas.
4. Los equipos tipo respuesta, son adecuados para el monitoreo rutinario de una red pavimentada por su alto rendimiento en comparación con los equipos de clase uno, los cuales no son apropiados para grandes extensiones de carretera, obteniendo datos aceptables de evaluación que proporcionan una visión global de la condición del pavimento.
5. La división de todo el tramo en estudio en sectores que tienen valores IRI similares proporcionó un mejor entendimiento del comportamiento para el tratamiento superficial involucrado en cada sector.
6. De acuerdo a la clasificación, de pavimentos asfálticos tradicionales, los valores IRI para los tramos en estudio clasifican a la vía con tratamiento superficial entre el Km. 114+000 hasta el Km. 116+000, en estado regular el lado derecho y situación mala el lado izquierdo.
7. La evaluación de campo y los valores del IRI obtenidos deberán complementarse con datos a obtener periódicamente, para poder determinar el estado de la vía, ya que aún no se cuenta con una clasificación estándar para vías con características de bajo volumen de tráfico.
8. Los equipos de medición, al no estar calibrados y certificados, son una fuente de error, por lo que no se deberá permitir el uso de estos equipos en ésta clase de mediciones.

9. La ecuación de calibración sólo es válida para el vehículo empleado.
10. En relación a la ecuación de correlación entre los valores de BI obtenidos con el equipo **Bump Integrator** y valores IRI obtenidos usando el equipo MERLIN, se observó que las ecuaciones polinómicas son la que logran una mejor correlación, R^2 mas cercana a la unidad, pero no representan una ecuación de calibración correcta por tener una concavidad.
11. Las características de la vía en estudio deben ser analizadas minuciosamente para que los datos no sean distorsionados por las particulares interferencias que puedan haber.

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda el uso del equipo Bump Integrator en la medición de la rugosidad de vías de bajo volumen de tráfico, ya que su metodología sencilla y la confiabilidad de los datos pueden proporcionar información valiosa para una adecuada gestión de las mismas.
2. Se considera útil realizar recorridos previos al tramo en estudio, ya que esto permitirá evaluar la rugosidad de forma preliminar, para lo cual podrá ser útil aplicar la metodología clase IV.
3. El uso de la clasificación del estado de la superficie de pavimentos asfálticos tradicionales mediante los valores IRI, para su empleo en la calificación de vías con cambio de estándar, deberá ser complementado con la evaluación de campo, ya que aún no se cuenta con una clasificación para valores IRI obtenidos en pavimentos con tratamientos superficiales básicos.
4. La selección de las secciones de calibración, es la base fundamental para obtener correlaciones representativas, por lo que estos deben de cumplir con los criterios de uniformidad, rango de rugosidad, etc.
5. Para la calibración del equipo elegir tramos rectos en lo posible. De no ser así elegir tramos con el menor número de curvas y que estas sean abiertas para obtener una ecuación de correlación consistente.
6. Es fundamental efectuar el monitoreo de la rugosidad de la vía a fin de definir la tendencia de su evolución, lo cual permitirá un mejor análisis del comportamiento de ésta en el transcurso del tiempo.
7. Efectuar el monitoreo periódico de la vía, cada seis meses a fin de verificar la evolución del IRI.

BIBLIOGRAFÍA

1. CAREY, W. & IRICK, P. **"The Pavement Serviceability-Performance Concept"**. Highway Research Board Special Report 61E, AASHTO Road Test. Washington, D.C – EEUU, 1962.
2. DEL AGUILA, PABLO **"Estado del Arte sobre la Medición de la Rugosidad de Pavimentos en el Perú"**. Trabajo presentado al II Congreso Nacional del Asfalto. Lima - Perú, 1998.
3. DEL AGUILA, PABLO **"Experiencias y resultados obtenidos en la evaluación de la rugosidad de más de 3000 km de pavimentos en el Perú y otros países."**. Disponible en la vía internet:
<http://www.camineros.com/documentos/doc3.pdf>
4. DEL AGUILA, PABLO **"Metodología para la determinación de la rugosidad en los pavimentos"**. Trabajo presentado al X Congreso Ibero-Latinoamericano. Sevilla - España, 1999.
5. INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN DE LA FIC-UNI (IIFIC) **"Rugosímetro Electrónico Bump Integrator"**. Lima-Perú, 1999. Disponible en:
http://www.iific.edu.pe/files/instrumentacion/III_RUGOSIMETRO%20ELECTRONICO%20BUMP-INTEGRATOR.pdf
6. JUAREZ BADILLO, EULALIO; **Mecánica de Suelos - Tomo I**; Editorial Limusa, México, 1973.
7. SAYERS, W.S. et al. **"Guidelines for Conducting and Calibrating Road Roughness Measurements"**. The World Bank. Washington, D.C. - EEUU, 1986.
8. WATANATADA, T. et al. **"The Highway Design and Maintenance Standards Model"**. Volume I. Published for the World Bank. Washington D.C. - EEUU, 1987.
9. WILFREDO GUTIÉRREZ LÁZARES; **"Modelación Geotécnica de Pavimentos Flexibles con Fines de Análisis y Diseño en el Perú"**, Tesis de Maestría, Facultad de Ingeniería Civil – UNI, Lima 2007.
10. **"Índice medio diario anual (IMD), por tipo de vehículo, según tramos viales:2008"**. disponible en la vía internet:
http://www.mtc.gob.pe/estadisticas/IMD_2008.xls
11. **"Mapas viales departamentales"**, disponible en la vía internet:
<http://www.proviasnac.gob.pe/docroot/mapas/lima.pdf>

ANEXO N° 1

*RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE BUMP
INTEGRATOR. SECCION "B" DEL 22 DE MAYO
DEL 2010.*



ESTUDIO DEL PROYECTO DE CAMBIO DE ESTANDAR DE LA CARRETERA CAÑETE-YAUUYOS-HUANCAYO

RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE BUMP INTEGRATOR

secc."B" 22.MAYO.2010

GRUPO 1

ZONA DE MEDICIÓN TRAMO KM 110 AL KM 112

	KM	DERECHA	DERECHA
TRAMO 1	110+200 - 110+600	1343	1437
TRAMO 2	110+900 - 111+300	1028	1045

	KM	IZQUIERDA	IZQUIERDA
TRAMO 1	111+300 - 110+900	1110	1017
TRAMO 2	110+600 - 110+200	1305	1360

GRUPO 2

ZONA DE MEDICIÓN TRAMO KM 112 AL KM 114

	KM	DERECHA	DERECHA
TRAMO 1	112+000 - 112+400	1109	1096
TRAMO 2	112+400 - 112+800	1277	1327
TRAMO 3	113+000 - 113+400	1275	1247
TRAMO 4	113+600 - 114+000	1013	1003

	KM	IZQUIERDA	IZQUIERDA
TRAMO 1	114+000 - 113+600	929	942
TRAMO 2	113+400 - 113+000	1224	1268
TRAMO 3	112+800 - 112+400	1292	1320
TRAMO 4	112+400 - 112+000	1011	1066

GRUPO 3

ZONA DE MEDICIÓN TRAMO KM 114 AL KM 116

	KM	DERECHA	DERECHA
TRAMO 1	114+800 - 115+200	1189	1187
TRAMO 2	115+230 - 115+630	1094	1106
TRAMO 3	115+600 - 116+000	1085	1085

	KM	IZQUIERDA	IZQUIERDA
TRAMO 1	116+000 - 115+600	1149	1096
TRAMO 2	115+630 - 115+230	1015	1097
TRAMO 3	115+200 - 114+800	1177	1154



ESTUDIO DEL PROYECTO DE CAMBIO DE ESTANDAR DE LA CARRETERA CAÑETE-YAUAYOS-HUANCAYO

RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE BUMP INTEGRATOR
secc."B" 22.MAYO.2010

GRUPO 4

ZONA DE MEDICIÓN TRAMO KM 116 AL KM 118

	KM	DERECHA	DERECHA
TRAMO 1	116+300 - 116+700	930	997
TRAMO 2	117+400 - 117+800	1084	1158

	KM	IZQUIERDA	IZQUIERDA
TRAMO 1	117+800 - 117+400	1156	1096
TRAMO 2	116+700 - 116+300	1001	957

GRUPO 5

ZONA DE MEDICIÓN TRAMO KM 118 AL KM 120

	KM	DERECHA	DERECHA
TRAMO 1	118+000 - 118+400	1286	1314
TRAMO 2	118+400 - 118+800	1527	1532
TRAMO 3	119+300 - 119+700	904	983

	KM	IZQUIERDA	IZQUIERDA
TRAMO 1	119+700 - 119+300	869	849
TRAMO 2	118+800 - 118+400	1485	1510
TRAMO 3	118+400 - 118+000	1269	1387

ANEXO N° 2

*RESUMEN DE VALORES DE ÍNDICES DE
RUGOSIDAD INTERNACIONAL – IRI – MERLIN –
2009.*

RESUMEN DE LOS VALORES DEL ÍNDICE DE RUGOSIDAD INTERNACIONAL - IRI

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

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

RESUMEN DE LOS VALORES DEL ÍNDICE DE RUGOSIDAD INTERNACIONAL - IRI

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

CÓDIGO DEL ARCHIVO	TRAMO		DISTANCIA	IRI	FECHA DE ENSAYO
	PROG. INICIAL	PROG. FINAL			
I - 73	114+900	- 115+300	A 1.00m del borde	4.73	07/07/2009
I - 74	115+300	- 115+700	A 1.00m del borde	4.86	07/07/2009
I - 75	116+600	- 117+000	A 1.00m del borde	4.30	08/07/2009
I - 76	117+600	- 118+000	A 1.00m del borde	3.82	08/07/2009
I - 77	118+600	- 119+000	A 1.00m del borde	4.71	08/07/2009
I - 78	119+500	- 119+900	A 1.00m del borde	5.10	08/07/2009
I - 79	120+300	- 120+700	A 1.00m del borde	4.52	08/07/2009
I - 80	121+800	- 122+200	A 1.00m del borde	3.67	08/07/2009
I - 81	123+300	- 123+700	A 1.00m del borde	5.24	08/07/2009
I - 82	124+100	- 124+500	A 1.00m del borde	4.82	08/07/2009
I - 83	125+500	- 125+900	A 1.00m del borde	4.04	08/07/2009
I - 84	126+400	- 126+800	A 1.00m del borde	4.59	08/07/2009
I - 85	127+400	- 127+800	A 1.00m del borde	3.48	09/07/2009
I - 86	127+800	- 128+200	A 1.00m del borde	3.66	09/07/2009
I - 87	129+300	- 129+700	A 1.00m del borde	3.80	09/07/2009
I - 88	130+100	- 130+500	A 1.00m del borde	4.48	09/07/2009
I - 89	131+600	- 132+000	A 1.00m del borde	4.32	09/07/2009
I - 90	132+400	- 132+800	A 1.00m del borde	4.32	09/07/2009
I - 91	133+500	- 133+900	A 1.00m del borde	4.29	09/07/2009
I - 92	134+500	- 134+900	A 1.00m del borde	4.49	09/07/2009
I - 93	135+500	- 135+900	A 1.00m del borde	3.93	09/07/2009
I - 94	136+590	- 136+990	A 1.00m del borde	5.03	09/07/2009
I - 95	137+300	- 137+700	A 1.00m del borde	4.73	09/07/2009
I - 96	138+535	- 138+935	A 1.00m del borde	4.46	09/07/2009

PROMEDIO ARITMÉTICO

4.35

Rango IRI	Longitud (Km.)	%
0 - 2.800	0.00	0.00
2.801- 4.000	7.60	0.29
4.001- 5.000	14.40	0.55
>= 5.001	4.40	0.17
Total	26.40	1.00

RESUMEN DE LOS VALORES DEL ÍNDICE DE RUGOSIDAD INTERNACIONAL - IRI

TRAMO TOTAL : DEL 55+050 AL 78+450
 CARRIL DE ENSAYO : DERECHO
 CARPETA DE RODADURA : SLURRY SEAL

CÓDIGO DEL ARCHIVO	TRAMO		LADO IZQ	LADO DER	IRI (m/km) PROMEDIO	FECHA DE ENSAYO
	PROG. INICIAL	PROG. FINAL	IRI (m/km)	IRI (m/km)		
I - 01	100+000	- 100+400		4.79		01/10/2009
I - 02	100+400	- 100+800		4.70		01/10/2009
I - 03	97+200	- 97+600		4.24		01/10/2009
I - 04	79+500	- 79+900		4.05		02/10/2009
I - 05	79+900	- 80+300		3.74		02/10/2009
I - 06	84+000	- 84+400		4.11		02/10/2009
I - 07	84+400	- 84+800		4.84		02/10/2009
I - 08	90+500	- 90+900		4.64		02/10/2009
I - 09	98+000	- 98+400		5.12		02/10/2009
I - 10	99+800	- 100+200	5.98			
I - 11	97+800	- 98+200	4.71			
I - 12	91+100	- 91+500	4.11			
I - 13	84+600	- 85+000	4.90			
I - 14	80+100	- 80+500	3.81			
I - 15	76+600	- 77+000	4.90			
I - 16	72+000	- 72+400	2.98			
I - 17	66+600	- 67+000	3.68			
I - 18	59+900	- 60+300	3.70			
I - 19	139+300	- 139+700		4.46		
I - 20	140+600	- 141+000	3.72	3.74	3.73	
I - 21	141+600	- 142+000	3.34	3.26	3.30	
I - 22	142+600	- 143+000	3.12	3.16	3.14	
I - 23	143+600	- 144+000	3.44	3.29	3.36	
I - 24	144+000	- 144+400	3.09	3.29	3.19	
I - 25	145+600	- 146+000	3.84	3.34	3.59	
I - 26	146+000	- 146+400	3.60	4.02	3.81	
I - 27	147+000	- 147+400	3.72	3.37	3.54	
I - 28	149+200	- 149+600	4.29	3.89	4.09	
I - 29	149+600	- 150+000	4.41	3.96	4.18	
I - 30	150+000	- 150+400	3.85	4.07	3.96	
	151+550	- 151+950	3.99	3.68	3.83	
	152+000	- 152+400	3.53	3.76	3.64	
	153+600	- 154+000	3.75	4.36	4.05	
	154+000	- 154+400	3.98	3.73	3.86	
	156+600	- 157+000	4.30	4.06	4.18	
	157+000	- 157+400	4.25	5.25	4.75	
	158+000	- 158+400	4.19	4.30	4.24	
	159+600	- 160+000	4.71	4.52	4.62	
	160+000	- 160+400	4.61	3.84	4.23	
	161+000	- 161+400	3.70	4.19	3.94	
	162+000	- 162+400	4.56	4.29	4.43	
	163+000	- 163+400	4.27	4.94	4.60	
	164+000	- 164+400	3.85	3.75	3.80	

RESUMEN DE LOS VALORES DEL ÍNDICE DE RUGOSIDAD INTERNACIONAL - IRI

TRAMO TOTAL : DEL 55+050 AL 78+450
 CARRIL DE ENSAYO : DERECHO
 CARPETA DE RODADURA : SLURRY SEAL

CÓDIGO DEL ARCHIVO	TRAMO		LADO IZQ	LADO DER	IRI (m/km) PROMEDIO	FECHA DE ENSAYO
	PROG. INICIAL	- PROG. FINAL	IRI (m/km)	IRI (m/km)		
	165+800	- 166+200	5.73	4.73	5.23	
	166+200	- 166+600	5.57	4.86	5.22	
	167+100	- 167+500	5.40	5.14	5.27	
	168+200	- 168+600	4.86	5.27	5.07	
	169+000	- 169+400	5.31	6.28	5.80	
	170+100	- 170+500	4.04			
	171+600	- 172+000	3.96	4.99		
	172+400	- 172+800		4.79		
	173+500	- 173+900		4.47		
	174+700	- 175+100		3.40		
	175+100	- 175+500		3.80		
	176+000	- 176+400		4.07		
	178+600	- 179+000	3.89			
	179+000	- 179+400		3.87		
	180+000	- 180+400		3.89		
	181+000	- 181+400		4.09		
	182+600	- 183+000	3.96			
	183+600	- 184+000	4.58			
	184+600	- 185+000	5.16			
	185+400	- 185+800	4.70			
	185+800	- 186+200	4.70			

PROMEDIO ARITMÉTICO 3.96

RESUMEN DE LOS VALORES DEL ÍNDICE DE RUGOSIDAD INTERNACIONAL - MERLIN

TRAMO TOTAL : DEL 55+050 AL 78+450
 CARRIL DE ENSAYO : DERECHO
 CARPETA DE RODADURA : SLURRY SEAL

CÓDIGO DEL ARCHIVO	TRAMO		DISTANCIA	IRI	FECHA DE ENSAYO
	PROG. INICIAL	PROG. FINAL			
I - 01	55+050	55+450	A 1m del borde	3.08	23/06/2009
I - 02	55+450	55+850	A 1m del borde	2.80	23/06/2009
I - 03	55+850	56+250	A 1m del borde	3.23	23/06/2009
I - 04	56+250	56+650	A 1m del borde	2.87	23/06/2009
I - 05	57+000	57+400	A 1m del borde	3.28	24/06/2009
I - 06	57+400	57+800	A 1m del borde	3.74	24/06/2009
I - 07	57+800	58+200	A 1m del borde	3.78	24/06/2009
I - 08	58+200	58+600	A 1m del borde	4.00	24/06/2009
I - 09	58+900	59+300	A 1m del borde	3.21	24/06/2009
I - 10	59+300	59+700	A 1m del borde	3.75	24/06/2009
I - 11	59+700	60+100	A 1m del borde	4.08	25/06/2009
I - 12	60+500	60+900	A 1m del borde	3.19	25/06/2009
I - 13	61+500	61+900	A 0.70m del borde	3.61	25/06/2009
I - 14	62+560	62+960	A 1.00m del borde	2.91	26/06/2009
I - 15	63+000	63+400	A 1.00m del borde	3.48	26/06/2009
I - 16	64+100	64+500	A 1.00m del borde	2.54	26/06/2009
I - 17	65+600	66+000	A 1.00m del borde	3.17	02/07/2009
I - 18	66+000	66+400	A 1.00m del borde	3.22	02/07/2009
I - 19	67+600	68+000	A 1.00m del borde	3.74	02/07/2009
I - 20	68+500	68+900	A 1.00m del borde	2.85	02/07/2009
I - 21	69+045	69+445	A 1.00m del borde	3.86	02/07/2009
I - 22	70+150	70+550	A 1.00m del borde	3.08	02/07/2009
I - 23	71+500	71+900	A 1.00m del borde	3.80	02/07/2009
I - 24	72+000	72+400	A 1.00m del borde	3.55	03/07/2009
I - 25	73+100	73+500	A 1.00m del borde	3.34	03/07/2009
I - 26	74+400	74+800	A 1.00m del borde	3.51	03/07/2009
I - 27	75+000	75+400	A 1.00m del borde	3.57	03/07/2009
I - 28	76+300	76+700	A 1.00m del borde	3.51	03/07/2009
I - 29	77+200	77+600	A 1.00m del borde	3.18	03/07/2009
I - 30	78+050	78+450	A 1.00m del borde	2.84	03/07/2009

PROMEDIO ARITMÉTICO

3.36

Rango IRI	Longitud (Km.)	%
0 - 2.800	0.80	0.07
2.801- 4.000	10.80	0.90
4.001- 5.000	0.40	0.03
>= 5.001	0.00	0.00
Total	12.00	1.00

ANEXO N° 3

*ÍNDICES DE RUGOSIDAD INTERNACIONAL (IRI)
OBTENIDOS CON EQUIPO MERLIN, SECCIÓN
"B" DEL 22 DE MAYO DEL 2010.*

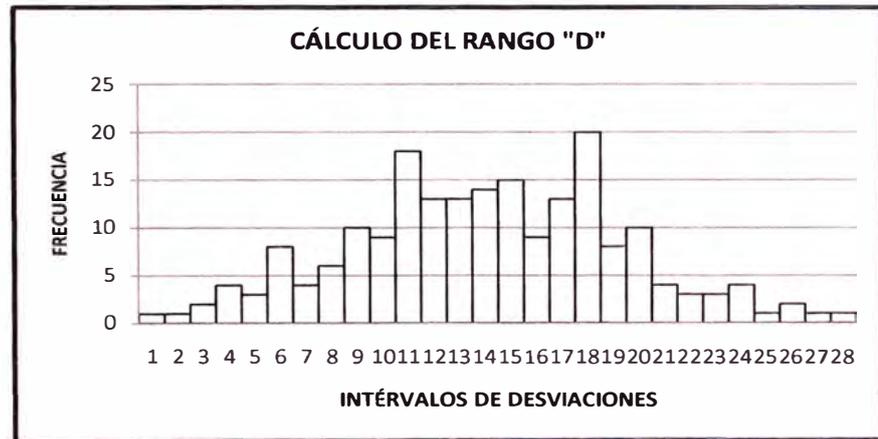
PROCESAMIENTO DE LOS DATOS DE CAMPO - RUGOSÍMETRO MERLIN

PROGRESIVA : DEL 115+600 AL 116+000
CARRIL : IZQUIERDO
DIST. DEL BORDE : A 1m del borde

FECHA : 22/05/2010
ARCHIVO : I - 01

CONTEO DE DESVIACIONES PARA EL CÁLCULO DEL IRI

DESVIACIÓN	REP.
1	1
9	1
11	2
12	4
13	3
14	8
15	4
16	6
17	10
18	9
19	18
20	13
21	13
22	14
23	15
24	9
25	13
26	20
27	8
28	10
29	4
30	3
31	3
32	4
33	1
34	2
35	1
43	1



Histograma de la distribución de frecuencias de una muestra de 200 desviaciones medidas en forma consecutiva

TOTAL	200
--------------	------------

D	D(mm)	Fac. Corr	D Corregido	IRI (m/km)
18.00	90.00	0.89200	80.28	4.37

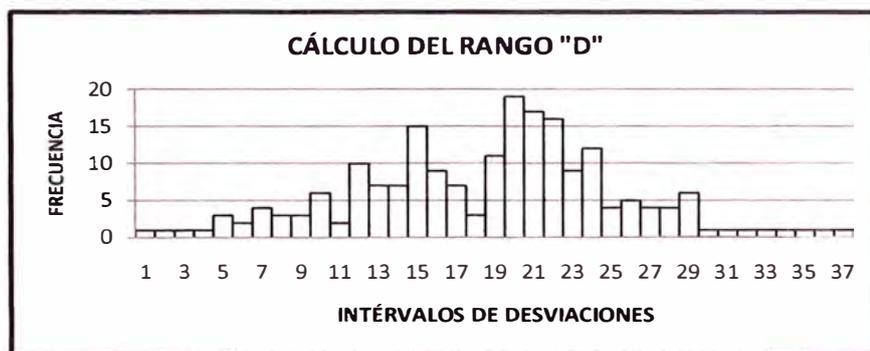
PROCESAMIENTO DE LOS DATOS DE CAMPO - RUGOSÍMETRO MERLIN

PROGRESIVA : DEL 114+800 AL 115+200
CARRIL : IZQUIERDO
DIST. DEL BORDE: A 1m del borde

FECHA : 22/05/2010
ARCHIVO : 1- 02

CONTEO DE DESVIACIONES PARA EL CÁLCULO DEL IRI

DESVIACIÓN	REP.
1	1
4	1
7	1
8	1
9	3
10	2
11	4
12	3
13	3
14	6
15	2
16	10
17	7
18	7
19	15
20	9
21	7
22	3
23	11
24	19
25	17
26	16
27	9
28	12
29	4
30	5
31	4
32	4
33	6
34	1
36	1
39	1
40	1
41	1
42	1
44	1
45	1
TOTAL	200



Histograma de la distribución de frecuencias de una muestra de 200 desviaciones medidas en forma consecutiva

D	D(mm)	Fac. Corr	D Corregido	IRI (m/km)
22.42	112.08	0.89200	99.98	5.30

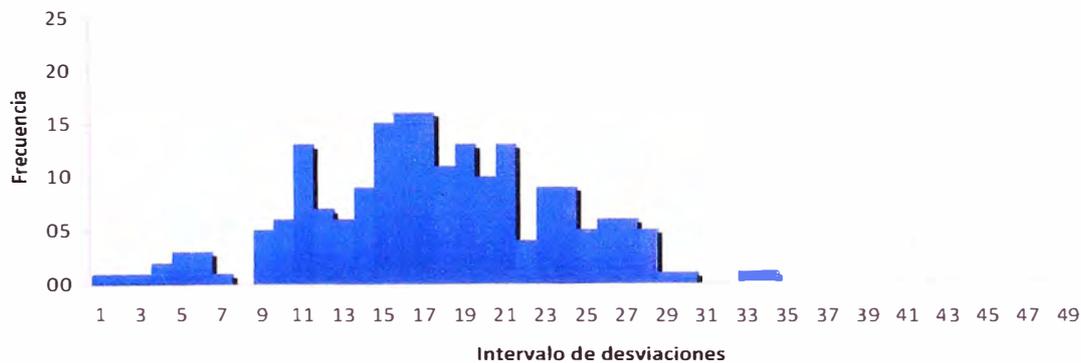


INDICE DE RUGOSIDAD INTERNACIONAL

ENSAYO CON EQUIPO MERLIN - DATOS DE CAMPO

DATOS DEL ENSAYO N°		01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	desv.	cant.	
Proyecto:	Corredor Vial N° 13	1	19	15	14	05	21	28	16	13	16	24	01	01
Sector:	Catahuasi - Chupaca	2	14	16	16	19	19	06	18	14	15	23	02	01
Tramo (km):	115+200 - 114+800	3	29	11	03	04	28	12	05	24	11	14	03	01
Fecha:	22 de Mayo del 2010	4	27	17	20	11	25	15	16	11	21	11	04	02
Sentido:	Descendente	5	18	11	20	15	15	09	06	18	16	15	05	03
Carril:	Izquierdo	6	15	13	21	15	34	19	10	20	21	18	06	03
Tipo de Sun.:	Monocapa	7	17	11	12	05	19	24	16	22	17	20	07	01
DATOS DEL OPERADOR		8	14	06	15	30	27	26	15	21	14	09	08	00
Nombre:	Mesias M.	9	23	23	23	02	28	26	14	17	16	18	09	05
DATOS DEL EQUIPO:		10	16	24	10	22	20	27	18	18	24	26	10	06
Serie:	541	11	26	17	13	18	27	15	10	11	17	28	11	13
SUPERVISADO POR:		12	15	09	16	19	21	20	19	15	17	19	12	07
Ing. Edwin Apolinario Morales		13	16	21	16	11	17	17	19	17	17	12	13	06
OBSERVACIONES:		14	10	25	11	24	18	10	21	11	12	25	14	09
		15	15	20	01	13	26	23	27	12	17	17	15	15
		16	09	16	16	33	17	12	23	24	19	23	16	16
		17	12	17	19	28	25	21	24	20	21	04	17	16
		18	14	20	16	20	25	21	26	17	22	23	18	11
		19	07	13	18	15	22	10	19	18	11	09	19	13
		20	11	21	14	27	24	16	13	21	19	23	20	10
													21	13
													22	04
													23	09
													24	09
													25	05
													26	06
													27	06
													28	05
													29	01
													30	01
													31	00
													32	00
													33	01
													34	01
													35	00
													36	00
													37	00
													38	00
													39	00
													40	00
													41	00
													42	00
													43	00
													44	00
													45	00
													46	00
													47	00
													48	00
													49	00
													50	00
													Total	200

Frecuencia de desviaciones



Histograma de la distribución de frecuencias de una muestra de 200 desviaciones medidas en forma consecutiva

FACTOR DE CORRECCION

Posición Inicial del Puntero:	25.00	Espesor de pastilla	
Posición Final del Puntero:	11.00	e = 6.47 mm	
F.C. =	0.924		

INDICE DE RUGOSIDAD INTERNACIONAL (IRI)

Valor Máximo:	34	D = 21.17	IRI calculado según la ecuación de correlación del TRRL: $IRI = 0,593 + 0,0471 \times D$
Valor Mínimo:	01		
IRI = 5.20		m/km	

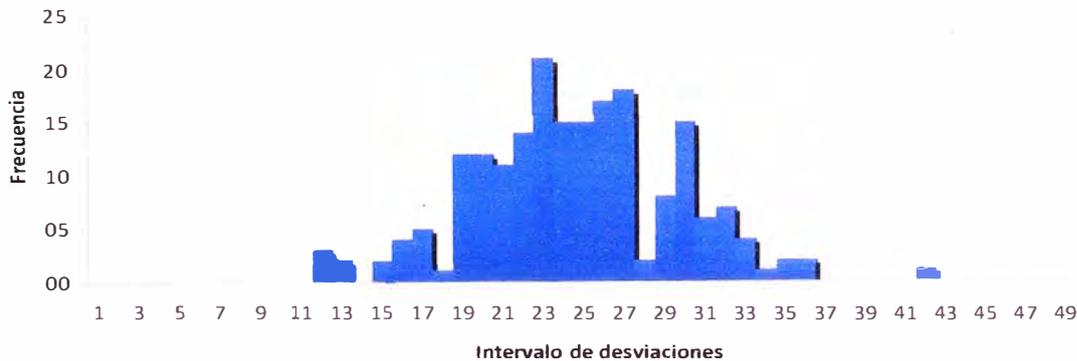


INDICE DE RUGOSIDAD INTERNACIONAL

ENSAYO CON EQUIPO MERLIN - DATOS DE CAMPO

DATOS DEL ENSAYO N°		01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	desv.	cant.	
Proyecto:	Corredor Vial N° 13	1	16	27	25	26	36	26	26	17	16	21	01	00
Sector:	Catahuasi - Chupaca	2	18	19	26	30	34	21	19	25	24	12	02	00
Tramo (km):	116+000 - 115+600	3	22	24	26	24	30	27	32	16	33	31	03	00
Fecha:	22 de Mayo del 2010	4	24	26	22	28	25	22	29	30	20	30	04	00
Sentido:	Descendente	5	23	25	25	24	22	32	19	25	21	20	05	00
Carril:	Izquierdo	6	27	26	25	23	31	33	31	13	21	17	06	00
Tipo de Surc.:	Monocapa	7	30	17	22	19	27	30	25	24	30	33	07	00
DATOS DEL OPERADOR		8	20	24	23	19	20	31	26	27	24	22	08	00
Nombre:	Mesias M.	9	23	29	23	23	20	19	30	24	27	26	09	00
DATOS DEL EQUIPO:		10	21	21	21	20	33	35	27	26	29	19	10	00
Serie:	541	11	26	22	30	20	20	29	32	15	22	29	11	00
SUPERVISADO POR :		12	30	29	29	23	24	32	17	24	21	32	12	03
Ing. Edwin Apolinario Morales		13	22	22	22	31	22	26	36	22	20	23	13	02
OBSERVACIONES:		14	23	23	30	28	27	25	30	27	31	24	14	00
		15	23	23	23	27	27	25	26	19	15	27	15	02
		16	23	20	24	19	16	25	30	12	25	23	16	04
		17	19	26	23	17	13	42	22	27	23	25	17	05
		18	21	21	27	20	24	27	23	12	19	30	18	01
		19	23	26	26	32	27	20	21	25	27	35	19	12
		20	29	25	24	23	30	26	19	32	23	27	20	12

Frecuencia de desviaciones



Histograma de la distribución de frecuencias de una muestra de 200 desviaciones medidas en forma consecutiva

FACTOR DE CORRECCION

Posición Inicial del Puntero:	25.00	Esesor de pastilla	
Posición Final del Puntero:	11.00	e = 6.47 mm	
F.C. =	0.924		

INDICE DE RUGOSIDAD INTERNACIONAL (IRI)

Valor Máximo:	42	D = 16.25	IRI calculado según la ecuación de correlación del TRRL: IRI = 0,593 + 0,0471xD
Valor Mínimo:	12		
IRI =	4.13	m/km	Total 200

ANEXO N° 4

PANEL FOTOGRAFICO

PANEL FOTOGRÁFICO

1. Trazado del tramo Km. 114+000 a Km. 116+000



2. Posible desprendimiento de roca en talud vertical Km. 114+100



3. Cuneta sin revestimiento Km. 114+015



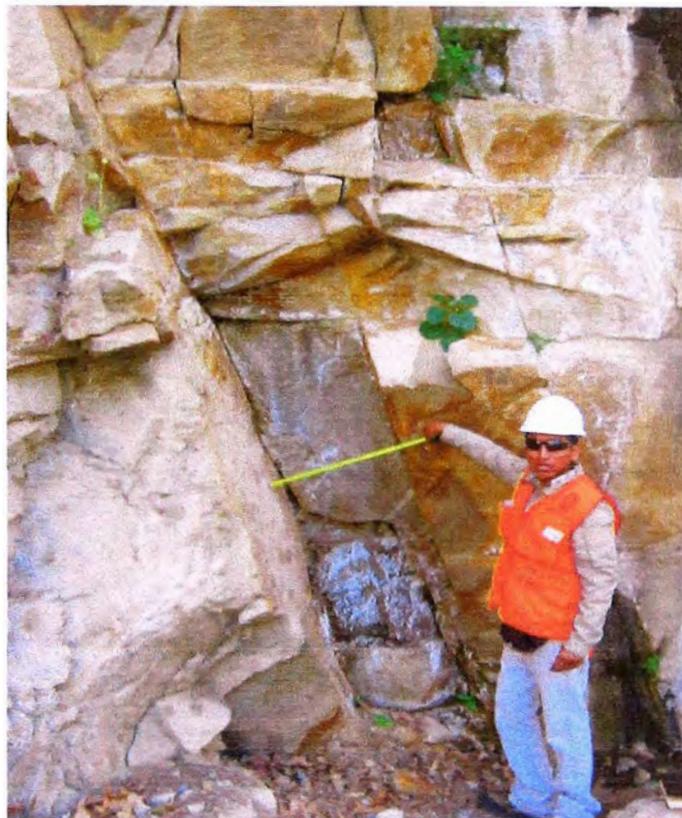
4. Km. 114+900 con tratamiento superficial monocapa



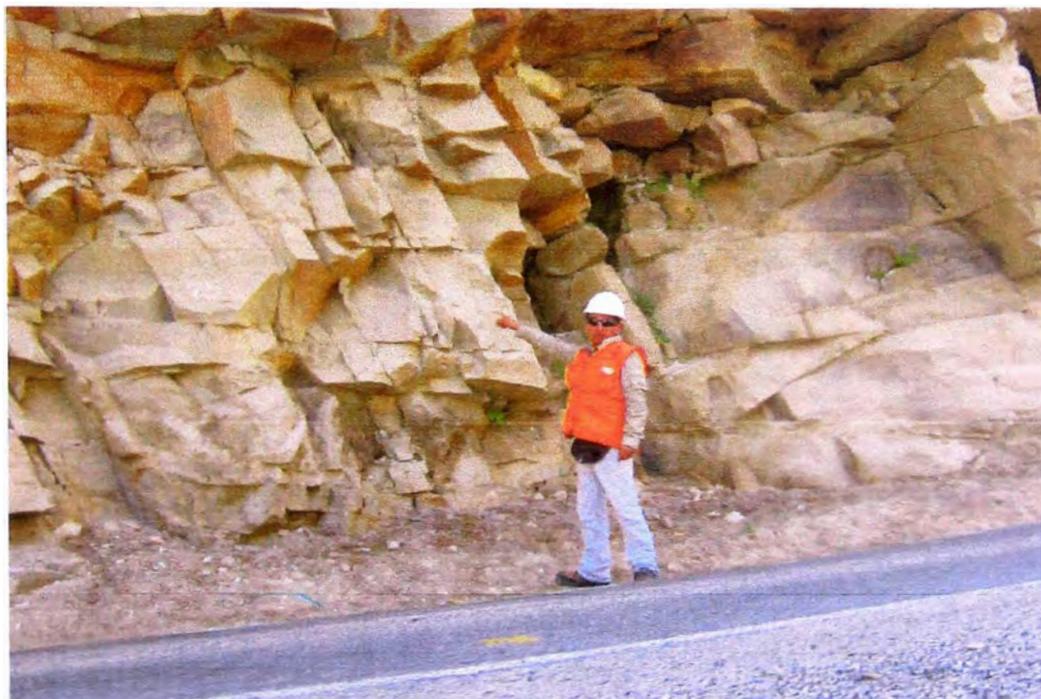
5. Talud en material aluvional compuesto de 40% de bloque (desde 10 cm a 1.5 m de diámetro) al borde la vía que viene desde el Km. 113+000 al Km. 114+045



6. Talud en material rocoso fracturado con diaclasas distanciadas desde 0.1, 0.6 y 1.2m., que va desde el Km. 114+045 al Km. 116+000



7. Talud en roca intrusiva (granodiorita), que muestra sistemas de fracturamientos bien definidas



8. Km. 114+000 al Km. 116+000, donde se aprecia la delgada carpeta asfáltica ha sido erosionada por varios factores.

