

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL



**EVALUACION DE LA RUGOSIDAD DE LA CARRETERA
CAÑETE - YAUYOS - CHUPACA, CON EQUIPO BUMP
INTEGRATOR TRAMO KM 94+000 - KM 99+000**

INFORME DE SUFICIENCIA

PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO CIVIL

NILTON CESAR LLAMOCCA QUIROZ

Lima- Perú

2009

ÍNDICE

INDICE	1
RESUMEN	2
LISTA DE CUADROS	3
LISTA DE FIGURAS	4
LISTA DE SIGLAS	5
INTRODUCCIÓN	6
CAPITULO I: GENERALIDADES	8
1.1.- Antecedentes.....	8
1.2.- Ubicación.....	10
1.3.- Características de la Carretera.....	13
1.4.- Tramo en Estudio, Km.94+000 – Km.99+000.....	21
1.4.1.- Descripción Actual del Tramo.....	22
1.4.2.- Solución Aplicada	27
CAPITULO II: ESTADO DEL ARTE	28
CAPITULO III: MARCO TEÓRICO	36
3.1.- Evaluación Superficial.....	36
3.2.- Rugosidad.....	37
3.3.- Método de Evaluación con Equipo Bump Integrator.....	42
CAPITULO IV: APLICACIÓN DEL MÉTODO KM.84+000 – KM.89+000	47
4.1.- Recopilación de Datos.....	47
4.2.- Calibración del Equipo.....	49
4.3.- Procesamiento de datos.....	51
CAPITULO V: ANALISIS DE RESULTADOS	52
CONCLUSIONES	54
RECOMENDACIONES	55
BIBLIOGRAFIA	56
ANEXOS	57

RESUMEN

La evaluación de pavimentos proporciona información que puede ser utilizada tanto en el diseño como en la gestión de la infraestructura, esto implica que el contratista conservador debe realizar el inventario vial, que es el registro de las características técnicas y físicas de la vía, lo que permitirá controlar la evolución del pavimento mediante el monitoreo periódico para poder decidir que hacer específicamente en las vías, para mantenerlas en buen estado, permitiendo priorizar las actividades de mantenimiento, rehabilitación y reconstrucción, así como evaluar los costos adicionales en los cuales puede incurrir el usuario por el uso de la carretera.

Se reconocen dos tipos de evaluación de pavimentos, la evaluación estructural (relacionada con la capacidad que tiene el pavimento para soportar las cargas de los vehículos) y la evaluación funcional (relacionada directamente con la percepción del usuario al utilizar una determinada vía).

En este contexto el presente informe tiene por objeto dar a conocer el estado de la superficie de rodadura de la carretera Cañete–Yauyos - Chupaca mediante la evaluación de la rugosidad de una manera práctica y sencilla con el uso del equipo Bump Integrator para las condiciones en que se encuentra la vía, el cual permitirá evaluar en el tiempo el comportamiento del tratamiento superficial efectuado en la carretera.

LISTA DE CUADROS

CUADRO N° 1.01. Ubicación y Altitud de la Carretera	13
CUADRO N° 1.02. Precipitación pluvial.....	13
CUADRO N° 1.03. Tipos de Suelo y Capacidad de Soporte.....	18
CUADRO N° 1.04. Trabajos Ejecutados en la Carretera	21
CUADRO: N° 3.01: Estado Superficial en función del IRI.....	37
CUADRO N° 4.01. Ubicación de Estructuras y otros Factores que Afectan la Toma de datos – Tramo km. 94+000 – km. 99+000.....	47
CUADRO N° 4.02. Ubicación de zonas de calibración.....	48
CUADRO N° 4.03. Valores BI de Campo – Secciones de Calibración.....	48
CUADRO N° 4.04. Medición de la Rugosidad con Merlin y Bump Integrator....	49
CUADRO N° 4.05. Regresiones Analizadas	50
CUADRO N° 4.06. Valores de BI – resultados del IRI	51
CUADRO N° 5.01. Estado Superficial del pavimento.....	53

LISTA DE FIGURAS

FIGURA N° 1.01. Carretera Cañete – Yauyos - Chupaca.....	13
FIGURA N° 1.02. Plataforma de Ancho variable.....	23
FIGURA N° 1.03. Giba en el Camino.....	24
FIGURA N° 1.04. Alcantarilla de Concreto sin Cuneta.....	25
FIGURA N° 1.05. Curva Horizontal.....	26
FIGURA N° 1.06. Desgaste y Bacheo de la Vía.....	26
FIGURA N° 1.07. Sección típica.....	27
FIGURA N° 2.01. Modelo de Trailer Bump Integrator.....	32
FIGURA N° 2.02. Modelo del Rugosímetro BPR – Soiltest, Inc.....	33
FIGURA N° 3.01. Escala de Valores del IRI.....	40
FIGURA N° 3.02. Equipo Bump Integrator Sobre un Vehículo.....	44
FIGURA N° 3.03. Instalación del REBITU.....	46
FIGURA N° 3.04. El Contador y el Sensor.....	46
FIGURA N° 4.01. BI vs IRI.....	49
FIGURA N° 4.02. Curva y Ecuación de Calibración.....	51

LISTA DE SIGLAS

AASHTO	:	American Association of State Highway and Transportation Officials
GMR	:	General Motors
MTC	:	Ministerio de Transportes y Comunicaciones
TSB	:	Tratamiento Superficial Bicapa
EE	:	Eje Equivalente
ASTM	:	American Society for Testing and Materials
IRI	:	Índice de Rugosidad Internacional (International Roughness Index)
SUCS	:	Sistema Unificado de Clasificación de Suelos
MDOT	:	Departamento de transporte de Michigan
RTRRMS	:	Sistemas Tipo Respuesta de Medida de Rugosidad de Caminos
PCA	:	Pórtland Cement Association.
IRRE	:	Experimento internacional de rugosidad de caminos (International Road Roughness Experiment)
CGC	:	Consortio Gestión de Carreteras
QCS	:	Simulación de cuarto de carro
NCHRP	:	National Cooperative Highway Research Program
GEIPOT	:	Brazilian Transportation and Planning Agency
TRRL	:	Laboratorio Británico de Investigación de Transportes y Caminos
PSI	:	Índice de serviciabilidad presente (Present Serviability Index)
BI	:	Bump Integrator
IP	:	Índice de Plasticidad
CBR	:	California Bearing Ratio
UMTRI	:	The University of Michigan Transportation Research Institute

INTRODUCCIÓN

Las carreteras durante su vida útil presentan diferentes formas de deterioro en la superficie, esto debido a factores climáticos, de drenaje superficial deficiente, tráfico vehicular no esperado, proceso constructivo inadecuado entre otros. Por tal motivo es necesario conocer el estado de la superficie de rodadura de la carretera en estudio mediante la evaluación de la rugosidad.

Para la evaluación de la rugosidad con el equipo Bump Integrator se utilizara las normas técnicas del MTC referidas a la conservación de carreteras de bajo volumen de transito y las normas dadas por el Banco Mundial, También experiencias dadas a conocer por empresas consultoras dedicadas a la evaluación de pavimentos así como los datos de tesis donde se muestra la experiencia del uso de este equipo y la aplicación de la metodología en el Perú.

Objetivo General

El objetivo del presente informe es efectuar mediciones de la rugosidad en la superficie de rodadura de la carretera Cañete – Yauyos – Chupaca, empleando el equipo Bump Integrator que permitirá obtener algunos parámetros de calidad para estandarizar en el futuro los procesos de rehabilitación y mantenimiento con tratamientos superficiales en carreteras de bajo volumen de transito.

Objetivos Específicos

- Obtener datos de campo, procesar los mismos para conseguir el Índice de Rugosidad Internacional de la vía.
- Determinar las ventajas y desventajas en el empleo del equipo bump Integrator en la medición de la rugosidad
- Determinar el efecto del tratamiento superficial aplicado en la vía a través del índice de rugosidad obtenido

Organización del Informe

El primer capítulo rescata datos generales importantes de la carretera en estudio, la ubicación de los centros poblados que la vía atraviesa. Además

abarca las características de la carretera que comprende la precipitación pluvial de la zona, el clima, La geología, la capacidad de soporte del suelo y el tramo de estudio a evaluar en sus condiciones actuales.

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

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

En el cuarto capítulo se muestra la aplicación del método desde el procedimiento de la toma de datos en campo, pasando por la calibración adecuada del equipo para llegar a procesar los datos en gabinete y obtener los resultados de la rugosidad del tramo de la vía.

Finalmente, el quinto capítulo, basándose en los resultados obtenidos de la rugosidad de la vía, identifica zonas críticas donde los valores obtenidos rebasan los límites establecidos en los términos de referencia.

A través de estos capítulos, se exponen conocimientos de la evaluación de la rugosidad empleando el equipo Bump Integrator.

CAPITULO I.- GENERALIDADES

1.1.- ANTECEDENTES

La carretera de penetración y enlace entre Cañete – Yauyos - Chupaca, fue proyectada y ejecutada por tramos durante el gobierno del Sr. Augusto B. Leguía entre la década de 1920 a 1930 y se continuó durante el gobierno del Dr. Manuel Prado Ugarteche, entre los años 1940 y 1944 se avanzaron los trabajos de la carretera desde Cañete hasta Yauyos, llegando a Yauyos en abril de 1944; quedando postergado todo trabajo del tramo entre Yauyos y Chupaca.

En el año 1954 se retomaron los trabajos por encargo del gobierno central a través del Ministerio de Fomento en el tramo faltante entre Yauyos y Tomas, la cual estuvo a cargo del Ing. Max Atuncar, y ya en los últimos años del gobierno de Leguía, prosiguieron los trabajos en el tramo desde Parachaca hasta Alis terminándose la carretera en mayo de 1957.

El “Estudio de Ingeniería e Impacto Ambiental” de la carretera lo elaboró el consorcio AYESA – ALPHA CONSULT en el año 1998 mediante contrato con PROMCEPRI (Comisión de Promoción de Concesiones Privadas).

En el año 2004 se obtiene la aprobación y posteriormente en el año 2005 con oficio N° 1411-2004-EF/68.01 se autoriza la elaboración del Estudio de factibilidad del Proyecto “Rehabilitación y Mejoramiento de la Carretera” a cargo del Consultor AYESA – ALPHA CONSULT.

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

La carretera Cañete – Yauyos – Chupaca, forma parte del programa de desarrollo vial “Proyecto Perú”, creado mediante Resolución Ministerial N° 223-2007-MTC-02, modificado por Resolución Ministerial N° 408-2007-MTC/02. Este programa de infraestructura vial fue diseñado para mejorar las vías de integración de corredores económicos, conformando ejes de desarrollo sostenido con el fin de elevar el nivel de competitividad de las zonas rurales, Éste programa adopta un sistema de contratación de las actividades de conservación de la infraestructura vial, mediante contratos en los que las prestaciones se controlen por niveles de servicio y por plazos iguales o superiores a tres (03) años, que implican el concepto de “transferencia de riesgo” al Contratista.

Se suscribió un pre convenio marco entre el Ministerio de Transportes y Comunicaciones, el gobierno regional de lima, las municipalidades provinciales de Cañete y Yauyos, las municipalidades distritales de Pacarán y Zúñiga y la compañía eléctrica el Platanal S.A., para la ejecución del proyecto de inversión “Rehabilitación y Construcción del Corredor vial N° 13, carretera Cañete - dv. Yauyos - Chupaca y la Construcción del Puente Pacarán”. El 24 de noviembre del 2007 se entregó a la compañía eléctrica el Platanal S.A., la estructura metálica modular Acrow de 51.8 m para la construcción del puente provisional Pacarán y accesos. El 07 de diciembre del 2007 se comunicó a la oficina general de asesoría jurídica las aclaraciones al proyecto de convenio que incluye como una de las obligaciones de la compañía eléctrica, elaborar el estudio definitivo y/o expediente técnico de la construcción del puente nuevo Pacarán.

El 27 de diciembre de 2007 se realizó la firma del Contrato N°288-2007-MTC/20, con el CONSORCIO GESTION DE CARRETERAS, por un monto total del contrato de S/.131'589,139.31 y con un plazo de contrato de 5 años. El Consorcio Gestión de Carreteras esta conformado por la Cía. ICCGSA (Ingenieros Civiles y Contratistas Generales S.A.), Corporación Mayo SAC y Empresa de Mantenimiento Vial La Marginal S.R.L.

1.2.- UBICACIÓN

La carretera Cañete – Yauyos – Chupaca tiene una extensión de 271.726 Km y se encuentra ubicada en la región central del país, abarcando las Provincias de Cañete y Yauyos, en el departamento de Lima, y Concepción, en el departamento de Junín. La cual forma parte del “Corredor Vial Nacional” N° 13, con un ámbito de influencia en un entorno de 2.5Km. a ambos lados de la vía existente, abarcando diversos distritos y poblados. La carretera tiene progresiva de inicio el Km. 1+805 y progresiva de término el Km. 273+531.

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

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

El tramo Pacarán-Zúñiga tiene una longitud de 3.743Km. y presenta como punto de inicio la localidad de Pacarán (Km. 54+662), donde termina el tratamiento superficial, y termina en la localidad de Zúñiga (Km. 58+405), este tramo cuenta

con 100m de pavimento flexible y su mantenimiento esta a cargo del Gobierno Local Municipal. A partir de este tramo, la carretera se encuentra no pavimentada teniendo una superficie de rodadura a nivel de un recubrimiento bituminoso Slurry Seal, la calzada tiene un solo carril, y presenta una plataforma de un ancho útil que varia entre 5.0 y 7.5metros.

El tramo Zúñiga-Dv. Yauyos tiene una longitud de 70.400 Km. y presenta como punto de inicio la localidad de Zúñiga (Km. 58+405), y termina en la localidad de Magdalena (Km. 128+805). Dentro de este tramo se encuentran las localidades como Zúñiga, Machuranga, San Juanito, San Juan, San Jerónimo, Huayllampi, Catahuasi, Canchán, Chinchicay, Capillucas, Calachota, Puente Aucco y Magdalena. La carretera tiene una superficie de rodadura a nivel de un recubrimiento bituminoso Slurry Seal hasta Catahuasi y un tratamiento Monocapa hasta el Km. 99+000 aproximadamente, la calzada tiene un solo carril, y presenta una plataforma de un ancho útil que varia entre 3.0 y 8.5metros.

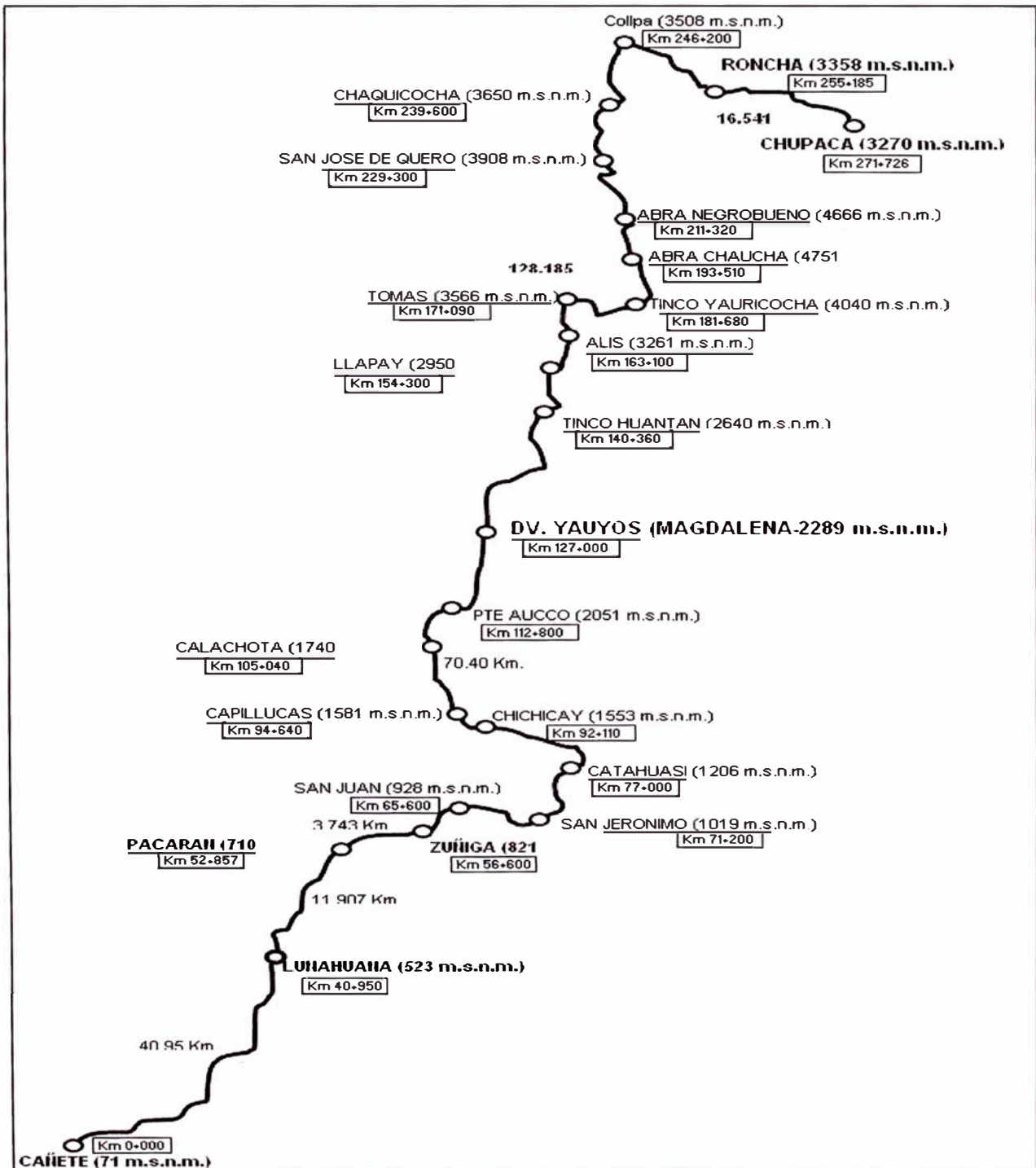
El tramo Dv. Yauyos-Roncha tiene una longitud de 128.185 Km. y presenta como punto de inicio la localidad de Magdalena (Km. 128+805), y termina en la localidad de Roncha (Km. 256+990), entrada del pueblo. En este tramo se encuentran las localidades como Magdalena, Tinco Huantan, Llapay, Tinco Alis, Tomas, Huancachi, Tinco de Yauricocha, Chaucha, San José de Quero, Chaquicocha, Collpa y Roncha. En este tramo de la carretera se ubica el punto mas alto cerca de la localidad de Chaucha (altitud de 4751msnm) y también se ubica el Abra Negro Bueno (altitud de 4666msnm) punto que delimita los departamentos de Lima y Junín (Km. 211+320). Presenta también una superficie de rodadura a nivel de un recubrimiento bituminoso Slurry Seal, la calzada tiene un solo carril y una plataforma con ancho útil variable entre 3.0 y 8.0metros.

El tramo Roncha-Chupaca tiene una longitud de 16.541 Km. y presenta como punto de inicio la localidad de Roncha (Km. 256+990), y termina en el empalme de la carretera Huancayo–Chupaca (Km. 273+541). El tramo pasa por las localidades como Roncha, Angasmayo, Huarisca y Chupaca y presenta una

calzada con un solo carril y una plataforma con ancho útil variable entre 3.8 y 8.5 metros.

En la figura 1.01 se muestra la progresiva y altitud de las localidades que atraviesa la carretera.

FIGURA N° 1.01: Carretera Cañete – Yauyos - Chupaca



Fuente: Estudio de Ingeniería e impacto ambiental – AYESA – ALPHA CONSULT

Tramo en estudio.

El tramo evaluado por el curso inicia en el pueblo de Pacarán con progresiva Km. 59+000 y finaliza en Calachota con progresiva Km. 104+000

CUADRO N° 1.01: Ubicación y Altitud de la carretera

REGION	PROVINCIA	DISTRITO	PROGRESIVA	ALTITUD (m.s.n.m)
Lima	Cañete	Zúñiga	56+600	821
		San Juan	65+600	928
		San Jeronimo	71.200	1019
	Yauyos	Catahuasi	77+000	1206
		Chichicay	92+110	1553
		Capillucas	94+640	1581
		Calachota	105+040	1740

Fuente: Elaboración propia

1.3.- Características de la Carretera.**Precipitación pluvial:**

Anualmente se aprecian dos periodos de precipitación:

- Periodo lluvioso (precipitaciones máximas: dic – abr)
- Periodo seco (precipitaciones mínimas: jun – ago)

CUADRO N° 1.02: Precipitación pluvial

Parámetro	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	
Precipitación (mm)	5.9	9.2	2.4	4.2	0.2	0.1	
Parámetro	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Anual
Precipitación (mm)	0.1	0.8	1.2	2.3	1	1.6	29

Fuente: Estación Catahuasi - Periodo de registro 1963-1967

Clima y topografía

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

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

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

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

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

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.

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 se ubican las 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).

Como se ha visto, el área comprometida en el proyecto se ubica en diferentes regiones. 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 mas altas.

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

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

Geología

Esta zona esta delimitada por las estribaciones andinas y el borde del altiplano, también se encuentra intensamente disectada por el río Cañete y sus tributarios que descienden del altiplano a la costa, en general con tendencia Este – Oeste y que han labrado un valle profundo y encañonado que se hace mas amplio a medida que se aproxima a la Costa.

a) Estructural

- Zonas alargadas de rumbo NO-SE.
- Restos mesozoicos y eocenos intensamente deformados, presentan pliegues apretados en chevrón

b) Rocas intrusivas

- Afloramientos de stock diorítico y tonalítico en la margen derecha del río
- Los principales afloramientos son stock alargados de matriz equigranular
- Se presentan afecciones en sus contactos por cizallamientos tardíos

c) Estratigrafía

- Terrazas fluvio-aluviales del cuaternario: en 14 - 20 m sobre el nivel del río, bien desarrollada, compacta.

d) Tectónica

- Estructuras andinas en la cordillera occidental: Se distingue una faja de pliegues apretados con pocas fallas inversas.
- Acorde al avance al NE las fallas buzan al SO o son sub-verticales, lo que cuadra con la vergencia general de la cordillera occidental, al NE

Capacidad de Soporte de los Suelos

El Consorcio Gestión de Carreteras (CGC) obtuvo varias muestras suficientes para efectuar los ensayos de laboratorio correspondientes a CBR (ASTM D 1883), conforme a las características de los suelos descritos anteriormente; en el Cuadro N° 1.03 se observa el resumen de los resultados obtenidos por el CGC en el tramo de la carretera a evaluar (Km. 59+000 – Km. 104+000).

Cuadro N° 1.03: Tipo de Suelo y Capacidad de Soporte

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

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

Estudio de Suelos

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

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

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

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

Mientras que en el sistema AASHTO se clasifica como A-1-b (0) y A-1-a (0), la forma de los agregados gruesos es subangular, su matriz es de color marrón claro de escasa plasticidad; tiene bolonería comprendido entre 3% y 10% con tamaño máximo de 7". Debajo se encuentra un material areno-limoso, cuya clasificación SUCS es SC y AASHTO es A-2-4(0), siendo los agregados gruesos también de forma subangular; este estrato también contiene bolonerías entre 2% y 8% cuyo tamaño máximo es de 6".

Km. 63+650 – Km. 88+600, sector de carretera donde se presenta en gran cantidad el material de la plataforma vial cuya clasificación en el sistema SUCS como SC-SM y en el sistema AASHTO es variable entre A-1-b (0) y A-2-4 (0). Los agregados gruesos de este material arenoso son de forma subangular, mientras que la matriz tiene plasticidad comprendida entre escasa a moderada (como máximo Índice Plástico = 6%). En la subrasante se han encontrado bolonerías, sin embargo a partir del Km. 67+700 se encuentra 40cm en promedio entre 40% y 50% con tamaños variables entre 4" a 8".

Km. 63+650 - Km. 66+600, la plataforma vial también se encuentra rodeada por áreas de cultivo, a partir del Km. 66+600 el panorama es desértico y transcurre a media ladera por la quebrada, observándose en los taludes sectores con material aluvional, terrazas de depósitos fluviales y cortes en rocas macizas.

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

Km. 91+500 – Km. 96+600, en este sector mayoritariamente se tiene suelos gravosos que en el sistema SUCS clasifican como GC-GM, mientras que en el

sistema AASHTO es A-1-a (0) a A-1-b (0). Su Índice de Plasticidad (I.P.) varía se encuentra entre 4.9% y 6.1%, en estos suelos también se aprecia la presencia de bolonería, la cual se incrementa a partir de 0.40m a valores comprendidos entre 40% y 60%.

Km. 96+600 – Km. 106+600, presencia mayoritaria de arenas limo-arcillosas, con clasificación de suelos SUCS igual a SC-SM, mientras que en AASHTO es igual a A-1-b (0). Su plasticidad es baja y variable entre 4.9% y 6.0%. Se tiene presencia de bolonerías, en poca proporción en la capa superior, en su defecto a partir de 0.50m aumenta su presencia a 50%.

Km. 106+600 – Km. 114+600, en los estratos se encuentran gravas y arenas de matriz limo-arcillosa. Estos materiales clasifican en el sistema SUCS como GC-GM y SC-SM, y en el AASHTO como A-1-b (0). Las bolonerías se encuentran en todo el estrato, pero a partir de los 0,40m aproximadamente, se encuentra mayor concentración de éstos (aproximadamente entre 40% y 50%), por debajo de esta capa se encuentra roca a partir de 0.30m hasta 1.50m

Km. 114+600 – Km. 130+000, presenta arenas limo-arcillosas con clasificación de suelos SUCS igual a SC-SM, mientras que en AASHTO es igual a A-1-b (0). Su plasticidad es baja y variable entre 4.6% y 6.4%. Tiene presencia de bolonerías, en poca proporción en la capa superior, mientras que a partir de 0.50m aumenta su presencia entre 40% y 50%.

Km. 130+000 – Km. 220+000, presenta arenas y gravas limosas-arcillosas de mediana a baja plasticidad, clasificando en el sistema SUCS como GC, GC-GM, SC, SC-SM, y en el AASHTO, A-2-4(0). La plasticidad es variable entre 5,7% y 9,2%, tiene varias perforaciones que no han llegado al 1.50m debido a la presencia de roca aproximadamente desde los 0.30m hasta los 1.50m

Km. 220+000 – Km. 240+000, sector de carretera donde se tiene una capa granular superficial entre 0.20m y 0.30m que clasifica como GM-GC o SC-SM, mientras que en el AASHTO es A-2-4 (0). Subyacente se encuentra una capa de arena-arcillosa y de arcilla SC, CL y en AASHTO A-2-6 y A-6 (4) cuya capacidad de soporte CBR es bajo.

Km. 240+000 – Km. 248+000, presenta arena arcillosa y arena limo-arcillosa que clasifica en el sistema SUCS como SC o SM-SC, y en el sistema AASHTO como A-2-4 (0). Su plasticidad es media, encontrándose que varía entre 6.8% y 9.7%.

Km. 248+000 – Km. 258+000, presenta una capa granular superficial entre 0.20m y 0.30m que clasifica como GC y GM-GC en el sistema SUCS, y en el sistema AASHTO es A-2-4 (0). Subyacente se encuentra una capa de arena-arcillosa y de arcilla SC, CL y en AASHTO A-6 (1) cuya capacidad de soporte CBR es bajo.

Trabajos Realizados en la carretera

Antes del inicio de las actividades del Consorcio de Gestión Vial, la carretera se encontraba a nivel de afirmado en mal estado de conservación, actualmente se han realizado actividades de conservación rutinaria que se describe en el cuadro N° 1.04 con la descripción de los trabajos ejecutados por tramos.

CUADRO N° 1.04: Trabajos Ejecutados en la Carretera

N°	Tramo	Progresivas	Altitud (m.s.n.m.)	Longitud Tramo (m)	Estado Inicial	Trabajos Realizados			
						CGC	CGE	M	SS
1	Cañete - Lunahuaná	Km 0+000 - Km 40+950	71 - 523	40.75	Concreto Asfáltico	Solo Mant. Rutinario			
2	Lunahuaná - Pacarán	Km 40+950 - Km 52+857	523 - 710	12.50	Tratamiento Superficial Bicapa	Solo Mant. Rutinario			
3	Pacarán - Zúñiga	Km 52+857 - Km 56+600	710 - 821	4.15	Afirmado	SI	SI	NO	SI
4	Zúñiga - Catahuasi	Km 56+600 - Km 77+000	821 - 1206	20.40	Afirmado	SI	SI	NO	SI
5	Catahuasi - Dv. Yauyos	Km 77+000 - Km 127+000	1206 - 2289	50.00	Afirmado	SI	SI	SI	NO
6	Dv. Yauyos - Tinco Huantan	Km 127+000 - Km 141+000	2289 - 2640	14.00	Afirmado	SI	SI	SI	NO
7	Tinco Huantan - Alis	Km 141+000 - Km 163+100	2640 - 3261	22.10	Afirmado	SI	SI	NO	NO
8	Alis - Roncha	Km 163+100 - Km 255+185	3261 - 3358	92.09	Afirmado	SI	NO	NO	NO
9	Roncha - Chupaca	Km 255+185 - Km 271+726	3358 - 3270	16.54	Afirmado	SI	NO	NO	NO
CAPA GRANULAR CON MATERIAL DE CANTERA = CGC			MONOCAPA = M						
CAPA GRANULAR ESTABILIZADA = CGE			SLURRY SEAL = SS						

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

1.4.- Tramo en estudio km 94+000 – km 99+000

El tramo evaluado corresponde desde el poblado de Capillucas Km. 94+000 hasta antes del poblado de Calachota en el Km. 99+000y tiene una altitud promedio de 1650 msnm.

Clima: Su clima es caluroso. Temperatura varía entre 20°C y 27°C durante el día y en las noches son frescas a causa de los vientos que bajan de las regiones más altas.

Topografía: Su topografía es ondulada a media ladera. Presenta una plataforma con una calzada con un solo carril y tiene un ancho útil que varía de 3.5 a 8.5m.

Geología: La carretera se encuentra en la quebrada del río cañete, conformado por material aluvional, terrazas de depósitos fluviales y cortes en rocas macizas.

Composición de los suelos de fundación: Los materiales de fundación del tramo en estudio se clasifican en el Sistema SUCS como SC-SM (Arenas arcillosas, mezclas de arena y arcilla y Arenas limosas, mezclas de arena y limo) y en el sistema AASHTO varía entre A-1-b(0) y A-2-4(0). Los agregados gruesos de este material arenoso son de forma sub. angular, mientras que la matriz tiene plasticidad comprendida entre escasa a moderada (como máximo I.P. = 6%)

1.4.1.- Descripción Actual del tramo:

Presencia de Centros Poblados.

En las zonas aledañas al camino se encuentra el centro poblado de Capillucas que es un factor determinante para la toma de datos ya que con la presencia de los pobladores no se puede mantener la velocidad constante por la seguridad de ellos y es donde se presenta la mayor cantidad de gibas.

Plataforma de ancho variable.

En la figura N° 1.02 se aprecia el tráfico que se ocasiona cuando se atraviesa los tramos de ancho mínimo. Los anchos de vía en el tramo varían desde 3.5m a 8.5m.

FIGURA N° 1.02: Fotografía Plataforma de ancho variable.



Fuente: Evaluación de Campo UNI –FIC, 03 de octubre del 2009.

Presencia de gibas

La presencia de gibas hace que los vehículos transiten disminuyendo la velocidad cada vez que se encuentren con una de ellas, esto para la toma de datos de campo es bastante perjudicial ya que no se logra conservar una velocidad constante que es la adecuada para esto. Para el tramo del km. 94+000 al 99+000 se encontraron 7 unidades en la figura N° 1.03 se puede apreciar una de ellas.

FIGURA N° 1.03: Fotografía Giba en el camino



Fuente: Evaluación de Campo UNI –FIC, 03 de octubre del 2009.

Alcantarillas y cunetas.

En la figura N° 1.04 se puede observar una alcantarilla de concreto, pero no cuenta con cunetas de concreto por lo que sería poco probable que esta alcantarilla cumpla la función de llevar los flujos al río y más bien al no tener una cuneta que direcciona los flujos de agua en épocas de avenidas, estas aguas discurren sobre la carpeta asfáltica e ingresara al terraplén por las fisuras o las bermas, provocando que la estructura del pavimento sea afectado y por consiguiente la superficie de esta.

FIGURA Nº 1.04: Fotografía Alcantarilla sin cuneta de concreto

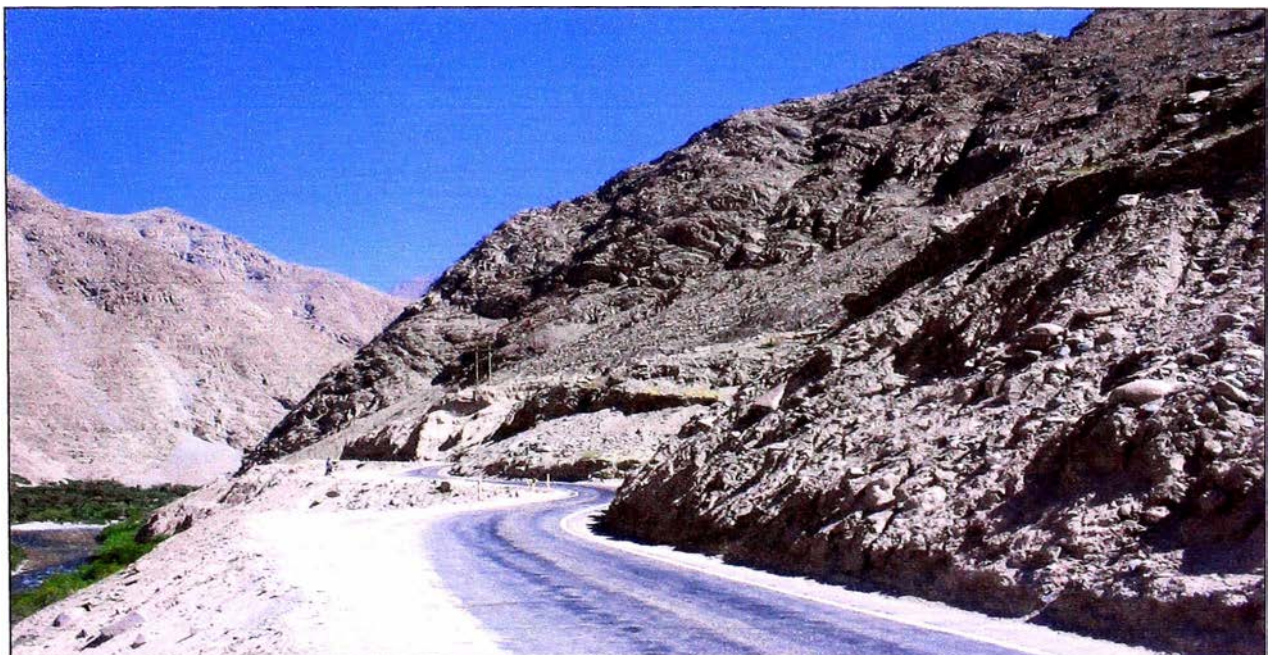


Fuente: Evaluación de Campo UNI –FIC, 03 de octubre del 2009.

Curvas “O” y “S” con insuficiente longitud de transición.

En la figura Nº 1.05 se aprecia que las curvas tienen un diseño geométrico deficiente ya que no cuentan con la longitud de transición mínima para pasar de una curva a otra.

FIGURA Nº 1.05: Fotografía Curva horizontal



Fuente: Evaluación de Campo UNI –FIC, 03 de octubre del 2009.

Parche y desgaste de la superficie.

En la figura N° 1.06 se puede apreciar que la superficie a sufrido desgaste por diversos factores y reparación localizada.

FIGURA N° 1.06: Fotografía Desgaste y parche de la vía



Fuente: Evaluación de Campo UNI –FIC, 03 de octubre del 2009.

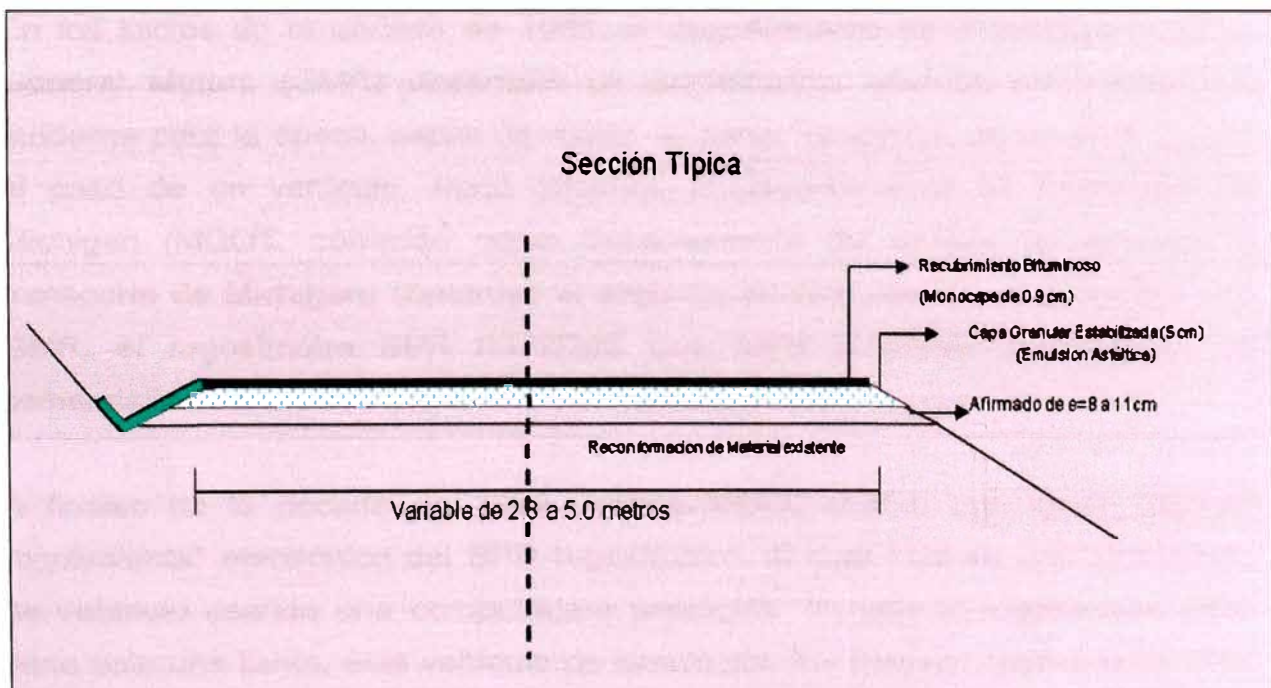
1.4.2.- Solución aplicada:

La propuesta del Contratista para el tramo en estudio consistió en un cambio de estándar de Afirmado a un tratamiento monocapa sobre una superficie tratada (afirmado + emulsión) que contiene material bituminoso lo cual le brinda impermeabilización y se coloca para recubrir la estructura del pavimento.

Componentes de la sección típica.

- 1.- Plataforma de cimentación con material existente
- 2.- Sub-base: capa granular con material de cantera (8 -11 cm.)
- 3.- Base: capa granular (5-6.5cm)
- 4.- Recubrimiento Bituminoso “Monocapa” (0.8 - 1cm)

FIGURA N° 1.07: Sección típica



Fuente: Clases de Titulación 2009 – Ing. Edwin Apolinario M

CAPITULO II.- ESTADO DEL ARTE

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

En los inicios de la década de 1960, el departamento de investigación de la General Motors (GMR) desarrolló un perfilómetro, usando instrumentación moderna para la época, capaz de medir la parte "dinámica" de un perfil de vía al paso de un vehículo. Poco después el departamento de transporte de Michigan (MDOT, conocido como Departamento del estado de caminos y transporte de Michigan) construyó el segundo perfilómetro en cooperación con GMR. el rugosímetro BPR RTRRMS que sería el primer perfilómetro en comercializarse.

A finales de la década de 1960, ambos MDOT y K.J. Law desarrollan el "equivalente" electrónico del BPR rugosímetro, el cual emplea una simulación de vehículo usando una computadora analógica. Ya que el rugosímetro BPR tiene solo una llanta, éste vehículo de simulación fue llamado rugosímetro BPR de simulación de un cuarto de carro (BPR/QCS). El BPR/QCS usado por MDOT y K.J. Law tiene ecuaciones idénticas a un modelo matemático usado para caracterizar varios sistemas dinámicos y fueron las primeras aplicaciones de este modelo para cuantificar la rugosidad de la vía.

En 1968 K. J. Law Inc. Presenta el segundo modelo de simulación de cuarto de carro QCS con otros parámetros para simular un auto de pasajeros Chevrolet Impala.

Durante los últimos años de la década de 1970 un proyecto de investigación a gran escala llevado a cabo por el Instituto de Investigación de Transportes de la Universidad de Michigan (The University of Michigan Transportation Research Institute - UMTRI) para estudiar los sistemas de medición de la rugosidad tipo respuesta (RTRRMS), se determinó la correlación entre diferentes sistemas de medición y el diseño de una metodología válida para la calibración. La investigación incluyó pruebas de RTRRMS en laboratorio con un análisis teórico de su concepto e instrumentación; obteniendo problemas por lo que se hizo evidente que los instrumentos fueron diseñados sin conocer el concepto de rugosidad y como debería ser medido. En el análisis de la rugosidad se determinó que un aspecto mensurable es determinar el perfil longitudinal como referencia de calibración.

La referencia seleccionada es el QCS, con nuevos parámetros de modelo escogidos para ofrecer la máxima correlación con los RTRRMS existentes. Adicionalmente a un nuevo conjunto de parámetros, el QCS fue “mejorado” para la simulación de medio-carro (Half Car), porque casi todos los RTRRMS usados en los Estados Unidos están basados en vehículos de doble rodaje (carros de pasajeros y remolques de doble rodaje). Se observó que la forma en que una llanta “envuelve” pequeños chichones tenía influencia crítica cuando el QCS era usado para velocidades bajas. En consecuencia, al involucramiento de la llanta se añadió el modelo cuando se simulaban a bajas velocidades. El QCS descrito en este reporte era casi idéntico a la propuesta por el Programa de Cooperación Nacional de Investigación de Carreteras (National Cooperative Highway Research Program - NCHRP), difiriendo solamente en el parámetro de involucramiento del neumático el cual fue cambiado de 300mm a 250mm para simplificar los requerimientos de medición para métodos de vara y nivel.

Paralelamente en la década de 1970 el Banco Mundial financió diferentes programas de investigación a gran escala, entre los cuales se encontraba un proyecto relacionado con la calidad de las vías y los costos a los usuarios, a

través del cual se detectó que los datos de regularidad superficial de diferentes partes del mundo no podían ser comparados; aun datos de un mismo país no eran confiables, debido a que las mediciones fueron realizadas con equipos o métodos que no eran estables, ni confiables en el tiempo.

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

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

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

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

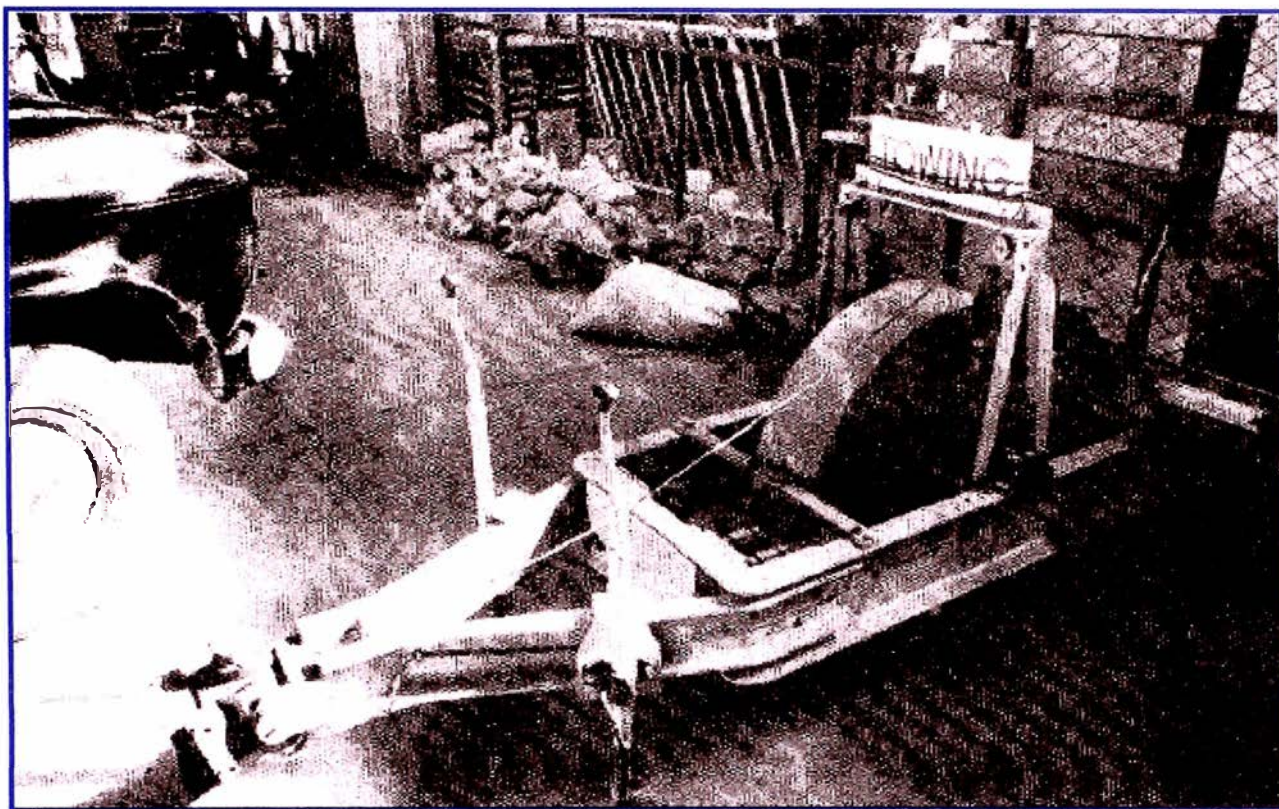
Sistema Opala – Maysmeter. Fueron utilizados 3 equipos de este modelo operados por la Agencia de Planeamiento de Transportes de Brasilia (Brazilian Transportation and Planning Agency - GEIPOT). Estos consistían en vehículos de pasajeros Chevrolet Opala equipados con Maysmeter, el cual fue fabricado

por la compañía Rainhart de Austin, Texas. Se hicieron modificaciones para eliminar el registrador gráfico, utilizado para leer mediciones de rugosidad, y se sustituyó por un contador electrónico con una pantalla digital. Lo cual producía un valor por cada 80 metros de viaje, también se podía ajustar para mostrar un valor cada 320 metros de viaje.

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

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

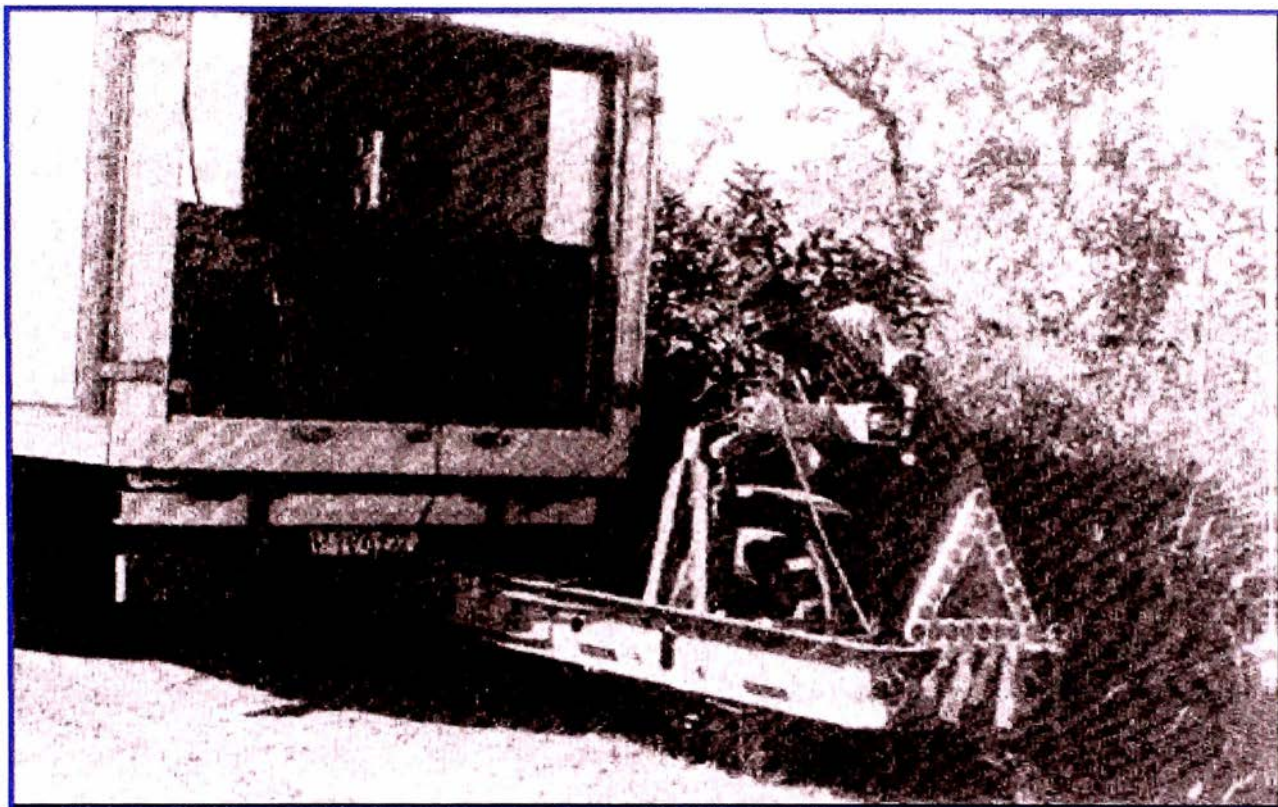
FIGURA N° 2.01 Modelo de Trailer Bump Integrator



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

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

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



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

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

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

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

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

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

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

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

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

exacta de la longitud de un tramo de carretera, y en segundo lugar, proporciona los tiempos.

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

Respecto al IRI en Octubre del año 1995, el Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú (MTC), a través del Proyecto Especial de Rehabilitación de la Infraestructura de Transportes (PERT), dio a conocer las nuevas especificaciones técnicas para la rugosidad, las cuales se incluyeron como parte del control para la recepción de las obras. En este mismo año el equipo Bump Integrator fue insertado en el Perú por el Departamento de Provías Nacional del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC); conociéndose experiencias de mediciones con BI en la Panamericana Norte mediante la tesis "Evaluación de la Rugosidad de Pavimentos con Uso del Bump Integrator" del Ing. José Sologorre Huayta. También ha sido utilizado el equipo BI por el Consorcio Sullana para la evaluación superficial del Sector Sullana-Aguas Verdes.

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

CAPITULO III.- MARCO TEÓRICO

3.1.- Evaluación Superficial

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

La evaluación superficial se realiza desde su aplicación como un control de calidad durante su etapa de construcción y post construcción, hasta el monitoreo durante el tiempo de servicio del pavimento en el cual se le hace seguimiento a la evolución del deterioro debido a las solicitaciones del tránsito o el medio ambiente.

La evaluación superficial comprende los aspectos vinculados a la función, al estado y a la seguridad de la superficie de un pavimento:

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

b) La evaluación funcional o de la serviciabilidad del pavimento, está relacionado a la comodidad y transitabilidad que percibe un pasajero durante el recorrido de un vehículo. Se trata de conocer la serviciabilidad y la rugosidad determinando el PSI o el IRI respectivamente a través de medios subjetivos o instrumentales. En la actualidad el medio mas empleado es con instrumentos

denominados perfilómetros y rugosímetros que miden la rugosidad del pavimento para luego mediante una ecuación de correlación estos datos sean convertidos para obtener el Índice de Rugosidad Internacional – IRI.

c) La evaluación de la seguridad, se relaciona con la capacidad de la vía para brindar seguridad a los usuarios durante su recorrido mediante la geometría, textura de superficie, señalizaciones viales, dispositivos de seguridad, etc.

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° 3.01.

CUADRO: N° 3.01: Estado Superficial en función del IRI

IRI	ESTADO
menor a 3	Bueno
3 - 4	Regular
4 - 6	Malo
6 - 10	Pésimo

Fuente: Tesis de Maestría, Ing. Wilfredo Gutiérrez Lázares FIC – UNI.

3.2.- Rugosidad.

La American Society of Testing and Materials (ASTM), E867 lo define de la siguiente manera, La rugosidad “Es la desviación de la superficie del pavimento respecto de una superficie plana verdadera con las dimensiones características que afectan la dinámica del vehículo y calidad del recorrido”.

Existen muchas definiciones (tales como Darlington, 1973; Hass y Hudson, 1977; Hudson, 1977; Gómez, 1983) que abordan el concepto desde un punto de vista geométrico de un camino (perfil longitudinal) y desde un punto de vista del usuario (confort o agrado de un viaje). Un intento por resolver este problema se hace en Gómez (1983) donde se define la rugosidad estática o geométrica, independiente del instrumento de medida, y rugosidad dinámica que depende del instrumento, del vehículo donde se instala y de la velocidad. Los aparatos de medición geométrica registran un perfil detallado de las variaciones de cada

uno de los puntos de la huella, mientras que los de medición dinámica registran las oscilaciones que le produce el perfil superficial (rugosidad estática), cuando son operados a una velocidad constante dada (Gómez, 1983).

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

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

Estas necesidades dieron lugar a la celebración del Experimento Internacional de Rugosidad de Caminos – IRRE, uno de cuyos frutos fue el desarrollo del concepto, definición y método del cálculo del IRI

3.2.1.- Índice de Rugosidad Internacional (IRI).

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

de medición de la regularidad superficial denominado Índice de Regularidad Internacional (IRI, International Roughness Index).

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

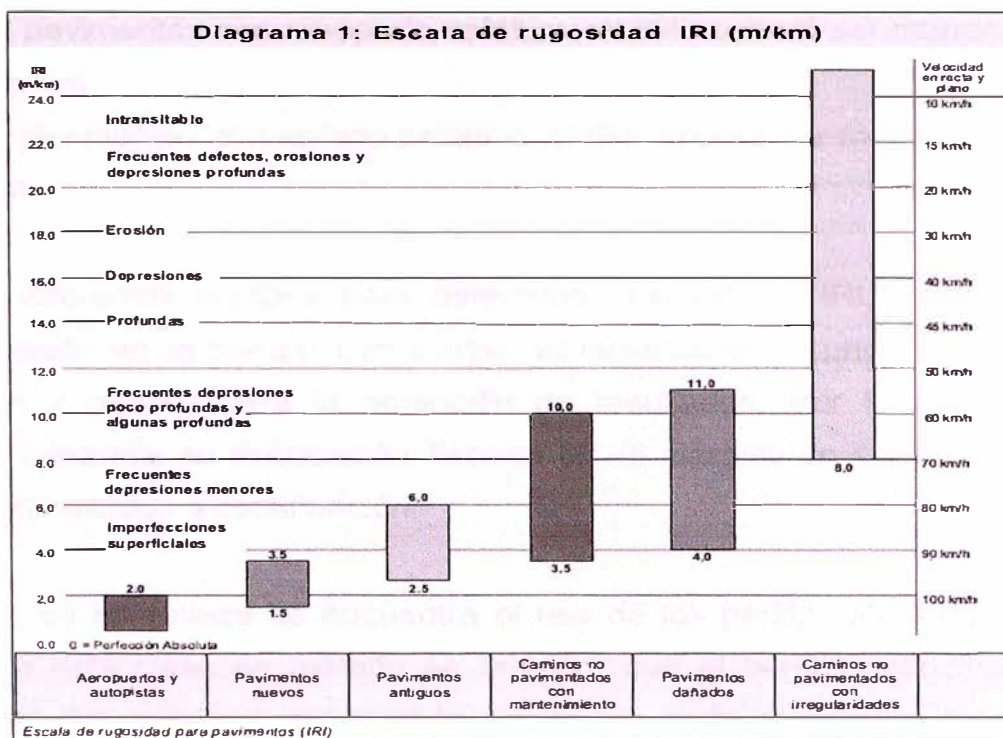
En términos más sencillos, el IRI es un modelo matemático, el cual calcula el movimiento acumulado en la suspensión de un vehículo de pasajero típico, al recorrer una superficie del camino a una velocidad de 80 km/h.

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

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

En la Figura N° 3.01 se puede apreciar la escala de valores del IRI y las características de las superficies de rodadura propuesta por el Banco Mundial dado a conocer con la Publicación Técnica N° 45 en el año 1986.

FIGURA N° 3.01. Escala de Valores del IRI



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

3.2.2.- Límites de la rugosidad para el control de calidad de pavimentos.

Para el caso de pavimentos asfálticos nuevos o rehabilitados, la rugosidad o regularidad superficial se deberá controlar calculando el parámetro denominado IRI Característico, el cuál es definido por la siguiente expresión:

$$IRI_c = IRI_p + 1.645 S$$

Donde:

IRI_c : IRI característico

IRI_p : IRI promedio

S: Desviación Estándar

De acuerdo al factor de correlación empleado (K=1.645), se cumplirá que el 95% del pavimento experimentará una rugosidad igual o menor al IRI característico.

Calculado el IRI característico, el sector o tramo será aceptado si cumple con las siguientes condiciones:

- a). Para pavimentos asfálticos nuevos, el IRIc deberá ser menor o igual a 2.0 m/km.
- b). Para pavimentos con recapado asfáltico, el IRIc deberá ser menor o igual a 2.5 m/km.
- c). Para pavimentos con sellado asfáltico, el IRIc deberá ser menor o igual a 3.0 m/km.

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

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

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

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

Las mediciones efectuadas mediante los métodos Clase 3 dependen de las características dinámicas de un vehículo, para proporcionar parámetros de

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

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

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

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

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

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

3.3.- Método de evaluación con equipo Bump Integrator

El Bump Integrator pertenece a los perfilómetros de clase 3 y es un Sistema Tipo Respuesta de Medida de Rugosidad de Caminos (siglas inglesas: 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.

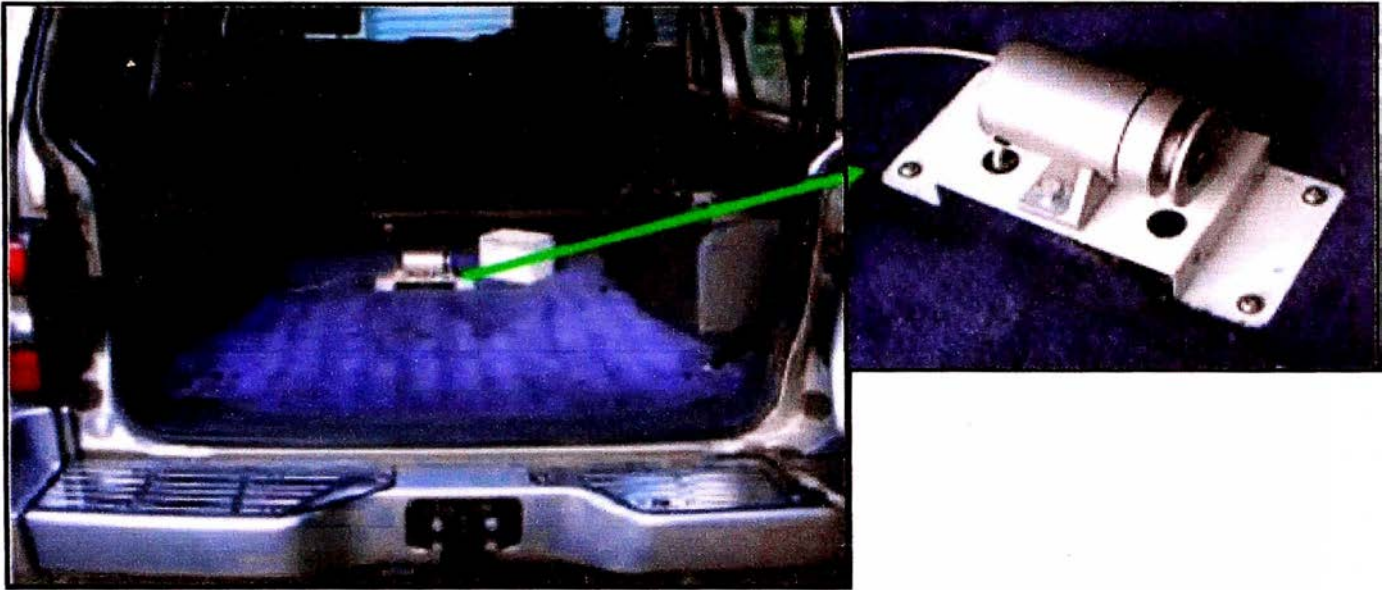
Un RTRRMS presenta tres componentes: un vehículo, un transductor que detecta el movimiento relativo de la suspensión y una pantalla que se conecta eléctricamente al transductor. El transductor y la pantalla juntos constituyen un rugosímetro o medidor de carretera (roadmeter) y se adquiere como un solo componente. Las medidas obtenidas del rugosímetro son en realidad la respuesta del vehículo a la superficie de la carretera a medida que se desplaza a cierta velocidad. Debemos tener en cuenta que así como la medida es el resultado del rugosímetro, el procedimiento de operación, el vehículo y todas las variables afectan su respuesta. Por lo cual el Sistema BI esta conformado por el vehiculo, la unidad BI, la unidad contadora, y adicionalmente un Odómetro.

Equipo Bump Integrator

El equipo que se ha utilizado para medir la rugosidad es el rugosímetro "Bump Integrator", este equipo va montado en la tolva de la camioneta móvil, conectado directamente con el diferencial del eje trasero mediante un cable flexible adecuadamente tensado. Conforme el vehículo recorre la superficie a una velocidad uniforme de 40 km/h, el equipo mide los movimientos relativos entre el chasis y el eje trasero registrando los datos con la Unidad Contadora instalada en el panel de control de la cabina.

En la figura 3.02 se observa el equipo Bump Integrator Instalado sobre un vehículo al centro del chasis posterior.

FIGURA 3.02: Equipo Bump Integrator Sobre un Vehículo



Fuente: Adaptado de Tesis UNI-FIC, JCS

Para efectos de este informe, se presentan las mediciones de rugosidad con el equipo "Bump Integrator", debidamente calibrado, equipo tipo respuesta que permite correlacionar sus resultados con el Índice de Rugosidad Internacional (IRI).

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

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

Las solución a este inconveniente realizar la medición a velocidades que puedan oscilar entre 32km/h y 50km/h, para obtener una buena calibración.

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

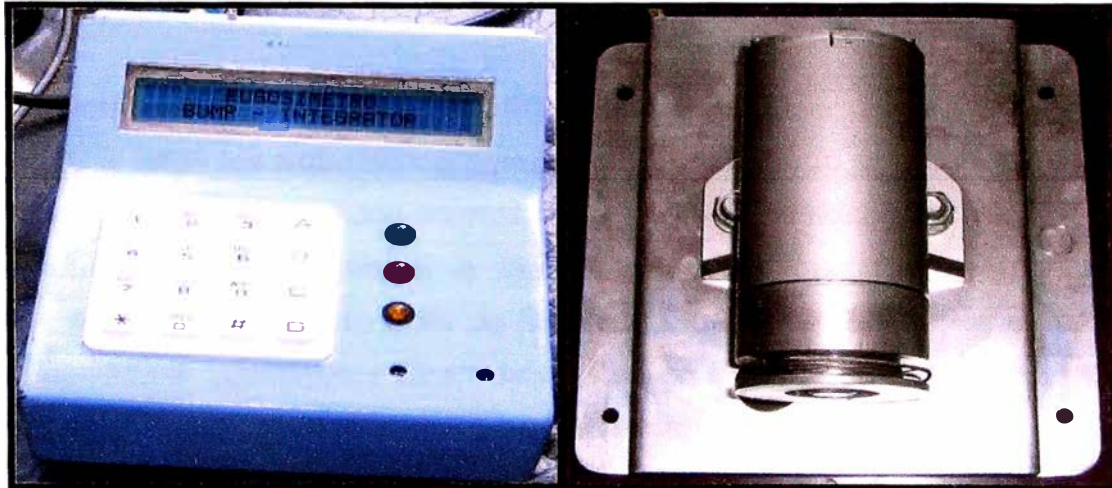
FIGURA N° 3.03 Instalación del REBITU



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

En la figura 3.03 se observa el proceso de instalación del sensor a la camioneta que fue utilizada en la toma de datos, además en la figura 3.04 se muestra el contador fabricado por el instituto de investigación de la FIC y el sensor del equipo.

FIGURA N° 3.04. El Contador y el Sensor



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

La calibración del equipo BI se lleva a cabo encontrando la ecuación de correlación con el equipo Merlín.

Teniendo los valores de las lecturas efectuadas por el equipo Bump Integrator y los valores de IRI del Merlín, se procede a realizar un análisis de regresión, del cual se obtiene la ecuación 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.

La ecuación a usar puede ser del tipo lineal, logarítmica, exponencial, polinómica o potencial y se tomara aquella ecuación cuyo valor de correlación sea más cercano a la unidad. La curva de mejor "ajuste" denominada ecuación de calibración será aceptada si el coeficiente de ajuste es mayor o igual a 0.8. Finalmente con la ecuación de calibración se procesa la data para todas las unidades de control que corresponden a los tramos evaluados, convirtiendo los valores de rugosidad de unidades BI a valores de IRI.

CAPITULO IV.- APLICACIÓN DEL MÉTODO TRAMO KM.94+000 – KM.99+000

4.1- Recopilación de datos de campo.

El proceso para la toma de datos se inicia con el reconocimiento del tramo seguido de la elección de la sección de calibración, luego se define la velocidad a emplear conforme a las condiciones topográficas de la carretera y las estructuras existentes

Reconocimiento del tramo km. 94+000 – km. 99+000.

Para llevar a cabo los trabajos de campo, se ha efectuado el reconocimiento de la carretera, el marcado de los tramos cada 400m, y se escogieron los sectores de calibración correspondiente a las dimensiones que fueron ubicadas y pintadas sobre el pavimento a fin de facilitar la identificación de las estructuras (gibas, badenes), poblados y otros existentes en los tramos del pavimento que puedan interferir en el proceso de toma de datos.

También como parte de la inspección de campo se ubicaron las estructuras (gibas y badén) que afectaron en el proceso de la toma de datos que se mencionan en el cuadro N° 4.01.

CUADRO N° 4.01 Ubicación de Estructuras y otros factores que afectan la toma de datos – tramo km. 94+000 – km. 99+000

PROGRESIVA	OBSERVACIONES
94+000 - 94+300	Sector deteriorado
km 94+750	Badén
km 96+650	Giba
km 96+700	Giba
km 96+800	Giba
km 97+900	Giba
km 98+450	Giba
km 98+750	Giba
km 99+700	Giba

Fuente: Elaboración propia

En el reconocimiento de campo se observó que en el tramo del km. 94+000 al km 99+00 se había aplicado el tratamiento superficial Monocapa, que presenta buen estado en la superficie de rodadura.

Secciones de Calibración

Las secciones de calibración se tomaron del tramo con tratamiento superficial Monocapa del km. 79+000 al km. 104+000.

Para la calibración se hicieron mediciones de rugosidad con el equipo Bump Integrator en unidades BI en las mismas zonas en los que se efectuó las mediciones con el equipo MERLIN.

A continuación se indican las zonas que sirvieron para la calibración de los equipos:

CUADRO N° 4.02 Ubicación de zonas de Calibración

ZONA CALIBRACION	GRUPO	UBICACION
1	G 5	km 80+100 – km 80+500.
2	G 6	km 84+400 – km 85+000.
3	G 7	km 91+100 – km 91+500.
4	G 8	km 97+800 al km 98+200.

Fuente: Elaboración propia

Las secciones de calibración que se utilizaron para el Bump Integrator tienen una longitud de un km., y la velocidad empleada de 40 km./ h.

CUADRO N° 4.03 Valores BI de campo - Secciones de calibración

SECCIONES DE CALIBRACION			Lunahuana -Yauyos	Yauyos Lunahuana	Lunahuana -Yauyos	Yauyos Lunahuana
Km 80+000	-	km 81+000	3115	2964	2961	2948
Km 84+000	-	km 85+000	2995	2758	-	-
km 91+000	-	km 91+600	3024	3262	-	-
km 97+000	-	km 97+900	3721	3599	-	-

Fuente: Elaboración propia

4.2.- Calibración del equipo

Para la calibración se hicieron mediciones de rugosidad con el equipo Bump Integrator en unidades BI en las mismas zonas en los que se efectuó las mediciones con el equipo Merlin.

Para tal efecto en el cuadro N° 4.04 se muestra los resultados en base a los equipos de medición empleados.

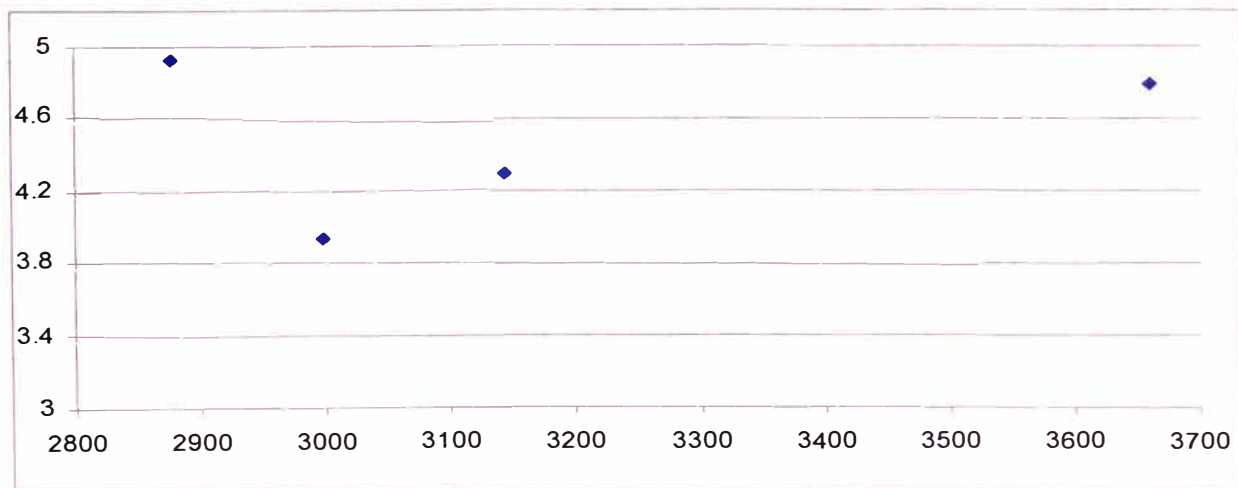
CUADRO N° 4.04 Medición de rugosidad con Merlin y Bump Integrator

Sección de Calibración	EQUIPO MERLIN (IRI) Tramo 400ml	EQUIPO BUMP INTEGRATOR (BI)				
		Lecturas a 40 Km/h				Promedio BI tramo 1000ml
		1	2	3	4	
1	3.94	3115	2964	2961	2948	2997
2	4.93	2995	2758			2877
3	4.30	3024	3262			3143
4	4.79	3721	3599			3660

Fuente: Elaboración propia

En la figura N° 4.01 Con las lecturas obtenidas se grafica los datos BI vs IRI. Con la intención de verificar la tendencia de los puntos obtenidos.

FIGURA N° 4.01 BI vs IRI



Fuente: Elaboración propia

Se procede a eliminar el dato correspondiente a la sección de calibración N° 2 ya que para el valor de 2877 su IRI es aproximado a 5, cosa que no guarda proporcionalidad con los valores BI restantes.

Además el valor IRI tomado en el mes de Junio del 2009, realizados por la facultad de Ingeniería Civil – UNI, muestra el valor de 4.01 m/km. observándose una diferencia de 0.92 m/km. Y por el tiempo transcurrido (3 meses) el incremento es demasiado alto.

Regresiones de Correlación

Se procede a generar las ecuaciones correspondientes a las regresiones analizadas.

CUADRO N° 4.05 Regresiones analizadas

Regresión	Ecuación	correlación (R2)
Lineal	$0,0012BI - 0.4429$	0.9505
Logarítmica	$4.0006\ln(BI) - 28.013$	0.9583
Polinómica	$-0,000002BI^2 + 0,0165BI - 25.017$	1.0000
Exponencial	$1,7804e0,0003BI$	0.9378
Potencial	$0.0027BI^{0.9119}$	0.9465

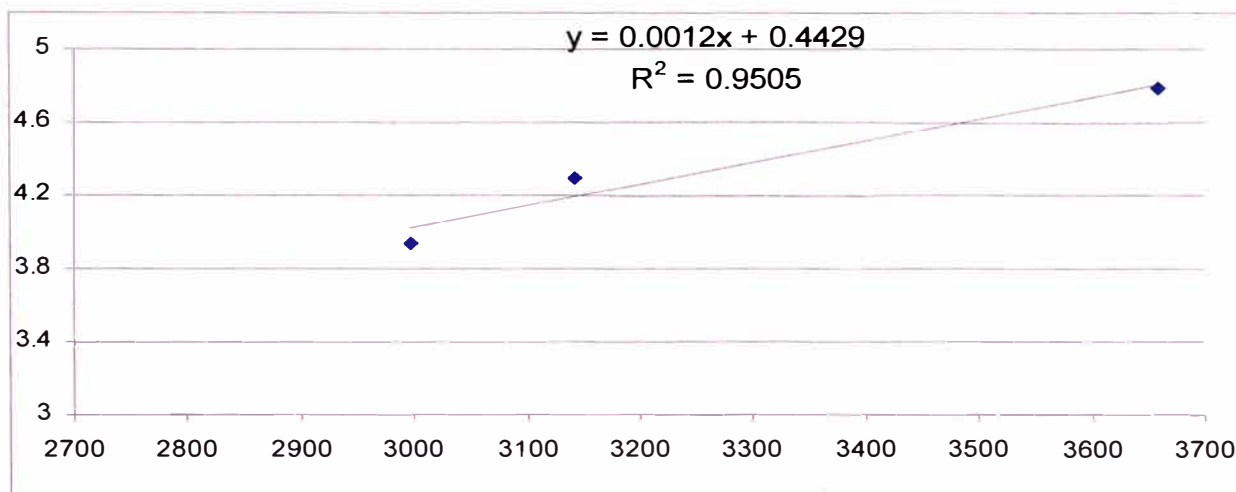
Fuente: Elaboración propia

Como se muestra en el cuadro N° 405 si bien es cierto la ecuación con mejor correlación es la Polinómica, no puede ser usada ya que muestra una concavidad que no representa la condición del pavimento, además entre la ecuación lineal y la logarítmica se elige la que mejor represente la condición del pavimento.

La curva y ecuación de calibración para el tramo de la carretera del km. 79+000 al km. 104+000 se muestra a continuación:

$$IRI = 0,0012 \times BI + 0.4429$$

FIGURA N° 4.02 Curva y ecuación de calibración



Fuente: Elaboración propia

4.3.- Procesamiento de datos

En base a la correlación de calibración entre equipos de medición de rugosidad (BUMP INTEGRATOR y MERLIN), se obtuvieron los siguientes resultados en unidades IRI (Internacional Roughness Index):

CUADRO N° 4.06 Valores de BI – Resultados del IRI

TRAMOS EVALUADOS			Lunahuana -Yauyos	Yauyos Lunahuana	BI promedio	IRI obtenido
Km 94+000	-	km 95+000	1454	1527	1490	2.23
km 95+000	-	km 96+000	3232	3340	3286	4.39
km 96+000	-	km 97+000	2869	3259	3064	4.12
km 97+000	-	km 98+000	3721	3599	3660	4.83
km 98+000	-	km 99+000	3627	3558	3592	4.75
Promedio						4.52
Desviación estándar						0.33
IRI característico						4.86

Fuente: Elaboración propia

CAPITULO V.- ANALISIS DE RESULTADOS

Las secciones de calibración correspondieron a los definidos por los grupos a cargo de medir la rugosidad con equipo Merlin.

Al hacer el análisis de regresión para obtener la ecuación que relaciona los valores del Bump Integrator con los valores del IRI obtenidos mediante el Merlin se observa que los datos de las 4 zonas de calibración no encuentran una tendencia definida por lo que se procede a eliminar uno de los datos, el de mayor desviación respecto al promedio, que en este caso es la zona 2 esto puede ser debido a que el vehículo no pudo mantener la velocidad constante de 40 km./h. debido a factores que obstaculizaban el paso (gibas, badenes, curvas entre otros).

De las regresiones analizadas se observa que la ecuación polinómica tiene la correlación más cercana a la unidad ($R^2 = 100\%$) con lo que se podría presumir que debe ser la ecuación a utilizar, pero por ser una curva convexa, la tendencia de los IRI del Merlin aumenta para los dos extremos de valores de BI cosa que no puede ser por tratarse de datos de rugosidad en los que para ambos casos BI e IRI deben crecer o decrecer juntos.

Luego por tratarse de una curva ascendente, con bastante aproximación a los datos de las zonas de calibración y por experiencias de consultoras en el Perú se acepta la ecuación lineal como la ecuación de correlación y se procede al cálculo de los IRI para el tramo en estudio.

De acuerdo a los estándares establecidos por el banco mundial mostrados en el cuadro 3.01 las secciones del tramo evaluado se pueden catalogar como se muestra en el cuadro N° 5.01:

CUADRO N° 5.01: Estado Superficial del Pavimento.

TRAMOS EVALUADOS			IRI obtenido	Condición de la superficie de la vía
Km 94+000	-	km 95+000	2.2315	
km 95+000	-	km 96+000	4.3861	Malo
km 96+000	-	km 97+000	4.1197	Malo
km 97+000	-	km 98+000	4.8349	Malo
km 98+000	-	km 99+000	4.7539	Malo

Fuente: Elaboración propia

La clasificación del cuadro N° 3.01 esta dada para vías asfaltadas a diferencia del tramo evaluado que fue intervenido con tratamiento superficial básico no tradicional Monocapa, cuyos comportamientos no tendrían por que ser similares.

El sub. tramo del km. 94+000 al km. 95+000 con IRI 2.2315 no se encuentra dentro de los márgenes de los valores IRI del tramo de la vía y esto debido a que no se tomaron los datos de todo el kilómetro ya que se encontraba deteriorado, por lo que se descarta su aporte.

CONCLUSIONES

- De acuerdo a la metodología empleada se obtuvieron las mediciones de la rugosidad en la superficie del tramo en estudio que se puede apreciar en el cuadro N° 4.06 de la pagina 51 del presente informe.
- La geometría de la vía existente y singularidades inevitablemente presentes en el camino, influye en la medición del IRI, que podría eventualmente verse distorsionada, como consecuencia de ello no debe considerarse en el computo del IRI general algunos sectores en donde resultará siempre inadecuado y/o antieconómico mejorar el nivel del confort con relación al promedio que se tiene en los otros tramos.
- Las ventajas en el uso del equipo Bump Integrator radica en que la metodología es sencilla de aplicar, el costo de alquiler es relativamente bajo y tiene alto rendimiento de operación.
- Si bien es cierto la metodología es fácil de aplicar, las desventaja mayor es que no se cuenta con normas aplicadas a la realidad del país, además de no contar con personal capacitado para el uso de los equipos ya que se trata de una disciplina relativamente nueva en el Perú (1995).
- De acuerdo a lo mostrado en el cuadro 5.01 (pagina 53) las secciones del tramo evaluado se catalogan como “mala”. Sin embargo esta clasificación esta dada para vías asfaltadas a diferencia del tramo evaluado que fue intervenido con tratamiento superficial básico Monocapa y la apreciación del tramo en campo se podría decir que se encontraba en buen estado, por lo que se considera la condición de la superficie solo como una referencia que debe ser estandarizada más adelante.

RECOMENDACIONES

- Mejorar los diseños geométricos ya que influyen negativamente en la calidad del confort, además que no es técnicamente consistente tratar de mejorar los niveles de servicio con solo hacer trabajos superficiales.
- Se recomienda el uso del equipo Bump Integrator para vías de este nivel de bajo volumen de tránsito ya que puede proporcionar rápidamente la condición funcional del pavimento que permitan definir mantenimientos oportunos y evitar deterioros que conlleven a efectuar evaluaciones destructivas que ocasionen paralización del tráfico y perjuicio a los usuarios por tratarse de vías de un solo carril.
- Se deben obtener datos periódicamente de rugosidad para lograr determinar el estado de la vía, ya que aun no se cuenta con una clasificación estándar para las vías de bajo volumen de tráfico y menos para tratamientos superficiales.

BIBLIOGRAFIA

- Bengoa Pérez Elva; Sistema de Gestión de Pavimento y uso de los programas HDM-III y HDM-4, Pontificia Universidad Católica de Chile, octubre 2006.
- Del Águila, Pablo. "Metodología para la determinación de la Rugosidad de los Pavimentos con Equipo de Bajo Costo y Gran Precisión". III Congreso Nacional del Asfalto, Lima, 1999.
- Gutiérrez Lázares José 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.
- Sayers Michael W., Thomas D. Gillespie, and Cesar A.V. Quiroz. "The International Road Roughness Experiment". World Bank Technical Paper Number 45. Washington D.C. 1986.
- www.camineros.com
- www.mtc.gob.pe
- www.proviasnac.gob.pe

ANEXOS

ANEXO N° 01

PANEL FOTOGRAFICO



Fotografía N ° 01 Vista posterior del vehiculo utilizado



Fotografía N ° 02 Vehiculo en pleno recorrido de toma de datos



Fotografía N ° 03 Hito final del tramo evaluado



Fotografía N ° 04 Tramo con ancho de vía variable



Fotografía N ° 05 Deterioro de la superficie



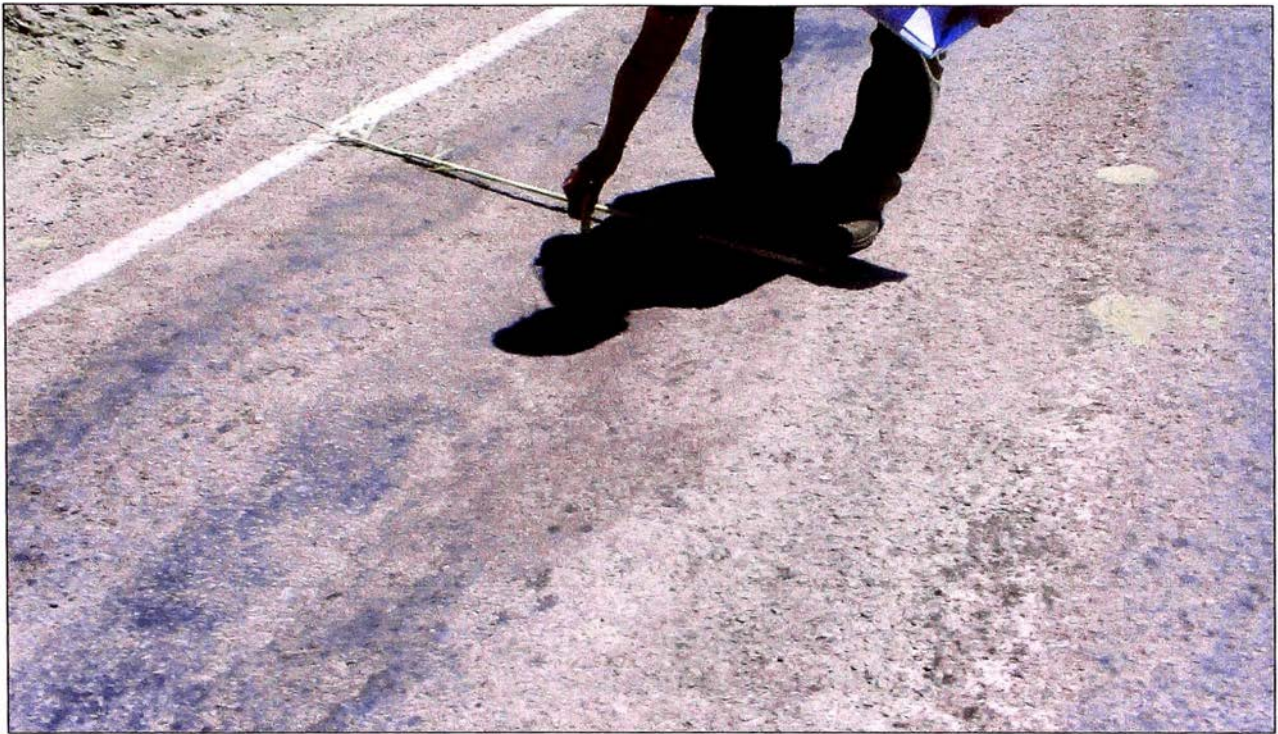
Fotografía N ° 06 Desgaste a 50 cm. del costado de vía



Fotografía N ° 07 Bacheo aparente



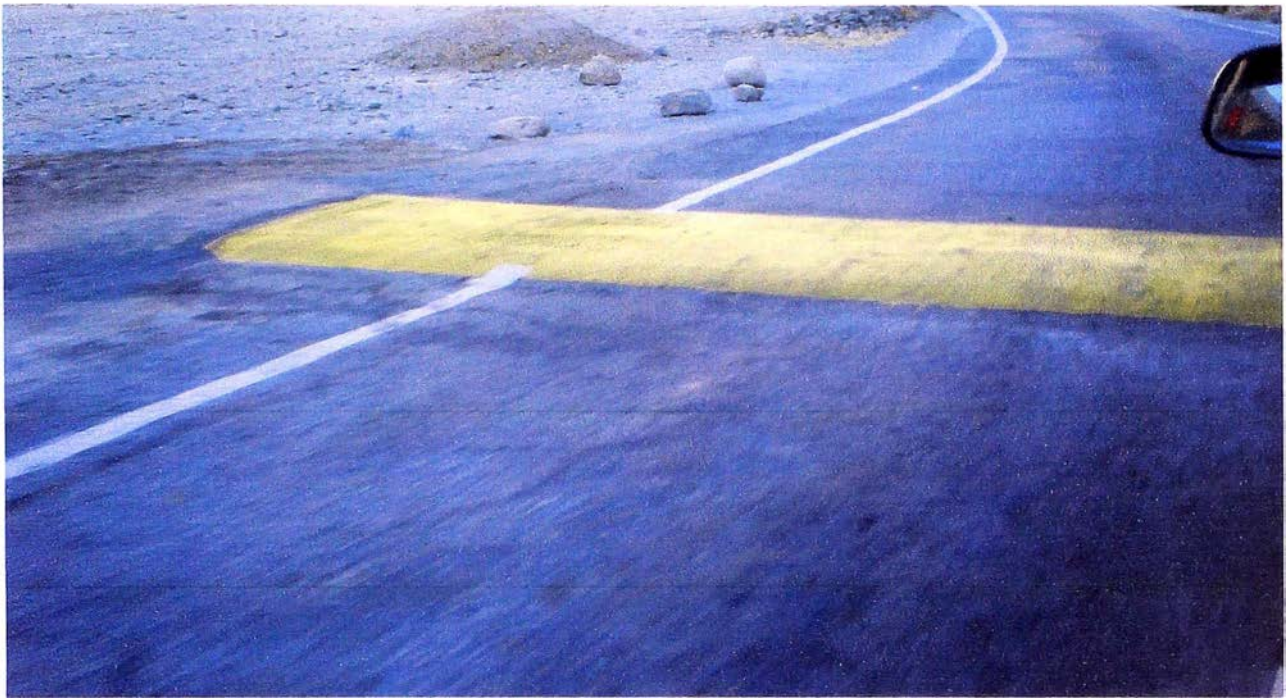
Fotografía N ° 08 Curvas verticales



Fotografía N ° 09 Hundimiento de 3 cm. a 50 cm. del borde de vía



Fotografía N ° 10 Alcantarillas de concreto



Fotografía N ° 11 Giba en el camino



Fotografía N ° 12 Hito km. 96



Fotografía N ° 13 Hito km. 97

ANEXO N° 2

DATOS OBTENIDOS DE CAMPO

Cuadro N° 2.01 Datos BI Tomados de Campo

Progresiva			Lunahuana-Yauyos		Yauyos-Lunahuana		Lunahuana-Yauyos		Yauyos-Lunahuana		BI	
Del	Al	Longitud	Código	BI	Código	BI	Código	BI	Código	BI	Promedio	
29+000	30+000	1000	30	3276	75	3470	-	-	3356	-	3358	3363
30+000	31+000	1000	30	3115	75	2964	-	-	2961	-	2948	2997
31+000	32+000	1000	30	3162	75	2790	-	-	3113	-	3072	3034
32+000	32+100	100	Badén	-	-	-	-	-	-	-	-	-
32+100	33+000	900	-	2157	74	1995	-	-	-	-	-	2076
33+000	33+100	100	-	-	Badén	-	-	-	-	-	-	-
33+100	33+450	350	31	658	73	600	-	-	-	-	-	629
33+450	33+700	250	32	783	72	941	-	-	-	-	-	862
33+700	33+800	100	83	204	-	-	-	-	-	-	-	204
33+800	34+000	200	34	390	70	413	-	-	-	-	-	402
34+000	35+000	1000	34	2995	52	2758	-	-	-	-	-	2877
35+000	35+050	50	Puente	-	Puente	-	-	-	-	-	-	-
35+050	35+400	350	30	351	51	989	-	-	-	-	-	370
35+400	36+000	600	91	1544	50	1396	-	-	-	-	-	1470
36+000	36+050	50	32	222	49	236	-	-	-	-	-	229
36+050	36+200	150	93	357	48	397	-	-	-	-	-	377
36+200	36+800	600	94	2086	47	1753	-	-	-	-	-	1920
36+800	36+950	150	95	361	45	540	-	-	-	-	-	351
36+950	37+000	50	97	174	44	172	-	-	-	-	-	173
37+000	38+000	1000	98	2413	43	2462	-	-	-	-	-	2438
38+000	38+600	600	99	1520	42	1350	-	-	-	-	-	1435
38+600	38+700	100	100	253	41	186	-	-	-	-	-	220
38+700	39+000	300	101	713	40	762	-	-	-	-	-	738
39+000	39+200	200	20	346	15	669	-	-	-	-	-	508
39+200	39+400	200	21	867	14	829	-	-	-	-	-	748
39+400	40+000	600	22	1783	13	1841	-	-	-	-	-	1812
40+000	41+000	1000	23	3648	12	3647	-	-	-	-	-	3648
41+000	41+600	600	24	1709	11	2113	-	-	-	-	-	1911
41+600	41+700	100	25	462	10	378	-	-	-	-	-	420
41+700	42+000	300	27	853	9	771	-	-	-	-	-	812
42+000	42+850	850	28	2443	8	2207	-	-	-	-	-	2325
42+850	42+900	50	29	195	7	229	-	-	-	-	-	212
42+900	43+000	100	30	710	5	418	-	-	-	-	-	364
43+000	43+250	250	31	625	4	540	-	-	-	-	-	633
43+250	43+300	50	32	165	3	191	-	-	-	-	-	178
43+300	43+900	600	33	1800	2	1374	-	-	-	-	-	1587
43+900	44+000	100	34	304	1	288	-	-	-	-	-	296
44+000	44+300	300	Deterro	-	Deterro	-	-	-	-	-	-	-
44+300	44+750	450	40	828	32	884	-	-	-	-	-	846
44+750	45+000	250	41	626	31	863	-	-	-	-	-	645
45+000	46+000	1000	42	3232	30	3340	-	-	-	-	-	3288
46+000	46+300	300	43	903	29	869	-	-	-	-	-	886
46+300	46+650	350	43	1054	28	1173	-	-	-	-	-	1113
46+650	46+700	50	qiba	-	qiba	-	-	-	-	-	-	-
46+700	46+800	100	44	401	27	525	-	-	-	-	-	463
46+800	47+000	200	45	511	25	692	-	-	-	-	-	602
47+000	47+900	900	46	3353	24	3226	-	-	-	-	-	3290
47+900	48+000	100	47	388	23	373	-	-	-	-	-	371
48+000	48+450	450	49	1676	22	1567	-	-	-	-	-	1622
48+450	48+750	300	50	1104	21	970	-	-	-	-	-	1037
48+750	49+000	250	51	847	20	1021	-	-	-	-	-	934
49+000	49+700	700	GHD20	2150	GCI12	2439	-	-	-	-	-	2295
49+700	50+000	300	GHD21	1278	GCI11	1524	-	-	-	-	-	1401
50+000	50+000	1000	GHD22	3487	GCI10	3580	-	-	-	-	-	3534
50+000	50+500	500	GHD23	2037	GCI09	1728	-	-	-	-	-	1883
50+500	50+700	200	GHD24	846	GCI08	1016	-	-	-	-	-	931
50+700	50+700	300	GHD25	847	GCI07	551	-	-	-	-	-	599
50+700	50+100	100	GHD27	250	GCI08	184	-	-	-	-	-	217
50+100	50+500	400	GHD28	1204	GCI07	979	-	-	-	-	-	1092
50+500	50+800	300	GHD29	1115	GCI05	969	-	-	-	-	-	1042
50+800	50+800	200	GHD30	830	GCI04	715	-	-	-	-	-	672
50+800	50+200	200	GHD31	538	GCI03	1042	-	-	-	-	-	791
50+200	50+900	700	GHD32	1295	GCI02	1636	-	-	-	-	-	1466
50+900	50+900	100	GHD33	635	GCI01	777	-	-	-	-	-	706

Cuadro N° 1.02 Datos BI Tomados de Camos Totalizado por Kilometro

Progresiva			Lunahuana-Yauyos			Yauyos-Lunahuana			Lunahuana-Yauyos			Yauyos-Lunahuana			BI
Del	Al	Longitud	Código	BI	Código	BI	Código	BI	Código	BI	Código	BI	Promedio		
79+000	80+000	1000	30	3275	75	3470	-	3356	-	3358	-	3365	3365		
79+000	80+000	1000		3275		3470		3356		3358		3365	3365		
80+000	81+000	1000	30	3115	75	2964	-	2961	-	2948	-	2997	2997		
80+000	81+000	1000		3115		2964		2961		2948		2997	2997		
81+000	82+000	1000	30	3162	75	2790	-	3113	-	3072	-	3034	3034		
81+000	82+000	1000		3162		2790		3113		3072		3034	3034		
82+000	82+100	100	Baden	-	Baden	-	-	-	-	-	-	-	-		
82+100	83+000	900		2157	74	1995	-	-	-	-	-	2076	2076		
82+000	83+000	1000		2157		1995		-		-		2076	2076		
83+000	83+100	100	Baden	-	Baden	-	-	-	-	-	-	-	-		
83+100	83+450	350	81	658	73	600	-	-	-	-	-	629	629		
83+450	83+700	250	82	783	72	941	-	-	-	-	-	362	362		
83+700	83+800	100	83	204	-	-	-	-	-	-	-	204	204		
83+800	84+000	200	84	390	70	413	-	-	-	-	-	402	402		
83+000	84+000	1000		2035		1954		-		-		1995	1995		
84+000	85+000	1000	84	2995	52	2758	-	-	-	-	-	2877	2877		
84+000	85+000	1000		2995		2758		-		-		2877	2877		
85+000	85+050	50	Puente	-	Puente	-	-	-	-	-	-	-	-		
85+050	85+400	350	90	951	51	989	-	-	-	-	-	970	970		
85+400	86+000	600	91	1544	50	1396	-	-	-	-	-	1470	1470		
85+000	86+000	1000		2495		2385		-		-		2440	2440		
86+000	86+050	50	92	222	49	236	-	-	-	-	-	229	229		
86+050	86+200	150	93	357	48	397	-	-	-	-	-	377	377		
86+200	86+800	600	94	2086	47	1753	-	-	-	-	-	1920	1920		
86+800	86+950	150	95	561	45	540	-	-	-	-	-	551	551		
86+950	87+000	50	97	174	44	172	-	-	-	-	-	173	173		
86+000	87+000	1000		3400		3098		-		-		3249	3249		
87+000	88+000	1000	98	2413	43	2462	-	-	-	-	-	2438	2438		
87+000	88+000	1000		2413		2462		-		-		2438	2438		
88+000	88+600	600	99	1520	42	1350	-	-	-	-	-	1435	1435		
88+600	88+700	100	100	253	41	186	-	-	-	-	-	220	220		
88+700	89+000	300	101	713	40	752	-	-	-	-	-	738	738		
88+000	89+000	1000		2486		2298		-		-		2392	2392		
89+000	89+200	200	20	346	15	869	-	-	-	-	-	508	508		
89+200	89+400	200	21	867	14	829	-	-	-	-	-	748	748		
89+400	90+000	600	22	1783	13	1841	-	-	-	-	-	1812	1812		
89+000	90+000	1000		2796		3339		-		-		3068	3068		
90+000	91+000	1000	23	3648	12	3647	-	-	-	-	-	3648	3648		
90+000	91+000	1000		3648		3647		-		-		3648	3648		
91+000	91+600	600	24	1709	11	2113	-	-	-	-	-	1911	1911		
91+600	91+700	100	25	462	10	378	-	-	-	-	-	420	420		
91+700	92+000	300	27	853	9	771	-	-	-	-	-	812	812		
91+000	92+000	1000		3024		3282		-		-		3143	3143		
92+000	92+850	850	28	2443	8	2207	-	-	-	-	-	2325	2325		
92+850	92+900	50	29	195	7	229	-	-	-	-	-	212	212		
92+900	93+000	100	30	710	5	418	-	-	-	-	-	564	564		
92+000	93+000	1000		3348		2854		-		-		3101	3101		
93+000	93+250	250	31	625	4	640	-	-	-	-	-	633	633		
93+250	93+300	50	32	165	3	191	-	-	-	-	-	178	178		
93+300	93+900	600	33	1800	2	1374	-	-	-	-	-	1587	1587		
93+900	94+000	100	34	304	1	288	-	-	-	-	-	296	296		
93+000	94+000	1000		2894		2493		-		-		2694	2694		
94+000	94+300	300	Detenro	-	Detenro	-	-	-	-	-	-	-	-		
94+300	94+750	450	40	828	32	864	-	-	-	-	-	846	846		
94+750	95+000	250	41	626	31	663	-	-	-	-	-	645	645		
94+000	96+000	1000		1464		1527		-		-		1491	1491		
95+000	96+000	1000	42	3232	30	3340	-	-	-	-	-	3286	3286		
96+000	96+000	1000		3232		3340		-		-		3286	3286		
96+000	96+300	300	43	903	29	869	-	-	-	-	-	886	886		
96+300	96+650	350	43	1,054	28	1173	-	-	-	-	-	1113	1113		
96+650	96+700	50	qiba	-	qiba	-	-	-	-	-	-	-	-		
96+700	96+800	100	44	401	27	525	-	-	-	-	-	463	463		
96+800	97+000	200	45	511	25	692	-	-	-	-	-	602	602		
96+000	97+000	1000		2869		3259		-		-		3064	3064		
97+000	97+900	900	46	3353	24	3226	-	-	-	-	-	3290	3290		
97+900	98+000	100	47	368	23	373	-	-	-	-	-	371	371		
97+000	98+000	1000		3721		3699		-		-		3660	3660		
98+000	98+450	450	49	1676	22	1567	-	-	-	-	-	1622	1622		
98+450	98+750	300	50	1104	21	970	-	-	-	-	-	1037	1037		
98+750	99+000	250	51	947	20	1021	-	-	-	-	-	934	934		
98+000	99+000	1000		3627		3558		-		-		3593	3593		
99+000	99+700	700	GHD20	2150	GCI12	2439	-	-	-	-	-	2295	2295		
99+700	100+000	300	GHD21	1278	GCI11	1524	-	-	-	-	-	1401	1401		
99+000	100+000	1000		3423		3963		-		-		3696	3696		
100+000	101+000	1000	GHD22	3487	GCI10	3580	-	-	-	-	-	3534	3534		
100+000	101+000	1000		3487		3580		-		-		3534	3534		
101+000	101+500	500	GHD23	2037	GCI09	1728	-	-	-	-	-	1863	1863		
101+500	101+700	200	GHD24	846	GCI08	1016	-	-	-	-	-	931	931		
101+700	102+000	300	GHD25	847	GCI07	551	-	-	-	-	-	599	599		
101+000	102+000	1000		3730		3295		-		-		3513	3513		
102+000	102+100	100	GHD27	250	GCI08	184	-	-	-	-	-	217	217		
102+100	102+500	400	GHD28	1204	GCI07	979	-	-	-	-	-	1092	1092		
102+500	102+800	300	GHD29	1115	GCI05	869	-	-	-	-	-	1042	1042		
102+800	103+000	200	GHD30	630	GCI04	715	-	-	-	-	-	572	572		
102+000	103+000	1000		3199		2847		-		-		3023	3023		
103+000	103+200	200	GHD31	539	GCI03	1042	-	-	-	-	-	791	791		
103+200	103+900	700	GHD32	1295	GCI02	1636	-	-	-	-	-	1466	1466		
103+900	104+000	100	GHD33	635	GCI01	777	-	-	-	-	-	706	706		
103+000	104+000	1000		2469		3455		-		-		2962	2962		

Cuadro N° 2.03 Datos BI Totalizado por Kilómetro

Progresiva			Lunahuana-Yauyos	Yauyos-Lunahuana	Lunahuana-Yauyos	Yauyos-Lunahuana	BI
Del	Al	Longitud	BI	BI	BI	BI	Promedio
79+000	80+000	1000	3276	3470	3356	3358	3365
80+000	81+000	1000	3115	2964	2961	2948	2997
81+000	82+000	1000	3162	2790	3113	3072	3034
82+000	83+000	1000	2157	1995			2076
83+000	84+000	1000	2035	1954			1995
84+000	85+000	1000	2995	2758			2877
85+000	86+000	1000	2495	2385			2440
86+000	87+000	1000	3400	3098			3249
87+000	88+000	1000	2413	2462			2438
88+000	89+000	1000	2486	2298			2392
89+000	90+000	1000	2796	3339			3068
90+000	91+000	1000	3648	3647			3648
91+000	92+000	1000	3024	3262			3143
92+000	93+000	1000	3348	2854			3101
93+000	94+000	1000	2894	2493			2694
94+300	95+000	1000	1454	1527			1491
95+000	96+000	1000	3232	3340			3286
96+000	97+000	1000	2869	3259			3064
97+000	98+000	1000	3721	3599			3660
98+000	99+000	1000	3627	3558			3593
99+000	100+000	1000	3428	3963			3696
100+000	101+000	1000	3487	3580			3534
101+000	102+000	1000	3730	3295			3513
102+000	103+000	1000	3199	2847			3023
103+000	104+000	1000	2469	3455			2962

Cuadro N° 2.04 Valores IRI Obtenidos

(A partir de la Ecuación de Calibración)

Ecuación de Calibración:

$$IRI = 0.0012BI + 0.4429$$

Progresiva		Lunahuana- Yauyos	Yauyos- Lunahuana	Lunahuana- Yauyos	Yauyos- Lunahuana	BI	IRI
Del	Al	BI	BI	BI	BI	Promedio	IRI
79+000	30+000	3276	3470	3356	3358	3365	4.48
30+000	31+000	3115	2964	2961	2948	2997	4.04
31+000	32+000	3162	2790	3113	3072	3034	4.08
32+000	33+000	2157	1995	0	0	2076	2.93
33+000	34+000	2035	1954	0	0	1995	2.34
34+000	35+000	2995	2758	0	0	2877	3.89
35+000	36+000	2495	2385	0	0	2440	3.37
36+000	37+000	3400	3098	0	0	3249	4.34
37+000	38+000	2413	2462	0	0	2438	3.37
38+000	39+000	2486	2298	0	0	2392	3.31
39+000	40+000	2796	3339	0	0	3068	4.12
40+000	41+000	3648	3647	0	0	3648	4.82
41+000	42+000	3024	3262	0	0	3143	4.21
42+000	43+000	3348	2854	0	0	3101	4.16
43+000	44+000	2894	2493	0	0	2694	3.68
44+000	45+000	1454	1527	0	0	1491	2.23
45+000	46+000	3232	3340	0	0	3286	4.39
46+000	47+000	2869	3259	0	0	3064	4.12
47+000	48+000	3721	3599	0	0	3660	4.83
48+000	49+000	3627	3558	0	0	3593	4.75
49+000	50+000	3428	3963	0	0	3696	4.88
50+000	51+000	3487	3580	0	0	3534	4.68
51+000	52+000	3730	3295	0	0	3513	4.66
52+000	53+000	3199	2847	0	0	3023	4.07
53+000	54+000	2469	3455	0	0	2962	4.00

ANEXO N° 3

MEDICIONES DE RUGOSIDAD CON EQUIPO MERLIN, TRAMOS DE CALIBRACION

Evaluación Superficial de La Carretera
 Cañete - Yauyos - Huancayo
 (Km 79+000 - Km 84+000)

Sección Km 80+500 - Km 80+100

Carril / Huella :Derecho

Operador Piter Castillo

FECHA : 03/10/2009

ENSAYO Nº 01

F = 1.000

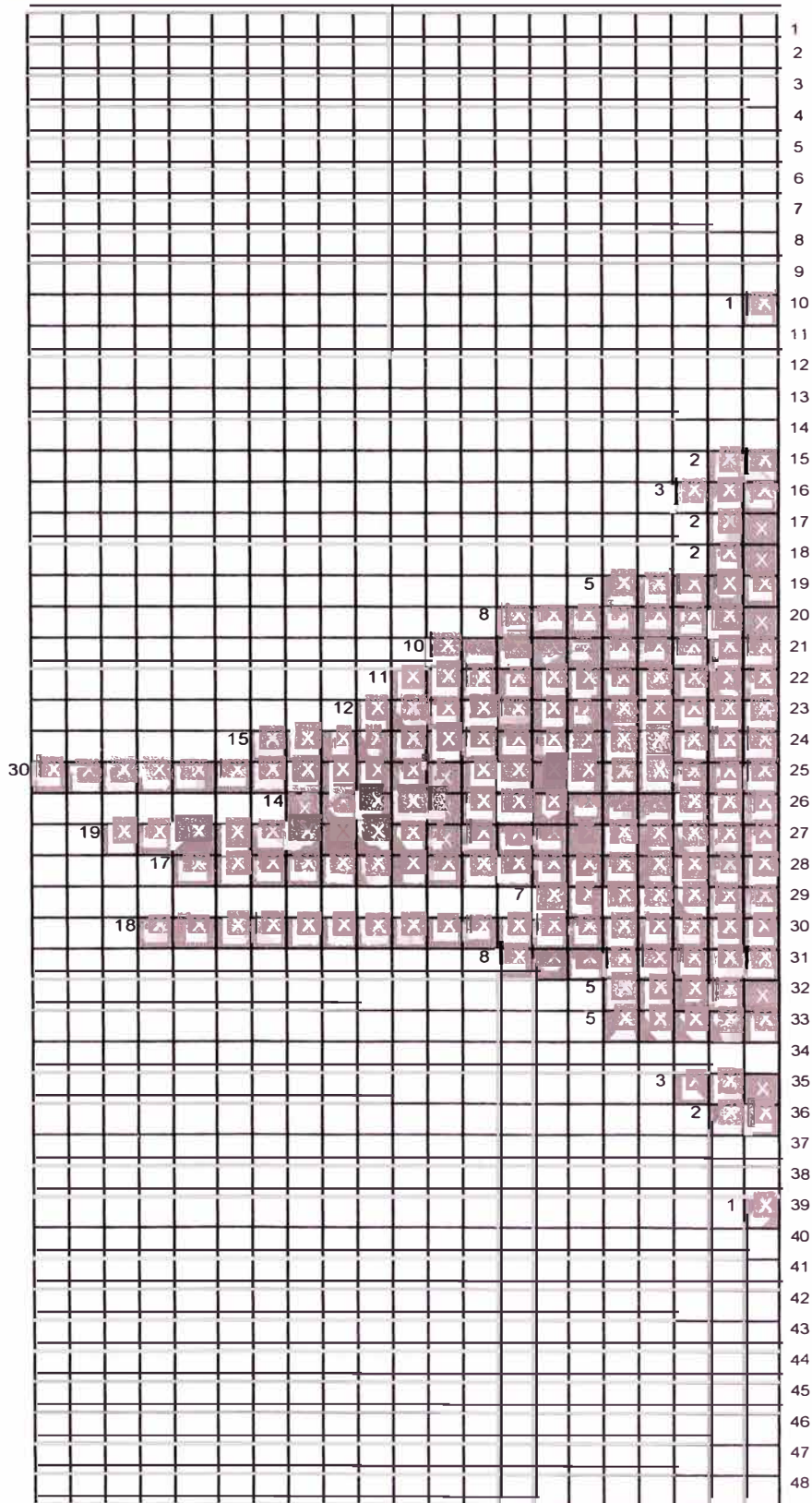
D = 71.00 mm

RUGOSIDAD = $0.593 + 0.0471 * D$
 = 3.94 IRI

OBSERVACIONES :

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

INFORME DE MEDICIÓN DE RUGOSIDAD



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

Evaluación Superficial de La Carretera
Cañete - Yauyos - Huancayo
(Km 84+000 - Km 89+000)

Sección Km 85+000 - Km 84+600

Carril / Huella :Derecho

Operador Andres Chumbe Montoro

FECHA : 03/10/2009

ENSAYO N° 01

F = 1.000

D = 92.08 mm

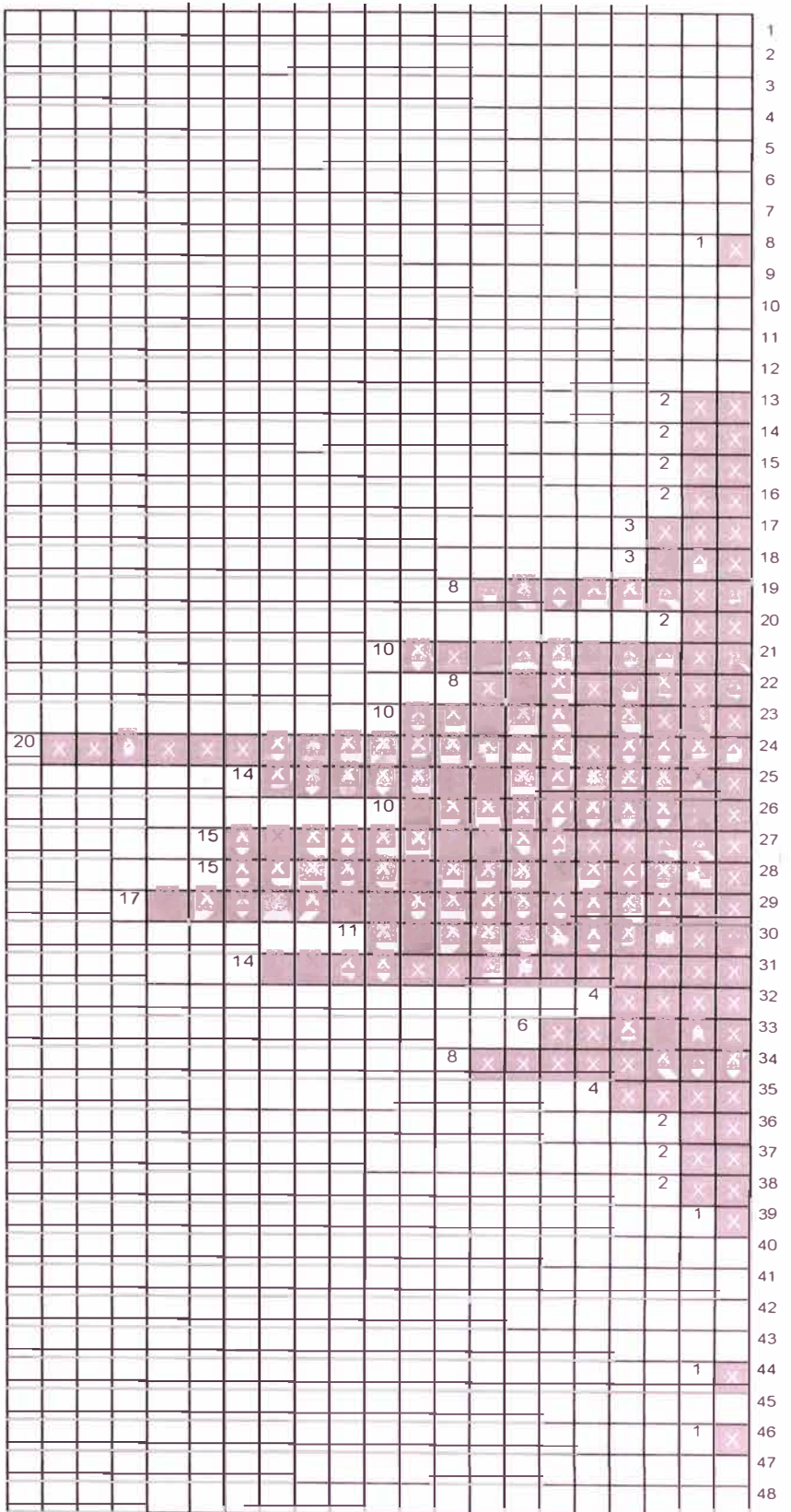
RUGOSIDAD = $0.593 + 0.0471 * D$
= 4.93 IRI

OBSERVACIONES :

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

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

INFORME DE MEDICIÓN DE RUGOSIDAD



GRUPO 7

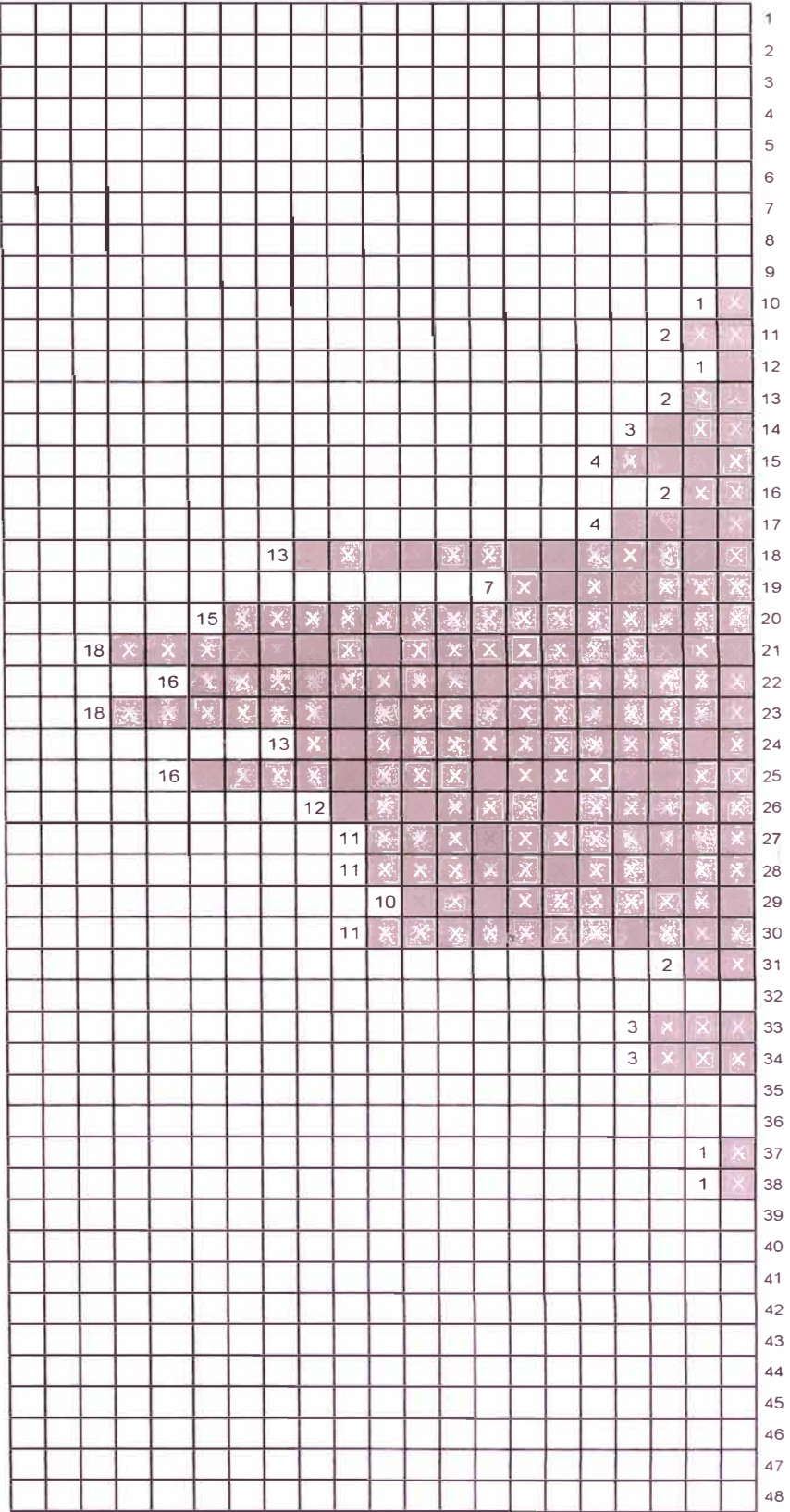
INFORME DE MEDICIÓN DE RUGOSIDAD

Evaluación Superficial de La Carretera Cañete - Yauyos - Huancayo (Km 89+000 - Km 94+000)	
Sección	Km 91+500 - Km 91+100
Carril / Huella	:Derecho
Operador	Juan Carlos Gómez Vega
FECHA	: 03/10/2009
ENSAYO N°	01

F =	1.000
D =	78.75 mm
RUGOSIDAD	= 0.593 + 0.0471 * D
	= 4.30 IRI

OBSERVACIONES :

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



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

INFORME DE MEDICIÓN DE RUGOSIDAD

Evaluación Superficial de La Carretera
 Cañete - Yauyos - Huancayo
 (Km 94+000 - Km 99+000)

Sección Km 98+200 - Km 97+800

Carril / Huella :Derecho

Operador Renato Olaya

FECHA : 03/10/2009

ENSAYO N° 01

F = 1.000

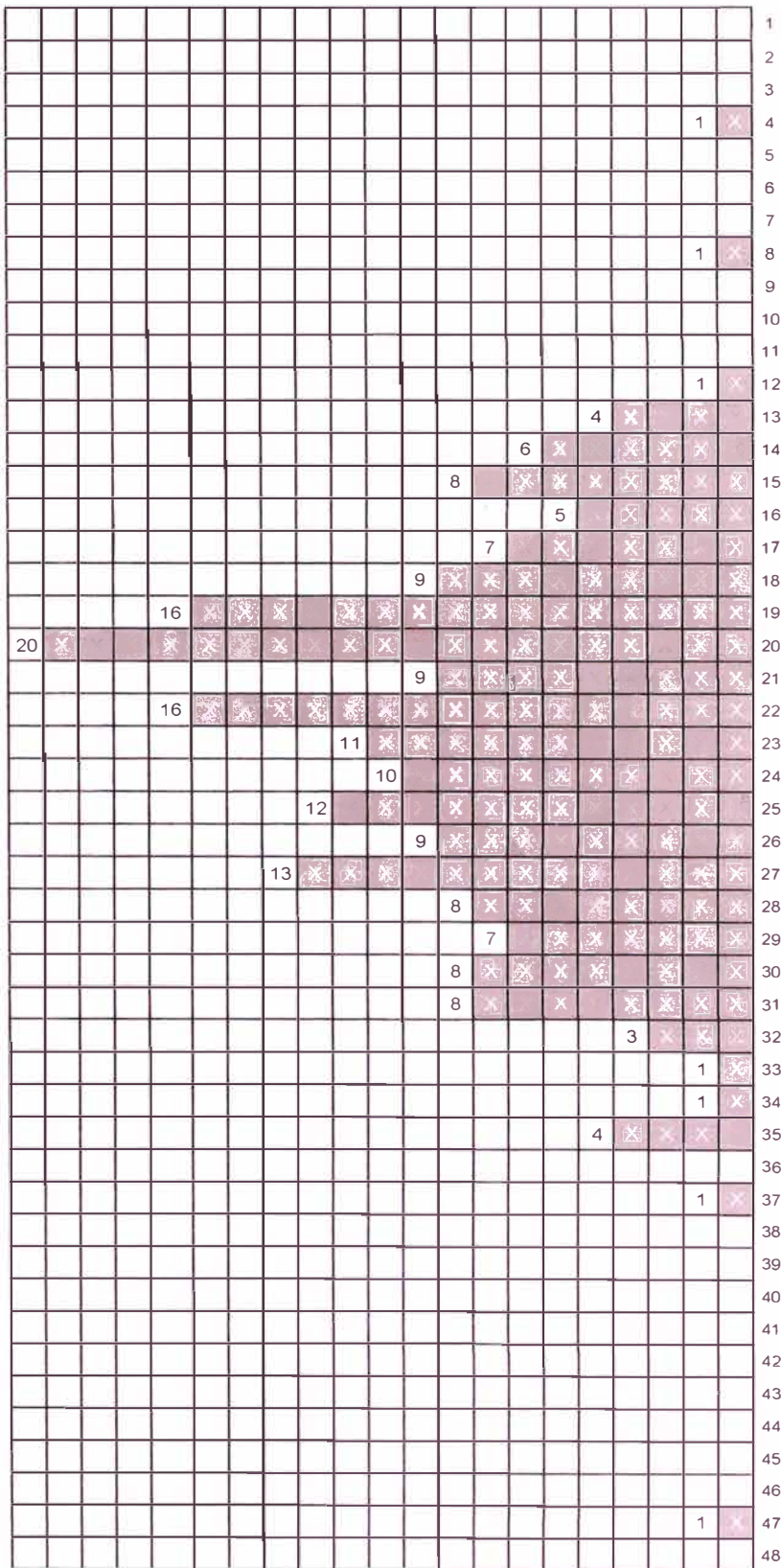
D = 89.17 mm

RUGOSIDAD = $0.593 + 0.0471 * D$
 = 4.79 IRI

OBSERVACIONES :

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

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1	18	24	27	28	28	22	23	26	22	24	1
2	20	17	19	21	20	25	30	18	19	30	2
3	33	23	23	18	22	22	31	27	24	26	3
4	28	19	20	15	20	16	22	28	25	29	4
5	23	20	27	28	29	24	17	30	15	24	5
6	14	21	25	16	23	22	19	29	19	20	6
7	15	22	25	13	27	19	17	15	21	47	7
8	27	23	23	30	35	8	19	24	13	22	8
9	20	22	19	14	20	4	26	19	17	13	9
10	22	31	15	19	22	17	19	17	25	20	10
11	31	29	21	26	21	27	18	27	30	26	11
12	26	25	31	24	20	23	29	35	18	20	12
13	19	18	18	25	19	12	27	35	26	27	13
14	20	20	24	14	25	19	21	14	20	25	14
15	20	26	18	15	16	20	20	21	21	14	15
16	32	16	24	20	28	25	18	24	17	19	16
17	34	13	37	16	20	30	31	31	15	29	17
18	26	29	22	23	15	27	22	27	31	23	18
19	32	30	22	21	19	20	25	31	25	35	19
20	27	27	28	30	28	22	32	14	22	23	20



ANEXO N° 4

MEDICIONES DE RUGOSIDAD CON EQUIPO MERLIN, JUNIO 2009



UNI

CONVENIO DE COOPERACIÓN INTERINSTITUCIONAL ENTRE EL
 MINISTERIO ESPECIAL DE INFRAESTRUCTURA Y TRANSPORTE
 NACIONAL - PROVINCIA NACIONAL Y LA UNI - PUC



Ministerio de Transportes y Comunicaciones

RESUMEN DE LOS VALORES DEL INDICE DE RUGOSIDAD INTERNACIONAL - IRI

TRAMO TOTAL : DEL 55+050 AL 78+450

CARRIL DE ENSAYO : DERECHO

CARPETA DE RODADURA : SLURRY SEAL

CODIGO DEL	TRAMO		DISTANCIA	IRI	FECHA DE ENSAYO
	PROG.	PROG. FINAL			
I - 01	55+050	55+450	A 1m del borde	3.08	23/06/2009
I - 02	55+450	55+850	A 1m del borde	2.80	23/06/2009
I - 03	55+850	56+250	A 1m del borde	3.23	23/06/2009
I - 04	56+250	56+650	A 1m del borde	2.37	23/06/2009
I - 05	57+000	57+400	A 1m del borde	3.28	24/06/2009
I - 06	57+400	57+800	A 1m del borde	3.74	24/06/2009
I - 07	57+800	58+200	A 1m del borde	3.78	24/06/2009
I - 08	58+200	58+600	A 1m del borde	4.00	24/06/2009
I - 09	58+900	59+300	A 1m del borde	3.21	24/06/2009
I - 10	59+300	59+700	A 1m del borde	3.75	24/06/2009
I - 11	59+700	60+100	A 1m del borde	4.08	25/06/2009
I - 12	60+500	60+900	A 1m del borde	3.19	25/06/2009
I - 13	61+500	61+900	A 0.70m del borde	3.61	25/06/2009
I - 14	62+560	62+960	A 1.00m del borde	2.91	26/06/2009
I - 15	63+000	63+400	A 1.00m del borde	3.48	26/06/2009
I - 16	64+100	64+500	A 1.00m del borde	2.54	26/06/2009
I - 17	65+600	66+000	A 1.00m del borde	3.17	02/07/2009
I - 18	66+000	66+400	A 1.00m del borde	3.22	02/07/2009
I - 19	67+600	68+000	A 1.00m del borde	3.74	02/07/2009
I - 20	68+500	68+900	A 1.00m del borde	2.85	02/07/2009
I - 21	69+045	69+445	A 1.00m del borde	3.86	02/07/2009
I - 22	70+150	70+550	A 1.00m del borde	3.08	02/07/2009
I - 23	71+500	71+900	A 1.00m del borde	3.80	02/07/2009
I - 24	72+000	72+400	A 1.00m del borde	3.55	03/07/2009
I - 25	73+100	73+500	A 1.00m del borde	3.34	03/07/2009
I - 26	74+400	74+800	A 1.00m del borde	3.51	03/07/2009
I - 27	75+000	75+400	A 1.00m del borde	3.57	03/07/2009
I - 28	76+300	76+700	A 1.00m del borde	3.51	03/07/2009
I - 29	77+200	77+600	A 1.00m del borde	3.18	03/07/2009
I - 30	78+050	78+450	A 1.00m del borde	2.84	03/07/2009

PROMEDIO ARITMETICO

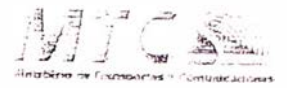
3.36

Rango IRI	Longitud (Km.)	%
0 - 2.000	0.80	0.07
2.001 - 4.000	10.80	0.90
4.001 - 5.000	0.40	0.03
>= 5.001	0.00	0.00
Total	12.00	1.00



UNI

CONVENIO DE COOPERACIÓN INTER INSTITUCIONAL ENTRE EL
 PROYECTO ESPECIAL DE INFRAESTRUCTURA DE TRANSPORTE
 NACIONAL - PROVIAS NACIONAL Y LA UNI - PID



RESUMEN DE LOS VALORES DEL INDICE DE RUGOSIDAD INTERNACIONAL - IRI

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

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



RESUMEN DE LOS VALORES DEL ÍNDICE DE RUGOSIDAD INTERNACIONAL - IRI

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

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

PROMEDIO ARITMETICO

4.35

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