

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



**EVALUACION FUNCIONAL CON EL RUGOSIMETRO TIPO
RESPUESTA BUMP INTEGRATOR
MONITOREO DE CONSERVACIÓN CARRETERA CAÑETE –
HUANCAYO Km. 104+000 Al Km. 106+000**

INFORME DE SUFICIENCIA

Para optar el Título Profesional de:

INGENIERO CIVIL

JUAN CARLOS ARANGO DE LA CRUZ

Lima- Perú

2010

INDICE

RESUMEN.....	3
LISTA DE CUADROS.....	5
LISTA DE FIGURAS.....	7
LISTA DE SIMBOLOS Y DE SIGLAS.....	9
INTRODUCCION.....	10
CAPITULO I: GENERALIDADES.....	11
1.1 Antecedentes.....	11
1.2 Ubicación.....	12
1.3 Características de la Carretera.....	14
1.4 Tramo en estudio Km.104+000 al Km.106+000.....	18
1.5 Solución Aplicada.....	21
CAPITULO II: ESTADO DEL ARTE	22
2.1 Sistemas no destructivos en la evaluación Superficial de Pavimentos.....	22
2.1.1 Viga Bemkelman.....	22
2.1.2 Péndulo TRRL.....	23
2.1.3 Merlín.....	25
2.1.4 Bump Integrato.....	27
CAPITULO III: MARCO TEORICO.....	28
3.1 Evaluación Superficial	28
3.2 Rugosidad.....	30
3.3 Índice de Rugosidad Internacional (IRI).....	31
3.4 Métodos de evaluación de la rugosidad.....	33
3.4.1 Métodos de clase 1.....	33
3.4.2 Métodos de clase 2.....	33
3.4.3 Métodos de clase 3.....	34
3.4.4 Métodos de clase 4.....	35
3.5 Evaluación de la rugosidad con el Bump Integrator.....	35
3.5.1 Equipo Bump Integrator.....	35

CAPITULO IV: PROCESAMIENTO DE DATOS TRAMO Km.104+000 al	
Km.106+000.....	40
4.1 Recopilación de datos	40
4.2 Calibración del Equipo	44
4.3 Procesamiento de datos.....	46
CAPITULO V: ANALISIS Y EVALUACION DE RESULTADOS.....	48
5.1 Evaluación de correlación IRI y Bump Integrator.....	48
5.2 Análisis de resultados	51
CONCLUSIONES.....	61
RECOMENDACIONES.....	63
BIBLIOGRAFIA.....	64
ANEXO.....	65

RESUMEN

En el informe “Evaluación de la Rugosidad con el Bump Integrator - Monitoreo de Conservación Carretera Cañete – Huancayo Km.104+000 al Km.106+000” está dividido en cinco capítulos, en las cuales se desarrollan aspectos necesarios en el entendimiento de la problemática actual, fundamentos conceptuales de la metodología en estudio, análisis y evaluación de los resultados obtenidos.

El tramo en estudio actualmente se encuentra con tratamiento superficial monocapa, el cual se encuentra con nivel de servicio aceptable. En algunos tramos de la carretera se aprecia la pérdida de agregados de la superficie de rodadura, asentamientos leves, inadecuada señalización y un inadecuado sistema de drenaje. Para mantener la vía con un nivel de servicio aceptable es necesario monitorear la superficie de rodadura, para ello se utilizara sistemas no destructivos en la evaluación de la superficie de rodadura.

Se evaluara la rugosidad de la superficie de rodadura utilizando el equipo Bump Integrator, determinando así el Índice de Rugosidad Internacional (IRI).

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 siguiente.

Estado Superficial en Función del IRI

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

Según el cuadro anterior, la superficie de rodadura del tramo en estudio está en malas condiciones, debido a que los valores de IRI obtenido de los resultados de la evaluación con el equipo BI están dentro del rango de 4-6.

Debido a que los valores dados en el cuadro anterior esta dado para superficies de rodadura con concreto asfáltico, esta no representa el estado de la superficie de rodadura con tratamiento superficial monocapa. Por ello se evaluara la servisiabilidad de la vía empleando el Índice de Serviciabilidad Presente (PSI), este valor representa mejor el estado de la superficie de rodadura con tratamiento superficial monocapa.

La Transitabilidad de la vía, es decir, la adjetivación de la calidad de servicio que brinda en un momento determinado el pavimento, se evalúa en función de los valores de PSI calculados, de acuerdo a los siguientes rangos:

Valores de PSI en carreteras asfaltadas

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

Según la evaluación de la superficie con el Índice de Serviciabilidad Presente el tramo en estudio tiene una transitabilidad regular.

LISTA DE CUADROS

Cuadro N°3.01: Valores de PSI en carreteras asfálticas	29
Cuadro N°3.02: Estado superficial en función del IRI	29
Cuadro N°3.03: Valores de IRI para concreto asfáltico y Tratamientos superficiales bicapa	31
Cuadro N°4.01: Ubicación de las zonas de calibración	40
Cuadro N°4.02: Valores de BI de campo – Tramo de calibración	41
Cuadro N°4.03: Valores promedio de BI – Tramos de calibración	41
Cuadro N°4.04: Ubicación de estructuras que afectan la toma de datos – tramo Km.104+000 – Km.106+000	42
Cuadro N°4.05: Valores de IRI mes de junio y julio del 2009 carril derecho	42
Cuadro N°4.06: Valores de IRI mes de marzo del 2010 carril derecho	43
Cuadro N°4.07: Valores de BI e IRI (Merlín) carril derecho del tramo en estudio	44
Cuadro N°4.08: Valores de BI e IRI (Merlín) carril izquierdo del tramo en estudio	44
Cuadro N°4.09: Datos de BI e IRI (Merlín) Km.100+000 al Km.110+000 carril derecho	45
Cuadro N°4.10: Datos de BI e IRI (Merlín) Km.100+000 al Km.110+000 carril izquierdo	45
Cuadro N°4.11: Datos de BI e IRI (Merlín) usados para la ecuación de correlación	47

Cuadro N°5.01: Ecuación de correlación por tipo de función – carril derecho	50
Cuadro N°5.02: Ecuación de correlación por tipo de función – carril izquierdo	50
Cuadro N°5.03: Valores de IRI obtenidos con el equipo Bump Integrator en el carril derecho	51
Cuadro N°5.04: Valores de IRI obtenidos con el equipo Bump Integrator en el carril izquierdo	52
Cuadro N°5.05: Valores de IRI obtenidos con el BI en el carril derecho	53
Cuadro N°5.06: Valores de IRI obtenidos con el BI en el carril izquierdo	53
Cuadro N°5.07: Valores promedio de IRI por tramo de 2.00Km	53
Cuadro N°5.08: Estado actual de la superficie de rodadura en función del IRI obtenido	54
Cuadro N°5.09: Estado actual de la superficie de rodadura según Pro Inversión	55
Cuadro N°5.10: Transitabilidad de los tramos en estudio evaluados con el PSI	56
Cuadro N°5.11: Valores de IRI en diferentes épocas de medición en el carril derecho	56
Cuadro N°5.12: Frecuencia de mediciones con el equipo BI	59

LISTA DE FIGURAS

Figura N°1.01	Plano de Ubicación	13
Figura N°1.02	Plano clave carretera Cañete – Lunahuaná – Pacaran – Zúñiga – Dv. Yauyos – Ronchas – Chupaca	16
Figura N°1.03	Giba del Km. 104+105	18
Figura N°1.04	Giba del Km. 104+462	19
Figura N°1.05	Giba del Km. 105+475	19
Figura N°1.06	Cuneta de tierra y descarga de alcantarilla con piedra emboquillada	20
Figura N°1.07	Alcantarilla TMC 48" y piedra emboquillada en ingreso de ALC	20
Figura N°2.01	Esquema y principio de operación de la Viga Benkelman	23
Figura N°2.02	Toma de registro de campo con el Péndulo TRRL	24
Figura N°2.03	Medición de las desviaciones de la superficie del pavimento respecto de la cuerda promedio	25
Figura N°2.04	Histograma de la distribución de frecuencia de una muestra de 200 desviaciones medidas en forma consecutiva	26
Figura N°2.05	Modelo de conexión del rugosímetro Bump Integrator	27
Figura N°3.01	Modelo Quarter car para el cálculo del IRI	32

Figura N°3.02	Esquema de los componentes que conforma el equipo BI para la medición del Índice de Rugosidad IRI	37
Figura N°3.03	Unidad Bump Integrator	38
Figura N°3.04	Unidad de adquisición de datos del Rugosímetro Bump Integrator	39
Figura N°4.01	BI vs IRI – carril derecho	46
Figura N°4.02	BI vs IRI – carril izquierdo	47
Figura N°5.01	Grafica BI Vs IRI – ecuación de correlación – carril derecho	49
Figura N°5.02	Grafica BI Vs IRI – ecuación de correlación – carril izquierdo	49
Figura N°5.03	Grafica IRI Vs Mes de evaluación del IRI	57
Figura N°5.04	Grafica IRI Vs Tiempo	58

LISTA DE SIMBOLOS Y DE SIGLAS

AASHTO	American Association of States 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 de carro)
MTC	Ministerio de Transporte y comunicaciones
MDOT	Michigan Department of Transportation (Departamento de Transporte del Estado de Michigan)
PCI	Pavement Condition Index (Índice de Condición del Pavimento)
PSI	Índice de Serviciabilidad Presente
IRRE	International Roughness Road Experiment (Experimento Internacional de Rugosidad de Vías)
AMC	Tubería Metálica corrugada
ALC	Alcantarilla
TRRL	Meses Skid Teste

INTRODUCCION

Con la actual adjudicación de las vías de bajo volumen de tráfico para su conservación, se busca nuevas soluciones para mantener la vía en las condiciones mínimas de serviciabilidad, para la cual es necesario buscar soluciones de bajo costo y altos rendimientos en el tiempo de servicio de la conservación de la vía.

Por ello se evalúa la rugosidad de la carretera con el fin de determinar parámetros que nos ayuden en la toma de decisiones, de cuándo y cada qué tiempo debemos intervenir en la superficie de rodadura para mantener la vía con los niveles de servicio requerido, utilizando el rugosímetro tipo respuesta "Bump Integrator"

En el primer capítulo se desarrolla aspectos generales de la carretera Cañete-Huancayo, la ubicación, características de la carretera en sus aspectos más relevantes y la situación actual del tramo en estudio.

En el segundo capítulo se desarrolla el estado del arte de los métodos no destructivos usados en la evaluación de la superficie de rodadura, como: Viga Benkelman, Péndulo tipo TRRL, Merlín y el Bump Integrator.

En el tercer capítulo se desarrolla los conceptos de evaluación superficial, métodos de evaluación de rugosidad en la superficie de rodadura y variables de desempeño en la evaluación con el Bump Integrator.

En el cuarto capítulo es enfocado la aplicación del método escogido en la evaluación de la rugosidad, se inicia con la obtención de datos de campo realizados con el Bump Integrator en el tramo en estudio, los puntos a tener en cuenta en la calibración del equipo y el procesamiento de la data en obtener la correlación de datos obtenidos con el BI y los valores de IRI obtenidos con el equipo Merlín.

En el quinto capítulo se evalúa los resultados de la correlación del BI con los valores de IRI del Merlín, obteniendo parámetros para la evaluación de la superficie de rodadura, en la cual se verá la necesidad de aplicar nuevos tratamientos, para evitar el deterioro de la superficie de rodadura en determinados periodos de tiempo.

CAPITULO I: GENERALIDADES

1.1 Antecedentes

La carretera Cañete-Yauyos-Chupaca con ubicación geográfica entre los departamentos de Lima-Junín, fue construida por tramos, desde 1920 hasta 1957 durante los periodos de gobierno del Sr. Augusto B. Leguía, Manuel Prado ugarteche y fue culminada por el Ministerio del Fomento.

Durante mucho tiempo en esta vía no se desarrollo trabajos de mantenimiento ni de rehabilitación, presentando en consecuencia problemas de transitabilidad y de funcionalidad.

Debido a este problema se desarrolla el “Estudio de Ingeniería e Impacto Ambiental”, la cual fue elaborado por el Consultor AYESA – ALPHA CONSULT en el año 1998 y consta de 13 tomos. El Estudio fue contratado por PROMCEPRI (Comisión de Promoción de Concesiones Privadas).

Mediante la estrategia del Programa de desarrollo Vial “Proyecto Perú” diseñado para mejorar las vías de Integración de Corredores económicos con el fin de elevar el nivel de Competitividad de las Zonas Rurales, de la red Vial Nacional, Departamental y Vecinal. Este programa aspira establecer un sistema de contratación de las actividades de conservación de la infraestructura vial, mediante contratos en las que las prestaciones se controlen por niveles de servicio y por plazos iguales o superiores a tres (03) años.

Mediante el Contrato: N° 288-2007-MTC/20, del 27 de Diciembre del 2,007 celebrado con PROVIAS NACIONAL, el Consorcio Gestión de Carreteras asume la responsabilidad de efectuar el servicio de Conservación del Corredor Vial Cañete – Lunahuaná – Pacarán – Dv. Yauyos – Ronchas – Chupaca (271,73 km) y el Mejoramiento del Tramo Zúñiga – Dv. Yauyos – Ronchas, como indica en los Términos de Referencia.

Debido a que la actual capacidad vehicular de la carretera central está colapsada, esta carretera se proyecta como ruta alterna, con lo que se aligerara el tránsito vehicular y disminuir los tiempos de vía entre Lima y Huancayo, además de establecer la integración entre las localidades que atraviesa la carretera tales como las localidades de San Vicente de Cañete, Capillucas, Calachota, Magdalena, Tinco, Llapay, Alis, Tomas, Tinco yauricocha, San Jose de Quero, Chachicocha, Collpa, Ronchas y Chupaca.

1.2 Ubicación

La Carretera Cañete – Dv. Yauyos - Chupaca, pertenece a la red vial nacional, con código de ruta R22 de 271.73 Km de longitud, considerando el inicio en el Km.1+805 y el termino en el Km.273+531.

El tramo se encuentra entre las coordenadas geográficas:

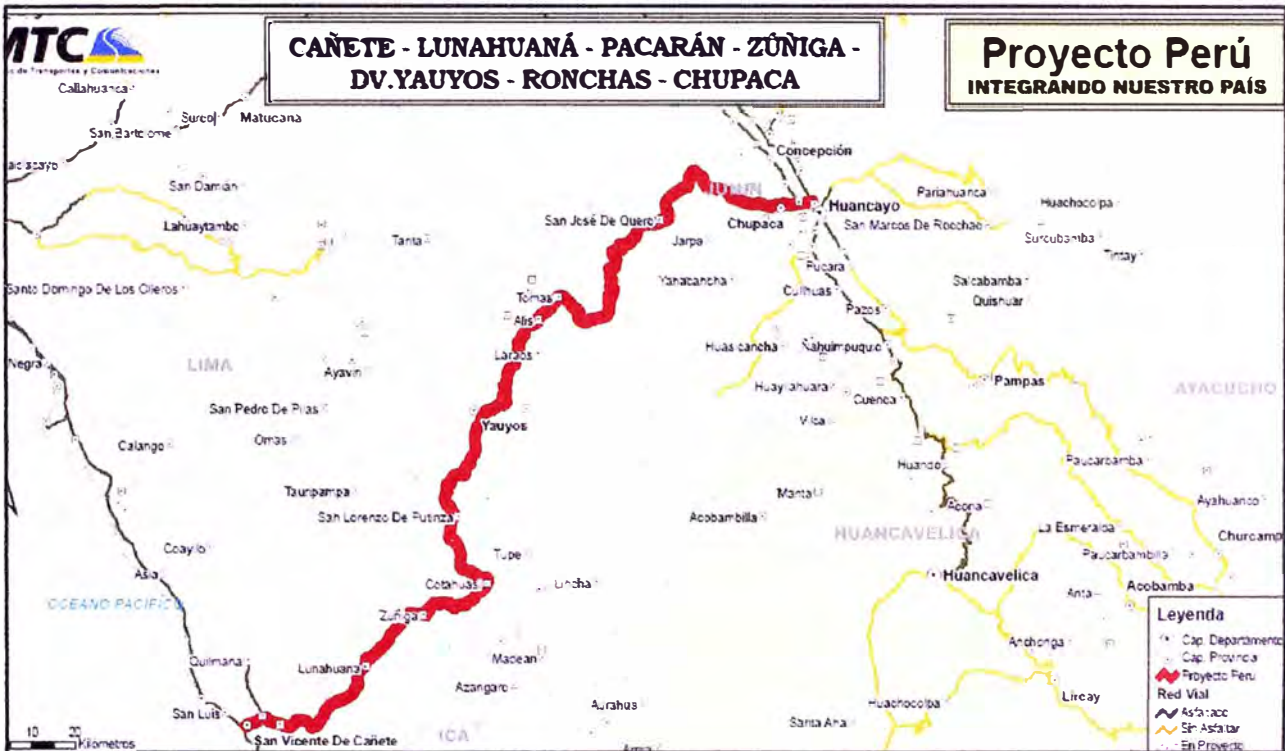
12°00' a 13°00'	Longitud Sur
75°15' a 76°10'	Longitud Oeste

Ubicándose dentro de los cuadrángulos: Lunahuaná (26-k), Tupe (26-l), Yauyos (25-l), Jauja (24-m) y Huancayo (25-m).

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

En el Departamento de Lima recorre la provincia de Cañete, pasando por los distritos de Lunahuaná, Pacarán y Zúñiga; en la provincia de Yauyos pasa por los distritos de Catahuasi, Ayanca, Yauyos, Catania, Miraflores, Alis y Tomas. En el Departamento de Junín recorre la provincia de Chupaca, pasando por los distritos de Jarpa, Ahuac y Chupaca; en la provincia de Concepción pasa por los distritos de San José de Quero y Chambará.

Figura N°1.01 Plano de Ubicación



Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones – Provias Nacional

El área de influencia directamente beneficiada socio - económicamente son las provincias de Cañete, Yauyos, Chupaca y Concepción, teniendo como beneficiarios indirectos, los siguientes límites, por el Norte con los cuadrángulos de Huarochiri y La Oroya, por el Este con los cuadrángulos de Andamarca y Pampas, por el Sur con los cuadrángulos de Tantarà y Chincha y por el Oeste con el cuadrángulo de Mala.

La altitud de este tramo varía entre los 450 m.s.n.m. y 4,600 m.s.n.m. y su longitud total es de 271.73 Km.

1.3 Características de la Carretera

La carretera Cañete-Huancayo, en una carretera de bajo volumen de tráfico en la cual se tiene diferentes tipos de calzada como: Únicamente creciente (UC) y Únicamente decreciente (UD), en la carretera Cañete-Huancayo se tienen los dos sectores de calzada UC y UD, ya que el tráfico vehicular es en ambos sentidos de la vía.

El valle de Cañete es estrecho y de forma triangular, siendo más amplia en el límite con la región Chala o Costa y el vértice por el lugar donde ingresa generalmente uno de los afluentes principales del río; en este sector se encuentran terrazas que son empleadas para el cultivo.

Continúa "la quebrada" que se forma a manera de una estrecha garganta cuanto más se aproxima a los contrafuertes andinos. Todas las superficies de los cerros son pétreas, rocallosas, reseca y completamente desprovistas de condiciones naturales para la agricultura, por falta de agua. Esta área corresponde a la región Yunga (500 msnm - 2300 msnm).

Las localidades que se encuentran con esta configuración son: Zúñiga (821 msnm) en el km 56+600, Catahuasi (1206 msnm) en el km 77+000, Capillucas (1581 msnm) en el km 94+640, Calachota (1740 msnm) en el km 105+040, y Dv. Yauyos o Magdalena (2289 msnm) en el km 127+000).

Continúa la vía por la región Quechua (2300 msnm – 3500 msnm), donde por lo general luego de una estrecha garganta o pongo, se abre una nueva quebrada cuyos fondos planos son relativamente estrechos y son inmediatamente continuados por las faldas de los cerros de suave declive, interrumpidas por lomas.

Entre loma y loma quedan pequeñas hondonadas, en cuyos fondos corren pequeños arroyos o nacen los puquiales. Sus aguas provienen de las filtraciones de las lluvias o de remotas lagunas de las regiones superiores.

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

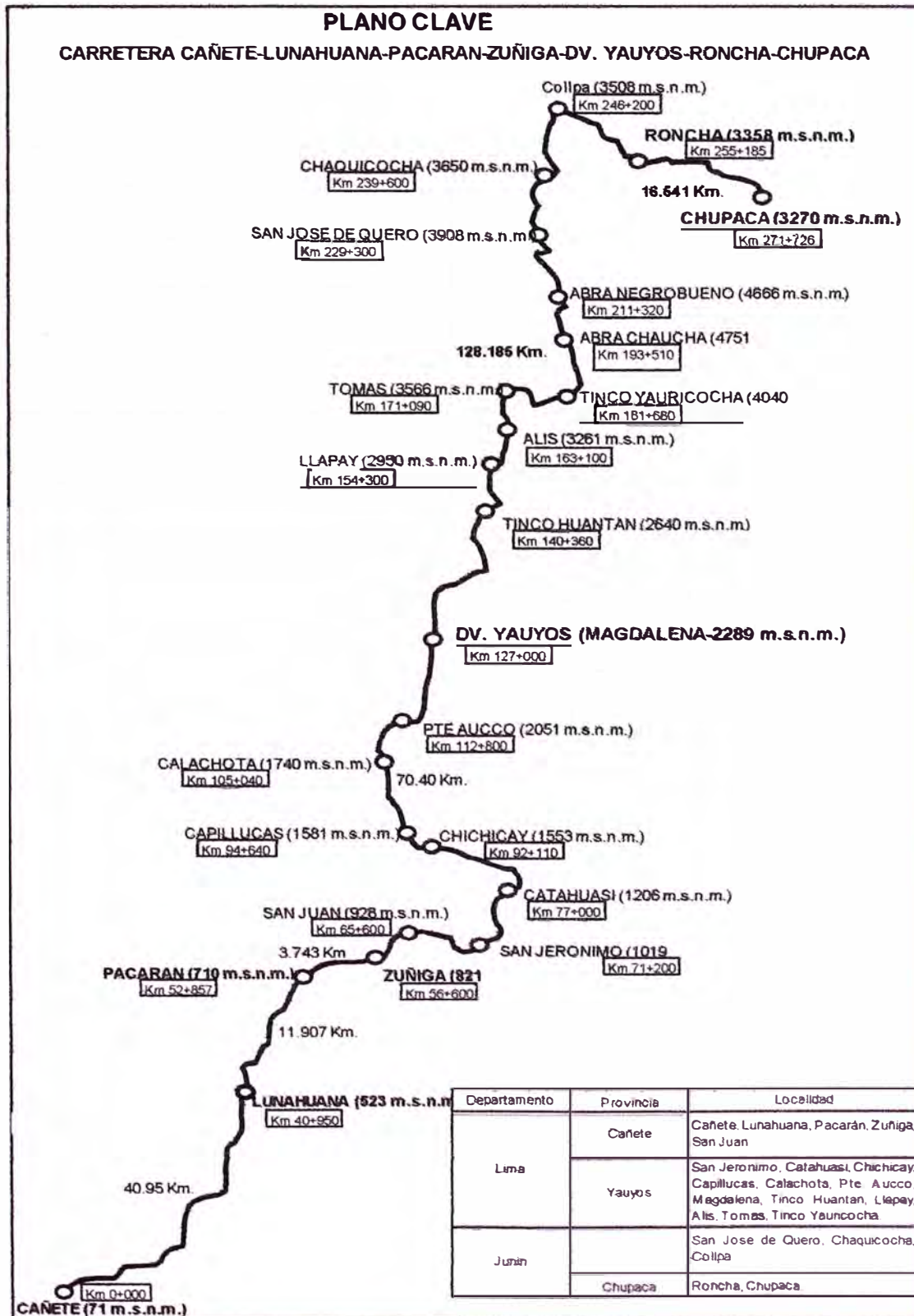
Se continúa ascendiendo llegando a la región Suni o Jalca (3500 msnm a 4000 msnm), donde el escenario cambia a bruscas ascensiones de acantilados, peñoleras y cerros. En este sector normalmente no se encuentran valles, mas por el contrario se tienen quebradas estrechas que abren cañones muy profundos,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

La localidad llamada Tomas (km 171+090) se ubicada en esta región. Se encuentra a 3566 msnm. Al otro lado de la cordillera se ubican: San José de Quero (3908 msnm) en el km 229+300, Chaquicocha (3650 msnm) en el km 239+600, y Collpa (3508 msnm) en el km 246+200.

La carretera atraviesa también la región Puna, que comprende alturas entre los 4000 msnm y 4800 msnm. Esta región aparece a ambos lados del declive andino, separando cumbres nevadas entre sí, reuniendo las cumbres, de menos de 4800 metros para formar nudos y mesetas, y hendiendo las cordilleras para dar paso a las abras. Se considera a la Puna como una gran llanura elevada o altiplano; sin embargo esta región ofrece muy variados relieves en relación con su ubicación.

En esta región ubicamos localidades o lugares como: Tinco Yauricocha (4040 msnm) en el km 181+680, Abra Chaucha (4751 msnm) en el km 193+510, Abra Negro Bueno (4666 msnm) en el km 211+320).

**Figura N°1.02 Plano clave carretera Cañete – Lunahuaná – Pacarán – Zuñiga –
Dv. Yauyos – Ronchas – Chupaca.**



Fuente: Informe Universidad Nacional de Ingeniería

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

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

Yunga Marítima: Esta región se caracteriza por ser de sol dominante durante casi todo el año. La temperatura fluctúa entre 20 y 27°C durante el día; las noches son frescas, a causa de los vientos que bajan de las regiones más altas.

Quechua: El clima es templado con notable diferencia entre el día y la noche, el sol y la sombra. La temperatura media anual fluctúa entre 11°C y 16°C; las máximas entre 22°C y 29°C; y las mínimas entre 7°C y -4°C. La humedad atmosférica es poco sensible, aún cuando el suelo es normalmente húmedo, como consecuencia de las lluvias que caen con regularidad en el verano (diciembre a marzo).

Suni o Jalca: El clima es frío debido a la elevación y a los vientos locales. La temperatura media anual fluctúa entre 7°C y 10°C, máximas superiores a 20°C y mínimas invernales de -1°C a -16°C. El aire es transparente y las nubes se presentan en grandes cúmulos aborregados, simulando nítidas y caprichosas esculturas, muy blancas y brillantes. La precipitación promedio es de 800 mm por año.

Puna: La temperatura media anual es superior a 0°C e inferior a 7°C. La máxima entre setiembre y abril, es superior a 15°C llegando hasta 22°C. Las mínimas absolutas, entre mayo y agosto oscilan entre -9°C y -25°C. La precipitación fluctúa entre 200 mm y 1000 mm al año.

1.4 Tramo en estudio Km.104+000 al Km.106+000

El tramo en estudio actualmente se encuentra con un tratamiento superficial monocapa, en condiciones regulares debido a la presencia de agrietamientos y asentamientos leves, esto debido a la falta de mayores obras de drenaje superficial, erosión ribereña y desgaste de la superficie de rodadura causadas por el tránsito de vehículos pesados.

El tramo en estudio cuenta con un solo carril, siendo el ancho útil de la vía variable de 3 a 6m, cuyas pendientes varían de 3% a 6%, la velocidad máxima permisible en este tramo es de 25 y 30 Km/hora. La señalización horizontal y vertical del tramo son insuficientes, debido a que las curvas son cerradas sin visibilidad y los anchos de la vía son reducidos, esto debido a la falta de diseño geométrico de la carretera

Debido a las condiciones actuales de la carretera, los transportistas suelen sobrepasar las velocidades permitidas, aumentando el riesgo de accidentes. Para frenar este exceso de velocidad por parte de los transportistas, se construyeron gibas en tramos largos, en el tramo en estudio se construyeron 03 gibas en las siguientes progresivas:

Figura N°1.03 Giba del Km.104+105



Fuente: Elaboración propia

Figura N°1.04 Giba del Km 104+462



Fuente: Elaboración propia

Figura N°1.05 Giba del Km 105+475



Fuente: Elaboración propia

Las obras de drenaje que se observaron en el tramo en estudio son: Cunetas de tierra, alcantarillas TMC 48", emboquillados en el ingreso y salida de las alcantarillas.

Figura N°1.06 Cuneta de tierra y descarga de alcantarilla con piedra emboquillada



Fuente: Elaboración propia

Figura N°1.07 Alcantarilla TMC 48" y piedra emboquillada en ingreso de ALC



Fuente: Elaboración propia

1.5 Solución Aplicada

Actualmente la carretera se encuentra a nivel de pavimento básico, sub dividido en nueve tramos, cada una cuentan con una superficie de rodadura de:

- Cañete – Lunahuaná consta de 40.95 km, con IMD de 1477, la superficie de rodadura se encuentra con carpeta asfáltica.
- Lunahuaná – Pacarán consta de 11.91 km, con IMD de 453, la superficie de rodadura se encuentra con un tratamiento superficial – Slurry Seal.
- Pacarán – Zúñiga consta de 3.74 km, con IMD de 520, en este tramo se realizo el cambio de estándar y un tratamiento superficial con Slurry Seal.
- Zúñiga – Catahuasi consta de 20.40 km, con IMD de 325, en este tramo se realizo el cambio de estándar y un tratamiento superficial con Slurry Seal.
- Catahuasi – Capillucas consta de 17.64 km, con IMD de 185, en este tramo se realizo el cambio y un tratamiento superficial con Monocapa.
- Capillucas – Dv. Yauyos consta de 32.36 km, con IMD de 96, en este tramo se realizo el cambio de estándar y un tratamiento superficial con Monocapa.
- Dv. Yauyos – Km. 227 consta de 98.20 km, con IMD de 305, en este tramo se realizo el cambio de estándar y un tratamiento superficial con Monocapa.
- Km. 227+000 – Ronchas consta 29.99 km. con IMD de 616, este tramo se encuentra a nivel de afirmado.
- Ronchas – Chupaca consta 16.54 km. con IMD de 823, este tramo se encuentra en un proceso de cambio de estándar a nivel de estudio definitivo (asfaltado). Ver anexo.

CAPITULO II: ESTADO DEL ARTE

2.1 Sistemas no destructivos en la Evaluación Superficial de Pavimentos

2.1.1 Viga Benkelman

Su principio de operación es ampliamente conocido y consiste en medir el desplazamiento vertical del pavimento ante la aplicación de una carga estática de lenta aplicación.

Tiene sus orígenes en los años 50-60, la Viga Benkelman debido a las ventajas que ofrece es aún empleada en nuestro medio para la evaluación deflectométrica de Pavimentos

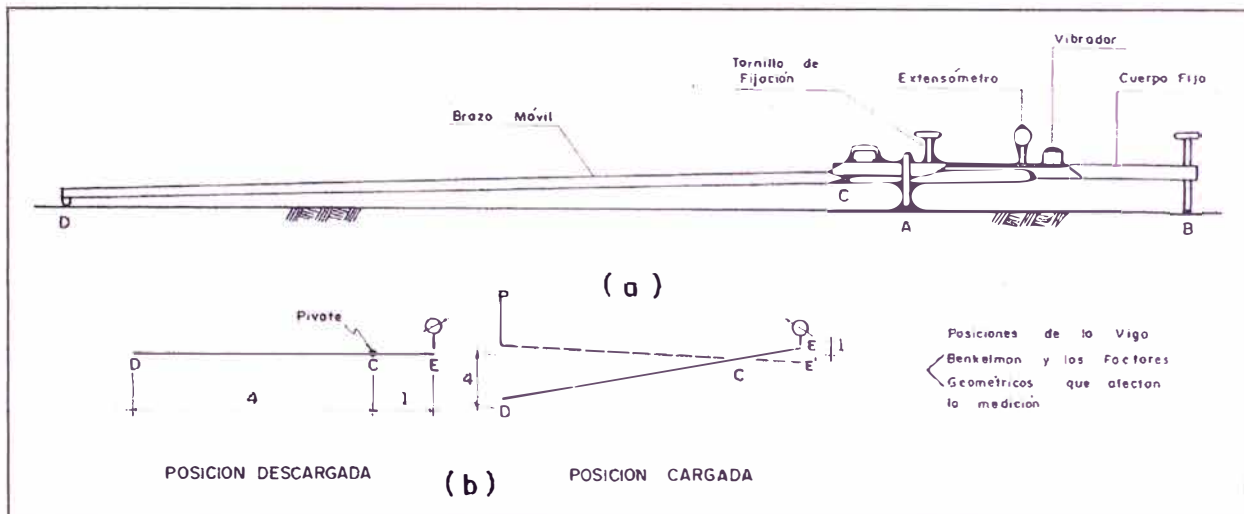
Normas:

- MTC E 1002 – 2000
- ASMT D 4695

La Viga Benkelman es un instrumento que funciona según el principio de una palanca, uno de cuyos extremos se apoya en el pavimento deformado ante la aplicación de una carga, mientras que el otro está en contacto sensible con un deformímetro de precisión, con dial de lecturas graduado en centésimas de mm. Dependiendo de la relación de brazos del equipo y de la factibilidad que el dial proporcione la verdadera magnitud de las medidas.

Para efectuar la medición de deflexiones a nivel de la superficie de rodadura, se ha empleado una viga benkelman bajo la carga de un eje posterior simple de llanta doble del orden de 8.2 tn y presión de inflado de 80 PSI. La viga Benkelman, que funciona como una palanca que rota alrededor de un eje fijo, fue usada para medir las deflexiones a varias distancias del eje de la carga (25, 40, 70 y Máxima) a fin de definir la curva de deflexiones. El esquema y principio de operación de la Viga Benkelman se muestra a continuación:

Figura N°2.01 Esquema y principio de operación de la Viga Benkelman



Fuente: Informe realizado por la Universidad Nacional de Ingeniería del
Acompañamiento y Monitoreo Corredor Vial Cañete – Ronchas

El campo de aplicación de estas mediciones es muy amplio empleándose principalmente para:

- Determinar la vida útil remanente de un pavimento
- Evaluar estructuralmente pavimentos con miras a su rehabilitación
- Evaluar los métodos de diseño de pavimentos y control de ejecución de obras
- Determinar la condición de un pavimento con miras a su conservación

2.1.2 Péndulo TRRL

Este ensayo tiene por objeto exponer una síntesis de la evaluación de la resistencia al deslizamiento de la capa de rodadura del pavimento en las carreteras, esta se da a lo largo de toda su longitud y en ambos carriles.

El coeficiente de fricción permite medir la aspereza del pavimento en el sector de ensayo, mientras más áspero es el pavimento mejor es su comportamiento frente a las fuerzas de deslizamiento en calzadas cuyas superficies se encuentran húmedas. El ensayo ha consistido en aplicar una carga deslizante tipo péndulo a una superficie humedecida para fines de ensayo a fin de determinar el valor de resistencia al

deslizamiento a partir del contacto entre el patin de caucho adherido a la base del péndulo y las irregularidades de la superficie de la calzada cubiertas por una delgada película de agua; Han incluido las siguientes acciones:

- Medida de resistencia al deslizamiento cada 200 m. a nivel de carpeta asfáltica como medida de control de calidad final del pavimento.
- Se mide la temperatura ambiental y del pavimento cada 200 m. durante la ejecución del ensayo de resistencia al deslizamiento.

EQUIPO UTILIZADO

- Skid Tester (Pendulum Tester) Wessex.
- Sliders Rubber TRRL 3" (Placa de Caucho).
- Termómetro de vidrio para medición de temperaturas ambientales y del pavimento.
- Agua destilada para humedecer la superficie a ser ensayada.
- Accesorios (winchas, escobillas, etc.)

Figura N°2.02 Toma de registros de campo con el Péndulo TRRL

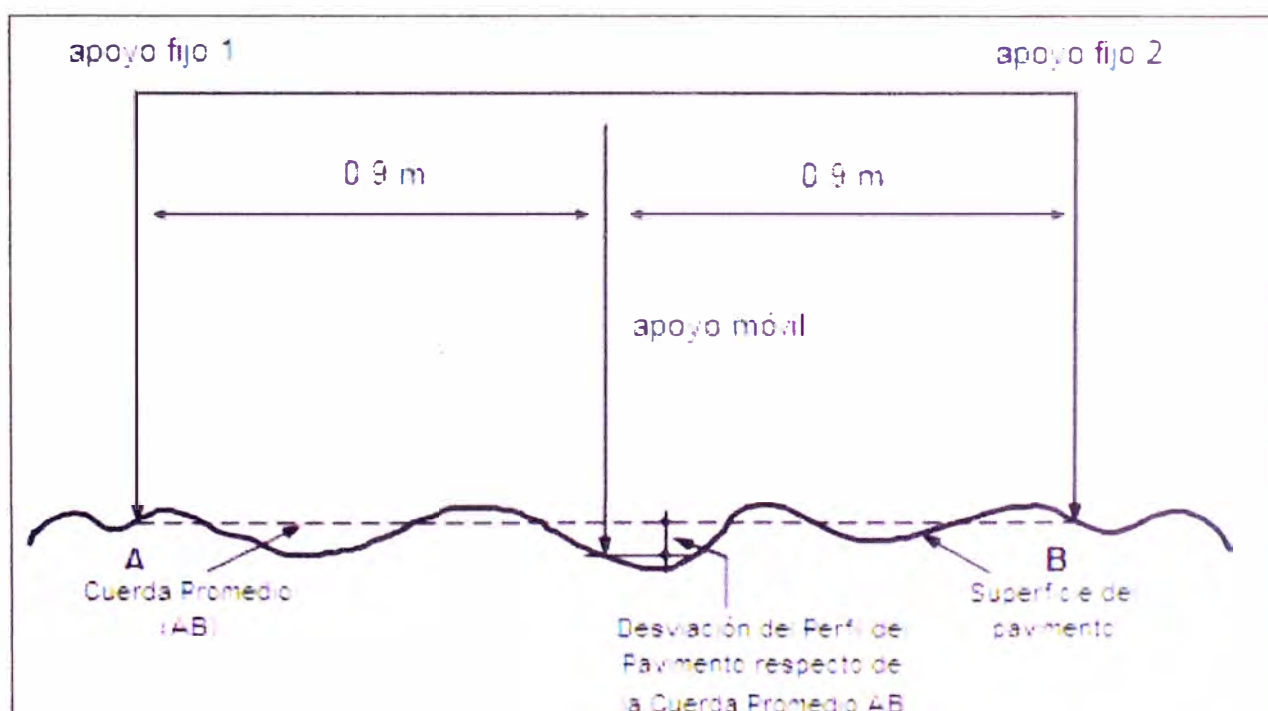


Fuente: Evaluación superficial de Pavimentos Puente Chino - Aguaytia

2.1.3 Merlín

La determinación de la rugosidad de un pavimento se basa en el concepto de usar la distribución de las desviaciones de la superficie respecto de una cuerda promedio. La Figura N°2.03 ilustra como el MERLIN mide el desplazamiento vertical entre la superficie del camino y el punto medio de una línea imaginaria de longitud constante. El desplazamiento es conocido como “la desviación respecto a la cuerda promedio”.

Figura N°2.03 Medición de las desviaciones de la superficie del pavimento respecto de la cuerda promedio

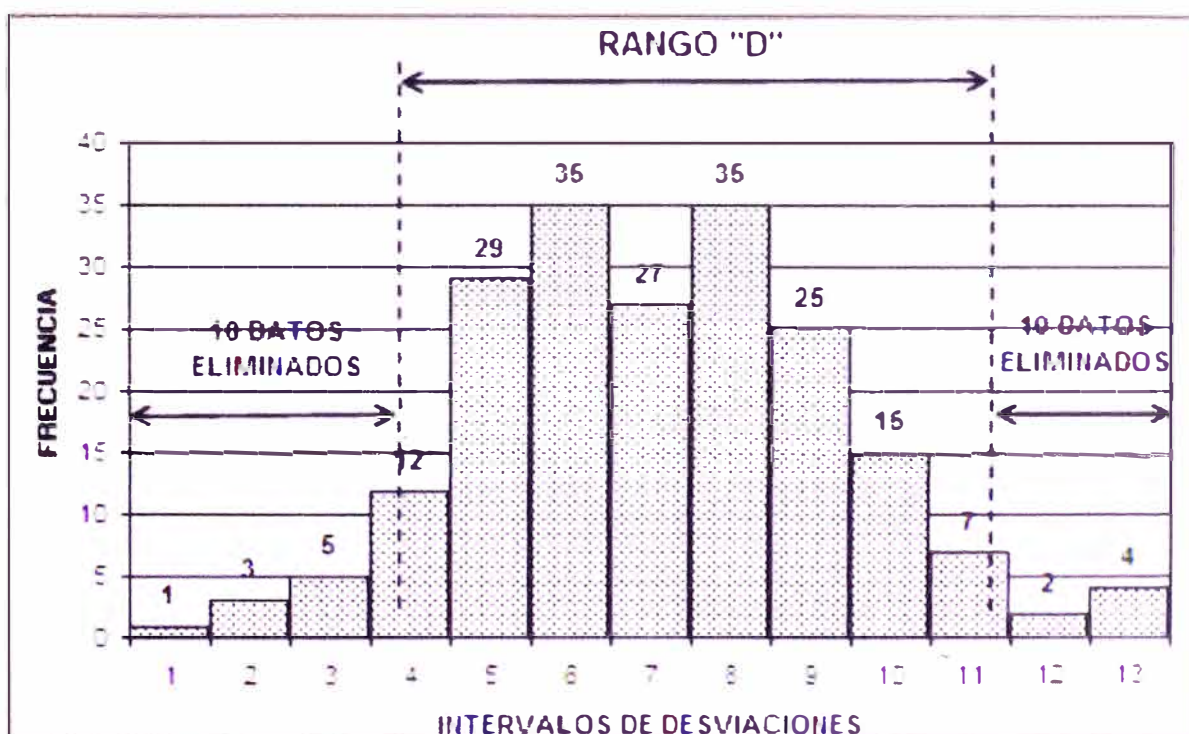


Fuente: Manual Merlín Pablo del Águila

La longitud de la cuerda promedio es 1.80m, por ser la distancia que proporciona los mejores resultados en las correlaciones. Asimismo, se ha definido que es necesario medir 200 desviaciones respecto de la cuerda promedio, en forma consecutiva a lo largo de la vía y considerar un intervalo constante entre cada medición. Para dichas condiciones se tiene que, a mayor rugosidad de la superficie mayor es la variabilidad de los desplazamientos. Si se define el histograma de la distribución de frecuencias de

las 200 mediciones, es posible medir la dispersión de las desviaciones y correlacionarla con la escala estándar de la rugosidad (Ver Figura N°2.04). El parámetro estadístico que establece la magnitud de la dispersión es el Rango de la muestra (D), determinado luego de efectuar una depuración del 10% de observaciones (10 datos en cada cola del histograma). El valor D es la rugosidad del pavimento en "unidades MERLIN".

Figura N°2.04 Histograma de la distribución de frecuencia de una muestra de 200 desviaciones medidas en forma consecutiva



Fuente: Manual Merlín Pablo del Águila

El concepto de usar la dispersión de las desviaciones de la superficie respecto de una cuerda promedio, como una forma para evaluar la rugosidad de un pavimento no es nuevo ni original del Laboratorio Británico de Investigación de Transportes y Caminos (TRRL). Varios parámetros de rugosidad precedentes, tal como el conocido Quarter-car Index (QI), han sido propuestos por otros investigadores basándose en el mismo concepto.

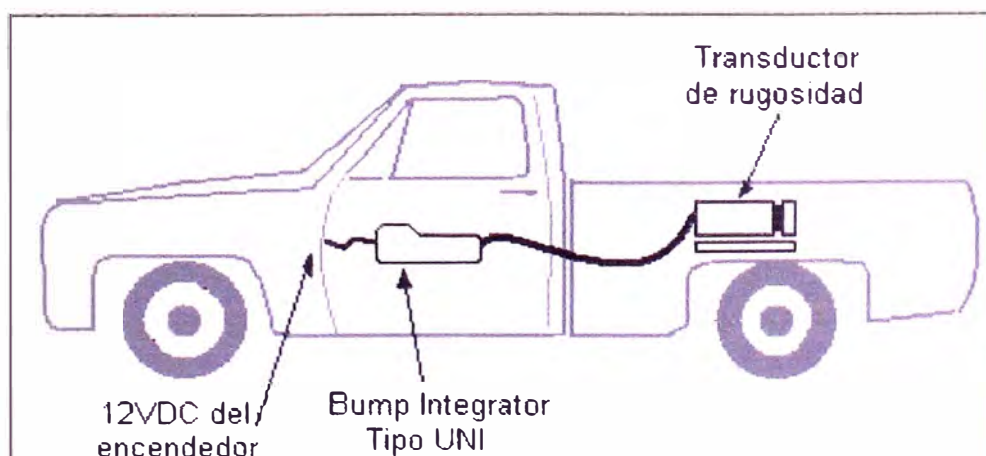
2.1.4 Bump Integrator

De acuerdo con los estudios relacionados y homologados internacionalmente, la rugosidad es el factor principal para determinar el nivel de servicio de la vía. La cuantificación de la rugosidad de la superficie de rodadura de una carretera es un dato indispensable para la estimación de los costos de operación vehicular y para la planificación del mantenimiento vial.

Para esto usamos el instrumento llamado Bump Integrator (BI), el cual mide la rugosidad mediante el registro del desplazamiento del eje posterior de un vehículo a medida que este transita por la vía o los resaltos registrados a lo largo del perfil longitudinal. Para una medición exacta de la rugosidad con este instrumento, es necesario realizar una calibración que permita transformar las lecturas del rugosímetro (conteos/km) en unidades Bump Integrator, a unidades estándar de rugosidad, es decir, m/km o unidades IRI, valiéndose para el efecto de varios instrumentos de calibración, en diferentes secciones de prueba, con distintas condiciones de pavimento y un amplio espectro de velocidades.

Mediante la medición de la rugosidad (regularidad longitudinal) de la vía se determina el grado de comodidad que ésta ofrece al usuario; es decir se valora la condición funcional del pavimento

Figura N°2.05 Modelo de conexión del Rugosímetro Bump Integrator



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

CAPITULO III: MARCO TEORICO

3.1 Evaluación superficial

La rugosidad de un pavimento es el parámetro que relaciona la magnitud y frecuencia de las irregularidades superficiales o altimétricas, con la comodidad o confort al transitar sobre él. La unidad de medición de rugosidad que se emplea en el Perú es el IRI (International Roughness Index), parámetro desarrollado por el Banco Mundial para uniformizar los diversos criterios que existen para medir y calibrar la rugosidad de los pavimentos. Una discusión completa sobre el significado y cálculo del IRI se presenta en la referencia.

Para evaluar la serviciabilidad del pavimento se emplea el parámetro denominado Índice de Serviciabilidad Presente (PSI), el cual establece la condición funcional o capacidad de servicio actual del pavimento, conceptos que fueron desarrollados por el cuerpo técnico del Ensayo Vial AASHO, en 1957. Los valores del PSI se evalúan mediante una escala que va de 0 a 5, en donde la condición óptima corresponde al máximo valor.

En el Perú, la determinación analítica del PSI se efectúa utilizando la expresión establecida por Sayers, que relaciona la Rugosidad con el Índice de Serviciabilidad. La expresión 1, es una correlación desarrollada con la base de datos establecida en el Ensayo Internacional sobre Rugosidad de Caminos, realizado en Brasil en 1982.

donde,

$$R=5.5\ln(5.0/PSI)\pm 25\%, \text{ para } R < 12 \dots \dots (1)$$

- R : Rugosidad, IRI (International Roughness Index)
- PSI : Índice de Serviciabilidad Presente

La Transitabilidad de la vía, es decir, la adjetivación de la calidad de servicio que brinda en un momento determinado el pavimento, se evalúa en función de los valores de PSI calculados, de acuerdo a los siguientes rangos:

Cuadro N°3.01 Valores de PSI en carreteras asfaltadas

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

Fuente: Experiencias y resultados obtenidos en la evaluación de la rugosidad Ing. Pablo del Águila

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 condiciones 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 N°3.02.

Cuadro N°3.02 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 Gutiérrez Lazares FIC - UNI

3.2 Rugosidad

En la norma de ensayo ASTM E 867-06, define el concepto de Rugosidad como:

Desviación de una determinada superficie respecto a una superficie plana teórica, con dimensiones que afectan la dinámica del vehículo, la calidad de manejo.

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 carpeta de rodadura sino mas 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 la rugosidad.

La rugosidad mide las alteraciones de la superficie del pavimento y el Índice de Rugosidad Internacional (IRI) es el referente más usado.

Según Pro Inversión, para la evaluación del nivel de servicio de la conservación y del nivel de servicio de las obras nuevas y de rehabilitación, se utilizara la Rugosidad media Deslizante Máxima con un intervalo de 1Km.

Para el total de intervalos considerados en los dos kilómetros en torno al sector evaluado se calcula el valor medio del IRI, al que se le denominara rugosidad media deslizante en ese sector.

Se exige que el valor máximo de la rugosidad media deslizante no supere los valores indicados en el cuadro N°3.03.

Cuadro N°3.03 Valores de IRI para Concreto Asfaltico y Tratamiento Superficial bicapa

	Concreto Asfaltico	Tratamiento Superficial Bicapa
Tramos en los que se ejecuta obras nuevas o de rehabilitación	2.5 IRI aceptándose una tolerancia de un 20%	3.5 IRI aceptándose una tolerancia de un 15%
Tramos que se encuentran en mantenimiento	3.5 IRI aceptándose una tolerancia de un 15%	4.0 IRI aceptándose una tolerancia de un 10%

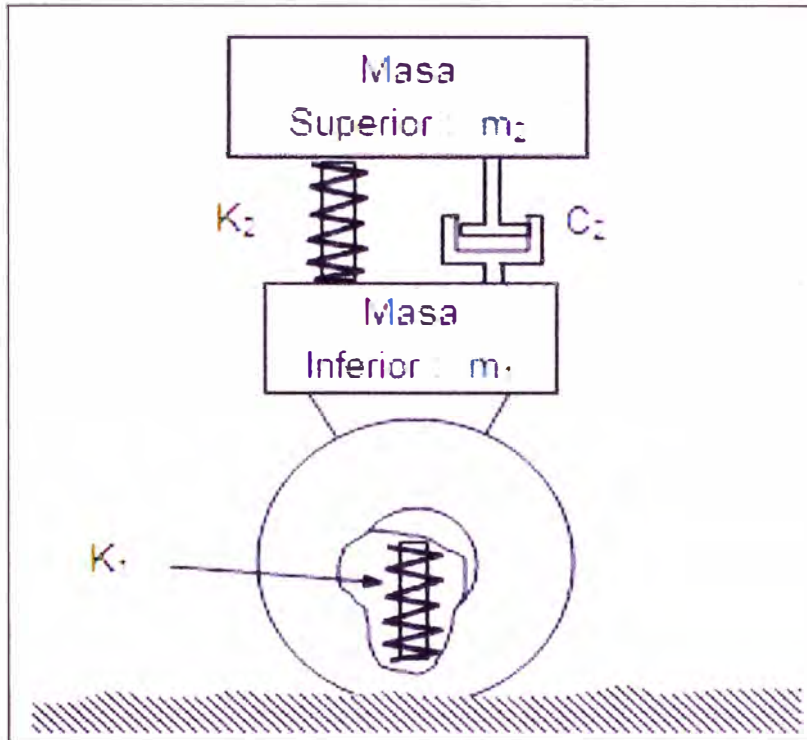
Fuente: Cuadro de evaluación de nivel de servicio para la carretera IIRSA – Eje Amazonas Norte dada por Pro Inversión.

3.3 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 288 (NCHRP).

Para definir el International Roughness Index (IRI), los expertos del Banco Mundial han creado un modelo denominado “cuarto de coche” o “quarter car” (Figura N°3.01). Al avanzar el modelo por una carretera a una velocidad constante de 80 km/h e ir siguiendo sus irregularidades, las masas se mueven verticalmente, y para una combinación estándar de valores de las constantes de los muelles, masas y amortiguador, el movimiento vertical relativo acumulado de la masa superior (que simula el asiento del conductor), al recorrer el modelo una longitud determinada de carretera, es lo que se conoce como IRI.

Figura N°3.01 Modelo Quarter car para el cálculo del IRI



Fuente: Manual Merlín Pablo del Águila

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

- Directamente de la medida longitudinal del perfil por un proceso estándar matemático de data de elevaciones.
- Indirectamente por la respuesta al desplazamiento de un perfilometro (STRMRV) calibrado con el IRI de un método más preciso.
- Indirectamente por una estimación.

3.4 Métodos de evaluación de la rugosidad

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

3.4.1 Métodos Clase 1

Basados en la medición de perfiles topográficos de gran precisión, estos métodos se constituyen como los más exactos que existen para la determinación del IRI. Los métodos de la clase 1 establecen la rugosidad a través de la determinación muy exacta del perfil longitudinal de un pavimento, con medidas espaciadas cada 0.25 m y cotas con una precisión de 0.5 mm. A esta clase pertenecen los métodos basados en la medición del perfil del pavimento con el perfilómetro TRRL Beam, y, con mira y nivel de precisión (Rod and Level).

3.4.2 Métodos Clase 2

Esta clase incluye todos los otros métodos en los cuales la rugosidad se determina sobre la base de la medición del perfil longitudinal, pero con una exactitud menor que los de la Clase 1. Estos métodos recurren al uso de perfilómetros de alta velocidad o mediciones estáticas con equipos similares a los de Clase 1, pero con niveles inferiores de exactitud. Entre los perfilómetros de alta velocidad se tienen, el APL Tráiler y GMRtype Inertial Profilometer.

Tanto los métodos Clase 1, como los Clase 2, establecen la rugosidad en unidades IRI haciendo uso de programas de cómputo, los cuales se basan en algoritmos matemáticos que simulan la respuesta dinámica que experimenta el sistema de

suspensión de un vehículo modelo, al “transitar” por el perfil medido. Dicha respuesta se sintetiza finalmente en la cantidad de movimiento relativo vertical acumulado por unidad de longitud, expresado en m/km y que recibe el nombre de IRI.

3.4.3 Métodos Clase 3

En esta clase están los métodos que recurren al uso de una ecuación de correlación para la estimación del IRI. Estos métodos, también denominados “tipo respuesta” (Response-Type Road Roughness Measuring System, o simplemente, RTRRMS), establecen la rugosidad basados en la detección del movimiento relativo que experimenta el sistema de suspensión de un vehículo de pasajeros o de un tráiler remolcado, al transitar sobre el pavimento.

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

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

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

3.4.4 Métodos Clase 4

Hay situaciones en las que se requieren datos de rugosidad sin necesidad de una gran precisión o simplemente no es posible obtener datos precisos; Sin embargo se hace deseable relacionar las medidas a la escala del IRI. En tales casos se puede recurrir a una evaluación subjetiva, ya sea mediante experiencia previa recorriendo caminos o basándose en una inspección visual. Otra posibilidad es utilizar las medidas obtenidas con un equipo sin calibrar, tal como un RTRRMS. De hecho un equipo tipo respuesta que no está calibrado cae dentro la categoría de Clase 4.

3.5 Evaluación de la Rugosidad con el Bump Integrator

El Bump Integrator pertenece a los perfilómetros de clase 3 y es un Sistema Tipo Respuesta de Medida de rugosidad de Caminos (RTRRMS), este método involucra ecuaciones de correlación para convertir data de campo a las Unidades Internacionales de medición de rugosidad. Es un método utilizado a nivel mundial, pero la precisión y calidad del resultado depende mucho de la calibración.

Los sistemas RTRRM (Sistema de medida de rugosidad tipo respuesta) registran los desplazamientos acumulativos del eje posterior de vehículo, inducido por la irregularidad del camino. El sistema está constituido por: un vehículo con 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 un Contador que registra las cuentas en unidades de medida.

Este instrumento registra la dislocación del chasis del vehículo con respecto al eje trasero en una distancia determinada, expresada por lo general en términos counts / km o m/km.

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

Es también necesario seguir ciertos principios para conducir el examen y así asegurarse de que los resultados sean válidos.

Un instrumento bien calibrado de la rugosidad 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 se puede conducir a decisiones incorrectas.

Para la determinación de la rugosidad se siguió el Siguiendo procedimiento

El tramo a controlar se dividió en sectores homogéneos, estos sectores no deben tener obstáculo alguno.

La velocidad de operación del vehículo para operar el Bump Integrator fue de 40 Km/h.

Se registró las mediciones de rugosidad cada 400 m. la medición se realizó en ambos sentidos de tránsito.

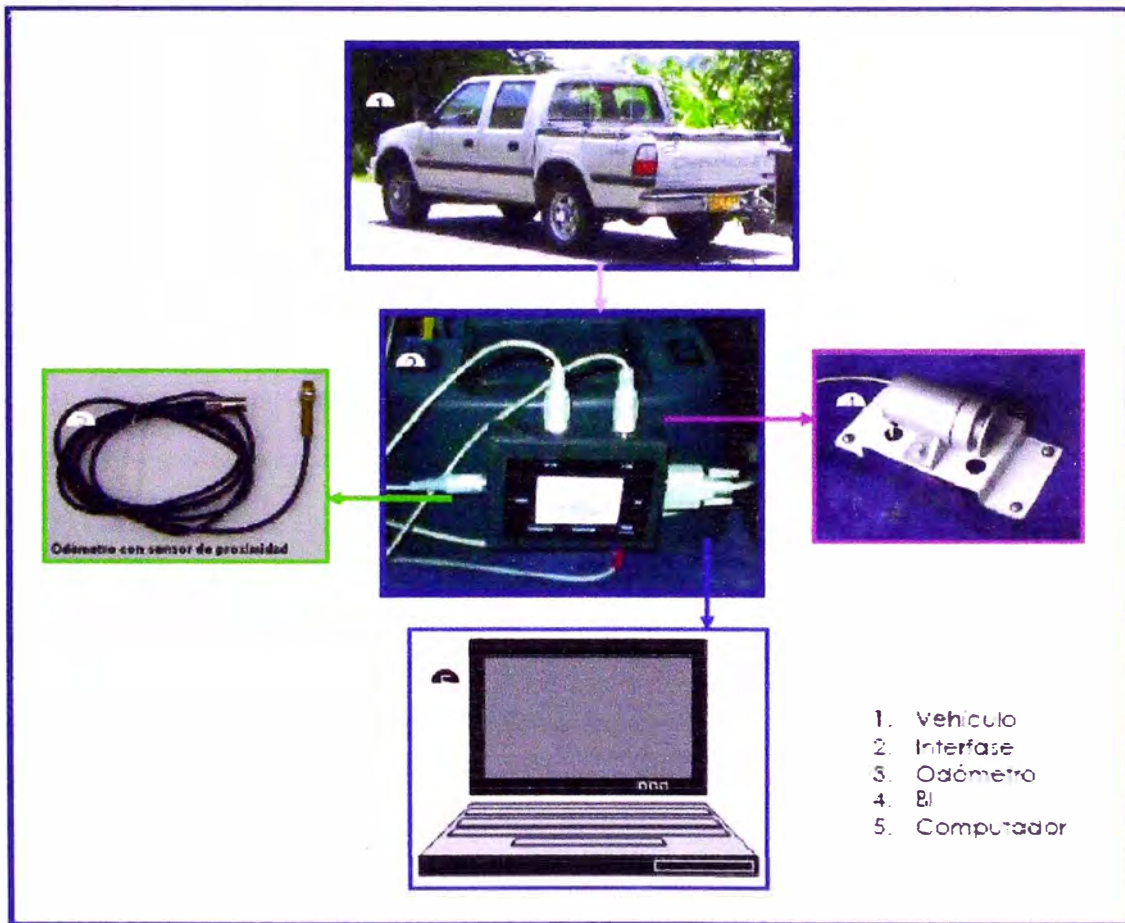
En cada sector evaluado se indicó los límites para la medición con el equipo BI, así también se registraron a aquellos obstáculos que de forma alguna influyen en la determinación de la Rugosidad, así como tachas delineadoras, rompe muelles, accesos a puentes, badenes, baches, interrupciones de la vía por pérdida del pavimento, etc.

3.5.1 Equipo Bump Integrator

El equipo de medición va instalado en el eje posterior transversal de un vehículo. El desplazamiento del vehículo sobre la carretera produce desplazamientos en el eje posterior de vehículo debido a las irregularidades del asfalto, el equipo registra y acumula estos desplazamientos verticales.

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

Figura N°3.02 Esquema de los componentes que conforma el equipo BI para la medición del Índice de Rugosidad IRI



Fuente: Informe de Medición de Rugosidad - Autopista Ruta del Sol

Según publicación técnica N° 46 del Banco Mundial, la velocidad estándar para la medición de la rugosidad con el equipo BI bajo un sistema RTRRMS es 80Km/h, sin embargo pueden presentarse casos donde es necesario utilizar velocidades menores.

- Cuando el uso de la velocidad estándar a 80Km/h no es seguro, por razones de tráfico, de zonas urbanas, de geometría restrictiva u otros. A esta velocidad los resultados pueden ser erróneos o inconsistentes debido a la geometría de la carretera que no permite mantener esta velocidad constante en todo su tramo.
- Cuando los tramos de medición son cortos, el vehículo no puede desarrollar velocidades altas, para lo cual es necesario realizar la medición a una velocidad a la que nos permita el tramo en estudio.

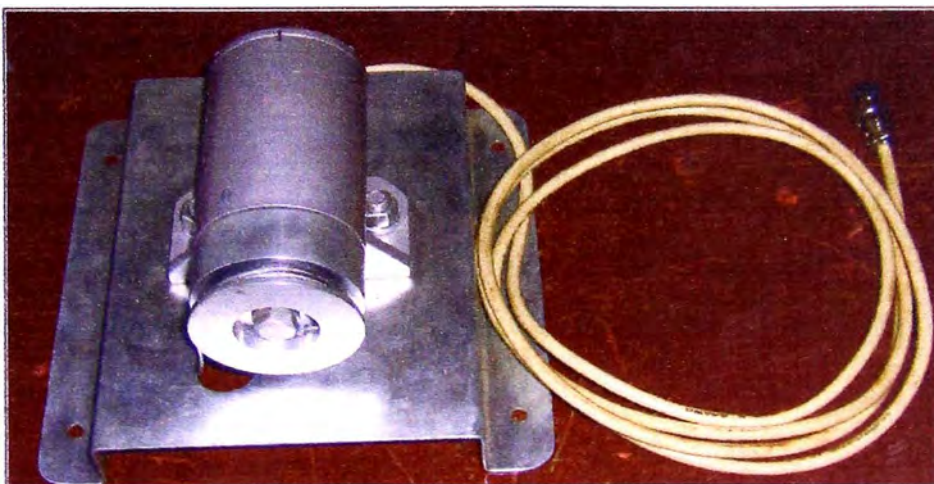
- El vehículo y/o parte del instrumento RTRRMS son bastante frágiles para la operación continua a esa velocidad por lo que debe efectuarse la mediciones a velocidades menores si se quiere aplicar a todos estos.

La solución a estos inconvenientes es realizar la medición a velocidades que oscilen entre 30Km/h y 50Km/h, en carreteras de bajo volumen de tráfico donde la geometría de la carretera, hace que los vehículos no superen estas velocidades.

El equipo utilizado en la toma de datos fue el Rugosimetro Electrónico Bump Integrator Tipo UNI (REBITU), este equipo diseñado utilizando criterios electrónicos sofisticados y con componentes robustos, pensando para trabajar en ambientes hostiles (calor, lluvia, humedad, etc.).

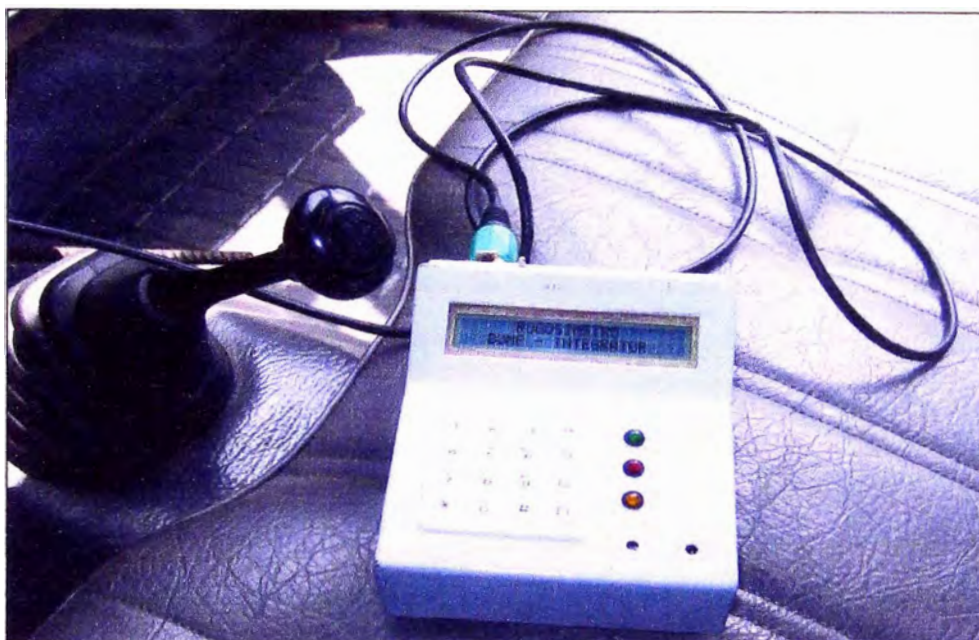
El REBITU va instalado en el eje posterior transversal de un vehículo. El desplazamiento del vehículo sobre la carretera produce desplazamientos en el eje posterior del vehículo debido a la irregularidad de la superficie de rodadura, el equipo registra y acumula estos desplazamientos verticales. La velocidad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

Figura N°3.03 Unidad Bump Integrator



Fuente: Instituto de Investigación de la Faculta de Ingeniería Civil IIFIC - UNI

Figura N°3.04 Unidad de adquisición de datos del Rugosimetro Bump Integrator



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

CAPITULO IV: PROCESAMIENTO DE DATOS TRAMO Km.104+000 al Km.106+000

4.1 Recopilación de datos

El proceso de la toma de datos se inicia con el reconocimiento del tramo de evaluación, una vez realizada el reconocimiento se procede con la marcación en tramos de 400m cada uno, que no tengan interrupciones de gibas u otros elementos que interrumpan el recorrido del vehículo en la medición.

Una vez obtenido los tramos de evaluación se proceden con el recorrido de medición de la rugosidad con el BI, a una velocidad constante de 40 Km/h, se tomara tres mediciones en ambos sentidos de tráfico para cada tramo en evaluación. En estos tramos evaluados con el BI, también se realizara la medición de la rugosidad con el equipo Merlin, se realizara la medición en un solo sentido de tráfico, en ambos huellas de transito de los vehículos. Para obtener una ecuación de correlación del IRI con los datos del BI.

Cuadro N°4.01 Ubicación de las zonas de calibración

Tramo de evaluación	Ubicación
1	Km.104+600 – Km.105+000
2	Km.105+000 – Km.105+400
3	Km.105+600 – Km.106+000

Fuente: Elaboración propia

Las secciones de calibración que se utilizaron para la toma de datos con el Bump Integrator tiene una longitud de 2.0 Km. De las cuales solo es posible la toma de datos en tres tramos de 400m cada una, esto debido a las interferencias que se encontró en todo el ancho de calzada en tres puntos específicos de la vía, las cuales evitan la toma de datos de forma continua. La velocidad empleada en la toma de datos fue 40 Km/h.

Cuadro N°4.02 Valores de BI de campo – Tramo de calibración

ZONA DE MEDICION TRAMO KM 104+000 AL KM 106+000				
TRAMO	KM	CARRIL DERECHA		
TRAMO 3	104+600 - 105+000	1133	1104	1117
	105+000 - 105+400	1041	1106	1072
	105+600 - 106+000	1300	1268	1223

ZONA DE MEDICION TRAMO KM 106+000 AL KM 104+000				
TRAMO	KM	CARRIL IZQUIERDA		
TRAMO 3	105+000 - 104+600	1093	1142	1113
	105+400 - 105+000	1182	1122	1152
	106+000 - 105+600	1203	1232	1247

Fuente: Elaboración propia

Cuadro N°4.03 Valores Promedio de BI – Tramos de calibración

ZONA DE MEDICION TRAMO KM 104+000 AL KM 106+000			
TRAMO	KM	BI PROMEDIO CARRIL DERECHO	BI PROMEDIO CARRIL IZQUIERDO
TRAMO 3	104+600 - 105+000	1118.00	1116.00
	105+000 - 105+400	1073.00	1152.00
	105+600 - 106+000	1263.67	1227.33

Fuente: Elaboración propia

Las interferencias encontradas en el tramo de estudio que dificultaron la toma de datos de forma continua, fueron tres gibas ubicadas en puntos diferentes, las cuales evitan que los conductores sobre pasen las velocidades permitidas en la carretera. Como parte de la inspección de campo se ubicaron estructuras que dificultan la medición continua con el BI, tales estructuras fueron:

**Cuadro N°4.04 Ubicación de estructuras que afectan la toma de datos – tramo
Km.104+000 – Km.106+000**

Progresiva	Observaciones
Km. 104+105	Giba
Km. 104+462	Giba
Km. 105+475	Giba

Fuente: Elaboración propia

Para un análisis de la situación de la superficie de rodadura en el tiempo es necesario evaluar los niveles de rugosidad de la carretera con el paso del tiempo, para lo cual es necesario tener datos de referencia de mediciones anteriores. En el Cuadro N°4.04 y 4.05, vemos datos del IRI en superficie de rodadura con tratamiento Monocapa.

Cuadro N°4.05 Valores de IRI mes de Junio y Julio del 2009 Carril Derecho

CODIGO DEL ARCHIVO	TRAMO			DISTANCIA	IRI	FECHA DE ENSAYO
	PROG. INICIAL	-	PROG. FINAL			
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

Fuente: Resumen de los valores del IRI del Informe Trimestral de la Universidad de Ingeniería

Cuadro N°4.06 Valores de IRI mes de Marzo 2010 Carril Derecho

TRAMO			IRI (m/km)			
			LADO DERECHO			
P. INICIAL	-	P. FINAL	1ra	2da	3ra	PROM
100+300	-	100+700	5.3	4.6	4.4	4.80
100+700	-	101+100	6.3	5.1	5.3	5.60
101+100	-	101+500	5.1	5.4	4.7	5.00
101+500	-	101+900	4.9	5.5	5.3	5.20
101+900	-	102+300	5.2	5.3	5.4	5.30
102+300	-	102+700	5.7	5.3	4.4	5.10
102+700	-	103+100	3.8	4.8	4.6	4.40
103+100	-	103+500	4.6	4.2	4.8	4.50
103+500	-	103+900	4.6	4.9	5.6	5.00
103+900	-	104+300	4.8	5.2	4.7	4.90
104+300	-	104+700	4.6	5.2	4.8	4.90
104+700	-	105+100	4.5	4.2	4.5	4.40
105+100	-	105+500	5.0	5.0	5.2	5.00
105+500	-	105+900	4.6	4.5	4.4	4.50
105+900	-	106+300	4.9	4.4	5.2	4.80
106+300	-	106+700	5.6	5.0	5.4	5.30
106+700	-	107+100	5.1	6.8	5.7	5.90
107+100	-	107+500	5.2	4.9	4.8	5.00
107+500	-	107+900	3.4	3.5	3.8	3.60
107+900	-	108+300	3.9	3.8	3.8	3.80
108+300	-	108+700	4.8	4.1	4.1	4.30
108+700	-	109+100	5.2	5.6	4.9	5.20
109+100	-	109+500	4.5	4.3	4.8	4.50
109+500	-	109+900	4.7	4.6	4.8	4.70
109+900	-	110+300	5.4	5.5	5.1	5.40

Fuente: Resumen de los valores del IRI de la Universidad de Ingeniería

4.2 Calibración del Equipo

La calibración del equipo BI se realiza determinando la ecuación de correlación con el equipo Merlín.

De la lectura de valores en los tramos con el Merlín se obtiene el valor del IRI, este valor se correlacionara con los valores obtenidos con el Bump Integrator, realizando un análisis de regresión, del cual se obtiene la ecuación de que relaciona los valores del BI con los valores de IRI. El grado de precisión depende del grado de precisión de las ecuaciones de correlación utilizadas.

Cuadro N°4.07 Valores de BI e IRI (Merlín) carril derecho del tramo en estudio

Tramo	Ubicación	IRI Merlín Carril Derecho	BI Carril Derecho
3	Km.104+600 – Km.105+000	4.25	1158.00
	Km.105+000 – Km.105+400	4.04	1159.33
	Km.105+600 – Km.106+000		1137.33

Fuente: Elaboración propia

Cuadro N°4.08 Valores de BI e IRI (Merlín) carril izquierdo del tramo en estudio

Tramo	Ubicación	IRI Merlín Carril Izquierdo	BI Carril Izquierdo
3	Km.104+600 – Km.105+000	4.46	1159.33
	Km.105+000 – Km.105+400	4.74	1165.33
	Km.105+600 – Km.106+000		1170.67

Fuente: Elaboración propia

Como los datos tomados en el tramo en estudio Km.104+000 al Km.106+000 son insuficientes para determinar la ecuación de correlación y por consiguiente determinar

el IRI, se utilizara todas las mediciones que se realizaron en campo en todos los tramos de estudio del Km.100+000 al Km.110+000, con estos datos se obtiene una mejor ecuación de correlación y determinar el IRI con una mayor precisión.

Cuadro N°4.09 Datos de BI e IRI (Merlín) Km.100+000 al Km.110+000 carril derecho

TRAMO	KM	LONGITUD	BI - PROMEDIO	IRI
			DERECHA	DERECHA
1	100+400 - 100+800	400	1,146.00	4.72
	101+000 - 101+400	400	1,441.33	4.70
2	102+150 - 102+550	400	1,230.00	4.74
	103+300 - 103+700	400	1,114.67	4.64
3	104+600 - 105+000	400	1,118.00	4.25
	105+000 - 105+400	400	1,073.00	4.04
4	106+200 - 106+600	400	1,159.50	4.52
	107+600 - 108+000	400	870.33	3.66
5	108+800 - 109+200	400	1,182.00	4.27
	109+600 - 110+000	400	1,148.00	4.73

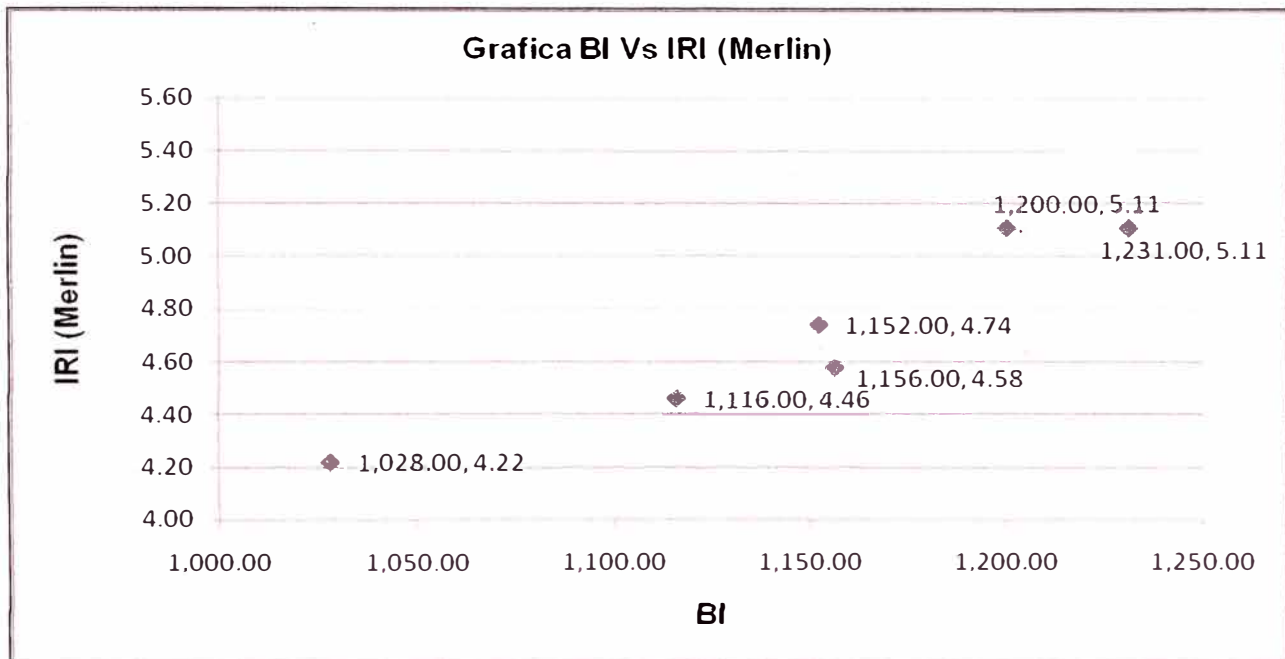
Fuente: Evaluación de campo UNI-FIC, 15 mayo 2010

Cuadro N°4.10 Datos de BI e IRI (Merlín) Km.100+000 al Km.110+000 carril izquierdo

TRAMO	KM	LONGITUD	BI - PROMEDIO	IRI
			IZQUIERDA	IZQUIERDA
1	100+400 - 100+800	400	1,156.00	4.58
	101+000 - 101+400	400	1,200.00	5.11
2	102+150 - 102+550	400	1,231.00	5.11
	103+300 - 103+700	400	1,028.00	4.22
3	104+600 - 105+000	400	1,116.00	4.46
	105+000 - 105+400	400	1,152.00	4.74
4	106+200 - 106+600	400	1,276.00	4.29
	107+600 - 108+000	400	921.00	4.00
5	108+800 - 109+200	400	1,181.00	4.60
	109+600 - 110+000	400	1,138.67	5.05

Fuente: Evaluación de campo UNI-FIC, 15 mayo 2010

Figura N°4.02 BI vs IRI (Merlín) – Carril Izquierdo



Fuente: Elaboración propia

De la Figura 4.01 y 4.02, se procede a eliminar los puntos que no tienen la misma tendencia de crecimiento del IRI con el aumento del BI, por lo que se usara los datos que se muestra en el siguiente cuadro.

Cuadro N°4.11 Valores de BI e IRI (Merlín) usados para la ecuación de correlación

TRAMO	KM	LONGITUD	BI - PROMEDIO	IRI
			CARRIL DERECHO	
1	100+400 - 100+800	400	1,146.00	4.72
2	103+300 - 103+700	400	1,114.67	4.64
3	105+000 - 105+400	400	1,073.00	4.04

TRAMO	KM	LONGITUD	BI - PROMEDIO	IRI
			CARRIL IZQUIERDO	
1	101+000 - 101+400	400	1,200.00	5.10
2	102+150 - 102+550	400	1,231.00	5.11
3	105+000 - 105+400	400	1,152.00	4.74

Fuente: Elaboración propia

CAPITULO V: ANALISIS Y EVALUACION DE RESULTADOS

5.1 Evaluación de correlación IRI y Bump Integrator

A través de un análisis de regresión, se relaciona las medidas de rugosidad con el rugosímetro tipo respuestas, para el presente caso serán las medidas con el “Bump Integrator” y la rugosidad IRI (Merlín) asignada a cada carril de cada sección de calibración y se determina una ecuación de calibración que será usada para estandarizar las medidas de rugosidad del tramo en estudio.

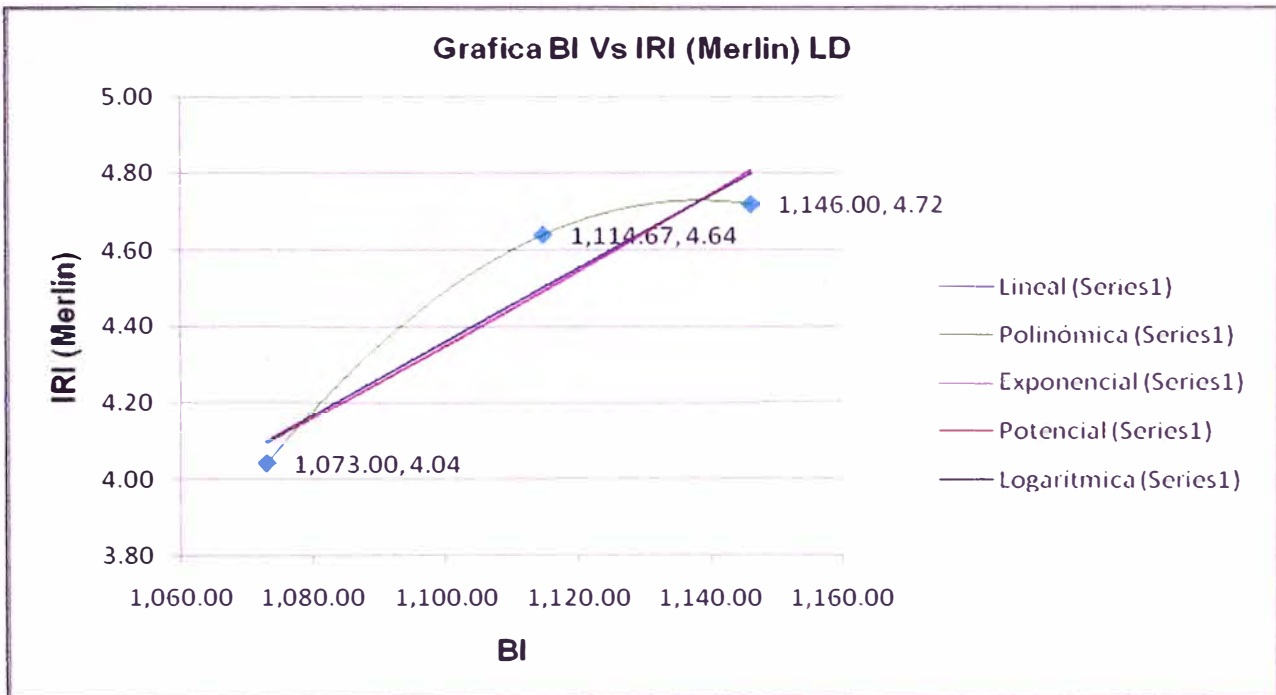
La curva de mejor ajuste, denominada ecuación de calibración será si el coeficiente de ajuste o correlación (R^2) es mayor o igual a 0.80. De no comprobarse esta situación se verificarán todos los datos, de las cuales los datos que no cumplen con la proporción directa entre los datos de BI y el IRI (Merlín) serán depurados.

Con el fin de obtener el coeficiente de ajuste o correlación (R^2) más alto, se procede a generar las siguientes ecuaciones de correlación:

- Lineal
- Polinómica
- Exponencial
- Potencial
- Logarítmica

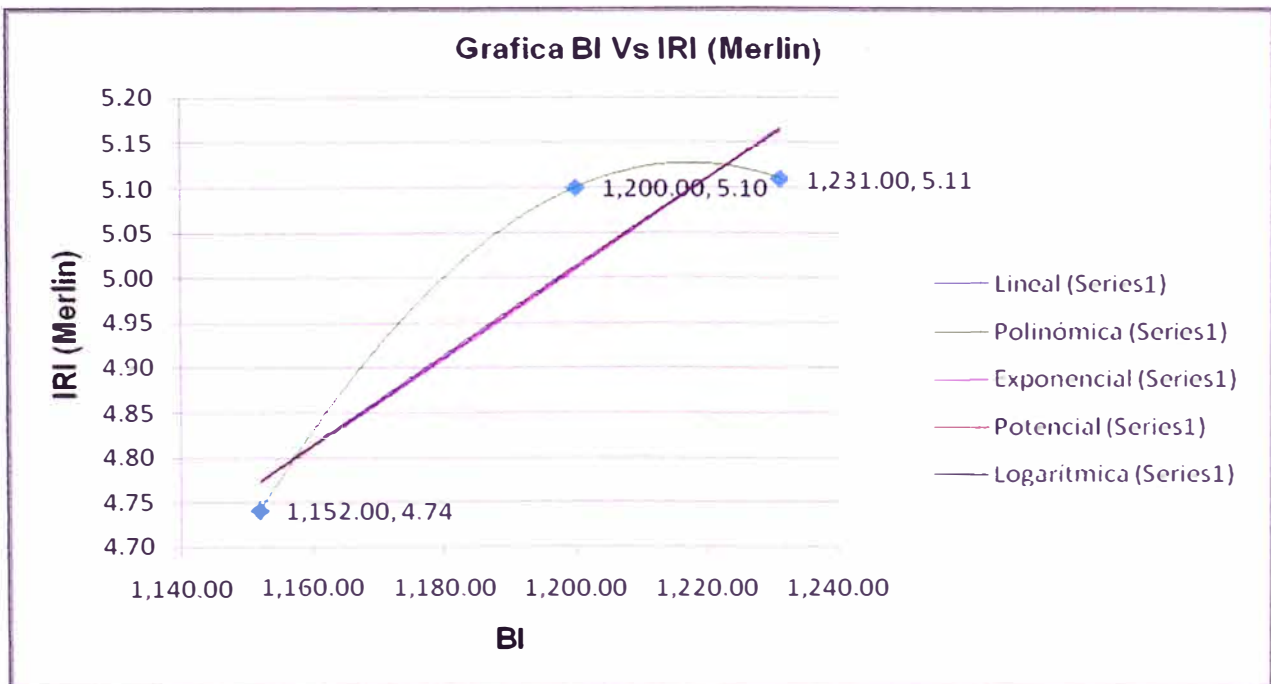
De la evaluación de cada una de ellas se tomara aquella ecuación cuyo coeficiente de correlación (R^2) sea la mayor y a la vez sea mayor a 0.80.

Figura N°5.01 Grafica BI Vs IRI (Merlín) – Ecuación de Correlación-Carril Derecho



Fuente: Elaboración propia

Figura N°5.02 Grafica BI Vs IRI (Merlín) – Ecuación de Correlación-Carril Izquierdo



Fuente: Elaboración propia

De la figura 5.01 y 5.02 se obtienen las siguientes ecuaciones de correlación por cada función empleado.

Cuadro N°5.01 Ecuación de Correlación por Tipo de Función – Carril Derecho

Función	Ecuación de Correlación	Factor de correlación
Lineal	$y = 0.0096x - 6.1869$	$R^2 = 0.8924$
Polinomial	$y = -0.0002x^2 + 0.3694x - 205.49$	$R^2 = 1.0000$
Exponencial	$y = 0.3888e^{0.0022x}$	$R^2 = 0.8878$
Potencial	$y = 2E-07x^{2.4402}$	$R^2 = 0.8935$
Logarítmica	$y = 10.658\ln(x) - 70.278$	$R^2 = 0.8981$

Fuente: Elaboración propia

Cuadro N°5.02 Ecuación de Correlación por Tipo de Función – Carril Izquierdo

Función	Ecuación de Correlación	Factor de correlación
Lineal	$y = 0.0049x - 0.8991$	$R^2 = 0.8650$
Polinomial	$y = -9E-05x^2 + 0.2212x - 129.5$	$R^2 = 1.0000$
Exponencial	$y = 1.5074e^{0.001x}$	$R^2 = 0.8644$
Potencial	$y = 0.0011x^{1.1946}$	$R^2 = 0.8705$
Logarítmica	$y = 5.8801\ln(x) - 36.677$	$R^2 = 0.8710$

Fuente: Elaboración propia

5.2 Análisis de resultados

Para el carril derecho, de las ecuaciones de correlación por cada función vemos que todas las ecuaciones tienen un coeficiente de correlación (R^2) mayor a 0.80. La función Polinómica es la que representaría mejor la relación entre el IRI y los valores del BI con un coeficiente $R^2=1.000$, esta ecuación será descartada por la concavidad que muestra la función según la Figura N° 5.01, la cual contradice la proporcionalidad directa entre el IRI y el BI (a mayor BI, mayor IRI).

Al quedar como función más representativa la función Logarítmica con un $R^2=0.8981$, la función potencial con un $R^2=0.8935$ y la función Lineal con un $R^2=0.8924$, todas ellas con un grado mayor al 89% de la variación total de datos explicada por cada función, de las cuales se procede con la elección de la ecuación de correlación

Por otro lado el factor que determinara la elección de la ecuación será aquel que mejor represente la condición del pavimento, la proporcionalidad existente entre el IRI y las medidas BI, por lo que se escoge la función lineal y la ecuación **IRI: $0.0096BI-6.1869$** como la ecuación de calibración.

Cuadro N°5.03 Valores de IRI Obtenidos con el Equipo Bump Integrator en el Carril Derecho

TRAMO	KM	BI	IRI
		CARRIL DERECHO	
1	100+400 - 100+800	1,146.00	4.82
2	103+300 - 103+700	1,114.67	4.51
3	105+000 - 105+400	1,073.00	4.11

Fuente: Elaboración propia

Para el carril izquierdo, de las ecuaciones de correlación por cada función vemos que todas las ecuaciones tienen un coeficiente de correlación (R^2) mayor a 0.80. la función Polinómica es la que representaría mejor la relación entre el IRI y los valores del BI con un coeficiente $R^2=1.0000$, esta ecuación será descartada por la concavidad que muestra la función según la Figura N°5.02, la cual contradice la proporcionalidad directa entre el IRI y el BI (a mayor BI, mayor IRI).

Al quedar como función más representativa la función logarítmica con un $R^2=0.8710$, la función potencial con un $R^2=0.8705$ y la función Lineal con un $R^2=0.8650$, todas ellas con un grado mayor al 86% de la variación total de datos explicada por cada función, de las cuales se procede con la elección de la ecuación de correlación

Por otro lado el factor que determinara la elección de la ecuación será aquel que mejor represente la condición del pavimento, la proporcionalidad existente entre el IRI y las medidas BI, por lo que se escoge la función lineal y la ecuación **IRI: $0.0049BI-0.8991$** como la ecuación de calibración.

Cuadro N°5.04 Valores de IRI Obtenidos con el Equipo Bump Integrator en el Carril Izquierdo

TRAMO	KM	BI	IRI
		CARRIL IZQUIERDO	
1	101+000 - 101+400	1,200.00	4.98
2	102+150 - 102+550	1,231.00	5.13
3	105+000 - 105+400	1,152.00	4.75

Fuente: Elaboración propia

Con las ecuaciones de correlación obtenidas para ambos carriles, se determinara el Índice de Rugosidad Internacional (IRI) de todos los tramos evaluados con la misma superficie de rodadura, para ello en el Cuadro N°5.05 y N° 5.06 vemos los valores del IRI obtenidos de los tres primeros tramos evaluados.

Cuadro N°5.05 Valores de IRI Obtenidos con el BI en el Carril Derecho

TRAMO	KM	LONGITUD	BI - PROMEDIO	IRI
			DERECHA	DERECHA
1	100+400 - 100+800	400	1,146.00	4.82
	101+000 - 101+400	400	1,441.33	7.65
2	102+150 - 102+550	400	1,230.00	5.62
	103+300 - 103+700	400	1,114.67	4.51
3	104+600 - 105+000	400	1,118.00	4.25
	105+000 - 105+400	400	1,073.00	4.55

Fuente: Elaboración propia

Cuadro N°5.06 Valores de IRI Obtenidos con el BI en el Carril Izquierdo

TRAMO	KM	LONGITUD	BI - PROMEDIO	IRI
			IZQUIERDA	IZQUIERDA
1	100+400 - 100+800	400	1,156.00	4.77
	101+000 - 101+400	400	1,200.00	4.98
2	102+150 - 102+550	400	1,231.00	5.13
	103+300 - 103+700	400	1,028.00	4.14
3	104+600 - 105+000	400	1,116.00	4.57
	105+000 - 105+400	400	1,152.00	4.75

Fuente: Elaboración propia

Cuadro N°5.07 Valores Promedio de IRI por tramo de 2.00 Km

TRAMO	KM	IRI (PROMEDIO)
1	100+000 – 102+000	5.56
2	102+000 – 104+000	4.85
3	104+000 – 106+000	4.53

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo al cuadro N°3.02 el estado de la superficie, según la evaluación con los datos del BI y los valores del IRI obtenidos de la ecuación de correlación, la condición de la superficie de rodadura con tratamiento superficial monocapa pueden ser catalogados de acuerdo al tramo en estudio como:

Cuadro N°5.08 Estado actual de la superficie de rodadura en función del IRI obtenido

TRAMO	KM	IRI Obtenido	Condición de la superficie de la vía
1	100+000 – 102+000	5.56	Malo
2	102+000 – 104+000	4.85	Malo
3	104+000 – 106+000	4.53	Malo

Fuente: Elaboración propia

La clasificación según el estado de la superficie de la carretera en función del Índice de Rugosidad (IRI), del cuadro N°3.02, está dada para carreteras con superficie de rodadura de concreto asfáltico, a diferencia del tramo evaluado que fue intervenido con tratamiento superficial monocapa, cuyo comportamiento no es igual al de un concreto asfáltico.

Por ello para una mejor evaluación de superficies de rodadura con tratamientos superficiales, tomaremos en cuenta el Cuadro N°3.03, donde nos da valores para evaluar el nivel de servicio de una carretera con superficies de rodadura de tratamientos superficiales, dada por ProInversion en la evaluación de la carretera IIRSA - Eje Amazonas Norte.

Según el cuadro N°3.03 para carreteras con tratamientos superficiales, que se encuentran en mantenimiento tendrán niveles de servicio aceptables para valores de IRI = 4.00, aceptándose una tolerancia del 10%, haciendo un máximo de IRI=4.40 como aceptable.

Cuadro N°5.09 Estado actual de la superficie de rodadura según Pro Inversión

TRAMO	KM	IRI Obtenido	Condición de la superficie de la vía
1	100+000 – 102+000	5.56	Malo
2	102+000 – 104+000	4.85	Malo
3	104+000 – 106+000	4.53	Malo

Fuente: Elaboración propia

De los cuadros N°5.08 y 5.09 se aprecia que para ambas condiciones de evaluación, la superficie de rodadura se encuentra en malas condiciones, siendo necesaria una nueva intervención sobre la superficie de rodadura.

Debido a que el estado de la superficie de rodadura según los cuadros N°3.02 y N°3.03 es para superficies de rodadura con concreto asfáltico y tratamiento superficial bicapa, estas no reflejan el nivel de servicio de una superficie de rodadura con tratamiento superficial monocapa.

Para una mejor evaluación de la superficie de rodadura se evaluará la transitabilidad de la vía usando el parámetro denominado Índice de serviciabilidad Presente (PSI), el cual establece la condición funcional o capacidad de servicio actual del pavimento.

Para ello se correlaciona el Índice de Serviciabilidad Presente (PSI) con el Índice de Rugosidad Internacional (IRI) con la siguiente ecuación 2.

$$PSI = 5e^{-(IRI/5.5)} \dots\dots\dots(2)$$

Con los valores de IRI obtenidos de la evaluación con el equipo BI, se evaluará la transitabilidad de la vía de acuerdo al cuadro N°3.01.

Cuadro N°5.10 Transitabilidad de los tramos en estudio evaluados con el PSI

TRAMO	KM	PSI	Transitabilidad
1	100+000 – 102+000	1.82	Malo
2	102+000 – 104+000	2.07	Regular
3	104+000 – 106+000	2.19	Regular

Fuente: Elaboración propia

De la evaluación del PSI se tiene que el tramo 1 está en malas condiciones, los tramos 2 y 3 están en condiciones regulares de transitabilidad.

Del cuadro N°3.01 se tiene que para valores de PSI de 1-2, la transitabilidad de la vía es mala, de esto determinamos que para valores de IRI menores a 5.039, la transitabilidad de la vía es regular a buena, siendo este valor de IRI = 5.039 el cual nos indica cuando se debe realizar una intervención sobre la superficie de rodadura para recuperar su nivel de servicio requerido.

De los Cuadros N°4.05 y N°4.06 se determinara valores promedios de IRI por tramos de 2.00Km, para poder realizar una comparación en el tiempo con los valores obtenidos de la evaluación con el Bump Integrator, todas estos valores serán evaluadas en el carril derecho, debido a que los datos de los Cuadros N°4.05 y N°4.06 son referidos al carril derecho.

Cuadro N°5.11 Valores de IRI en diferentes épocas de medición en el carril derecho

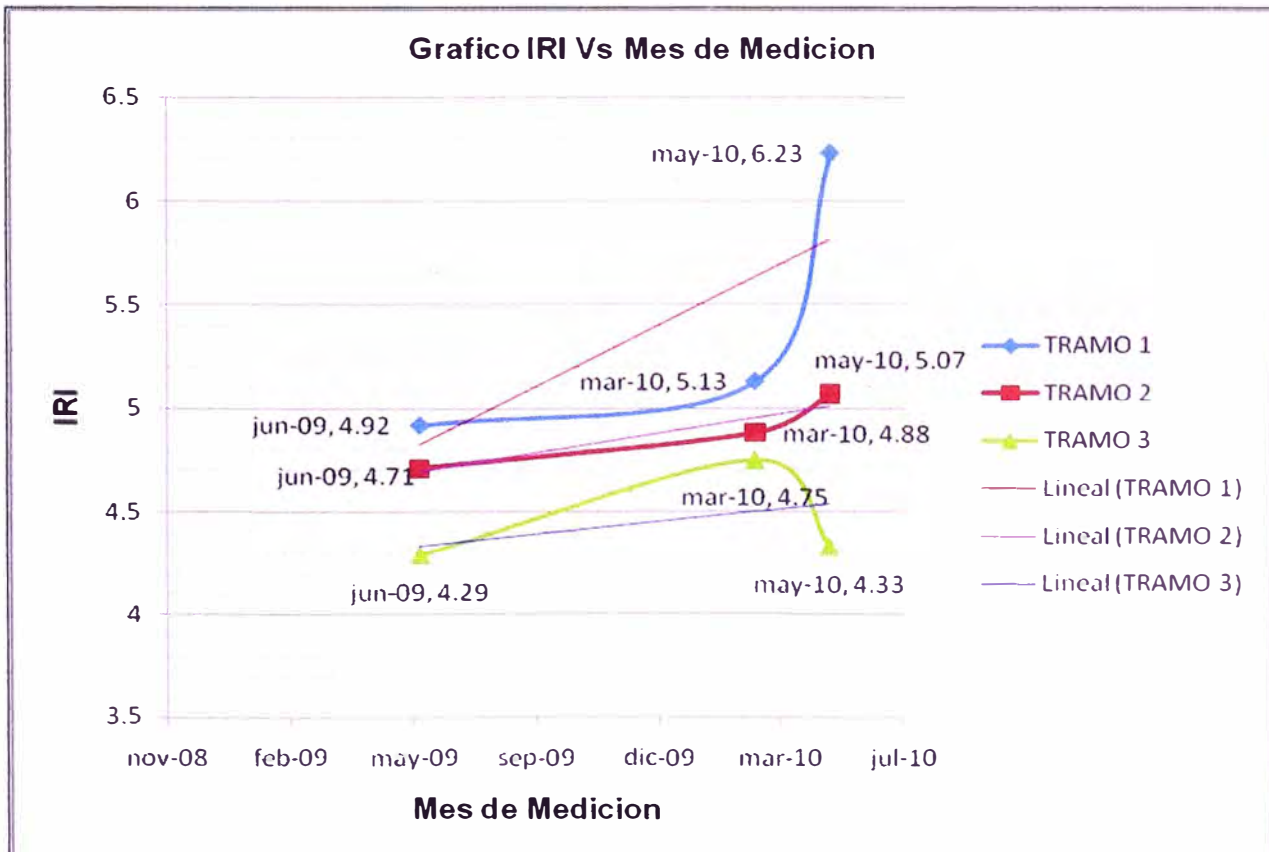
TRAMO	KM	Valores Promedio de IRI Carril Derecho		
		Junio-Julio 2009	Marzo 2010	Mayo 2010
1	100+000 – 102+000	4.92	5.13	6.23
2	102+000 – 104+000	4.71	4.88	5.07
3	104+000 – 106+000	4.29	4.75	4.33

Fuente: Elaboración propia

Del cuadro N°5.11 se tiene que los tramos uno y dos, los niveles de servicio en función del IRI ha disminuido considerablemente, siendo necesario una intervención urgente para mantener la vía con los niveles de servicio aceptables, para lo cual sería necesario realizar una protección sobre la superficie existente, evitando un mayor deterioro de la superficie de la vía.

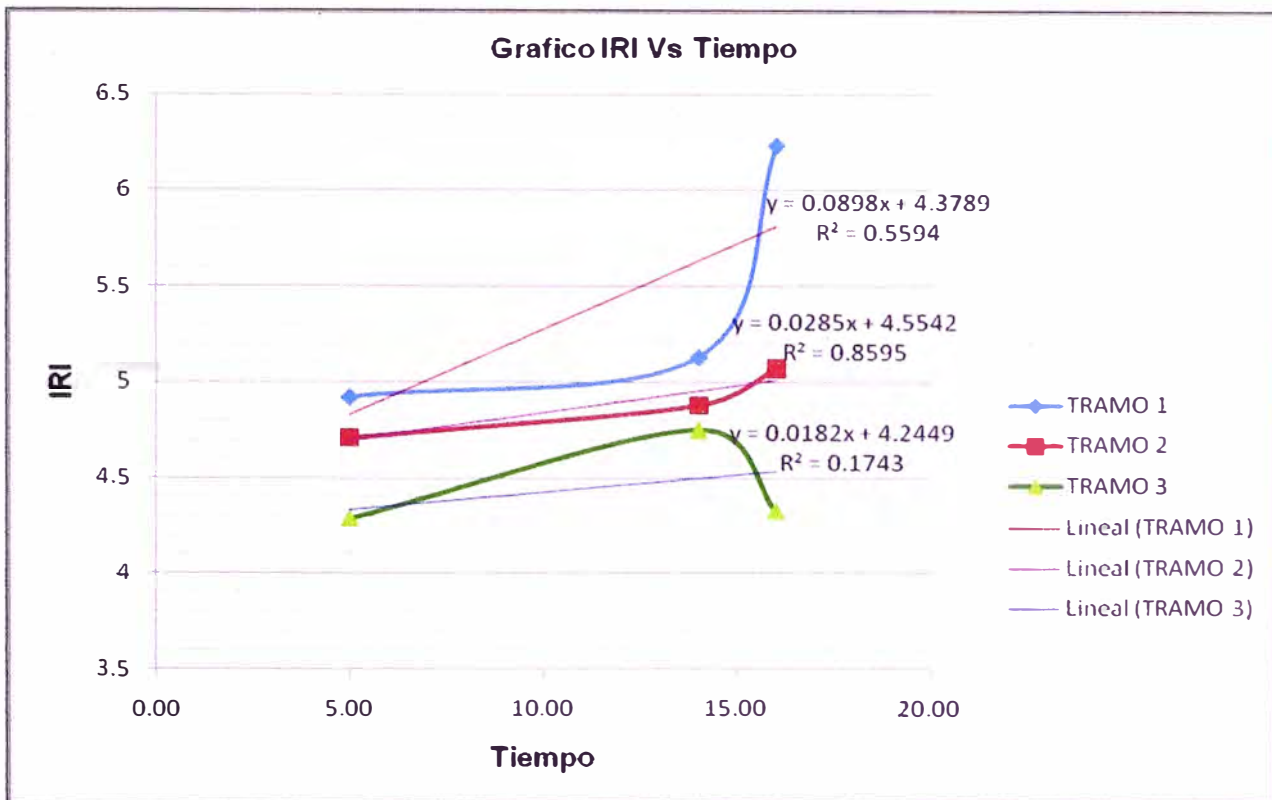
Del mismo cuadro se tiene que el tramo tres los valores de IRI sufren una disminución en el mes de mayo, esto es debido a una inadecuada toma de datos en el tramo en estudio, debido a que en este tramo aun no se ha realizado ninguna protección de la superficie de rodadura que disminuya el valor del IRI en este mes.

Figura N°5.03 Grafica IRI Vs Mes de evaluación del IRI



Fuente: Elaboración propia

Figura N°5.04 Grafica IRI Vs Tiempo



Fuente: Elaboración propia

En la Figura N°5.04 se observa que en los tramos uno y tres el coeficiente de correlación R2 en menor a 0.80, para determinar una ecuación que determine el IRI en función del tiempo tomaremos como muestra el tramo dos, el cual es el único con un coeficiente de correlación R2 mayor a 0.80.

La ecuación del IRI en función del tiempo es para condiciones "ideales" de tiempo, donde las condiciones naturales, y otros fenómenos sean similares con el paso del tiempo.

IRI = 0.0285 (Tiempo) + 4.5542.....Ecuación (3) para determinar el IRI en función del tiempo

Se considero que la superficie de rodadura de los tramos en estudio están con tratamiento superficial monocapa desde febrero del 2009, el inicio de la toma de datos

va desde junio del año 2009, tomando como tiempo cero a enero del 2009, esto es para poder determinar cuándo se debió realizar la colocación de una nueva protección sobre la superficie actual, para poder mantener la vía con los niveles de servicio requerido.

Del cuadro N°3.01 se aprecia que para valores de PSI de 1-2, la transitabilidad de la vía es mala, de esto determinamos que para valores de IRI menores a 5.039, la transitabilidad de la vía es regular a buena, siendo este valor de IRI = 5.039 el cual nos indica cuando se debe realizar una intervención sobre la superficie de rodadura para recuperar su nivel de servicio requerido.

Para un IRI < 5.039 para que las vías con tratamientos superficiales monocapa se encuentre en buenas condiciones de nivel de servicio, reemplazando un valor de IRI=5.039 en la ecuación 3, tendremos el tiempo en la cual la vía necesite un mantenimiento periódico.

Para cuando la superficie de rodadura llegue a un IRI =5.039, es necesario realizar un mantenimiento periódico, la cual para el tramo en estudio en el mes de Junio del 2010 es necesario realizar un mantenimiento periódico sobre la superficie de vía existente, para mantener los niveles de servicio requeridos.

Reemplazando valores de tiempo en la ecuación 3 se tiene la variación del IRI con el tiempo.

Cuadro N°5.12 Frecuencia de mediciones con el equipo BI

Mes de medición	Junio 2009	Septiembre 2009	Diciembre 2009	Marzo 2010	Junio 2010
Numero de Medición	1	2	3	4	5
Valor de IRI	4.70	4.78	4.87	4.95	5.04
Variación del IRI	0	0.08	0.09	0.08	0.09
Frecuencia de Medición	0	3	3	3	3

Fuente: Elaboración propia

Del cuadro N°5.12 se concluye que es necesario realizar mediciones de rugosidad con el equipo Bump Integrator con una frecuencia de tres meses, esto debido a que el deterioro de la superficie de rodadura es mayor cuanto más pase el tiempo. Por ello es necesario realizar mediciones mas continuas a fin de evitar el colapso total de la superficie de rodadura.

Para una mejor muestra de datos se recomienda realizar las mediciones de rugosidad después de cada cambio de estación, para poder determinar los meses más críticos donde la superficie de rodadura se deteriora más rápido.

CONCLUSIONES

Los valores de IRI obtenidos con el equipo BI, son mayores en la misma fecha respecto a los valores de IRI obtenidos por la Universidad Nacional de Ingeniería, en los dos primeros tramos del Km 100+000 al Km.104+000, esto debido al deterioro por el paso del tiempo de la superficie de rodadura con tratamiento superficial monocapa.

De los valores de IRI obtenidos con el equipo BI, se tiene que la condición actual de la superficie de rodadura con tratamiento superficial monocapa es mala, según los parámetros de los cuadros N° 02 y N° 03, que evalúan superficies con concreto asfáltico o superficies con tratamientos superficiales bicapa.

Según el cuadro N° 01 donde se evalúa la transitabilidad de la vía en función del Índice de Serviciabilidad Presente (PSI), el tramo 1 del Km.100+000 al Km.102+000 tiene una transitabilidad mala, los tramos 2 y 3 del Km.102+000 al Km.106+000 la transitabilidad es regular.

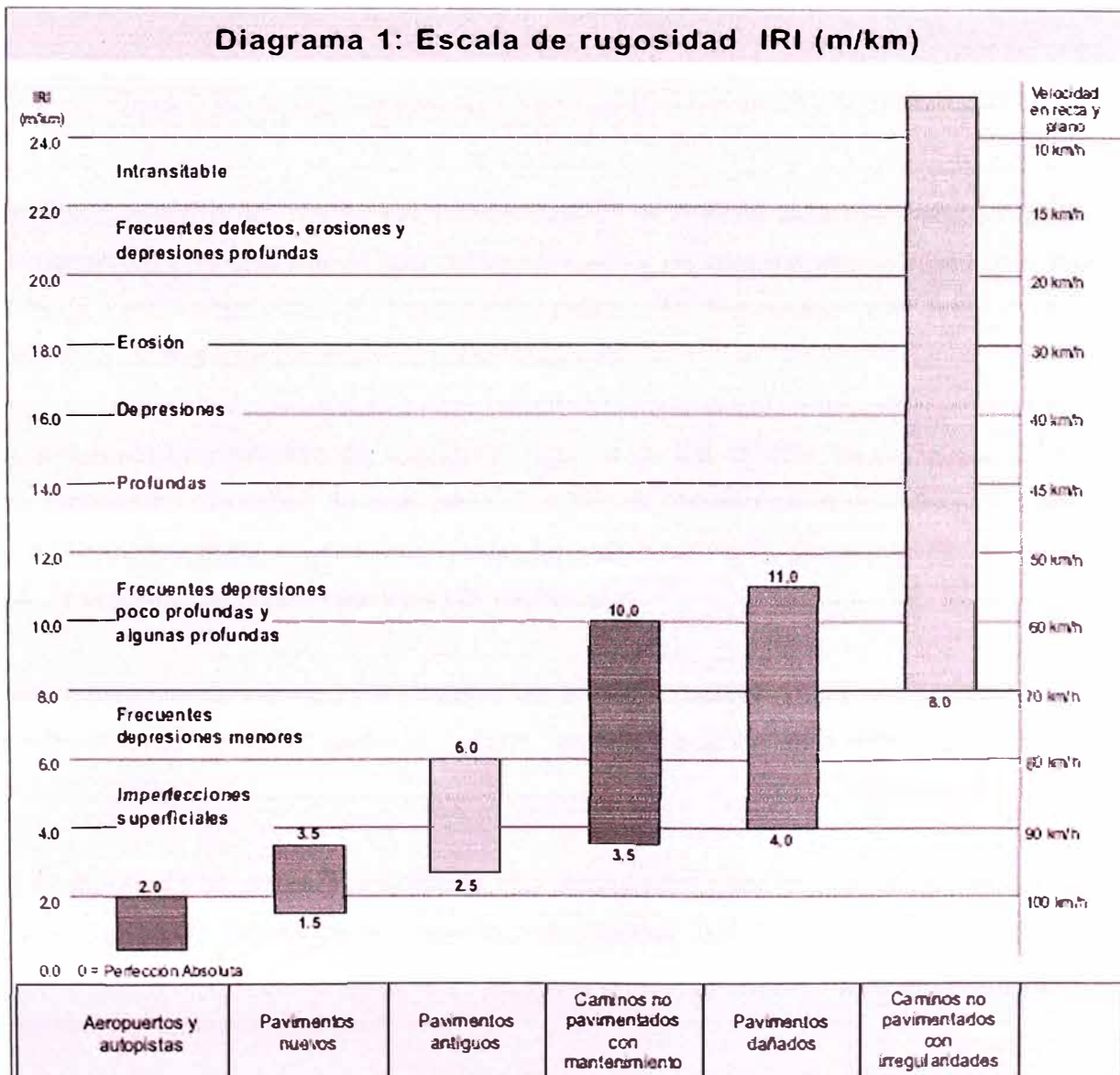
Del cuadro N° 01 se aprecia que para valores de PSI de 1-2, la transitabilidad de la vía es mala, de esto obtiene que para valores de IRI menores a 5.039, la transitabilidad de la vía es regular a buena, siendo este valor de IRI = 5.039 el cual nos indica cuando se debe realizar una intervención sobre la superficie de rodadura para recuperar su nivel de servicio requerido.

Para mejorar las condiciones de nivel de servicio de los tramos en estudios se debe realizar una intervención sobre la superficie de vía existente. Para lo cual se pueden usar tratamientos superficiales como el monocapa o Slurry Seal.

Del cuadro N° 26 se tiene que es necesario realizar mediciones de rugosidad con el equipo Bump Integrator con una frecuencia de tres meses, esto debido a que el deterioro de la superficies de rodadura es mayor en algunas estaciones del año, por influencia de las lluvias y variaciones de temperatura. Por ello es necesario realizar mediciones mas continuas a fin de evitar el colapso total de la superficie de rodadura.

Las ventajas del uso del equipo Bump Integrator es la facilidad, sencillez en su manejo, su aplicación y los altos rendimientos de operación. Su costo para su ejecución es relativamente bajo.

La desventaja encontrada al sistema radica en que no se cuenta con una clasificación del estado de la superficie en función del IRI para superficies de rodadura con pavimentos básicos. De la figura que se muestra a continuación se ve que los pavimentos básicos no están considerados en la escala de rugosidad IRI (m/km).



Fuente: MTC Manual para la conservación de carreteras no pavimentadas de bajo volumen de tránsito.

RECOMENDACIONES

Durante el proceso de toma de datos con el equipo BI en campo, se recomienda que el vehículo con el que se realiza la medición vaya a una velocidad constante en todo el tramo de medición. Esto debido a que la geometría de las carreteras de bajo volumen de tráfico no permiten el desarrollo de velocidades altas, se recomienda una velocidad de operación del equipo BI de 40Km/h, siendo esta además el recomendado por el fabricante de este tipo de rugosímetros.

La medición con el equipo Bump Integrator debe realizarse en tramos donde no existan estructuras que interfieran con la medición.

Para una muestra de datos más representativa se recomienda realizar las mediciones de rugosidad con una frecuencia de tres meses y es recomendable realizarlo después de cada cambio de estación, para poder determinar los meses más críticos donde la superficie de rodadura sufre un mayor deterioro.

Para cuando la superficie de rodadura llegue a un IRI =5.039, se tiene que realizar un mantenimiento periódico, la cual para el tramo en estudio en el mes de Junio del 2010 se tiene que realizar un mantenimiento periódico sobre la superficie de vía existente, para mantener los niveles de servicio requeridos.

Para mantener la vía con los niveles de servicio requerido es necesario realizar un mantenimiento periódico cada 17 meses, debido a que en esta tiempo se llega a tener un IRI=5.039.

Se recomienda el uso de los equipos tipo respuestas para la evaluación de las vías de bajo volumen de tráfico, ya que puede proporcionar rápidamente la condición funcional del pavimento, que permita definir mantenimientos oportunos y evitar deterioros que conlleven al colapso total de la vía

BIBLIOGRAFIA

- Del Águila, Pablo. "Metodología para la determinación de la Rugosidad de los Pavimentos con Equipos de Bajo Costo y Gran Precisión". III Congreso Nacional del asfalto, Lima, 1999
- Gutiérrez Lazares Jose Wilfredo, Modelación Geotécnica de Pavimentos Flexibles con fines de análisis de diseño en el Perú, Tesis de Maestría, Facultad de Ingeniería Civil – UNI, Lima 2007
- Instituto de Investigación de la facultad de Ingeniería civil; Rugosímetro electrónico Bump Integrator, Universidad Nacional de Ingeniería Lima – Perú, 2007.
- Manual para la conservación de carreteras no pavimentadas de bajo volumen de tránsito, del Ministerio de Transportes y Comunicaciones.
- Medición de la rugosidad en la carretera IIRSA – Eje Amazonas Norte, dada por Pro Inversión
- Mrawira, D. and R. Haas, Calibration of the TRRL's Vehicle-Mounted Bump Integrator.
- www.proviasnac.gob.pe
- www.camineros.com

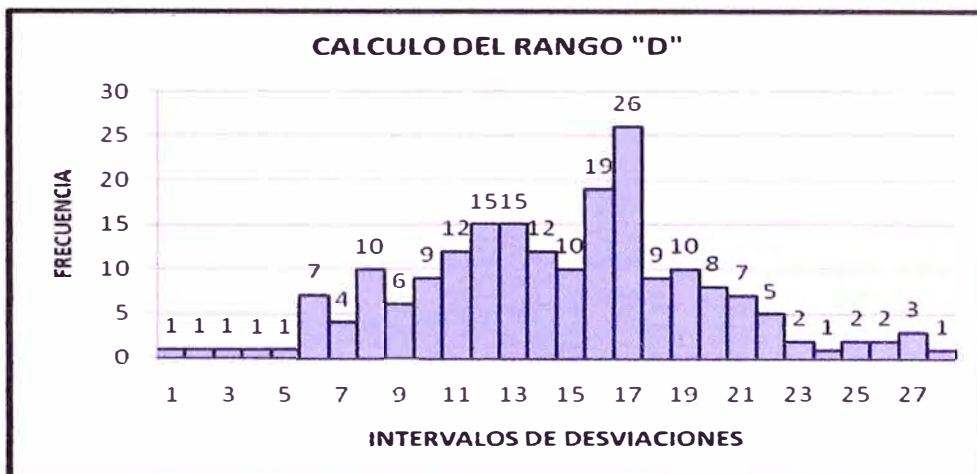
ANEXO

Cuadro N° 01: Datos para determinar el IRI con el Merlin Km.104+600 – 105+000 carril derecho

ENSAYOS PARA MEDICIÓN DE LA RUGOSIDAD CON MERLIN (HOJA DE CAMPO)											
PROYECTO: <i>Corredor Vial N° 13</i>					OPERADOR : ZRQA						
SECTOR : <i>Cañete - Huancayo</i>					SUPERVISOR :						
TRAMO : <i>Capillucas -Dv. Yauyos</i>					FECHA : <i>15/05/2010</i>						
CARRIL : <i>DERECHO</i>											
ENSAYO N°		1		KM		104+600		HORA		12:30 a.m.	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1	25	28	35	19	26	29	27	25	23	31	TIPOS DE PAVIMENTO:
2	21	34	30	25	30	24	32	32	27	37	
3	21	11	33	31	18	24	27	31	36	30	AFIRMADO <input type="checkbox"/>
4	34	26	33	33	25	34	29	32	26	27	
5	34	19	28	22	27	29	29	26	26	41	BASE GRANULAR <input type="checkbox"/>
6	26	34	31	25	28	24	34	30	31	30	
7	22	28	27	31	29	30	25	31	26	38	BASE IMPRIMADA <input type="checkbox"/>
8	30	31	24	33	27	31	23	26	30	22	
9	25	28	27	31	26	40	8	31	31	24	TRATAMIENTO MONOCAPA <input checked="" type="checkbox"/>
10	28	25	26	26	31	36	35	32	22	35	
11	36	28	32	19	27	35	19	30	26	16	TRATAMIENTO SLURRY SEAL <input type="checkbox"/>
12	27	30	31	25	31	28	31	27	40	21	
13	31	33	22	30	29	27	24	28	31	23	RECAPEO ASFALTICO <input type="checkbox"/>
14	39	30	32	32	21	22	41	27	28	25	
15	26	22	30	23	35	26	31	35	19	28	SELLO <input type="checkbox"/>
16	41	24	30	19	31	31	30	29	32	34	
17	31	42	23	37	31	33	13	31	27	22	<input type="checkbox"/>
18	19	32	25	25	24	33	34	33	30	36	
19	30	29	24	22	27	26	29	33	30	36	
20	31	29	22	39	31	28	35	23	30	33	
OBSERVACIONES:											
.....											
.....											
.....											
.....											
.....											
.....											
.....											
.....											
.....											

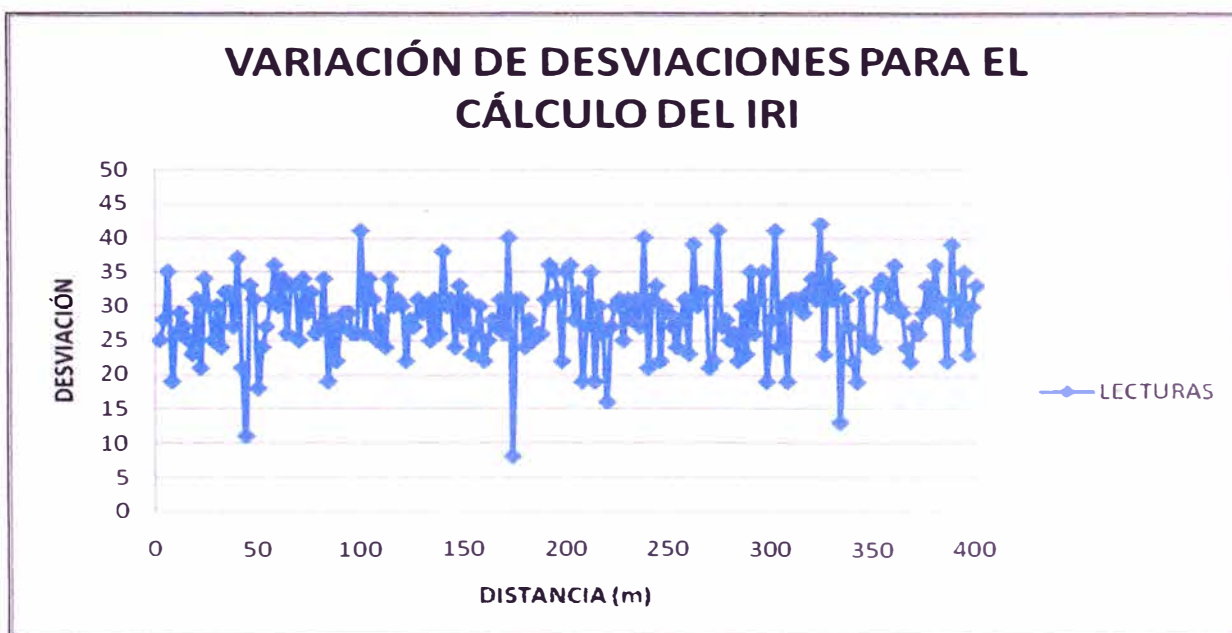
Fuente: Calculo del IRI informe de suficiencia Zaida Quispe

Figura N° 01: Histograma de la distribución de frecuencias



Fuente: Calculo del IRI informe de suficiencia Zaida Quispe

Figura N° 02: Grafica variación de las desviaciones para el cálculo del IRI



Fuente: Calculo del IRI informe de suficiencia Zaida Quispe

Cuadro N° 02: IRI obtenido para el tramo Km 104+600 – 105´+000

D	D(mm)	Fac. Corr	D Corregido	IRI (m/km)
16.79	83.93	0.92400	77.55	4.25

**Cuadro N° 03: Datos para determinar el IRI con el Merlin Km.105+000 – 105+400
 carril derecho**

**ENSAYOS PARA MEDICIÓN DE LA RUGOSIDAD CON MERLIN
 (HOJA DE CAMPO)**

PROYECTO: *Corredor Vial N° 13* OPERADOR : *ZRQA*
 SECTOR : *Cañete - Huancayo* SUPERVISOR :
 TRAMO : *Capillucas -Dv. Yauyas* FECHA : *15/05/2010*
 CARRIL : *DERECHO*

ENSAYO N° KM HORA

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1	34	35	19	22	30	35	26	31	28	26	TIPOS DE PAVIMENTO:
2	36	30	27	28	28	32	31	29	31	32	
3	32	31	26	19	29	29	25	31	30	35	AFIRMADO <input type="checkbox"/>
4	39	32	36	35	30	33	29	25	25	37	
5	32	36	21	48	33	37	29	32	36	29	BASE GRANULAR <input type="checkbox"/>
6	34	29	27	21	31	31	30	27	36	32	
7	30	35	28	30	27	23	31	33	25	33	BASE IMPRIMADA <input type="checkbox"/>
8	27	27	18	23	32	33	30	31	26	29	
9	34	34	23	34	25	33	29	32	30	24	TRATAMIENTO MONOCAPA <input checked="" type="checkbox"/>
10	29	36	37	37	32	33	27	22	23	33	
11	40	27	27	28	31	31	34	32	24	31	TRATAMIENTO SLURRY SEAL <input type="checkbox"/>
12	48	35	39	22	33	26	26	27	29	28	
13	32	35	21	26	32	29	29	38	28	27	RECAPEO ASFALTICO <input type="checkbox"/>
14	37	36	30	31	22	36	32	28	25	33	
15	30	16	31	29	26	29	27	24	24	33	SELLO <input type="checkbox"/>
16	31	31	19	33	32	29	32	33	12	26	
17	30	32	30	31	30	25	34	33	26	27	<input type="checkbox"/>
18	31	31	26	22	26	31	35	34	30	35	
19	27	33	15	33	26	28	26	30	33	37	
20	30	3	38	33	27	29	29	30	23	27	

OBSERVACIONES:

.....

.....

.....

.....

.....

.....

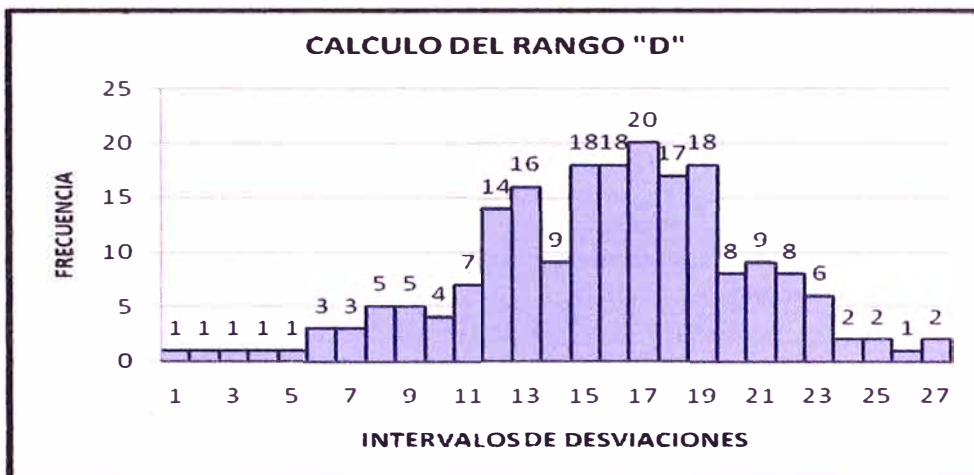
.....

.....

.....

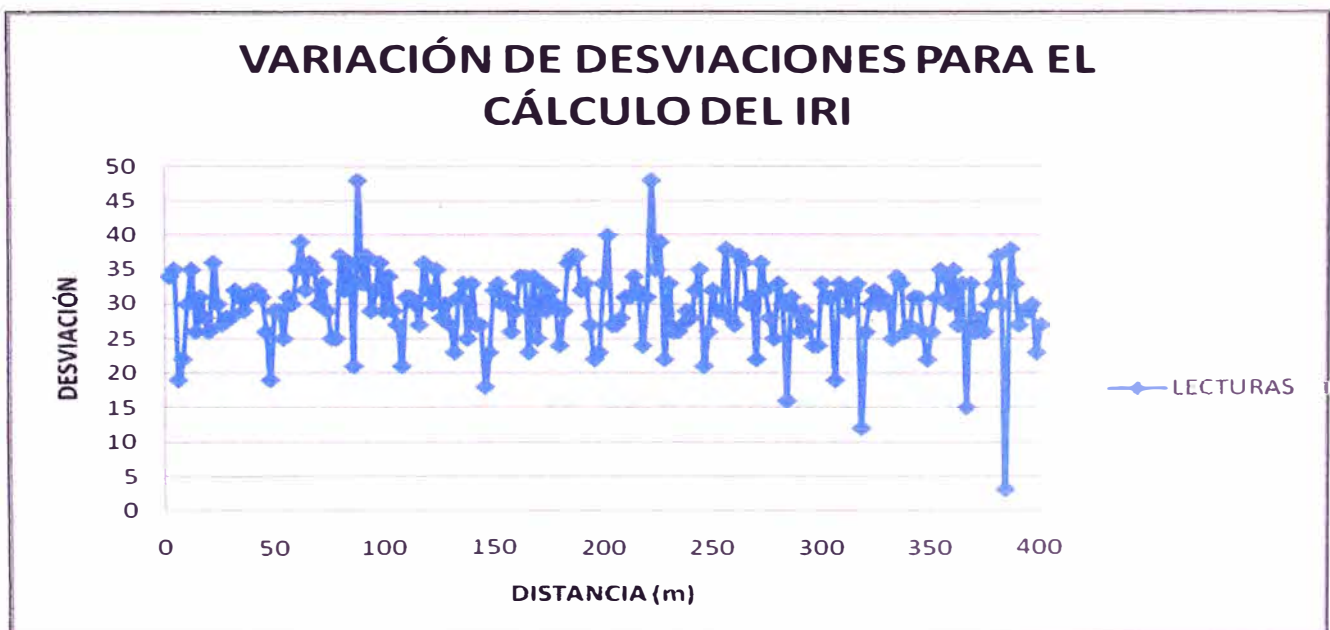
Fuente: Calculo del IRI informe de suficiencia Zaida Quispe

Figura N° 03: Histograma de la distribución de frecuencias



Fuente: Calculo del IRI informe de suficiencia Zaida Quispe

Figura N° 04: Grafica variación de las desviaciones para el cálculo del IRI



Fuente: Calculo del IRI informe de suficiencia Zaida Quispe

Cuadro N° 04: IRI obtenido para el tramo Km 104+600 – 105'+000

D	D(mm)	Fac. Corr	D Corregido	IRI (m/km)
15.83	79.17	0.92400	73.15	4.04

**Cuadro N° 05: Datos para determinar el IRI con el Merlín Km.105+000 – 105+400
 carril izquierdo**

**ENSAYOS PARA MEDICIÓN DE LA RUGOSIDAD CON MERLIN
 (HOJA DE CAMPO)**

PROYECTO: *Corredor Vial N° 13* OPERADOR : *EJCM*
 SECTOR : *Cañete - Chupaca* SUPERVISOR : *K.V.G.*
 TRAMO : *Zuñiga - Dv. Yauyas* FECHA : *15/05/2010*
 CARRIL : *IZQUIERDO*

ENSAYO N° KM HORA

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1	31	26	20	13	39	31	17	28	31	15	TIPOS DE PAVIMENTO: AFIRMADO <input type="checkbox"/> BASE GRANULAR <input type="checkbox"/> BASE IMPRIMADA <input type="checkbox"/> TRATAMIENTO MONOCAPIA <input checked="" type="checkbox"/> X TRATAMIENTO SLURRY SEAL <input type="checkbox"/> RECAPEO ASFALTICO <input type="checkbox"/> SELLO <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
2	26	26	29	31	37	34	36	29	32	39	
3	27	29	37	31	31	33	21	36	37	28	
4	26	33	30	28	35	32	27	33	31	28	
5	35	27	19	29	30	23	38	21	26	29	
6	38	27	40	30	29	23	28	32	22	24	
7	41	30	26	35	29	32	26	26	23	32	
8	33	26	24	26	29	35	34	46	17	25	
9	20	30	28	24	32	38	30	37	25	27	
10	37	27	26	18	27	30	28	32	39	33	
11	26	29	32	37	28	32	29	28	35	33	
12	31	18	31	19	30	33	32	33	27	30	
13	35	35	13	26	42	32	32	21	33	25	
14	30	46	32	37	28	35	34	33	25	22	
15	27	27	30	35	35	27	30	25	35	30	
16	33	26	26	33	35	30	36	34	33	32	
17	38	29	25	40	29	30	33	35	30	34	
18	32	32	25	28	28	33	30	30	36	34	
19	29	22	24	27	31	16	22	29	23	33	
20	33	18	25	30	28	31	35	30	29	16	

OBSERVACIONES:

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

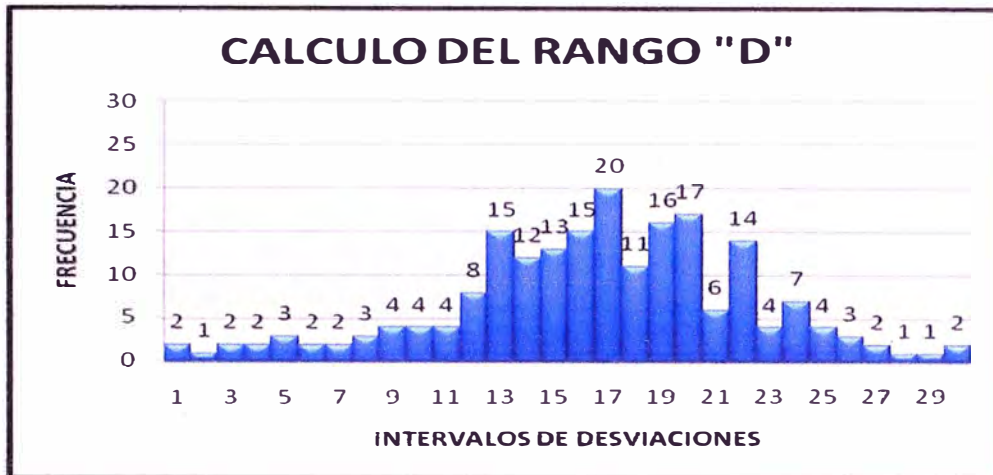
.....

.....

.....

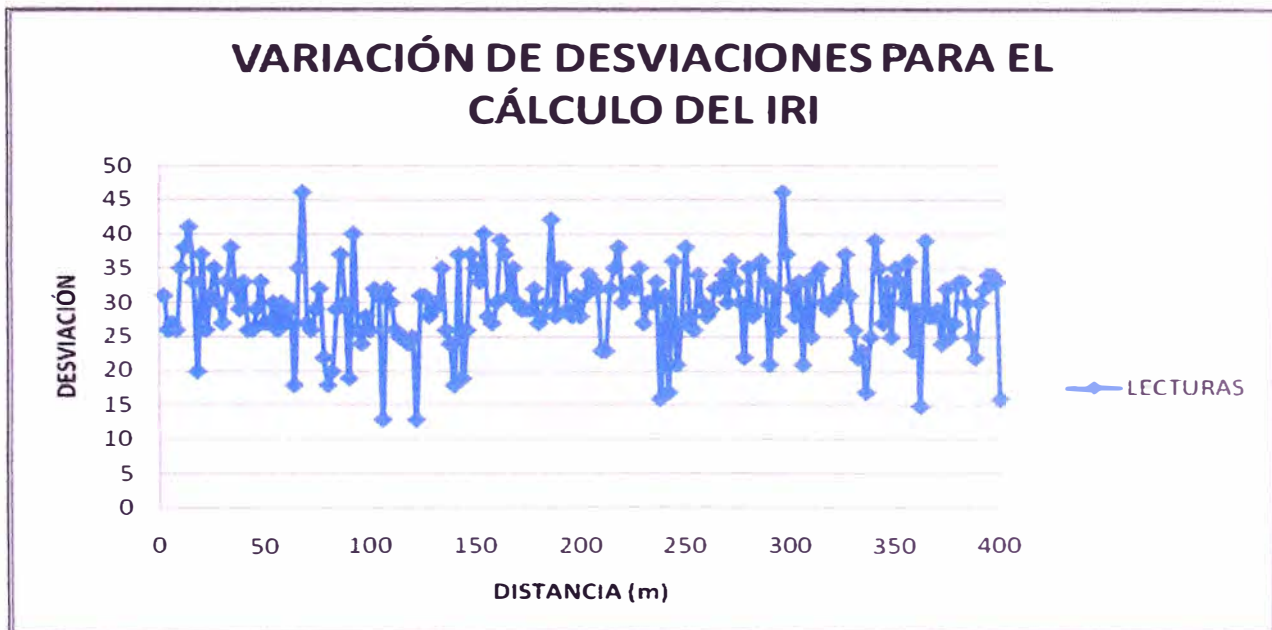
Fuente: Calculo del IRI informe de suficiencia Katia Velázquez

Figura N° 05: Histograma de la distribución de frecuencias



Fuente: Calculo del IRI informe de suficiencia Katia Velázquez

Figura N° 06: Grafica variación de las desviaciones para el cálculo del IRI



Fuente: Calculo del IRI informe de suficiencia Katia Velázquez

Cuadro N° 06: IRI obtenido para el tramo Km 105+000 – 105'+400

D	D(mm)	Fac. Corr	D Corregido	IRI (m/km)
19.75	98.75	0.892	88.13	4.74

**Cuadro N° 07: Datos para determinar el IRI con el Merlín Km.104+600 – 105+000
 carril izquierdo**

**ENSAYOS PARA MEDICIÓN DE LA RUGOSIDAD CON MERLIN
 (HOJA DE CAMPO)**

PROYECTO: *Carretera Vial N° 13* OPERADOR :
 SECTOR : *Cañete - Chupaca* SUPERVISOR : *K.V.G.*
 TRAMO : *Zuñiga - Dv. Yauyas* FECHA : *15/05/2010*
 CARRIL : *IZQUIERDO*

ENSAYO N° KM HORA

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1	29	33	45	25	27	27	24	32	28	27	TIPOS DE PAVIMENTO:
2	32	32	26	27	28	24	33	31	34	32	
3	29	35	32	26	24	30	26	34	33	37	AFIRMADO <input type="checkbox"/>
4	27	28	38	29	35	39	26	33	24	33	
5	30	22	34	27	28	33	26	35	29	31	BASE GRANULAR <input type="checkbox"/>
6	24	30	33	36	23	33	8	36	23	25	
7	21	27	36	31	36	31	15	37	38	28	BASE IMPRIMADA <input type="checkbox"/>
8	17	21	34	27	30	27	35	36	28	23	
9	36	27	39	38	35	34	33	33	33	29	TRATAMIENTO MONOCAPA <input checked="" type="checkbox"/>
10	31	33	32	32	26	26	16	34	17	33	
11	33	29	18	37	29	29	34	25	34	36	TRATAMIENTO SLURRY SEAL <input type="checkbox"/>
12	30	30	37	29	31	28	32	39	28	33	
13	32	37	33	32	39	32	41	39	31	32	RECAPEO ASFALTICO <input type="checkbox"/>
14	38	32	33	31	23	33	27	25	28	34	
15	30	46	23	39	35	27	25	32	30	41	SELLO <input type="checkbox"/>
16	20	38	23	39	27	35	31	32	33	30	
17	18	35	16	36	32	26	35	26	33	43	<input type="checkbox"/>
18	29	32	24	35	25	28	35	33	30	40	
19	28	35	18	36	28	25	33	32	33	29	
20	30	23	33	29	23	26	32	37	31	35	

OBSERVACIONES:

.....

.....

.....

.....

.....

.....

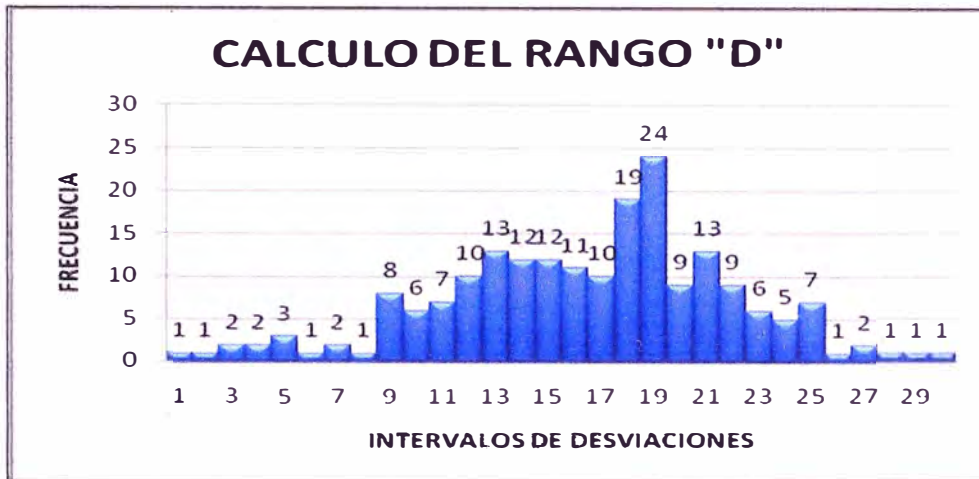
.....

.....

.....

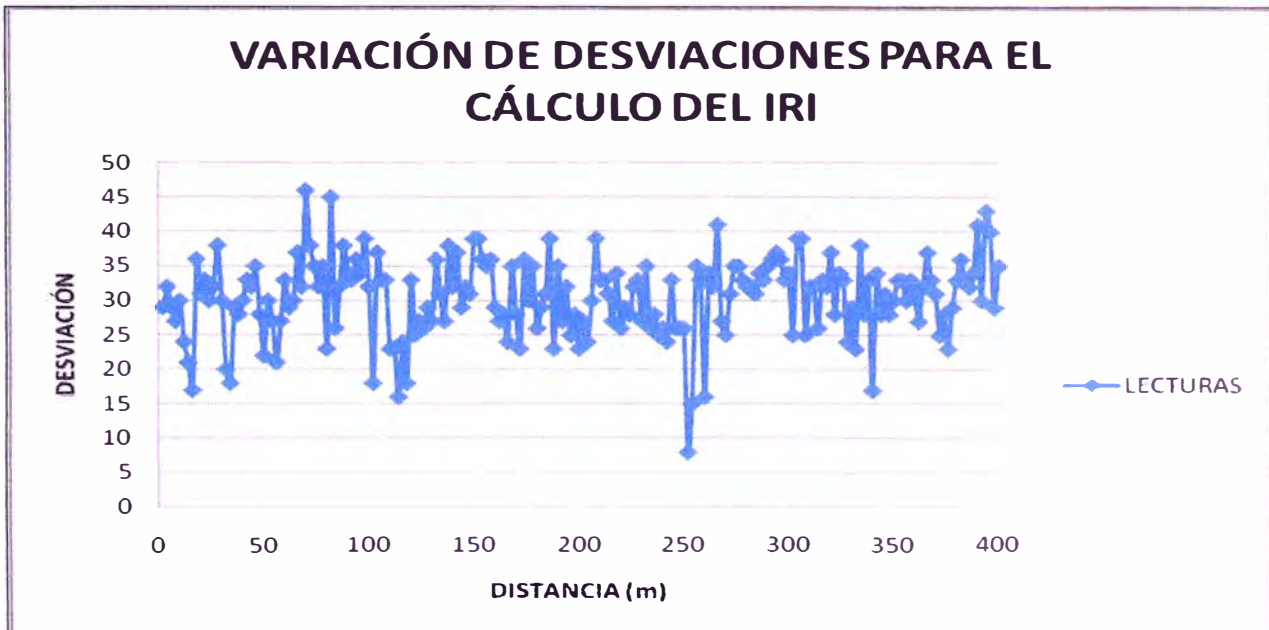
Fuente: Calculo del IRI informe de suficiencia Katia Velázquez

Figura N° 07: Histograma de la distribución de frecuencias



Fuente: Calculo del IRI informe de suficiencia Katia Velázquez

Figura N° 08: Grafica variación de las desviaciones para el cálculo del IRI



Fuente: Calculo del IRI informe de suficiencia Katia Velázquez

Cuadro N° 08: IRI obtenido para el tramo Km 104+600 – 105'+000

D	D(mm)	Fac. Corr	D Corregido	IRI (m/km)
18.43	92.14	0.89200	82.19	4.46

Cuadro N° 09: Valores de IRI medición Junio 2009

RESUMEN DE LOS VALORES DEL INDICE DE RUGOSIDAD INTERNACIONAL - IRI					
TRAMO TOTAL : DEL 79+500 AL 138+935					
CARRIL DE ENSAYO : DERECHO					
CARPETA DE RODADUR: TRATAMIENTO SUPERFICIAL MONOCAPA					
CODIGO DEL ARCHIVO	TRAMO		DISTANCIA	IRI	FECHA DE ENSAYO
	PROG INICIAL	- PROG FINAL			
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
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

Fuente: Evaluación de rugosidad Universidad Nacional de Ingeniería

Cuadro N° 10: Valores de IRI medición Marzo 2010

RESUMEN DE LOS VALORES DEL INDICE DE RUGOSIDAD INTERNACIONAL (IRI)									
TRAMO		IRI (m/km)							
P. INICIAL	- P. FINAL	LADO IZQUIERDO				LADO DERECHO			
		1ra	2da	3ra	PROM	1ra	2da	3ra	PROM
95+000	- 95+400	3.5	3.4	3.7	3.5	3.8	3.1	3.6	3.5
95+400	- 95+800	4.1	4.0	3.3	3.8	3.9	4.0	3.8	3.9
95+800	- 96+200	5.9	6.1	5.9	5.9	6.9	6.4	6.6	6.6
96+200	- 96+600	5.7	5.3	5.2	5.4	5.4	4.8	5.0	5.1
96+600	- 97+000	5.0	5.0	4.5	4.8	4.8	4.8	5.1	4.9
97+100	- 97+500	4.4	3.8	4.6	4.3	5.8	5.0	4.6	5.1
97+500	- 97+900	4.7	4.7	4.9	4.8	5.2	5.1	5.1	5.2
97+900	- 98+300	4.6	4.3	4.0	4.3	5.7	5.1	5.1	5.3
98+300	- 98+700	4.5	4.3	4.6	4.4	5.7	5.4	5.9	5.7
98+700	- 99+100	5.3	4.5	4.5	4.8	5.6	5.8	4.7	5.4
99+100	- 99+500	5.6	4.8	4.8	5.1	6.1	5.5	5.2	5.6
99+500	- 99+900	4.7	5.7	5.8	5.4	5.7	5.2	5.0	5.3
99+900	- 100+300	4.4	4.5	3.9	4.3	5.5	5.1	4.5	5.1
100+300	- 100+700	4.5	4.1	4.1	4.2	5.3	4.6	4.4	4.8
100+700	- 101+100	5.2	5.1	5.9	5.4	6.3	5.1	5.3	5.6
101+100	- 101+500	5.3	5.2	4.7	5.1	5.1	5.4	4.7	5.0
101+500	- 101+900	5.0	5.5	5.0	5.2	4.9	5.5	5.3	5.2
101+900	- 102+300	4.9	4.8	4.5	4.7	5.2	5.3	5.4	5.3
102+300	- 102+700	4.9	5.1	4.8	4.9	5.7	5.3	4.4	5.1
102+700	- 103+100	4.5	3.9	4.5	4.3	3.8	4.8	4.6	4.4
103+100	- 103+500	4.4	5.0	5.2	4.9	4.6	4.2	4.8	4.5
103+500	- 103+900	4.9	5.3	4.7	4.9	4.6	4.9	5.6	5.0
103+900	- 104+300	4.8	5.0	4.8	4.9	4.8	5.2	4.7	4.9
104+300	- 104+700	4.8	4.9	5.4	5.0	4.6	5.2	4.8	4.9
104+700	- 105+100	4.8	4.6	5.1	4.9	4.5	4.2	4.5	4.4
105+100	- 105+500	4.4	4.6	4.1	4.4	5.0	5.0	5.2	5.0
105+500	- 105+900	4.7	5.3	4.7	4.9	4.6	4.5	4.4	4.5
105+900	- 106+300	4.8	4.3	4.4	4.5	4.9	4.4	5.2	4.8
106+300	- 106+700	4.8	4.9	5.9	5.2	5.6	5.0	5.4	5.3
106+700	- 107+100	5.6	5.1	5.1	5.3	5.1	6.8	5.7	5.9
107+100	- 107+500	5.4	5.2	5.6	5.4	5.2	4.9	4.8	5.0
107+500	- 107+900	3.9	4.0	4.1	4.0	3.4	3.5	3.8	3.6
107+900	- 108+300	3.8	4.2	4.6	4.2	3.9	3.8	3.8	3.8
108+300	- 108+700	4.1	4.3	4.4	4.3	4.8	4.1	4.1	4.3
108+700	- 109+100	5.2	5.2	5.0	5.2	5.2	5.6	4.9	5.2
109+100	- 109+500	4.7	4.3	4.5	4.5	4.5	4.3	4.8	4.5
109+500	- 109+900	5.3	5.4	5.3	5.3	4.7	4.6	4.8	4.7
109+900	- 110+300	5.6	5.7	6.4	5.9	5.4	5.5	5.1	5.4
110+300	- 110+700	7.5	6.6	7.2	7.1	6.5	7.3	6.8	6.9
110+700	- 111+100	4.7	5.3	4.4	4.8	4.2	5.0	4.9	4.7
111+100	- 111+500	5.2	5.7	4.5	5.1	4.0	4.5	5.3	4.6
111+500	- 111+900	5.3	4.8	5.1	5.0	4.8	4.8	4.7	4.8
111+900	- 112+300	4.8	4.0	5.4	4.7	4.5	5.4	4.5	4.8
112+300	- 112+700	6.5	6.8	6.5	6.6	6.0	5.2	5.0	5.4
112+700	- 113+100	6.3	6.4	5.1	5.9	5.4	6.0	6.2	5.9

Fuente: Evaluación de rugosidad Universidad Nacional de Ingeniería



C. MEDICIÓN DE RUGOSIDAD

En el onceavo mes de cada Año de la Concesión y cada vez que se considere ha habido cambios sustanciales en la rugosidad, se efectuará una evaluación de la rugosidad de la vía.

Según la ASTM la rugosidad son "las desviaciones de la superficie del camino con respecto a una superficie plana que afectan la dinámica del vehículo, la calidad de circulación, las cargas dinámicas y el drenaje " (ASTM Specification E 867 - 82 A)

El Índice de Rugosidad Internacional (IRI) es la escala estándar en la que se medirá la rugosidad de los pavimentos.

El CONCESIONARIO y el REGULADOR podrán medir la rugosidad de diferentes maneras, y con diferentes equipos a través del tiempo, pero sea cual sea la forma elegida, la misma será confiable y reproducible.

Sean cuales sean los equipos utilizados por el CONCESIONARIO y el REGULADOR, siempre antes de su utilización deberán ser calibrados en el mismo sector y la calibración del equipo y los detalles de la misma estarán disponibles para la otra parte.

Para la evaluación del nivel de servicio de la Conservación y del nivel de servicio de las obras nuevas y de rehabilitación, se utilizará la Rugosidad Media Deslizante Máxima con un intervalo de 1 km.

Se medirá la rugosidad de cada uno de los Tramos de la Concesión en intervalos acumulados no mayores de 100 metros. Para cada sector de 100 metros (o menos) se considerarán los sectores adyacentes más próximos hasta una longitud acumulada de 1 km.

Para el total de intervalos considerados en los dos kilómetros en torno al sector investigado se calcula el valor medio de IRI, al que se le denominará rugosidad media deslizante en ese sector. Repitiendo el procedimiento para cada uno de los sectores que conforma el Tramo se obtiene la rugosidad media deslizante en cada sector del Tramo.

Se exige que el valor máximo de la rugosidad media deslizante no supere los siguientes valores:

	Concreto Asfáltico	Tratamiento Superficial
Tramos en los que se ejecutan obras nuevas o de rehabilitación.	2.5 IRI aceptándose una tolerancia de un 20%	3.5 IRI aceptándose una tolerancia de un 15%
Tramos que se encuentran en mantenimiento.	3.5 IRI aceptándose una tolerancia de un 15%	4.0 IRI aceptándose una tolerancia de un 10%

A los efectos del cálculo serán excluidas las zonas de influencia de los elementos colocados para reducir la velocidad así como los badenes, ya que en ambos casos se penalizaría inadecuadamente el nivel de servicio.

Fuente: Evaluación de rugosidad según Pro Inversión