

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



**EVALUACIÓN DE RUGOSIDAD Y TRANSITABILIDAD
CON RUGOSIMETRO BUMP INTEGRATOR
MONITOREO DE CONSERVACION CARRETERA
CAÑETE – HUANCAYO Km 110+000 AL Km 112+000**

INFORME DE SUFICIENCIA

Para optar el Título Profesional de:

INGENIERO CIVIL

JOSÉ CARLOS CHOQUE HUANCACHOQUE

Lima - Perú

2010

ÍNDICE

RESUMEN	3
LISTA DE CUADROS	4
LISTA DE GRÁFICOS	5
LISTA DE SÍMBOLOS Y SIGLAS	6
INTRODUCCION	7
CAPITULO I: PERFIL DEL PROYECTO	8
1.1 Antecedentes.....	8
1.2 Ubicación.....	11
1.3 Características de la Carretera.....	15
1.3.1 Características técnicas de diseño.....	15
1.3.2 Geografía.....	16
1.3.3 Topografía.....	16
1.3.4 Hidrología.....	19
1.3.5 Suelos.....	20
1.3.6 Clima.....	24
1.3.7 Geología.....	25
1.4 Tramo de estudio Km. 110+000 – Km. 112+000.....	26
1.4.1 Características Generales.....	26
1.4.2 Elementos de la vía.....	29
1.4.3 Tratamiento Aplicado en la actualidad.....	29
1.4.4 Componentes de sección típica.....	29
CAPITULO II: MARCO TEÓRICO	30
2.1 Evaluación Superficial.....	30
2.2 Rugosidad.....	32
2.2.1 Métodos para medir la rugosidad.....	33
2.2.2 Índice de Rugosidad Internacional (IRI).....	34
2.2.3 Relación entre IRI y PSI.....	36
2.3 Factores que afectan la rugosidad.....	37
2.4 Método de Evaluación de la Rugosidad con Equipo Bump Integrator.....	38
CAPITULO III: APLICACIÓN TRAMO Km. 110+000 – Km. 112+000	45
3.1 Recopilación de Datos de Campo.....	45
3.2 Calibración de Equipo.....	48
3.3 Procesamiento de Datos.....	51

CAPITULO IV: ANÁLISIS DE RESULTADOS	53
4.1 Presentación de resultados.....	53
4.2 Evaluación superficial del pavimento.....	53
CONCLUSIONES	55
RECOMENDACIONES	56
BIBLIOGRAFIA	57
ANEXO	58

RESUMEN

La evaluación de pavimentos proporciona información que puede ser utilizada en la gestión de infraestructura, esto implica que es necesario realizar el registro periódico de las características de la vía, el cual permite conocer la evolución del deterioro del pavimento para poder determinar la actividad a realizar en la vía.

Los tipos de evaluación de pavimentos son la evaluación estructural el cual está relacionado con la capacidad que tiene el pavimento para soportar las cargas de los vehículos y la evaluación funcional que está relacionado directamente con la percepción del usuario al utilizar una determinada vía.

Para la evaluación de pavimentos de bajo volumen de tránsito, es necesario contar con parámetros de medición que reflejen el estado de las vías, para adoptar las medidas de prevención y planificación que conlleven a una adecuada conservación de las mismas.

Mediante el presente informe se puede dar a conocer el estado el tramo en estudio de la superficie de rodadura de la carretera Cañete – Huancayo, evaluando la rugosidad de una manera práctica usando el rugosímetro Bump Integrator, el cual permite evaluar el estado del tratamiento superficial efectuado en la carretera.

LISTA DE CUADROS

Cuadro N° 1.01	: Datos Generales del proyecto.....	10
Cuadro N° 1.02	: Precipitación total Mensual y Anual (mm).....	19
Cuadro N° 1.03	: Descargas mensuales de río Cañete.....	19
Cuadro N° 1.04	: Tipos de Suelo.....	23
Cuadro N° 1.05	: Capacidad de soporte.....	24
Cuadro N° 1.06	: Centros Poblados, ubicación, altitud, clima.....	25
Cuadro N° 2.01	: Estado superficial según la rugosidad.....	35
Cuadro N° 2.02	: Escala de calificación de la Serviciabilidad.....	37
Cuadro N° 3.01	: Lecturas de BI del tramo en estudio.....	46
Cuadro N° 3.02	: Valores obtenidos de campo.....	47
Cuadro N° 3.03	: Valores BI promedio con menor desviación estándar... ..	47
Cuadro N° 3.04	: Valores de IRI (m/Km) en zonas de calibración.....	48
Cuadro N° 3.05	: Lecturas de BI en secciones de Calibración.....	49
Cuadro N° 3.06	: Valores de IRI Y BI en zonas de calibración.....	49
Cuadro N° 3.07	: Ecuaciones de calibración.....	50
Cuadro N° 3.08	: Resultados obtenidos de la evaluación.....	51
Cuadro N° 3.09	: Comparación entre IRI obtenido con BI y Merlín.....	51
Cuadro N° 3.10	: Cálculo del PSI.....	52
Cuadro N° 4.01	: Condición de la superficie de la vía.....	53
Cuadro N° 4.02	: Evaluación de la Serviciabilidad.....	54

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico N° 1.01	: Situación de la carretera al 01 de febrero 2008.....	11
Gráfico N° 1.02	: Ubicación del proyecto.....	11
Gráfico N° 1.03	: Carretera Cañete – Yauyos – Huancayo.....	14
Gráfico N° 1.04	: Altitud de Principales Centros poblados.....	18
Gráfico N° 1.05	: Ubicación de Alcantarillas y Gibas.....	28
Gráfico N° 1.06	: Sección típica.....	29
Gráfico N° 2.01	: Escala de Valores del IRI.....	35
Gráfico N° 2.02	: Equipo Bump Integrator Sobre un Vehículo.....	38
Gráfico N° 2.03	: Modelo de conexión del rugosímetro electrónico.....	41
Gráfico N° 2.04	: Fotografía de la Instalación del REBITU.....	41
Gráfico N° 2.05	: Fotografía del Contador y del Sensor.....	42
Gráfico N° 3.01	: Ubicación de tramos de medición.....	46
Gráfico N° 3.02	: BI vs IRI (MERLIN).....	48
Gráfico N° 3.03	: Curvas de tendencia.....	50

LISTA DE SÍMBOLOS Y SIGLAS

ASTM	: American Society for Testing and Materials
ASHTO	: American Association of State Highway and Transportation Officials
BI	: Bump Integrator
CBR	: California Bearing Ratio
CGC	: Consorcio Gestión de Carreteras
IP	: Índice de Plasticidad
IRI	: Índice de Rugosidad Internacional (International Roughness Index)
IRRE	: Experimento Internacional sobre Rugosidad de Caminos
MERLIN	: Machine for Evaluating Roughness Experiment
MTC	: Ministerio de Transportes y Comunicaciones
PCI	: Índice de Condición Presente (Pavement Condition Index)
PSI	: Índice de serviciabilidad presente (Present Serviceability Index)
PSR	: Present Serviceability Rating
REBITU	: Rugosímetro Electrónico Bump Integrator Tipo UNI
RTRRMS	: Sistema Tipo Respuesta de Medida de Rugosidad de Caminos
SUCS	: Sistema Unificado de Clasificación de Suelos

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.

En este contexto el presente informe tiene como objetivo general obtener mediciones de rugosidad de la superficie de la vía y proponer la metodología empleada como guía para ser extendida en una futura norma en carreteras de bajo volumen de tránsito con tratamiento superficial.

Este informe está compuesto por cuatro capítulos, en donde se desarrolla, los antecedentes del proyecto, conceptos, fundamentos de la metodología, y la aplicación para el análisis de los resultados obtenidos.

El primer capítulo desarrolla los antecedentes del proyecto, la ubicación, así como sus principales características ingenieriles y la información del estado actual del tramo en estudio.

El segundo capítulo desarrolla los conceptos básicos de evaluación superficial y su importancia actual en la gestión vial, así también la metodología de evaluación superficial con el equipo Bump Integrator.

El tercer capítulo desarrolla la aplicación de la metodología que se desarrolla en el tramo de estudio, la obtención de datos de campo, el procesamiento de los mismos en base a la curva de calibración, siendo esta última seleccionada de acuerdo a la mejor correlación obtenida entre las lecturas del Bump Integrator y los valores IRI obtenidos con el equipo Merlin.

El cuarto capítulo desarrolla el análisis de los resultados obtenidos de las mediciones realizadas con el Bump Integrator, el cual permite conocer el estado actual del tratamiento superficial.

CAPITULO I: PERFIL DEL PROYECTO

1.1 Antecedentes

La carretera de Cañete – Huancayo (hoy corredor vial N°13), fue construida por tramos durante el gobierno del Sr. Augusto B. Leguía entre la década de 1920 a 1930, durante la ejecución de la carretera mueren seis obreros, hecho que coincidió con la caída del gobierno, quedando paralizados todos los trabajos de la carretera entre Yauyos y Huancayo hasta 1954. Año en el cual el Gobierno Central a través del Ministerio de Fomento continuó con los trabajos del tramo restante entre Yauyos y Tomas, las obras estuvieron a cargo del Ing. Máx. Atúncar, hasta la culminación de la obra en el año 1957.

Durante el gobierno del Dr. Manuel Prado Ugarteche, entre el año 1940 y 1944 se realizan los trabajos de la carretera desde Cañete, llegando a Yauyos en abril de 1944.

Desde las últimas décadas, los pobladores de los diferentes distritos de la provincia de Cañete y Yauyos, han venido solicitando a los organismos competentes, para que atiendan sus demandas y se realicen las obras necesarias para contar con una carretera en optimas condiciones de transitabilidad.

El 10 de mayo Mediante Resolución Ministerial N°223-2007- MTC-02, y modificada el 27 de julio del 2007 por Resolución Ministerial 408-2007-MTC/, el Ministerio de Transportes y Comunicaciones crea “Proyecto Perú”, el cual es un Programa de conservación y desarrollo de Infraestructura Vial, que está bajo la responsabilidad de PROVIAS NACIONAL.

“Proyecto Perú” ha sido diseñado para poner en servicio y asegurar el funcionamiento permanente de las carreteras de alto y bajo volumen de tránsito, buscando la consolidación de “corredores económicos”, a través de la intervención en Corredores Viales que favorezcan el desarrollo sostenido y la mejora en el nivel de competitividad de las diversas poblaciones del interior del País en carreteras. En la cual también está incluida la carretera en estudio.

Con el fin de mejorar las condiciones de la carretera, el 16 de octubre del 2010, mediante concurso público N°034-2007-MTC/20, se realiza una convocatoria, con el objetivo de seleccionar el contratista o Consorcio, que prestará el “Servicio de Conservación Vial por Niveles de Servicio de la Carretera Cañete – Lunahuaná – Pacarán – Chupaca y la Rehabilitación del Tramo Zúñiga – Dv Yauyos – Ronchas”.

El 27 de Diciembre de 2007 se realiza la firma del contrato N°288-2007-MTC/20, donde el Consorcio Gestión de Carreteras (CGC), asume las obligaciones de Contratista Conservador para realizar el Servicio de Conservación Vial por Niveles de Servicio de la Carretera “Cañete – Lunahuaná – Pacarán - Chupaca y la Rehabilitación del Tramo Zúñiga - Dv. Yauyos – Ronchas”. Durante un periodo de 5 años y con un valor referencial de S/. 131, 895, 292.01 (Ciento Treinta y un millones ochocientos noventa y cinco mil doscientos noventa y dos y 01/100 Nuevos Soles).

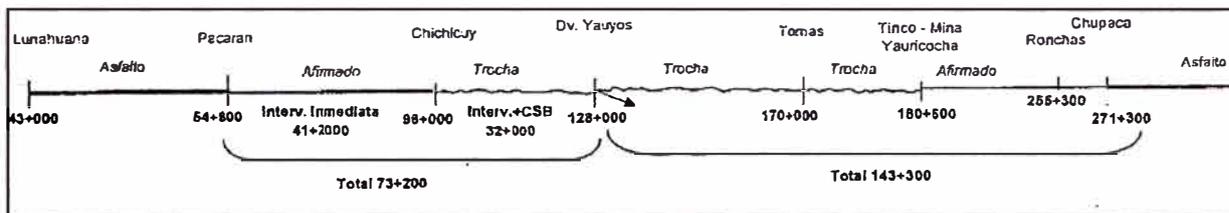
La propuesta del Contratista para el tramo de la carretera km 110+000 al km 112+000, consistió en un cambio de estándar de Afirmado a una solución básica; a nivel de Tratamiento Superficial Monocapa.

Cuadro 1.01: Datos Generales del proyecto

Carretera	Cañete - Luanahuaná - Pacarán – Chupaca
Red Vial Nacional	N° 022
Ruta	N° PE-24
Corredor Vial Nacional	N° 13
Longitud Total del Tramo	281.73 km
Unidad Ejecutora	PROVIAS NACIONAL
Concurso Público	N° 034-2007-MTC/2008
Contrato de servicios	N° 288-2007-MTC/20
Tipo de Contrato	Servicio de Conservación por Niveles de Servicio
Finalidad	Garantizar la transitabilidad de la vía
Fecha de Convocatoria	04 de octubre del 2007
Valor referencial	S/. 131,895,292.01
Contratista Conservador	Consorcio Gestión de Carretera (CGC)
Integrantes	Ingenieros Civiles contratistas Generales S.A. (ICCGSA) Cooperación Mayo Empresa de Mantenimiento Vial La marginal S.R.L.
Monto del contrato	S/. 131,589,139.71
Firma de contrato	27 de diciembre 2007
Adelanto del contrato	S/. 39,476,741.90
Inicio de trabajos	01 de febrero 2008
Periodo de contrato	05 años

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico 1.01: Situación de la carretera el 01 de febrero 2008



Fuente: MTC – PROVIAS NACIONAL

1.2 Ubicación

La carretera Cañete – Huancayo tiene una extensión de 281.73 Km. Se encuentra ubicada en la región central del país, comprende las regiones de Lima y Junín, forma parte del “Corredor Vial Nacional” N° 13, el cual pertenece a la Ruta N° PE-24 de la Red Vial Nacional, tiene un ámbito de influencia en un entorno de 2.5 Km. en ambos lados de la vía existente, abarcando diversos centros poblados.

Gráfico 1.02: Ubicación del proyecto



Fuente: MTC – PROVIAS NACIONAL

El área de influencia del proyecto vial es aquella área que queda de alguna manera servida, influida o modificada con la implementación del proyecto.

Generalmente, el mejoramiento y/o rehabilitación de una carretera ocasiona reducciones en los costos de operación de los vehículos que transitan por ella, siendo de esperar que aquellas repercutan en la dinámica productiva y en la distribución del ingreso del área donde se ubica la carretera, siendo este espacio geográfico su área de influencia. Sin embargo, también puede repercutir en áreas no necesariamente colindantes a donde se ubica el proyecto, las cuales también son importantes para el proyecto.

El tramo Cañete - Lunahuaná 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 Lunahuaná 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 Lunahuaná. El tramo se encuentra asfaltado, con un ancho promedio de 3.60m.

El tramo Lunahuaná - 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 con un ancho promedio de 3.20m por carril.

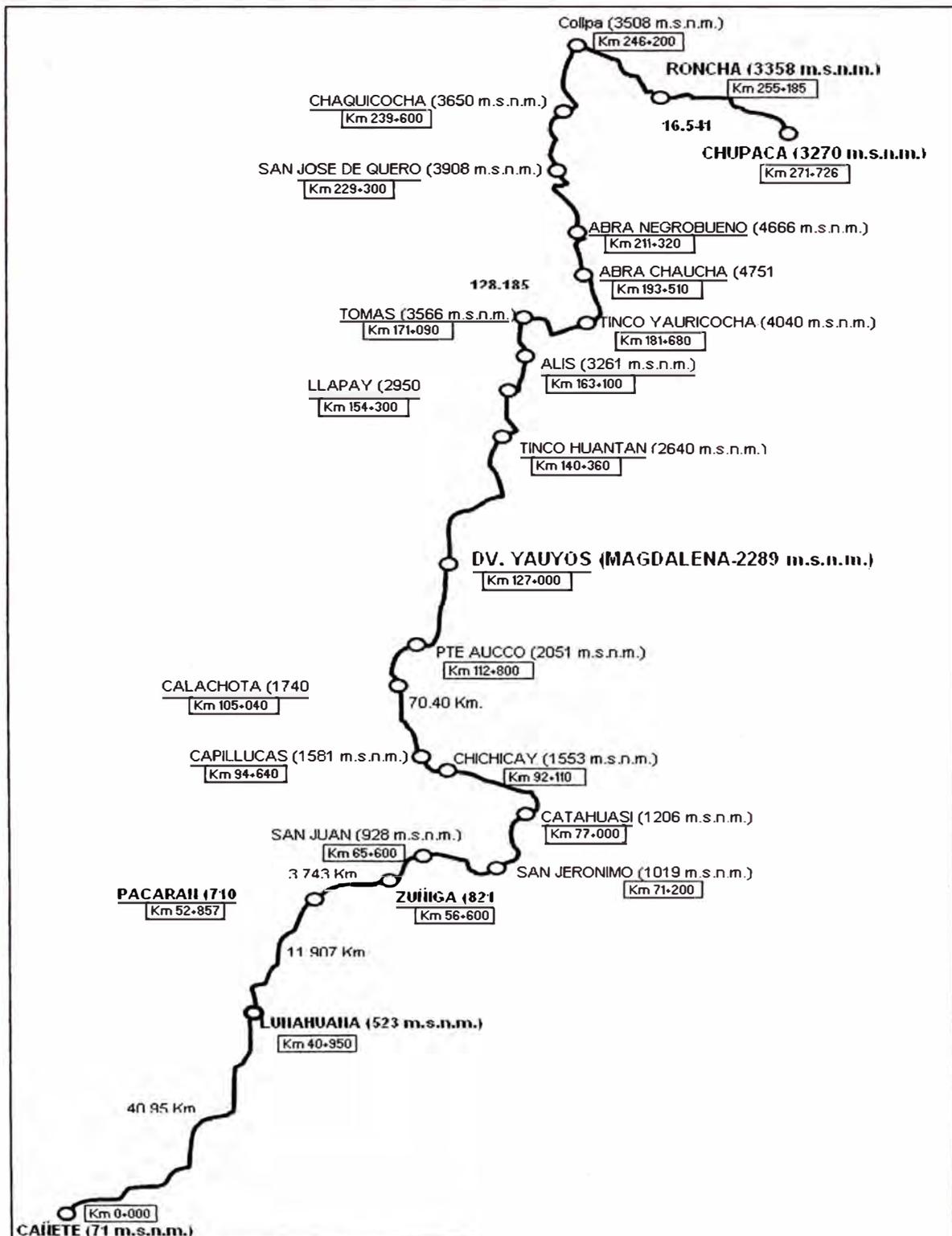
El tramo Pacarán-Zúñiga tiene una longitud de 3.743Km. y presenta como punto de inicio la localidad de Pacarán (Km. 54+662), donde termina el tratamiento superficial, y termina en la localidad de Zúñiga (Km. 58+405), este tramo cuenta con 100m de pavimento flexible y su mantenimiento está a cargo del 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 varía 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 varía 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 8.5metros.

Gráfico N° 1.03: Carretera Cañete – Yauyos - Huancayo



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

1.3 Características de la Carretera

1.3.1 Características técnicas de diseño

La totalidad del tramo se ha dividido en 5 sub tramos, tomando como base para la división los I. M. D. de cada tramo, obtenidos del Estudio de Tráfico realizado por la Dirección de Desarrollo Vial de la Dirección General de Caminos y Ferrocarriles del Ministerio de Transportes y Comunicaciones, los tramos son los siguientes: Tramo I: Lunahuaná – Pacarán; Tramo II: Pacarán – Zúñiga; Tramo III: Zúñiga – Dv. Yauyos; Tramo IV: Dv. Yauyos – Dv. Roncha; Tramo V: Dv. Roncha – Chupaca.

De acuerdo a las Normas aplicadas por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones MTC, esta carretera está clasificada de la siguiente manera:

- Según su funcionalidad, la carretera pertenece a la Ruta Nacional No. 22 (R22), por tanto pertenece al SISTEMA NACIONAL de carreteras y más específicamente a la “Carretera Transversal Costa Sierra”.
- De acuerdo a su demanda actual, según los resultados de conteo de tráfico donde su IMDA es menor a 400 veh/día, está clasificado como Carretera De 3ra. Clase.
- Las condiciones orográficas de la zona son de características montañosas, donde la inclinación transversal del terreno, en muchos casos es mayor al 100 %, por lo que tiene una clasificación de Carretera Tipo 4.

Para el presente caso, la velocidad directriz se ha fijado en 30 KPH, para el tramo III y IV de Zúñiga al Dv. Yauyos y Ronchas, teniendo en cuenta las recomendaciones de las Normas Peruanas para el Diseño de Carreteras, el relieve del terreno, el tipo de pavimento, los volúmenes de tránsito, la clasificación vehicular y, las consideraciones de orden económico. Y para los tramos I, II y V se ha fijado en 45 KPH. La carretera está compuesto de dos carriles uno en cada sentido.

1.3.2 Geografía

La cuenca del río Cañete forma parte de las provincias de Cañete y Yauyos, tiene una extensión aproximada de 6192 km², de los cuales el 78.4% (4856 km²) corresponde a la cuenca húmeda.

El río Cañete nace en la laguna Ticllacocha, ubicada al pie de las cordilleras de Ticlla y Pichahuarco, en la divisoria de cuencas con el río Mala. Sus recursos hídricos provienen de los aportes de la lluvia, así como los derivados de lagunas y deshielo de los nevados, ubicados estos principalmente en el extremo norte de la cuenca y sobre los 4500 msnm.

La longitud del río Cañete, entre su nacimiento y desembocadura, es de aproximadamente 220 km, presentando una pendiente promedio de 2%; sin embargo, presenta sectores en donde la pendiente es mucho más pronunciada, especialmente en la parte alta, llegando hasta 8% en el tramo comprendido entre la localidad de Huancaya y la desembocadura del río Alis.

Es importante anotar que dada su condición la Región de Lima, es muy vulnerable a los efectos del Fenómeno del Niño que se manifiesta por el aumento de la temperatura del mar y el receso de los vientos alisios, que originan fuertes lluvias, inundaciones y huaycos, etc.

Las zonas generalmente afectadas por las lluvias están localizadas en las alturas de Matucana, Huarochiri Oyón, Lunahuaná, etc. En general todas las cuencas hidrográficas de Lima al aumentar su caudal, ponen en peligro las poblaciones y originan el desabastecimiento de alimentos, por el bloqueo de carreteras.

1.3.3 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 región 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 región 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).

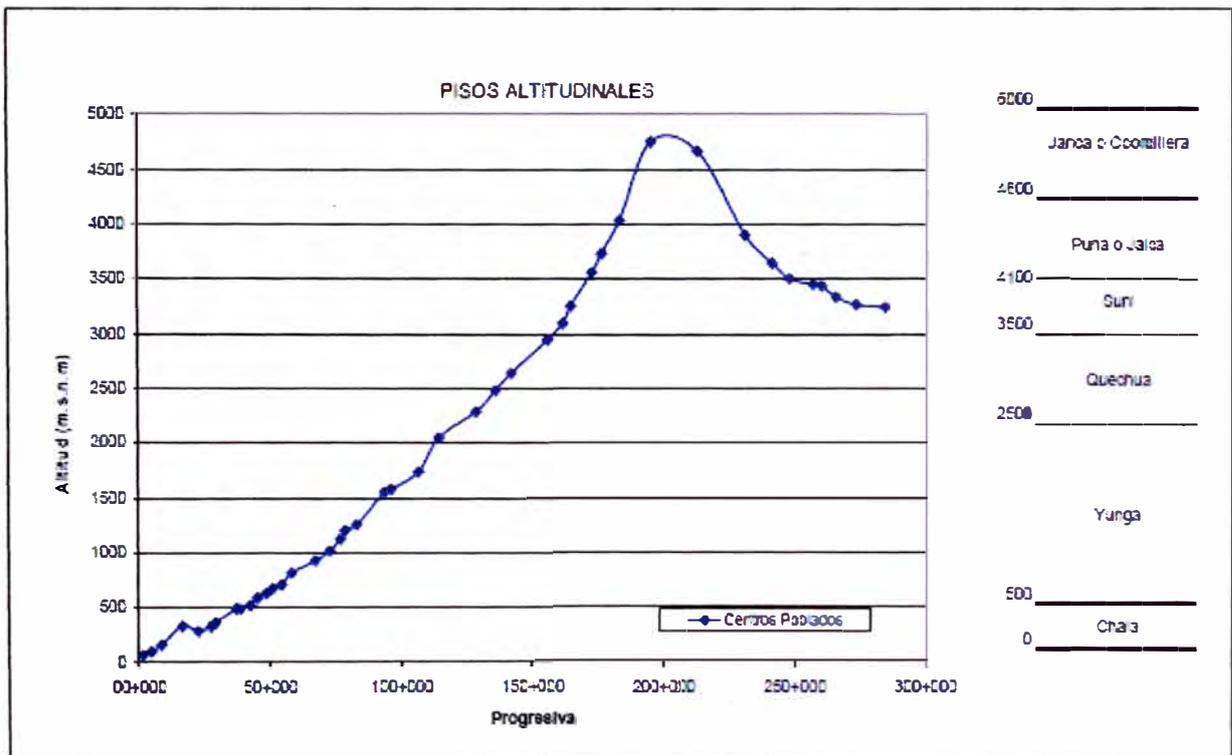
Continúa la vía por la región **Quechua** (2300 msnm – 3500 msnm), donde por lo general luego de una estrecha garganta o pongo, se abre una nueva quebrada

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

Gráfico N° 1.04: Altitud de Principales Centros poblados



Fuente: Elaboración Propia

1.3.4 Hidrología

Precipitación pluvial

La precipitación en la zona del proyecto es variable, variando desde 25 mm anuales en las cercanías de la costa hasta los 1000 mm en las partes altas de los ríos Cañete y Cunas, se diferencia dos periodos, uno con lluvias intensas (octubre-abril) y el otro (mayo-septiembre) con escasas lluvias.

Cuadro 1.02: Precipitación total Mensual y Anual (mm)

Estación	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC	Total
Cañete	0.60	1.40	0.50	0.50	2.50	7.10	1.90	3.00	4.40	1.60	2.00	1.10	26.60
Calango	0.50	0.40	0.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10	1.40
Catahuasi	4.80	10.60	2.40	4.20	0.20	0.00	0.10	0.80	1.20	2.30	0.90	1.10	28.60
Huangascar	51.70	82.20	71.30	1.90	0.20	0.00	0.00	0.00	0.10	8.10	1.60	4.70	221.80
Yauyos	75.80	134.60	98.60	18.60	2.10	0.00	0.00	0.00	6.10	30.60	9.00	44.20	419.60
Huarocharí	62.90	69.20	78.80	14.30	6.00	0.00	0.00	0.00	3.00	21.10	10.60	29.00	294.90
Huañec	61.30	58.30	48.10	5.50	4.50	0.00	0.00	0.20	2.50	13.80	7.80	34.20	236.20
Ayaviri	140.20	143.60	157.40	52.40	5.60	0.00	0.10	0.70	0.90	6.80	15.80	56.70	580.20
Huantan	114.50	220.40	104.50	36.30	7.30	0.00	0.00	0.00	8.90	32.90	15.20	77.40	617.40
Colonia	68.60	123.50	127.20	28.20	1.80	0.00	0.00	0.60	3.20	17.20	6.70	42.90	419.90
Vilca	203.00	238.20	203.50	59.70	12.80	5.90	5.80	11.00	39.20	86.90	88.30	98.50	1052.80
Carania	92.70	146.80	123.70	39.90	17.30	5.00	6.90	9.90	18.10	45.60	26.30	56.30	588.50
Tanta	127.80	187.80	152.00	70.80	24.00	1.30	5.00	8.70	28.70	79.20	50.70	87.30	823.30
Yauricocha	174.90	178.80	165.10	76.90	24.60	9.50	8.60	9.30	41.00	67.90	85.00	112.50	954.10

Fuente: Senamhi

Caudal del Río Cañete

El río Cañete dispone de una estación de aforos ubicado a la altura del puente Socci, sobre la carretera Cañete – Lunahuaná, periodo de registro 1926 – 1967. Obteniéndose los siguientes resultados: La descarga media anual es de 50.71 m³/s, la descarga máxima media anual es de 85.34 m³/s y la descarga mínima media anual de 26.9 m³/s.

Del registro de caudales se determina que la descarga máxima maximorum es de 850 m³/s y la mínima minimorum es de 5.8 m³/s. Asimismo, se ha determinado que el volumen anual medio es de 1 599'301 569 m³/año con un volumen máximo anual de 2 691'155 577 m³/año y el volumen mínimo anual de 848'406 800 m³/año.

Del análisis de los registros mostrados, se aprecia que la descarga del río Cañete son irregulares a nivel mensual, notándose la diferencia entre los valores extremos se acentúa en los meses de mayores descargas para reducirse y hacerse mínima en la época de estiaje.

Cuadro 1.03: Descargas mensuales de río Cañete

Estación	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC
Media Mensual	86.10	143.67	160.63	75.74	31.61	18.78	13.60	11.00	10.04	11.98	18.98	36.08
Máxima media mensual	181.19	290.84	379.00	166.10	59.26	27.08	20.05	16.55	14.03	26.90	56.90	103.15
Mínima Media mensual	10.96	36.18	44.11	25.67	19.37	11.22	8.30	7.03	6.46	7.56	8.79	9.76

Fuente: Senamhi

1.3.5 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 realizar 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.

Cuadro N° 1.04: Tipos de Suelo

IDENTIFICACIÓN	PROFUNDIDAD (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, PROVIAS NACIONAL, Proyecto Perú, Memoria CGC

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

Cuadro N° 1.05: Capacidad de Soporte

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

Fuente: MTC, PROVÍAS NACIONAL, Proyecto Perú, Memoria CGC

1.3.6 Clima

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

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

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

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

Suni o Jalca: El clima es frío debido a la elevación 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.

Cuadro 1.06: Centros Poblados, ubicación, altitud, clima

Region	Altura Región	Clima	Principales Centros Poblado	Ubicación	Altura
Costa o Chala	0 - 500	20° - 27°C	Imperial	km 4 + 988	103
			Nuevo Imperial	km 8 + 925	165
			Caltopa	km 22 + 905	290
			Lunahuana	km 38 + 375	494
Yunga	500 - 2300	20° - 27°C	Pacaran	km 53 + 240	710
			Zuñiga	km 56 + 600	821
			Catahuasi	km 77 + 000	1206
			Capillucas	km 94 + 640	1581
			Calachota	km 105 + 040	1740
Quechua	2300 - 3500	Media anual: 11°C a 16°C Máxima: 22°C a 29°C Mínima: 7°C a -4°C	Magdalena	km 127 + 000	2289
			Huantan	km 140 + 360	2640
			Llapay	km 154 + 300	2950
			Alis	km 163 + 100	3261
Suni o Jalca	3500 - 4000	Media anual: 7°C a 10°C Máxima: superior a 20°C Mínima: -1°C a -16°C	Ronchas	km 255 + 185	3358
			Tomas	km 171 + 090	3566
			San José de Quero	km 229 + 300	3908
			Chaquicocha	km 239 + 600	3650
Puna	4000 - 4800	Media anual: 0°C a 7°C Máxima: superior a 15°C Mínima: -9°C a -25°C	Collpa	km 246 + 200	3508
			Tinco	km 181 + 680	4040
			Abra Chaucha	km 193 + 510	4751
			Abra Negro Bueno	km 211 + 320	4666

Fuente: Consorcio de Gestión de Carreteras - CGC

1.3.7 Geología

Esta zona está delimitada por las estribaciones andinas y el borde del altiplano, sus tributarios del río descienden del altiplano a la costa, en general con tendencia Este – Oeste y que han labrado un valle profundo y encañonado que se hace más 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 y 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 convergencia general de la cordillera occidental, al NE.

1.4 Tramo en estudio Km. 110+000 – Km. 112+000

1.4.1 Características Generales

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

La carretera tiene una plataforma con una calzada de un solo carril con un ancho útil que varía de 3.50 a 5 m. a lo largo de todo el tramo. Su topografía es ondulada a media ladera accidentada. En el inicio del tramo tiene una altitud aprox. De 1880 msnm, y al final del tramo 1940 msnm.

Presenta un clima caluroso, su temperatura varía entre 20°C y 27°C durante el día, en las noches son frescas a causa de los vientos que bajan de las regiones más altas.

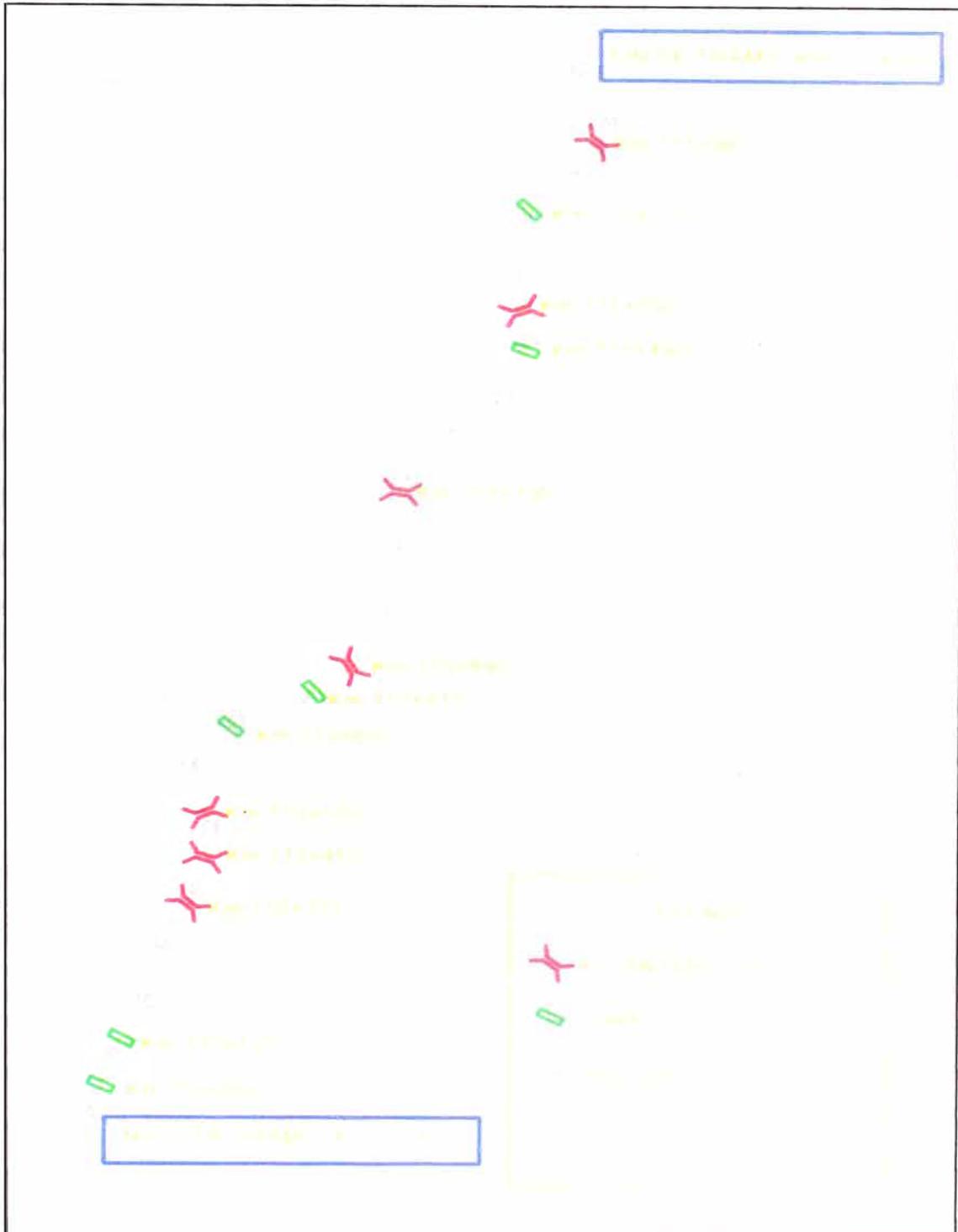
En los estratos del suelo de fundación se encuentran gravas y arenas de matriz limo-arcillosa. Estos materiales se clasifican en el sistema SUCS como GC-GM y SC-SM, y en el AASHTO como A-1-b (0). Las bolonerías se encuentran en todo el estrato, pero a partir de los 0,40m aproximadamente, se encuentra 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.

1.4.2 Elementos de la vía

A lo largo del tramo se han encontrado alcantarillas TMC DE 24", las cuales fueron identificadas en sus progresivas, cunetas longitudinales que se desarrollan sobre el tramo son de tierra, por lo que sería poco probable que estas alcantarillas cumplan su función de llevar el flujo de agua al río. Al no contar con cunetas revestidas en épocas de avenidas los flujos de aguas ingresan al terraplén con mucha facilidad provocando que la estructura del pavimento se vea afectada y por consiguiente se originen las fallas en la superficie. También se ha encontrado gibas de concreto, identificadas en sus progresivas las cuales condicionan a elegir el tramo de medición con el equipo Bump Integrator.

En la práctica se trata de realizar la conservación vial rutinaria mediante intervenciones diarias, con el fin de preservar las condiciones de los elementos de la vía y evitar que se produzca su deterioro prematuro. Asimismo efectuar la conservación periódica, en forma cíclica, con operaciones oportunas para recuperar las condiciones viales que han sido afectadas por el uso. Esto quiere decir que se deben mantener siempre limpias las obras de drenaje, limpiar los cauces para conservar la capacidad hidráulica de las obras estabilizar y proteger los taludes, cuidar la vegetación permanentemente, mantener adecuadamente las señales, cuidar las estructuras viales, reponer periódicamente las carpetas asfálticas y los afirmados, y corregir los defectos que se presenten en la plataforma.

Grafico N° 1.05: Ubicación de Alcantarillas y Gibas



Fuente: Elaboración propia

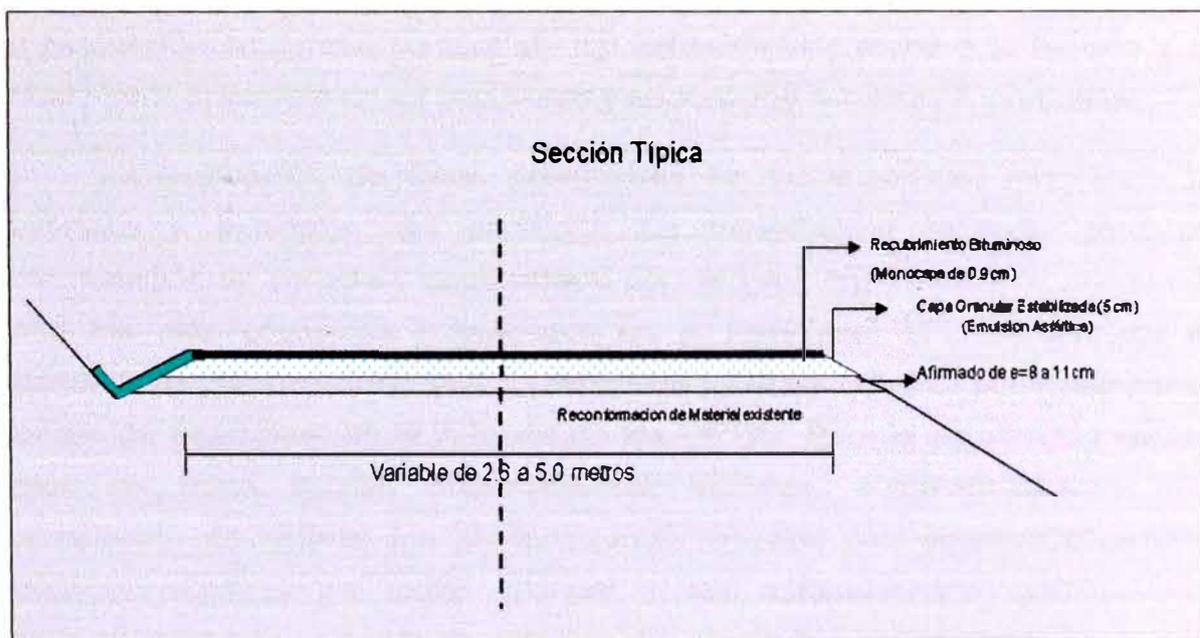
1.4.3 Tratamiento Aplicado en la actualidad

Para el tramo en estudio el contratista realizó un cambio de estándar de Afirmado a un tratamiento Superficial Monocapa sobre una superficie tratada (afirmado + emulsión) que por si ya contiene material bituminoso lo cual le brinda impermeabilización y se coloca para recubrir la estructura del pavimento.

1.4.4 Componentes de Sección típica

Plataforma de cimentación con material existente, Sub-base: capa granular con material de cantera (8 -11 cm.), Base: capa granular (5-6.5cm), recubrimiento Bituminoso "Monocapa" (0.8 - 1cm)

Gráfico N° 1.06 Sección típica



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

CAPÍTULO 2.- MARCO TEÓRICO

2.1 Evaluación Superficial

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

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 sollicitaciones del tránsito o el medio ambiente.

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

a) 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 fotografías digitales.

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 o rugosidad determinando el PSI o el IRI a través de medios subjetivos o instrumentales. En la actualidad el medio más 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. Uno de los más conocidos es el rugosímetro Bump Integrator.

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.

Serviciabilidad de Pavimentos

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 (PSI) a través de medios mecánicos, conceptos desarrollados por AASHO (American Association of State Highway Officials) y su comité de investigadores, durante los experimentos realizados en el Camino de Pruebas AASHO.

Concepto de Serviciabilidad

La evaluación o medición de la serviciabilidad depende de los fines para los que se está evaluando, si lo que interesa es la situación estructural o bien la condición funcional de su superficie. Aunque esto se tenga resuelto, si no se utilizan herramientas o metodologías estandarizadas de evaluación, los resultados no serán comparables con las mediciones hechas por otra persona, ni entre un pavimento y otro.

Para resolver esta dificultad AASHO desarrolló un procedimiento cuyas suposiciones básicas fueron:

- El pavimento debe proporcionar confort y seguridad al usuario.
- El confort y la calidad de rodado es un aspecto subjetivo o de opinión del usuario.
- La serviciabilidad puede determinarse a partir del promedio de las evaluaciones de todos los usuarios. Este promedio da origen al Índice Present Serviceability Rating (PSR), el cual por naturaleza tiene carácter subjetivo.

Hay algunas características físicas del pavimento que pueden medirse objetivamente y pueden relacionarse con las evaluaciones subjetivas. Este procedimiento permite obtener un índice objetivo denominado Present Serviceability (PSI).

El procedimiento de medición de la serviciabilidad que utiliza actualmente en gran parte del mundo fue derivado precisamente de los resultados de la prueba AASHO, más otras incorporaciones y modificaciones que se han ido agregando en los últimos 40 años.

Definición de PSI

La medición de la serviciabilidad por medios mecánicos se conoce como el índice de serviciabilidad Presente (PSI – Present Serviceability Index).

AASHO estableció el método mecánico de medición de la serviciabilidad usando el análisis de regresión lineal múltiple, los estadísticos derivaron una ecuación que cuando fueron correlacionados con las opiniones de los paneles calificadores, podía ser usada con los resultados de las medidas de rugosidad superficial y del deterioro superficial para medir la serviciabilidad.

2.2 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”.

A la luz de esta definición, algunos autores prefieren utilizar al término Regularidad, puesto que este concepto se asocia más fácilmente a la definición de Roughness, que al término Rugosidad, para efectos del presente informe se prefiere utilizar rugosidad para referirse a las irregularidades en la superficie del pavimento que afectan adversamente a la calidad del rodado, seguridad y costos de operación del vehículo.

2.2.1 Métodos para medir la rugosidad

Los diversos métodos para medir la rugosidad que existe en el mundo pueden agruparse, de acuerdo a la clasificación dada por el Banco Mundial, en cuatro clases genéricas, con relación a cuan directa sea la correlación que emplean para reaccionar sus medidas con el índice International de Rugosidad de acuerdo a los requerimientos de calibración y precisión asociada con ellos son

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

Métodos Clase 2.- Ésta clase incluye todos los otros métodos perfilométricos, en los cuales el perfil es medido como la base para el cómputo directo del IRI.

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

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

El equipo Bump Integrator pertenece al método de medición clase 3. Este método involucra ecuaciones de correlación para convertir datos de campo a la Unidades internacionales de medición de rugosidad. La precisión depende de la calibración del equipo. Este equipo está compuesto por un dispositivo mecánico que registra el movimiento relativo entre la carrocería del vehículo en que va colocado y el eje donde van montadas las ruedas. Con este equipo la medición se realiza a la velocidad de circulación o una velocidad definida por el vehículo de medición.

2.2.2 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).

La rugosidad del pavimento es el parámetro que relaciona la magnitud y frecuencia de sus irregularidades superficiales, con la comodidad de transitar sobre él. No tiene relación con la textura, apariencia o acabado superficial de la capa de rodadura sino más bien con las deformaciones que inciden en su perfil topográfico, como son las ondulaciones, los hundimientos, los ahuellamientos y los baches. Los fisuramientos tienen poca o ninguna incidencia en los resultados de rugosidad.

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).

En términos más sencillos, el IRI es un modelo matemático, el cual calcula el movimiento acumulado en la suspensión de un vehículo, al recorrer una superficie del camino a una velocidad de 80 km/h. El IRI es un indicador de la irregularidad superficial del pavimento; representa la diferencia entre el perfil longitudinal teórico y el perfil longitudinal real existente en el instante de la medida.

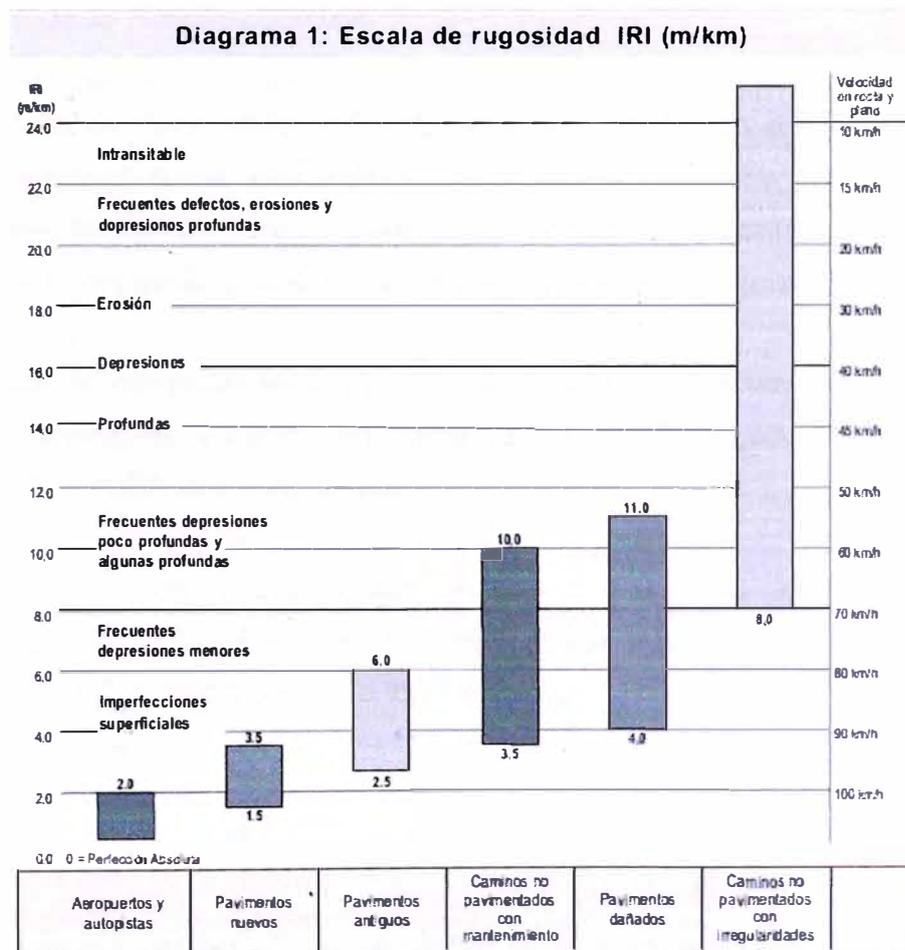
El perfil real de una carretera recién construida tiene un estado cero definido por su IRI inicial (mayor a 0) debido a condicionantes constructivos. Una vez puesta en servicio el pavimento se modifica lentamente en función del paso del tránsito evolucionando hacia valores más elevados de IRI (mayores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

Cuadro 2.01: Estado superficial según la rugosidad

Estado	Pavimentadas	No pavimentadas
Bueno	$0 < IRI \leq 2.8$	$IRI \leq 6$
Regular	$2.8 < IRI \leq 4.0$	$6 < IRI \leq 8.0$
Malo	$4.0 < IRI \leq 5.0$	$8.0 < IRI \leq 10.0$
Muy Malo	$5 < IRI$	$10 < IRI$

Fuente: MTC - Especificaciones Técnicas para la conservación de Carreteras

Gráfico N° 2.01: Escala de Valores del IRI



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

2.2.3 Relación entre IRI y PSI

La determinación analítica de la rugosidad se ha efectuado utilizando la expresión aproximada establecida por Sayers, que relaciona la Rugosidad con el Índice de Serviciabilidad (PSI). Esta correlación se desarrollo usando los datos obtenidos en el ensayo Internacional sobre Rugosidad de Caminos (IRRE), realizado en Brasil en el año 1982.

Se tiene así la expresión:

$$PSI = \frac{5.0}{e^{IRI/5.5}} \quad \text{Para IRI} < 12$$

La transitabilidad de la vía o la calificación de la calidad de servicio que brinda en un momento determinado, se evalúa en función de los valores de psi calculados.

Calificación de la Serviciabilidad

La metodología consiste en que se selecciona un grupo de personas para formar un panel evaluado, este panel entonces evalúa un conjunto preseleccionado de tramos de acuerdo a las instrucciones que se les da. Cada miembro de este panel expresa su opinión propia y subjetiva acerca de la calidad de rodado de cada tramo y la expresa en una cartilla especialmente diseñada.

La serviciabilidad es entonces la percepción que tienen los usuarios del nivel de servicio del pavimento. Es por esta razón que la opinión de ellos es la que debe ser medida para calificar la serviciabilidad.

Se definió una escala de evaluación de 0 a 5 (ver tabla 2.02). En ella una evaluación con nota 5 (Muy Buena) significa una superficie perfecta, mientras que una nota 0 (Muy Mala) significa intransitable.

Cuadro N° 2.02: Escala de calificación de la Serviciabilidad

Calificación		DESCRIPCION
Numérica	Verbal	
0 - 1	Muy Malo	Los pavimentos en esta categoría se encuentran en una situación de extremo deterioro. Los caminos se pueden pasar a velocidades inducidas y con considerables problemas de transitabilidad. Existen grandes baches y grietas profundas. El deterioro ocurre en un 75% o más de la superficie.
1 - 2	Malo	Los pavimentos en esta categoría se han deteriorado hasta un punto donde pueden afectar la velocidad de tránsito de flujo libre. Los pavimentos flexibles pueden tener grandes baches y grietas profundas; el deterioro incluye pérdida de áridos, agrietamiento, ahuellamientos y ocurre en un 50 % o más de la superficie. El deterioro en pavimentos rígidos incluye desconche de juntas, escalonamiento, parches, agrietamiento y bombeo.
2 - 3	Regular	En esta categoría la calidad de manejo es notablemente inferior a la de los pavimentos nuevos y puede presentar problemas para altas velocidades de tránsito, se hace más notorio la presencia del deterioro superficial. Los defectos superficiales en pavimentos flexibles pueden incluir ahuellamientos, parches y agrietamientos. Los pavimentos rígidos en este grupo pueden presentar fallas en las juntas, agrietamiento y escalonamiento.
3 - 4	Bueno	Los pavimentos de esta categoría muestran una transitabilidad confortable, con muy poco o ningún signo de deterioro superficial. Los pavimentos flexibles pueden estar comenzando a mostrar signos de ahuellamiento y fisuración aleatoria. Los pavimentos rígidos pueden estar empezando a mostrar evidencias de un leve deterioro superficial, como desconches y fisuras menores.
4 - 5	Muy Bueno	Solo los pavimentos nuevos (o casi nuevos) son lo suficientemente confortables y sin deterioro para clasificar en esta categoría. La mayor parte de los pavimentos construidos o rehabilitados durante el año de inspección normalmente obtendrían esta calificación.

Fuente: American Association of State Highway and Transportation Officials
AASHTO -1962

2.3. Factores que afectan la rugosidad

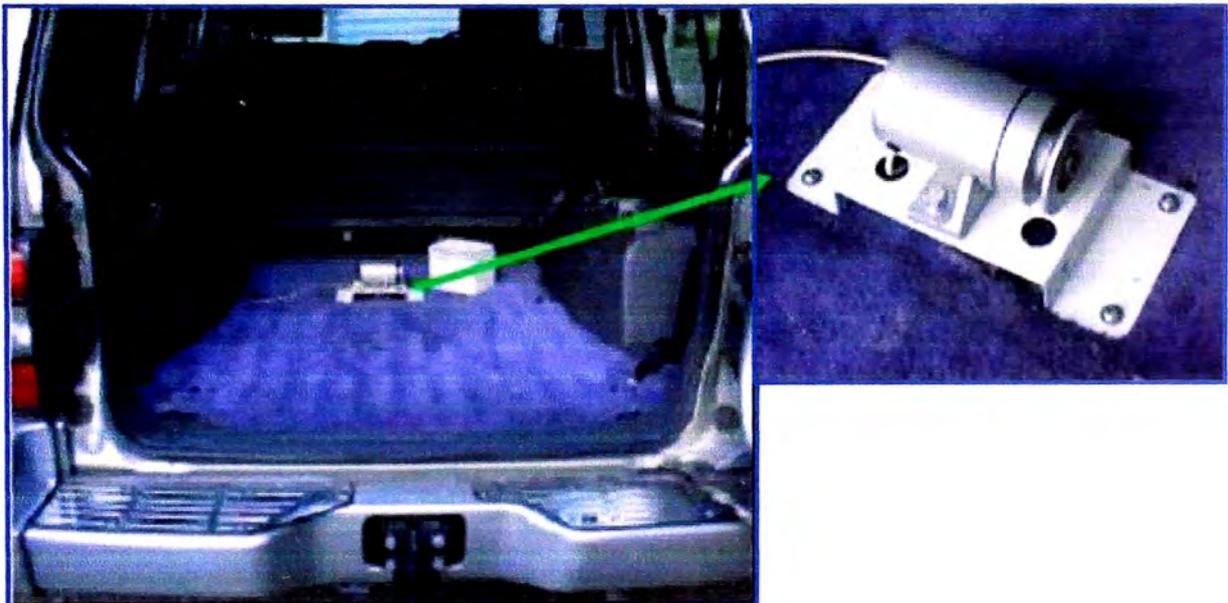
Los factores más influyentes en el deterioro del pavimento son el tránsito, la edad y el medio ambiente, sin embargo los efectos producidos por separado y en conjunto son muy distintos. Es claro que las propiedades del pavimento cambian a medida que pasan los años, por lo que el IRI, tiende a subir progresivamente. La evaluación del deterioro del pavimento debido al tránsito y clima es muy distinta y rara vez se dan por separado, por lo cual es conveniente analizarlas en conjunto.

2.4 Método de Evaluación de la Rugosidad con Equipo Bump Integrator

Equipo Bump Integrator

Es el equipo utilizado para medir la rugosidad, 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 40 km/h, el Bump Integrator 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. El equipo utilizado para la calibración del BI es el rugosímetro Merlín, equipo de diseño simple fabricado especialmente para su uso en países en vías de desarrollo. Este rugosímetro requiere de un solo operador, que recorre en el vehículo cada tramo de medición de 400 m.

Gráfico 2.02: Equipo Bump Integrator Sobre un Vehículo



Fuente: Instituto de investigación de la facultad de ingeniería civil IIFIC-UNI

Para efectos de este informe, se presentan las mediciones de rugosidad con 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 más bajas, como los siguientes:

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

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

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 está conformado por un adquisidor de datos y un sensor de desplazamiento. El REBITU va instalado en el eje posterior transversal de un vehículo, su desplazamiento sobre la carretera produce desplazamientos en el eje posterior del vehículo debido a la irregularidad de la superficie de rodadura, el equipo registra y acumula estos desplazamientos verticales. La velocidad del vehículo es de 40km/h y la toma de datos se realiza en tramos que pueden ser desde los 100m hasta los 900m dependiendo de las interferencias existentes en la carretera a estudiar.

Especificaciones técnicas del adquisidor de datos:

Protocolo de comunicación	: Serial
Indicadores luminosos	: Alimentación, cargador de batería
Dimensiones	: 12.5 x 15.9 x 7cm

Peso	: 824 gr.
Alimentación	: 12 VDC
Número de sensores	: 1 sensor
Teclado	: 4 x 4
Display	: LCD 2 X 24

Especificaciones técnicas – Sensor de distancia

- Tipo de sensor	: Mecánico – Encoder
Precisión	: 0.9 mm
Rango de medida	: 20cm
- Velocidad Máxima de rotación	: 300 RPM
- Alimentación	: 5 VDC
- Salida	: Tren de pulsos onda cuadrada
Dimensiones	: 19.5 x 19.7 x 9.5 cm
Peso	: 2014 gr.
Rango de temperatura	: -40 a + 85 °C

Adicionalmente se puede resaltar las siguientes características:

Alimentación de 12 Voltios directa del encendedor eléctrico del vehículo

Entrada para alimentación adicional para descarga de datos y pruebas con el equipo.

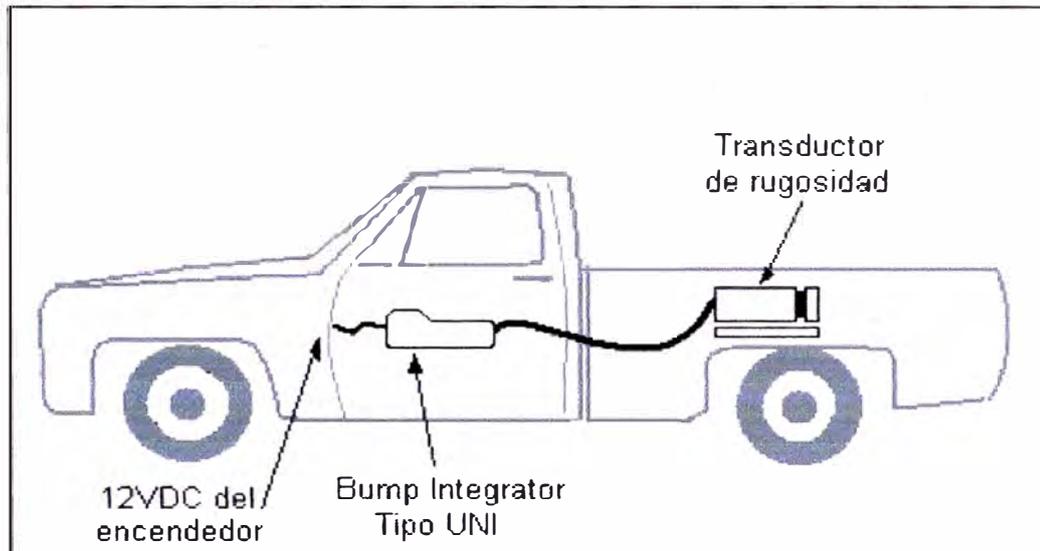
2 bancos de memoria no volátil (24lc256), las cuales permiten almacenar datos de hasta 1600 km.

Microcontrolador PIC 16F877A.

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

- Adquisición y almacenamiento de datos de forma automática.
- Puerto de Comunicación para computadora.
- Software para la descarga de datos almacenados en la memoria.

Gráfico N 2.03: Modelo de conexión del rugosímetro electrónico



Fuente: Instituto de investigación de la facultad de ingeniería civil IIFIC-UNI

Gráfico N° 2.04: Fotografía de la Instalación del REBITU



Fuente: Instituto de investigación de la facultad de ingeniería civil IIFIC-UNI

Gráfico N° 2.05: Fotografía del Contador y del Sensor



Fuente: Instituto de investigación de la facultad de ingeniería civil IIFIC-UNI

La calibración de este sistema RTRRMS puede realizarse de varias maneras, uno de ellos es encontrando la ecuación de correlación entre los métodos pertenecientes a la clase 1, de alta precisión, como el equipo Nivel y Mira, o también como el equipo Merlín.

Teniendo los valores de las lecturas efectuadas por el equipo Bump Integrator y los valores de IRI obtenidos con equipos de clase 1 o clase 2, se procede a realizar un análisis de regresión, del cual se obtiene la ecuación que relaciona los valores del Rugosímetro Bump Integrator con los valores de IRI. El grado de precisión depende del proceso de calibración utilizado y del grado de precisión de las ecuaciones de correlación utilizadas.

La ecuación a usar puede ser del tipo lineal, logarítmica, exponencial, polinómica o potencial y se tomara aquella ecuación cuyo valor de R^2 sea más cercano a la unidad. La curva de mejor "ajuste" denominada ecuación de calibración será aceptada si el coeficiente de ajuste es mayor o igual a 0.8, de no cumplirse esta condición, se revisará los datos de campo (data), en particular la información correspondiente a las secciones de calibración.

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

El Bump Integrator es un Sistema Tipo Respuesta de Medida de Rugosidad de Caminos (siglas inglesas: RTRRMS), este método involucra ecuaciones de correlación para convertir datos tomados 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 consiste de tres componentes: un vehículo, un transductor que detecta el movimiento relativo de la suspensión y una pantalla que se conecta eléctricamente al transductor. El transductor y la pantalla juntos constituyen un rugosímetro o medidor de carretera (roadmeter) y se adquiere como un solo componente. Las medidas obtenidas del rugosímetro son en realidad la respuesta del vehículo a la superficie de la carretera a medida que se desplaza a cierta velocidad. Debemos tener en cuenta que así como la medida es el resultado del rugosímetro, el procedimiento de operación, el vehículo y todas las variables afectan su respuesta. Por lo cual el Sistema BI está conformado por el vehículo, la unidad BI, la unidad contadora, y adicionalmente un Odómetro.

El equipo Bump Integrator acumula los movimientos verticales de la suspensión a través de pulsos eléctricos, estos desplazamientos verticales son transmitidos en una sola dirección, mediante dispositivos integrados en el instrumento, estos movimientos son acumulados de manera que cuando un desplazamiento alcanza 25.4 mm (1 pulg), un pulso eléctrico es enviado a un contador electrónico.

Durante el funcionamiento del Bump Integrator las lecturas mostradas en la pantalla del contador digital son cm acumulados de movimiento uni-direccional del eje trasero y se convierten a un valor de unidad de rugosidad por la formula siguiente:

$$Rugosidad(mm/m) = \frac{CUENTA\ ACTUAL \times 10}{LONGITUD\ DE\ SECCION(m)}$$

Por ejemplo:

Si se obtiene una lectura de 980 BI, en un tramo de medición de 400 m:

$$\frac{980 \times 10}{400} = \frac{9800}{400} = 24.5 \text{ mm/m}$$

Nota: Este valor de unidad de rugosidad es una medida relativa, no representa necesariamente el valor en IRI.

CAPITULO III: APLICACIÓN TRAMO Km. 110+000 – Km. 112+000

3.1 Recopilación de Datos de Campo

Antes de llevar a cabo los trabajos de medición en campo, se efectúa el reconocimiento del tramo en estudio, a fin de identificar gibas, badanes, puentes, centros poblados u otros tipos de obstáculos, que puedan afectar de alguna manera durante el proceso de toma de datos, también es recomendable tomar fotografías y filmar los aspectos más importantes que permita hacer una evaluación adecuada.

Identificado los tramos de medición se procede a marcar las progresivas de tal manera que puedan ser vistas con facilidad cuando el vehículo pase por dichas progresivas

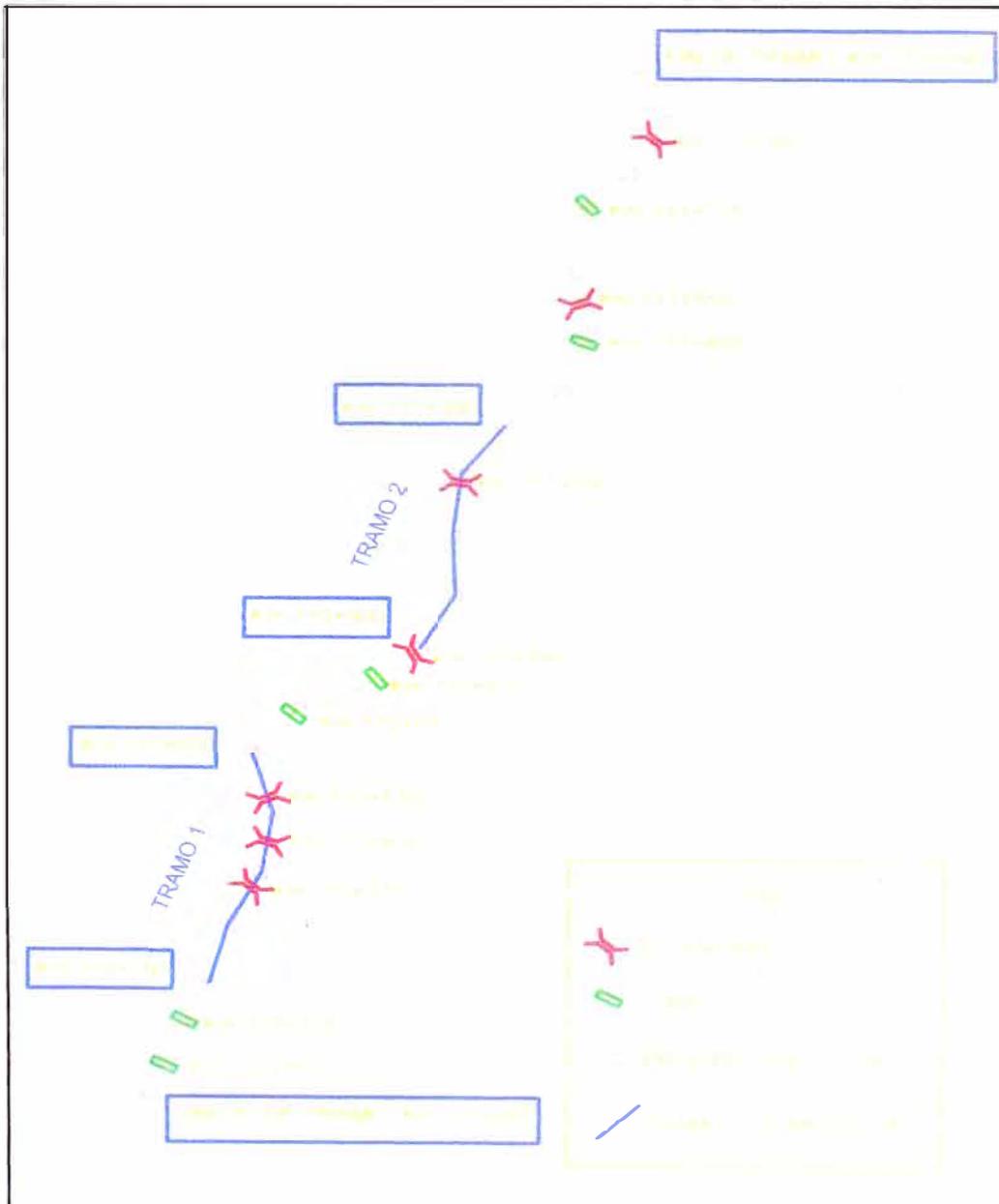
Otras consideraciones antes de iniciar con la medición es que los equipos deben de inspeccionarse, para de esta manera se asegura su funcionamiento adecuado, deben verificarse las uniones del rugosímetro con el vehículo, la presión de los neumáticos.

Para que los datos tomados de campo sean confiables y representativos, el personal asignado para la medición de rugosidad debe haber pasado por un periodo de capacitación, y/o entrenamiento, cuanto mayor sea la experiencia de los operadores, se podrán obtener valores más representativos. El personal para la medición está compuesto por el chofer del vehículo, que es el responsable de mantener la velocidad constante y la alineación del vehículo sobre la huella de rodadura del carril que se está midiendo y el segundo operador es quien controla el registro de las lecturas del rugosímetro, así como también la grabación de los datos tomados durante el recorrido de la carretera.

Una vez instalado y revisado el equipo Bump Integrator correctamente en el vehículo, y las progresivas de los tramos a evaluar estén marcados en el pavimento se procede a realizar las mediciones.

Es recomendable realizar al menos 5 mediciones por tramo para asegurar una mejor confiabilidad en la toma de datos.

Gráfico N° 3.01: Ubicación de tramos de medición



Fuente: Elaboración propia

Cuadro 3.01: Lecturas de BI del tramo en estudio

Tramo Km 110+000 al Km 112+000		SENTIDO DE MEDICION			
DESDE	HASTA	IDA(→)		VUELTA (←)	
		1°	2°	1°	2°
110+200	110+600	1343	1437	1305	1360
110+900	111+300	1028	1045	1110	1017

Fuente: Elaboración propia

A continuación se muestra los valores medidos con el Bump Integrator por todos los grupos de la sección B, el día 22 de mayo, a lo largo de los 10 Km, desde la progresiva del Km 110+000 hasta el Km 120+000 de la carretera Cañete – Huancayo.

Cuadro 3.02: Valores obtenidos de campo

GRUPO	TRAMO (Km)	PROGRESIVA (Km)	SENTIDO DE MEDICION				BI PROMEDIO	DESVIACION ESTANDAR	COEFICIENTE DE VARIACION
			IDA(→)		VUELTA (←)				
			1°	2°	1°	2°			
GRUPO 1	110+000 - 112+000	110+200 - 110+600	1343	1437	1305	1360	1361	55.488	4.076%
		110+900 - 111+300	1028	1045	1110	1017	1050	41.625	3.964%
GRUPO 2	112+000 - 114+000	112+000 - 112+400	1109	1096	1011	1066	1071	43.562	4.069%
		112+400 - 112+800	1277	1327	1292	1320	1304	23.509	1.803%
		113+000 - 113+400	1275	1247	1224	1268	1254	22.986	1.834%
		113+600 - 114+000	1013	1003	929	942	972	42.390	4.362%
GRUPO 3	114+000 - 116+000	114+800 - 115+200	1189	1187	1177	1154	1177	16.049	1.364%
		115+230 - 115+630	1094	1106	1015	1097	1078	42.308	3.925%
		115+600 - 116+000	1085	1085	1149	1096	1104	30.609	2.773%
GRUPO 4	116+000 - 118+000	116+300 - 116+700	930	997	1001	957	971	33.925	3.493%
		117+400 - 117+800	1084	1158	1156	1096	1124	39.000	3.471%
GRUPO 5	118+000 - 120+000	118+000 - 118+400	1286	1314	1269	1387	1314	52.083	3.964%
		118+400 - 118+800	1527	1532	1485	1510	1514	21.205	1.401%
		119+300 - 119+700	904	983	869	849	901	59.050	6.552%

Fuente: Elaboración propia

Del cuadro 3.02 se toman 5 tramos, considerando aquellos en los cuales la desviación estándar y el coeficiente de variación sean mínimos.

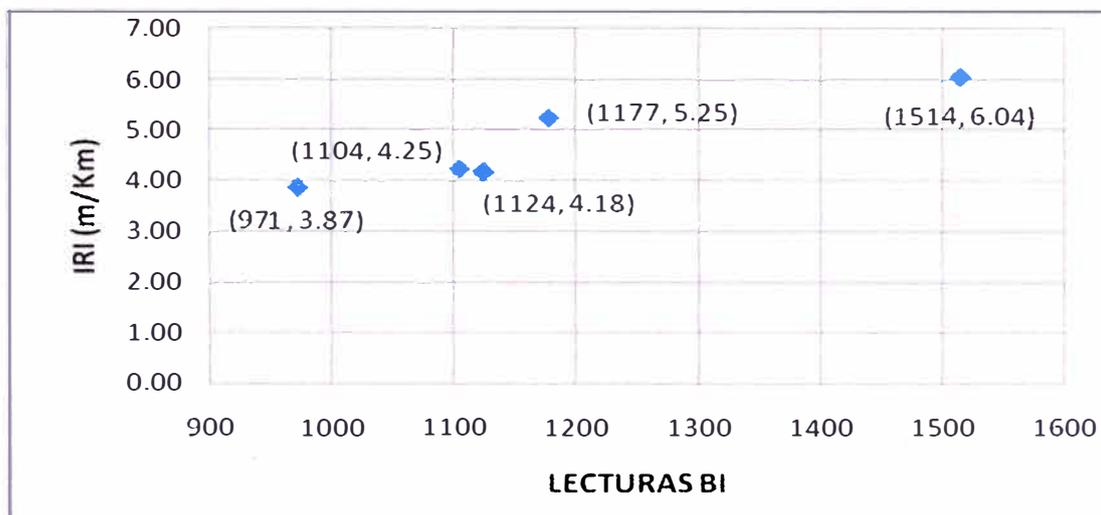
Cuadro 3.03: Valores BI promedio con menor desviación estándar

GRUPO	TRAMO (Km)	PROGRESIVA (Km)	SENTIDO DE MEDICION				BI PROMEDIO	DESVIACION ESTANDAR	COEFICIENTE DE VARIACION
			IDA(→)		VUELTA (←)				
			1°	2°	1°	2°			
GRUPO 3	114+000 - 116+000	114+800 - 115+200	1189	1187	1177	1154	1177	16.049	1.364%
		115+600 - 116+000	1085	1085	1149	1096	1104	30.609	2.773%
GRUPO 4	116+000 - 118+000	116+300 - 116+700	930	997	1001	957	971	33.925	3.493%
		117+400 - 117+800	1084	1158	1156	1096	1124	39.000	3.471%
GRUPO 5	118+000 - 120+000	118+400 - 118+800	1527	1532	1485	1510	1514	21.205	1.401%

Fuente: Elaboración propia

Luego se realiza la gráfica de los 5 valores de BI de los tramos seleccionados vs los valores calculados con el equipo Merlín para los respectivos tramos

Gráfico N°3.02: Lecturas BI vs IRI (Merlín)



Fuente: Elaboración propia

Del gráfico N° 3.02, se procede a eliminar el punto (1104,4.25) correspondiente al tramo que va del Km 115+600 al Km 116+000, el cual no guarda relación con los otros puntos que siguen un sentido creciente.

3.2 Calibración del Equipo

En el siguiente cuadro se muestran las zonas de calibración con los valores de rugosidad calculados con el Merlín.

Cuadro N° 3.04: Valores de IRI (m/Km) en zonas de calibración

ZONA DE CALIBRACIÓN	UBICACIÓN	IRI (m/Km)
S1	114+800 - 115+200	5.25
S2	115+600 - 116+000	4.25
S3	116+300 - 116+700	3.87
S4	118+400 - 118+800	6.04

Fuente: Elaboración propia

Cuadro N° 3.05: Lecturas de BI en secciones de Calibración

ZONA DE CALIBRACIÓN	UBICACIÓN	BI
S1	114+800 - 115+200	1177
S2	115+600 - 116+000	1104
S3	116+300 - 116+700	971
S4	118+400 - 118+800	1514

Fuente: Elaboración propia

A continuación se muestran los valores de IRI (m/Km) para las zonas de calibración seleccionadas.

Cuadro 3.06: Valores de IRI Y BI en zonas de calibración

ZONA DE CALIBRACIÓN	BI	IRI
S1	1177	5.25
S2	1104	4.25
S3	971	3.87
S4	1514	6.04

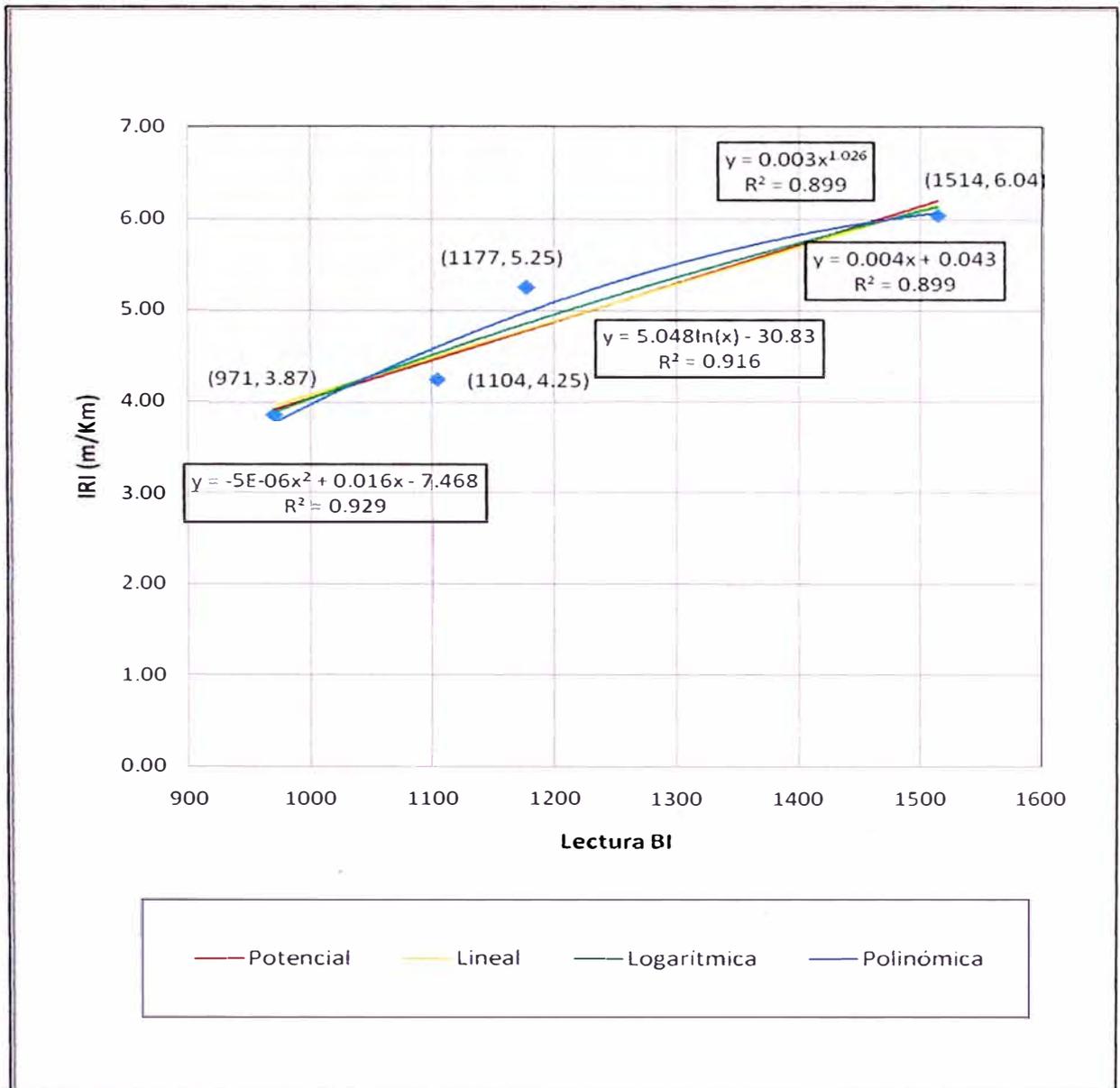
Fuente: Elaboración propia

Con la finalidad de obtener la ecuación que mejor representa los cuatro valores seleccionados se procede a trazar las gráficas de las ecuaciones de tendencia del tipo:

- Potencial
- Lineal
- Logarítmica
- Polinómica

Con su respectivo factor de correlación R^2

Gráfico 3.03: Curvas de tendencia



Fuente: Elaboración propia

Cuadro 3.07: Ecuaciones de calibración

REGRESIÓN	ECUACIÓN	CORRELACIÓN R ²
Potencial	$0.003X(BI)^{1.026}$	0.90
Lineal	$0.0040355(BI)-0.043$	0.90
Logarítmica	$5.048\ln(BI)-30.83$	0.92
Polinómica	$-5E-06X(BI)^2-0.016x(BI)+7.468$	0.93

Fuente: Elaboración propia

Se observa que el factor de correlación R^2 de las ecuaciones del tipo logarítmica y polinómica son mayores a las otras correlaciones, pero la tendencia de ambas curvas es decreciente por lo cual son descartadas ambas. Luego se elige la ecuación lineal:

$$IRI = 0.0040355*(BI)-0.043$$

3.3 Procesamiento de datos

Con la ecuación de calibración obtenida se procede a convertir las lecturas obtenidas con el BI a unidades IRI para la evaluación del comportamiento de la carretera en estudio.

Cuadro N° 3.08: Resultados obtenidos de la evaluación

Tramo Km 110+000 al Km 112+000		UNIDADES BI PROMEDIO	UNIDADES IRI PROMEDIO
DESDE	HASTA		
110+200	110+600	1361	5.45
110+900	111+300	1050	4.19

Fuente: Elaboración Propia

A continuación se procede a comparar los valores de IRI obtenidos con el rugosímetro Bump Integrator y con el equipo MERLIN.

Cuadro N°3.09: Comparación entre IRI obtenido con BI y Merlín

Tramo Km 110+000 al Km 112+000		IRI OBTENIDO CON BI	IRI OBTENIDO CON MERLIN
DESDE	HASTA		
110+200	110+600	5.45	5.26
110+900	111+300	4.19	4.14

Fuente: Elaboración propia

Con los valores de IRI promedio obtenidos se procede a calcular los valores de PSI para los tramos en estudio mediante la fórmula

$$PSI = \frac{5.0}{e^{IRI/5.5}} \quad \text{Para IRI} < 12$$

Cuadro N° 3.10: Cálculo del PSI

Tramo Km 110+000 al Km 112+000		PSI
DESDE	HASTA	
110+200	110+600	1.9
110+900	111+300	2.3

Fuente: Elaboración Propia

CAPITULO IV: ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1 Presentación de resultados

Al hacer el análisis para obtener la ecuación que relaciona los valores del Bump Integrator con los valores del IRI obtenidos mediante el Merlín se observa que los valores de las 5 posibles zonas de calibración no presentan una tendencia definida por lo que se procede a eliminar uno de los datos, esto puede ser a que el vehículo no pudo mantener la velocidad constante de 40 km/h. debido a factores que obstaculizaban el paso.

Otro de los factores importantes para determinar las secciones de calibración fue que las medidas realizadas desde el Km 110+000 al Km 120+000 con el equipo Bump Integrator deben coincidir con los tramos medidos con el equipo Merlín.

De las ecuaciones analizadas se observa que la ecuación polinómica y logarítmica tiene el factor de correlación más cercana a la unidad, con lo que se podría presumir que deberían ser la ecuación a utilizar, pero por ser ambas curvas cóncavas hacia abajo, son descartadas, la tendencia de los IRI medidos con el equipo Merlín deben mantener una relación directa con las medidas realizadas con el equipo Bump Integrator.

Luego por tratarse de una curva ascendente, con bastante aproximación a los datos de las zonas de calibración y por experiencias realizadas en carreteras 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.

4.2 Evaluación superficial del pavimento

Cuadro N° 4.01: Condición de la superficie de la vía

Tramo Km 110+000 al Km 112+000		IRI Promedio Con BI	Condición de la superficie de la vía
DESDE	HASTA		
110+200	110+600	5.45	Muy Mala
110+900	111+300	4.19	Mala

Fuente: Elaboración propia

Cuadro N° 4.02: Evaluación de la Serviciabilidad

Tramo Km 110+000 al Km 112+000		PSI	Calificación de la Serviciabilidad
DESDE	HASTA		
110+200	110+600	1.9	Malo
110+900	111+300	2.3	Regular

Fuente: Elaboración Propia

De acuerdo al cuadro 2.02, en el primer tramo el valor del PSI indica que el pavimento se encuentra deteriorado hasta un punto donde pueden afectar la velocidad de tránsito de flujo libre. Presenta grandes baches y grietas profundas; el deterioro que incluye pérdida de áridos, agrietamientos, ahuellamientos y ocurre en un 50% o más de la superficie.

En el segundo tramo el valor del PSI indica que la calidad del manejo es notablemente inferior a la de pavimentos nuevos y presenta problemas para altas velocidades de tránsito, se hace más notorio la presencia del deterioro superficial. Los defectos superficiales incluyen ahuellamientos, parches y agrietamientos.

CONCLUSIONES

- Luego de calcular el IRI para cada tramo de estudio, del cuadro 2.02 se puede establecer que la condición actual del pavimento para el primer tramo es **“muy mala”**, y para el segundo tramo es **“mala”**
- Se puede observar que para el primer tramo con el equipo Merlín se obtiene un IRI de 5.26 m/Km mientras que con el Bump Integrator 5.45 m/Km, para el segundo tramo con el equipo Merlín se obtiene 4.14 m/Km mientras que con el Bump Integrator 4.19 m/Km, valores muy cercanos, hay que tener presente que el valor obtenido con el Equipo Merlín se hizo con una sola medición, mientras que con el equipo Bump Integrator se realizó 4 medidas en total, 2 medidas de ida y 2 medidas de vuelta.
- La condición de la superficie del primer tramo en estudio es **“muy mala”** debido a que en este tramo se encuentran 3 alcantarillas en 140 m las cuales no cuentan con cunetas a lo largo del tramo, esto hace que en épocas de lluvia, las aguas discurran sobre la superficie de la vía y la dañen. Como se puede apreciar en el anexo en la fotografía N° 3 y 9, del anexo.
- La metodología aplicada está basada en herramientas estadísticas, y son varios los métodos que se pueden emplear para procesar los datos, la decisión de elegir el método estadístico queda a cargo del que elabora el análisis de los datos, lo importante es que se realice un manejo eficiente de los datos y las herramientas estadísticas
- 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 (s/350.00 / día) y tiene un alto rendimiento de operación (120 km/ día)
- La 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).

RECOMENDACIONES

- Antes de iniciar con las medidas de rugosidad se recomienda realizar un reconocimiento del tramo en estudio, tomar fotografías, filmar y hacer una evaluación preliminar del estado de la vía.
- Las secciones de calibración y los tramos de evaluación que se consideran en lo posible no deben presentar curvas pronunciadas, gibas, centros poblados, u otros factores que impidan mantener la velocidad del vehículo constante.
- No es recomendable realizar mediciones en épocas de lluvias, ya que la superficie se encuentra mojada y resbaladiza, además el efecto del barro en las ruedas, no permite realizar una correcta medición.
- Es recomendable obtener medidas de rugosidad en periodos no mayores a 6 meses para determinar el estado y el comportamiento de la vía, y así poder lograr estandarizar valores, ya que aun no está definido los parámetros del IRI para pavimentos que no cuentan con una estructura.
- Tener cuidado al seleccionar las secciones de calibración, ya que dependen mucho de estas y de la elección correcta de la ecuación de calibración para los valores de IRI que se van a obtener.

BIBLIOGRAFÍA

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 - Perú, 1999.

Gutiérrez Lazares, José Wilfredo “Modelación Geotécnica de Pavimentos Flexibles con fines de análisis y Diseño en el Perú”, Tesis de Maestría, Facultad de Ingeniería Civil – UNI, Lima – Perú, 2007

Instituto de Investigación de la Facultad de Ingeniería Civil; Rugosímetro electrónico Bump Integrator, Universidad Nacional de ingeniería Lima – Perú, 2007.

Ministerio de Transportes y Comunicaciones, Especificaciones Técnicas Generales para la Con de Conservación de Carreteras – Lima - Perú, 2007.

Ministerio de Transportes y comunicaciones, “Manual de especificaciones técnicas para construcción de carreteras no pavimentadas de bajos volumen de tránsito”; Lima - Perú, 2008.

Sayers Michael, Thomas D. Gillespie, and Cesar A.V. Quiroz. “The International Road Roughness Experiment”. World Bank Technical Paper Number 45. Washington D.C. 1986.

Sologorre Huayta, José Demetrio, Evaluación de la Rugosidad de Pavimentos con uso del Bump Integrator, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, 2005.

www.camineros.com

www.mtc.gob.pe

www.proviasnac.gob.pe

ANEXOS

ANEXO 01 PANEL FOTOGRÁFICO



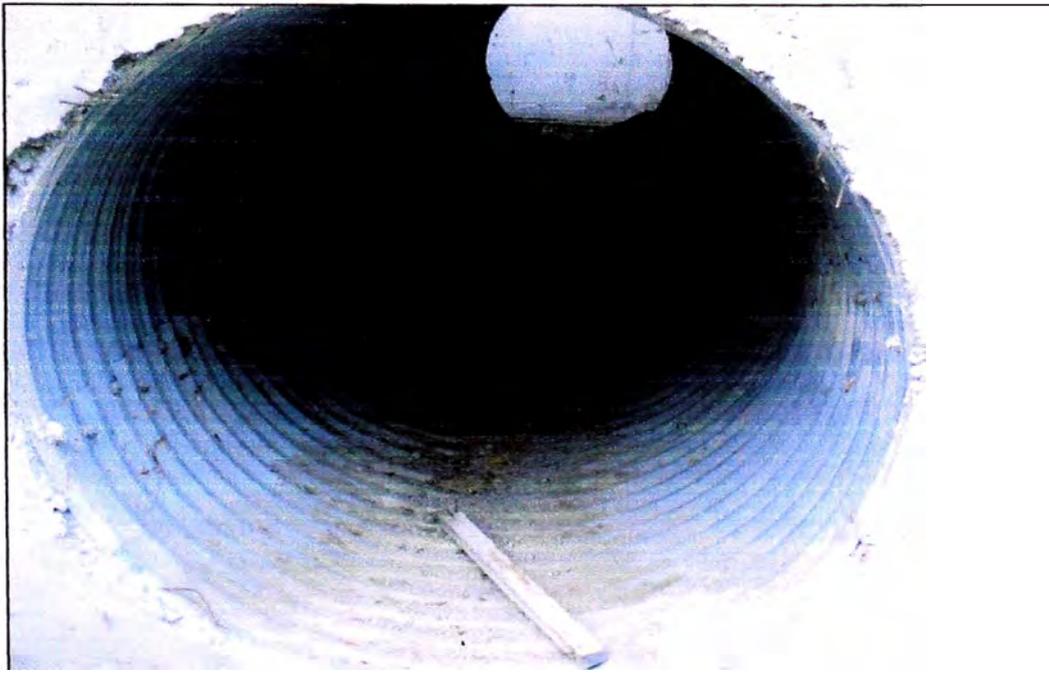
Fotografía N° 1: Inicio del tramo en estudio



Fotografía N° 2: Presencia de Giba en la vía



Fotografía N° 3: Alcantarilla sin cunetas en sus extremos.



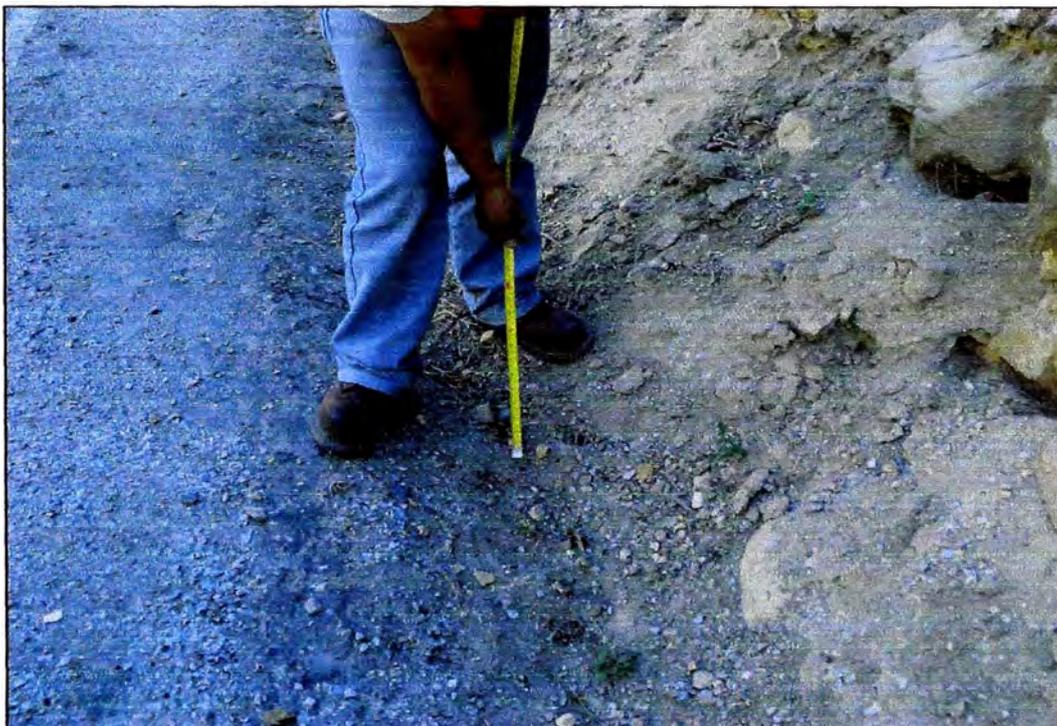
Fotografía N° 4: Falta de limpieza en interior de Alcantarilla.



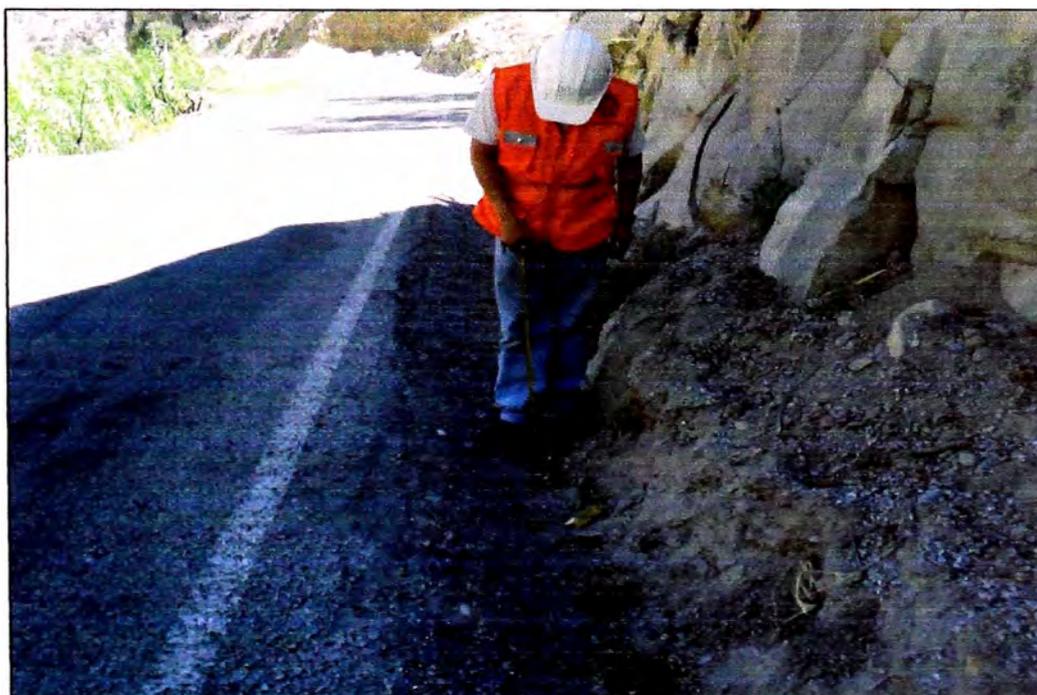
Fotografía N° 5: Acumulación de agua en alcantarilla.



Fotografía N° 6: Enrocado para protección de alas de alcantarilla.



Fotografía N°7: Cunetas no revestidas de 30 cm de altura en algunos tramos.



Fotografía N° 8: Falta de limpieza en Cunetas no revestidas.



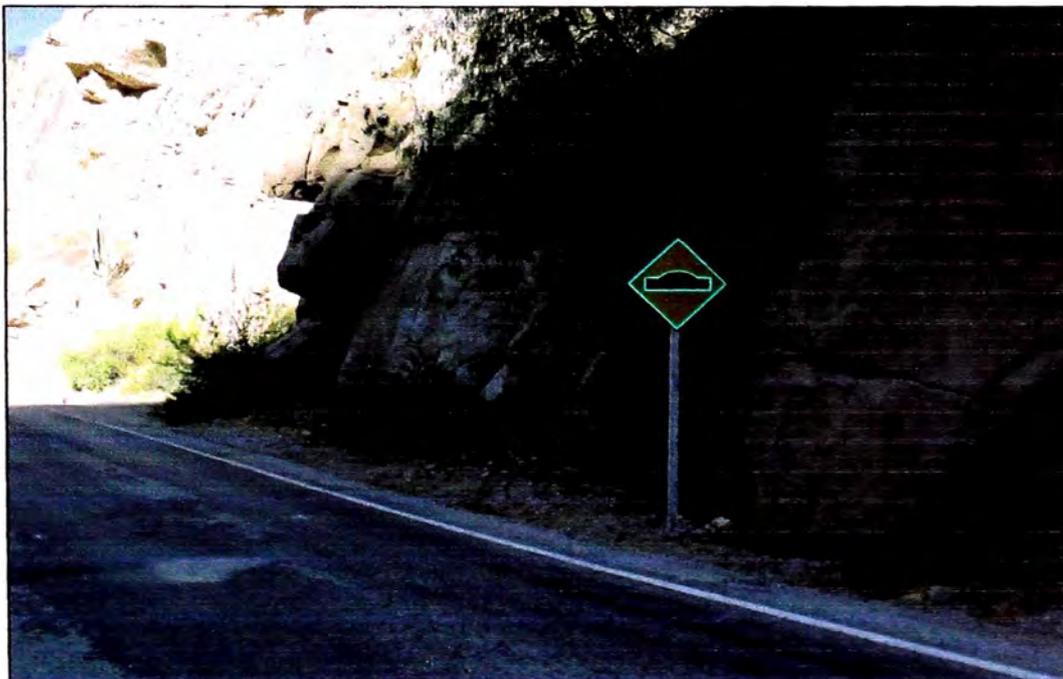
Fotografía N° 9: En algunos tramos no existen cunetas transversales.



Fotografía N° 10: Curvas horizontales continuas.



Fotografía N° 11: Curva sinuosa, no existe longitud de transición.



Fotografía N° 12: Existen Señales verticales de seguridad en todo el tramo.



Fotografía N° 13: Presencia de arbustos en laderas.



Fotografía N° 14: Presencia de Vegetación en laderas.



Fotografía N° 15: Abundante vegetación en ladera.



Fotografía N° 16: Zona en peligro de derrumbe.



Fotografía N° 17: Pequeño cauce formado en ladera época de lluvias.



Fotografía N° 18: Cauce formado en ladera en época de lluvias.



Fotografía N° 19: Medición con equipo Merlin para calibración del BI.



Fotografía N° 20: Bache de 0.1 m² en la vía.



Fotografía N° 21: Parche de Bache a lado de la vía.



Fotografía N° 22: Baches continuos de diferentes dimensiones.



Fotografía N° 23: Desintegración superficial en la vía.



Fotografía N° 24: Pequeños baches en la vía.



Fotografía N° 25: Dificultad para transitar por ancho de la vía.



Fotografía N° 26: Fin del tramo de estudio.

ANEXO 02
PRESUPUESTO PARA MEDICION

PRESUPUESTO PARA MEDICIÓN DEL IRI USANDO BUMP INTEGRATOR SIN FINANCIAMIENTO DE LA UNI

ITEM	DESCRIPCIÓN	Und	Cant	P.U. (S/.)	Parcial (S/.)	Total (S/.)
	PRELIMINARES					2126.00
1.01	Movilidad de personal	Glb	1	180.00	180.00	
1.02	Movilización y desmovilización de Equipos	Km	8	4.50	36.00	
1.03	Dispositivos de seguridad (Casco, chaleco, cono)	Glb	1	230.00	230.00	
1.04	Alquiler de equipo Bump Integrator	Día	2	350.00	700.00	
1.05	Alquiler de equipo Merlín	Día	2	250.00	500.00	
1.06	Alquiler de camioneta	Día	2	240.00	480.00	
2.00	CALIBRACION					559.00
2.01	Ubicación de las secciones de calibración	Glb	1	40.00	40.00	
2.02	Marcación de las secciones de calibración	Glb	1	60.00	60.00	
2.03	Medición con el rugosímetro BI	Km	4.8	60.00	288.00	
2.04	Medición con el rugosímetro Merlín	Km	2.4	40.00	96.00	
2.05	Procesamiento de datos	Día	0.5	150.00	75.00	
3.00	MEDICION					332.00
3.01	Ubicación de tramos de medición	Glb	1	60.00	60.00	
3.02	Marcación de tramos de medición	Glb	1	80.00	80.00	
3.03	Medición con el rugosímetro BI	Km	3.2	60.00	192.00	
4.00	PROCESAMIENTO DE DATOS					75.00
4.01	Procesamiento de datos	Día	0.5	150.00	75.00	
Total Costo directo						S/.3,092.00