

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



**DETERMINACION DEL IRI CON EQUIPO BUMP INTEGRATOR
MONITOREO DE CONSERVACIÓN CARRETERA
CAÑETE-HUANCAYO Km. 112+000 AL Km. 114+000**

INFORME DE SUFICIENCIA

Para optar el Título Profesional de:

INGENIERO CIVIL

JOSE MANUEL CORREDOR ARIZAPANA

Lima- Perú

2010

Al ejemplo incansable de mis padres, Don Jerónimo y Doña Julia.

Gracias por su apoyo constante e incondicional, que ha hecho posible mi desarrollo personal y profesional.

INDICE GENERAL

INDICE GENERAL	2
RESUMEN	4
LISTA DE CUADROS	5
LISTA DE FIGURAS	6
LISTA DE SIMBOLOS Y SIGLAS	7
INTRODUCCION	8
CAPITULO I: PERFIL DEL PROYECTO	9
1.1. Aspectos Generales.....	9
1.1.1. Ubicación	9
1.1.2. Unidad Formuladora y Ejecutora	9
1.1.3. Participación de las entidades involucradas y de los beneficiarios	9
1.2. Marco de referencia	11
1.3. Descripción por sectores de la situación actual.....	13
1.3.1. Tramo 1: Cañete – Pacarán	14
1.3.2. Tramo 2. Pacarán – Catahuasi	15
1.3.3. Tramo 3. Catahuasi – Tinco Yauricocha.....	16
1.3.4. Tramo 4. Tinco Yauricocha – San José de Quero	18
1.3.5. Tramo 5 San José De Quero - Chupaca.....	19
1.4. Descripción del Problema y sus Causas	20
1.5. Objetivos del proyecto.....	23
CAPITULO II: ESTADO DEL ARTE	26
2.1. Antecedentes.....	26
2.2. Desarrollo de los Sistemas Tipo Respuesta.....	27
2.3. Equipos existentes para la medición de la Rugosidad	31
2.3.1. Nivel y mira topográfica	31
2.3.2. Dipstick.....	31
2.3.3. Perfilografos	32
2.3.4. Equipos Tipo Respuesta (RTRRMS).....	32
2.3.5. Perfilometro Inercial.....	33

CAPITULO III: MARCO TEORICO.....	35
3.1. Evaluación Superficial.....	35
3.2. Rugosidad.....	36
3.2.1. Métodos para la medición de la Rugosidad.....	36
3.3. Índice de Rugosidad Internacional (IRI).....	37
3.4. Relación entre el IRI y PSI.....	40
CAPITULO IV: APLICACION AL TRAMO KM. 112+000 – KM. 114+000.....	41
4.1. Recopilación de Datos de Campo.....	41
4.1.1. Equipo tipo Respuesta Bump Integrator.....	41
4.1.2. Reconocimiento de Campo del Tramo Km. 112+000 al Km. 114+000.....	43
4.1.3. Datos obtenidos con Equipo Bump Integrator.....	44
4.2. Calibración del Equipo.....	45
4.2.1. Relación de IRI vs. BI.....	45
4.2.2. Ecuación de Correlación.....	48
CAPITULO V: ANALISIS DE RESULTADOS.....	51
5.1. Datos obtenidos de campo.....	51
5.2. Secciones de calibración.....	53
5.3. Ecuación de calibración.....	53
5.4. Valores de IRI obtenidos.....	53
5.5. Evaluación de la condición de servicio.....	54
CONCLUSIONES.....	57
RECOMENDACIONES.....	58
BIBLIOGRAFÍA.....	59
ANEXOS.....	60

RESUMEN

El presente Informe “Determinación del IRI con Equipo Bump Integrator” pretende describir la aplicación del Índice Internacional de Rugosidad (IRI), a la vía, Cañete – Yauyos – Chupaca. Además de los procedimientos para el cálculo del mismo y su correlación con los equipos de medición de rugosidad. También, pretende mostrar el avance que ha tenido el tema de la medición de la rugosidad de pavimentos, en lo que se refiere a los usos, equipos empleados, métodos de medición y resultados obtenidos.

Durante la evaluación de la vía, se han ubicado distintas singularidades que se presentan como características de la infraestructura vial, como son gibas, alcantarillas, tramos curvos continuos, anchos de vía reducidos, los cuales han representado limitantes a la aplicación del tramo evaluado.

Estas limitaciones han obligado a reducir el número de tramos de muestreo, considerando la alternancia de secciones de evaluación a fin de evitar dichas singularidades y obtener datos representativos de la condición real de la vía.

Así mismo, es importante notar que aun cuando el Índice Internacional de Rugosidad es un parámetro ampliamente usado en diversos países de la región, en nuestro país, la aplicación a vías de bajo volumen de tránsito con tratamientos superficial tipo monocapa o similar no presenta una escala clara que sirva como referencia en la supervisión o mantenimiento de este tipo de vías.

LISTA DE CUADROS

Cuadro N° 1.01. Estado actual de la carretera.....	13
Cuadro N° 2.01. Características en equipos de medición de Rugosidad	34
Cuadro N° 3.01. Estado Superficial en función del IRI	36
Cuadro N° 3.02. Escala de Transitabilidad vs. PSI	40
Cuadro N° 4.01. Infraestructura vial Km. 112+000 al Km. 114+000	44
Cuadro N° 4.02. Secciones de Evaluación	45
Cuadro N° 4.03. Datos obtenidos Bump Integrator (BI)	45
Cuadro N° 4.04. Evaluación del IRI (Merlín)	46
Cuadro N° 4.05. Valores de BI obtenidos de campo	46
Cuadro N° 4.06. Secciones de Calibración	48
Cuadro N° 4.07. Valores IRI obtenidos con Equipo Bump Integrator	50
Cuadro N° 5.01. Datos de campo con equipo Bump Integrator.....	51
Cuadro N° 5.02. Determinación del IRI característico	54
Cuadro N° 5.03. Evaluación del IRI – Julio 2009	54
Cuadro N° 5.04. Evaluación del IRI – Marzo 2010.....	55
Cuadro N° 5.05. Evaluación del IRI (Jul. 2009 – Mar. 2010).....	55
Cuadro N° 5.06. Proyección del IRI (Marzo 2011)	56

LISTA DE FIGURAS

FIGURA Nº 1.01. Plano Vial del Proyecto Perú	10
FIGURA Nº 1.02. Carretera Cañete – Yauyos – Chupaca	11
FIGURA Nº 1.03. Tramo 1 Orografía ondulada (TSB + SLURRY)	15
FIGURA Nº 1.04. Zona de vía angosta con topografía accidentada	17
FIGURA Nº 1.05. Tramo con monocapa hacia Tinco.....	18
FIGURA Nº 1.06. Tratamiento superficial con monocapa deteriorado.	19
FIGURA Nº 1.07. Tramo con monocapa hacia Chupaca.	20
FIGURA Nº 1.08. Árbol de Causas	21
FIGURA Nº 1.09. Árbol de Efectos	21
FIGURA Nº 1.10. Árbol Causa-Efecto	22
FIGURA Nº 1.11. Árbol de Medios.....	23
FIGURA Nº 1.12. Árbol de Fines	24
FIGURA Nº 1.13. Árbol de Medios y Fines	25
FIGURA Nº 2.01. Sistema tipo respuesta BPR Roughometer.....	26
FIGURA Nº 2.02. Sistema tipo respuesta BPR/QCS	28
FIGURA Nº 2.03. RTRRMS Modelo Matemático	30
FIGURA Nº 2.04. Dipstick.....	31
FIGURA Nº 2.05. Perfilografo	32
FIGURA Nº 2.06. Componentes de equipos tipo respuesta.....	33
FIGURA Nº 2.07. Componentes de equipos con referencia inercial	33
FIGURA Nº 3.01. Representación grafica del modelo "Cuarto de Carro".....	38
FIGURA Nº 3.02. Escala estándar del IRI.....	39
FIGURA Nº 4.01. Equipo Bump Integrator.....	42
FIGURA Nº 4.02. Selección de Tramos de Evaluación.....	43
FIGURA Nº 4.03. Grafica BI vs IRI	47
FIGURA Nº 4.04. Recta BI vs IRI (Merlín)	48
FIGURA Nº 4.05. Grafica BI vs. IRI (Merlín) Secciones de Calibración.....	49
FIGURA Nº 4.06. Grafica BI vs. IRI (Merlín) Ecuación de Correlación	50
FIGURA Nº 5.01. Progresivas vs. BI.....	52
FIGURA Nº 5.02. Comportamiento del IRI vs. Tiempo.....	56

LISTA DE SIMBOLOS Y SIGLAS

AASHTO	:	Funcionarios de la Asociación Americana de Carreteras Estatales y Transporte (American Association of State Highway and Transportation Officials)
ASTM	:	Sociedad Americana para el Ensayo de Materiales (American Society for Testing and Materials)
BPR	:	Oficina de los caminos públicos (Bureau of Public Roads, actualmente FHWA)
FHWA	:	Administración Federal de Carreteras (Federal Highway Administration)
IRI	:	Índice de Rugosidad Internacional
IRRE	:	Experimento Internacional de Rugosidad de Caminos (International Road Roughness Experiment)
MDOT	:	Departamento de Transportes de Michigan
MTC	:	Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones
NCHRP	:	Programa Nacional de Cooperación para investigación de Carreteras (National Cooperative Highway Research Program)
PCI	:	Índice de Condición del Pavimento
PSI	:	Índice de servicio presente
QCS	:	Simulación del Cuarto Carro (Quarter Car Simulation)
RTRRMS	:	Sistemas de medición de Rugosidad de vía tipo respuesta (Response-type road roughness measuring Systems)
UMTRI	:	Instituto de investigación del transporte de la Universidad de Michigan.

INTRODUCCION

La determinación del Índice de Rugosidad Internacional (IRI), se ha convertido en un indicador importante en la evolución de la calidad de los pavimentos de nuestro país, de allí la importancia en el estudio y aplicación de dicho parámetro, que permita mantener un criterio de evaluación objetivo de la condición general del patrimonio vial del país.

El presente informe busca mostrar la aplicación de los conceptos del IRI para la vía Cañete – Yauyos – Chupaca. Esta compuesto por 5 capítulos en los cuales se ha desarrollado los temas necesarios para la comprensión de la problemática actual, los fundamentos conceptuales de la metodología empleada y la aplicación al tramo evaluado, objeto de este informe.

En el capítulo 1, se ha desarrollado la descripción del Perfil de Proyecto, para lo cual se ha utilizado la sectorización de la vía en función al cambio de estándar aplicado por el contratista conservador.

En el capítulo 2, se ha desarrollado la evolución en el estado del arte para los sistemas de medición tipo respuesta.

En el Capítulo 3, se desarrolla los conceptos que definen a la evaluación superficial de pavimentos así como el Índice de Rugosidad Internacional (IRI) y su aplicación como parámetro para calificar el estado superficial.

En el capítulo 4, se ha aplicado los conceptos del Índice de Rugosidad Internacional, en el tramo desde el Km. 112+000 al Km. 114+000, para que apoyados en las mediciones de campo con equipo Bump Integrator y con el equipo clase 2, Merlin, poder obtener la ecuación de correlación entre los valores de BI e IRI.

Finalmente, en el capítulo 5, se realiza el análisis de los resultados de la determinación del IRI para el tramo evaluado, considerando además, la variación de este parámetro, según los reportes efectuados por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones desde Julio 2009.

CAPITULO I: PERFIL DEL PROYECTO

1.1. Aspectos Generales

A raíz de los acuerdos del Convenio de Cooperación Interinstitucional 018-2008-MTC/20 efectuado entre EL PROYECTO ESPECIAL DE INFRAESTRUCTURA DE TRANSPORTE NACIONAL – PROVIAS NACIONAL Y LA UNIVERDIDAD NACIONAL DE INGENIERIA, se busca implementar un sistema de acompañamiento y monitoreo del contrato de conservación vial por niveles de servicio de la carretera Cañete – Lunahuana – Pacarán – Chupaca y Rehabilitación del tramo Zúñiga - Dv Yauyos – Ronchas (N° 288-2007-MTC/20).

1.1.1. Ubicación

El tramo en estudio está ubicado en las provincias de Cañete, Yauyos (departamento de Lima) y Chupaca (departamento de Junín). En la figura 1.01 se muestra la ubicación del proyecto en estudio, en La figura 1.02 se muestra el trazo de la Carretera.

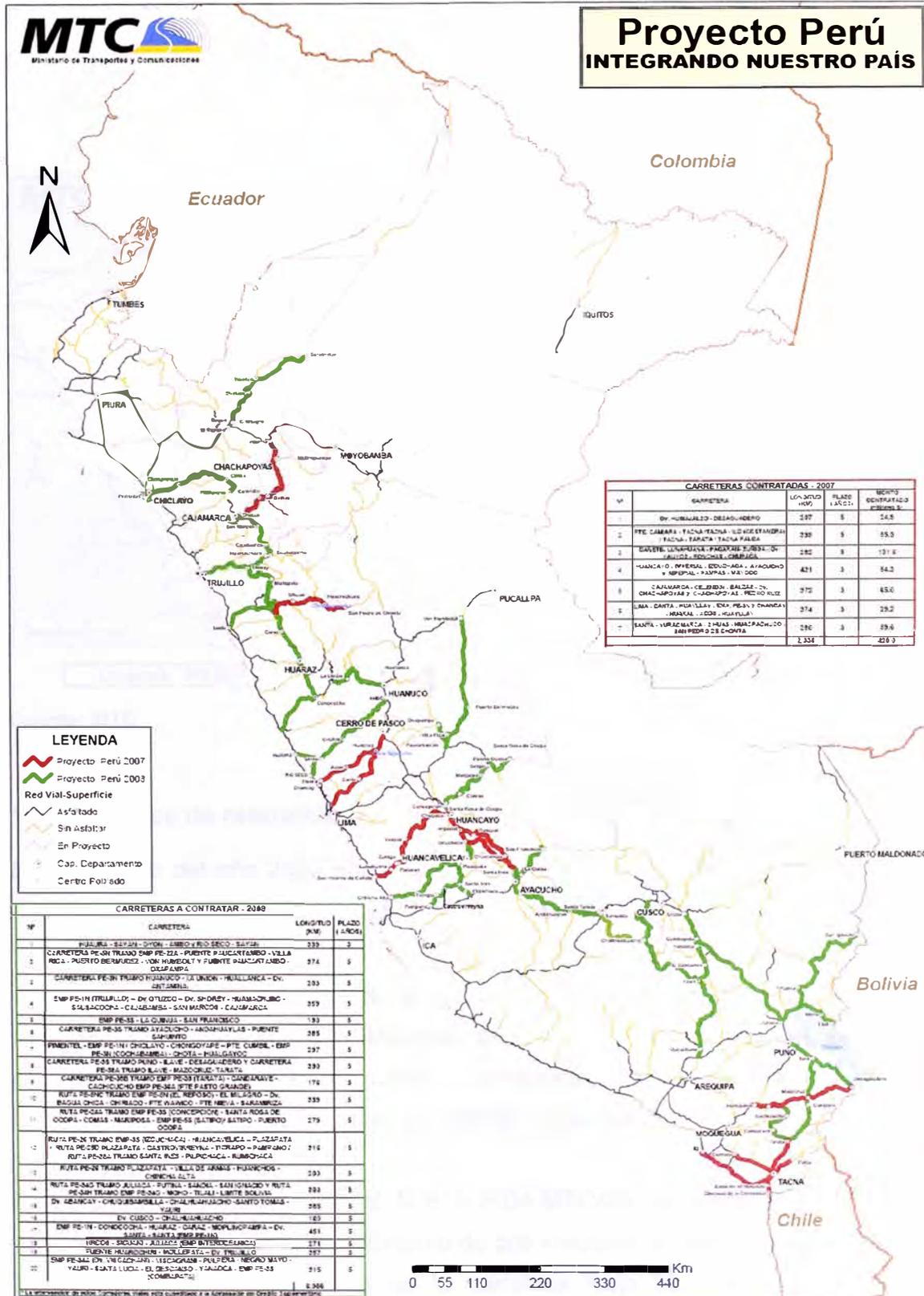
1.1.2. Unidad Formuladora y Ejecutora

Provias Nacional es la unidad formuladora y ejecutora del Ministerio de Transportes y Comunicaciones y la responsable de los Proyectos de Infraestructura de Transporte de la Red Vial Nacional y mediante Decreto Supremo DS_033_2002_MTC, la vía en estudio forma parte de su sistema (Ruta Nacional PE 24, código ruta transversal 022).

1.1.3. Participación de las entidades involucradas y de los beneficiarios

El Ministerio de Transportes y Comunicaciones participa como responsable del sector transportes, Provias Nacional como unidad formuladora y ejecutora, la Universidad Nacional de Ingeniería como supervisora responsable del seguimiento y monitoreo de los trabajos de servicio de conservación vial.

FIGURA N° 1.01. Plano Vial del Proyecto Perú



Fuente: MTC

Los beneficiarios directos son los pobladores de los distritos dentro del área de influencia de la carretera; Lunahuaná, Pacarán, Zúñiga, Ayauca, Carania, Catahuasi, Chocos, Colonia, Laraos, Alis, Tomas, Yauyos, Chambara, San José de Quero, Ahuac, Huachac y Chupaca.

FIGURA N° 1.02. Carretera Cañete – Yauyos – Chupaca



Fuente: MTC

1.2. Marco de referencia

El 12 de julio del año 2002 con Decreto Supremo N° 033-2002-MTC, se creó el Proyecto Especial de Infraestructura de Transportes Nacional - Provias Nacional para que sea la encargada de las actividades de preparación, gestión, administración y ejecución de proyectos de infraestructura de transportes relacionada con la Red Vial Nacional, así como de la planificación, gestión y control de actividades y recursos económicos que se emplean para el mantenimiento y seguridad de las carreteras y puentes de la Red Vial Nacional.

Mediante Resolución Directoral N°815-2004-MTC/20 de fecha 22-11-2004 se aprobó administrativamente el Estudio de pre inversión a nivel perfil del proyecto Rehabilitación y Mejoramiento de la carretera Ruta 22, tramo Lunahuaná - Yauyos – Chupaca. El estudio a nivel de perfil se encuentra enmarcado por la ley No. 27293 Ley del Sistema Nacional de Inversión Pública, su Reglamento el

Decreto Supremo No. 157-2002-EF y la Directiva aprobada mediante Resolución Directoral No.012-2002-EF/68.01.

Con oficio N°1411-2004-EF/68.01 del 06-10-2004 el Ministerio de Economía y Finanzas autorizó la elaboración del estudio de Factibilidad del proyecto rehabilitación y Mejoramiento de la carretera Ruta 22, tramo Lunahuaná-Yauyos-Chupaca, con código B.P.9895.

Mediante el informe N° 861-2005-MTC/09.02 de 09-12-2005, el Director de Inversiones de la oficina General de Planificación y Presupuesto del Ministerio de Transportes y Comunicaciones aprueba el Estudio de Factibilidad del proyecto rehabilitación y Mejoramiento de la carretera Ruta 22, tramo Lunahuaná-Yauyos-Chupaca, con código B.P.9895.

Mediante Resolución Directoral N°919-2006-MTC/20 de fecha 12-04-2006 se aprobó administrativamente el Estudio de pre inversión a nivel de factibilidad del proyecto Rehabilitación y Mejoramiento de la carretera Ruta 22, tramo Lunahuaná – Dv. Yauyos-Chupaca.

Mediante Contrato de Consorcio del 27-11-07, se le adjudica la Buena Pro del concurso público N°0034-2007-MTC/20 “Servicio de Conservación Vial por Niveles de Servicio de la Carretera Cañete – Lunahuaná - Pacarán - Chupaca y Rehabilitación del Tramo Zúñiga - Dv. Yauyos-Ronchas” al Consorcio Gestión de Carreteras (CGC).

A raíz de los acuerdos del Convenio de Cooperación Interinstitucional 018-2008-MTC/20 efectuado entre El Proyecto Especial de Infraestructura de Transporte Nacional - Provias Nacional y la Universidad Nacional de Ingeniería, se busca implementar un sistema de acompañamiento y monitoreo del contrato de conservación vial por niveles de servicio de la carreteras Cañete – Lunahuaná – Pacarán – Chupaca y Rehabilitación del tramo Zúñiga - Dv. Yauyos – Ronchas (N° 288-2007-MTC/20).

1.3. Descripción por sectores de la situación actual.

La carretera en estudio tiene una longitud de 271.726 Km. y para un mejor análisis se ha dividido en cinco sectores de acuerdo al tipo de superficie de rodadura existente y a las condiciones geográficas. (Ver el cuadro siguiente: que muestra los detalles del tipo de superficie de rodadura existente y longitudes de los tramos).

Cuadro N° 1.01. Estado actual de la carretera

TRAMO	TIPO DE SUPERFICIE DE RODADURA	LONGITUD (km)	ALTURA (m.s.n.m.)	FECHA DE TRATAMIENTO	EDAD (Años)
Cañete - Pacarán	Asfaltado -TSB	52+857	710	SIN TRATAMIENTO	2.5
Pacarán - Catahuasi	Slurry Seal	24+143	1206	MARZO-JUNIO-09	1
Catahuasi – Tinco Yauricocha	Monocapa (regular estado)	104+680	4040	ENERO-ABRIL-09 AGOSTO-SEPTIEMBRE-09	1.5
Tinco Yauricocha – San José de Quero	Monocapa (deteriorado)	47+620	4751	DICIEMBRE-09	0.5
San José de Quero -Chupaca	Monocapa (deteriorado)	42+426	3908	OCTUBRE-NOVIEMBRE-09	0.5

Fuente: Informe Avance MTC

De la visita de campo realizada a la zona en estudio, se ha observado que el primer tramo (asfaltado) tiene una infraestructura vial apropiada, con un sistema de drenaje adecuado, presentándose problemas de inestabilidad de taludes y erosiones en algunas zonas o tramos puntuales, además se presentan daños en la condición superficial de la superficie de rodadura. Por otra parte los cuatro tramos siguientes se encuentran en mantenimiento, tienen una infraestructura vial insuficiente e inadecuada (falta de un sistema de drenaje adecuado, presencia de tramos críticos debido a huaycos y a una topografía accidentada), ésta a su vez presenta anchos de plataforma variables de 3.0m a 4.0m, curvas con radios menores que el mínimo establecido y pendientes muy pronunciadas.

1.3.1. Tramo 1: Cañete – Pacarán

Este tramo comprende desde la localidad de Cañete, ubicada en la progresiva 1+805 a 71 m.s.n.m. hasta Pacarán en la progresiva 54+662 a 710 m.s.n.m. Este tramo se ha sectorizado en dos zonas:

Sector Cañete-Lunahuaná

El tramo se encuentra asfaltado, con una longitud de 40.95 kilómetros, tiene una superficie de rodadura constituida por una carpeta asfáltica, su ancho de sección de plataforma es de 6.60 m. con dos carriles 01 de ida y otra de vuelta, cada uno para diferente sentido. Su orografía es ondulada. Presenta un índice medio diario (IMD) de 1,477.

El sistema de drenaje del tramo está constituido por alcantarillas, badenes, cunetas, canales y bajadas, en general se encuentra en buen estado

Respecto a la señalización horizontal en los ejes central y lateral se encuentra en estado regular, los guardavías no presentan problemas y algunos postes delineadores se encuentran dañados o ausentes.

La señalización vertical lo constituyen las señales preventivas, reglamentarias e informativas en su mayoría en buen estado de conservación y los postes kilométricos en buen estado.

Presenta una zona crítica por inestabilidad de talud con una longitud aproximada de 50 metros.

Sector Lunahuaná-Pacarán

El tramo Lunahuaná – Pacarán, tiene una longitud de 11.907 Km., tiene como punto de inicio el sector denominado Uchupampa (término de la carpeta asfáltica e inicio del tratamiento superficial) y termina en la localidad de Pacarán (parte final del tratamiento superficial). Se pasa 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 bicapa más slurry, tiene una calzada con un ancho promedio de 3.20 m. por carril.

Los tipos de daños que se presentan en su mayoría son fisuras los cuales se presentan en sectores puntuales, este tipo de fallas se está produciendo por

incremento en el tráfico vehicular de la zona. Es necesario que se intervenga en dichos sectores para evitar que los daños se generalicen.

El sistema de drenaje del tramo esta constituido por alcantarillas, badenes, cunetas, canales y bajadas, las cuales, en su mayoría, se encuentran en buen estado.

En cuanto a la señalización se cuenta con elementos de seguridad y señalización horizontal y señalización vertical. Los mismos que presentan diferentes condiciones que van desde buen estado a mal estado, algunas señales necesitan ser reemplazadas. Se tiene la existencia de gibas de concreto.

FIGURA N° 1.03. Tramo 1 Orografía ondulada (TSB + SLURRY)



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

1.3.2. Tramo 2. Pacarán – Catahuasi

Este tramo tiene una longitud de 24.143 kilómetros, comprende la localidad de Pacarán, ubicada en la progresiva 54+662 a 710 m.s.n.m. hasta Catahuasi que se encuentra en la progresiva 78+805 a 1,206 m.s.n.m. el punto de inicio es la localidad de Pacarán que es el término del tratamiento superficial bicapa más slurry seal e inicio del tratamiento superficial slurry seal y culmina en la localidad de Catahuasi con tratamiento superficial slurry seal.

La superficie de rodadura se encuentra en condición regular con sectores de base estabilizada con Slurry Seal ($e=2\text{cm}$) de acuerdo a los trabajos de mantenimiento que se han realizado.

Su orografía es ondulada, su ancho de sección de plataforma varía de 5.00 a 7.50 m.

Se tiene un puente metálico de 40 m de luz "Puente Pacarán", que presenta una condición estructural preocupante debido a la corrosión que presentan sus elementos metálicos y cuyo mantenimiento no está comprendido dentro de los Términos de Referencia del presente contrato.

El sistema de drenaje está constituido por alcantarillas, cunetas de tierra y canales. Las alcantarillas se encuentran en funcionamiento, teniendo una condición estructural buena, pero en cuanto a la condición funcional algunos se encuentran parcialmente obstruidos

No presenta señalización horizontal en los ejes central y lateral pero si algunos postes delineadores provisionales.

La señalización vertical lo constituyen las señales preventivas, reglamentarias e informativas en su mayoría en buen estado de conservación y los postes kilométricos en estado regular.

1.3.3. Tramo 3. Catahuasi – Tinco Yauricocha

Este tramo inicia en la localidad de Catahuasi (Km. 77+000), ubicada a 1,206 m.s.n.m. y finaliza en la localidad de Tinco Yauricocha (Km. 181+680), a 4,040 m.s.n.m., tiene una longitud de 104.68Km. el cual presenta una superficie de rodadura con tratamiento superficial monocapa en regular estado, los tipos de daños que se presentan en dicho tramo son deformaciones (hundimientos y ahuellamientos) y baches.

Su orografía es accidentada, presenta al inicio secciones a media ladera que bordean el río y posteriormente secciones de medio túnel.

El ancho de plataforma es muy variable cuyo valor oscila entre 3.0 m y 8.5 m, este valor mínimo es probablemente debido a la acción erosiva del río.

Del análisis del tráfico, le corresponde un índice medio diario (IMD) de 722

El drenaje transversal está conformado por puentes, pontones, alcantarillas tipo marco de concreto armado y tipo TMC en buenas condiciones estructurales pero que necesitan limpieza, dos badenes en regular estado y muros, mayormente de piedra, cuyo estado no es bueno.

Las estructuras de drenaje longitudinal como canales y cunetas, en su mayoría de tierra, requieren ser reemplazadas.

FIGURA N° 1.04. Zona de vía angosta con topografía accidentada



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

En cuanto a la señalización se tiene elementos de seguridad y señalización horizontal, existe algunas señales verticales, que son insuficientes, estas señales se encuentran en condiciones regulares. Se ha visualizado la existencia de gibas de concreto en los centros poblados.

Sus diversas zonas críticas entre las predominantes se tienen por vía angosta y por erosión; también por inestabilidad de taludes y huaycos.

En el tramo se tienen puentes y pontones de madera (troncos) con vigas metálicas y de tablonés de madera, los problemas que se han visualizado en los puentes son la pérdida que estos han sufrido en lo que corresponde a las barandas, lo cual constituye un peligro constante para los usuarios de la vía

FIGURA N° 1.05. Tramo con monocapa hacia Tinco



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

1.3.4. Tramo 4. Tinco Yauricocha – San José de Quero

El tramo se inicia en la progresiva 183+485 en la localidad de Tinco Yauricocha y finaliza en la localidad de San José de Quero, las cuales se encuentra ubicadas a 4,040 m.s.n.m y 3,908 m.s.n.m. respectivamente, la totalidad de este tramo se desarrolla en la sierra de nuestro país, tiene una longitud total es de 47.620 Km. presenta tratamiento superficial con monocapa el cual se encuentra deteriorado, con un ancho de plataforma mínimo de 2.60 m y 8.00 m como máximo. Del análisis de tráfico el **IMD** correspondiente a esta zona es de **305**.

Los tipos de daños que se presentan en dicho tramo son deformaciones (ahuellamientos) encalaminados, huecos, erosiones, cruce de agua, estos daños se presentan en diferentes niveles de severidad.

Su topografía es accidentada presentándose zonas de cañones como el Cañón de Uchco, que forma parte de la reserva paisajística Nor Yauyos,

El drenaje en esta zona, resulta insuficiente y en mal estado para la evacuación del agua de la plataforma.

A lo largo de la vía el problema principal existente es la erosión de la ribera del río y la peligrosidad de la carretera debido a la existencia de tramos de vía angostos sumados a esto la topografía accidentada.

La señalización vertical es insuficiente y deficiente ya que gran porcentaje de esta se encuentra en regular o mal estado, no presenta señalización horizontal.

FIGURA N° 1.06. Tratamiento superficial con monocapa deteriorado.



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

1.3.5. Tramo 5 San José De Quero - Chupaca

La localidad de San José de Quero se encuentra a 3908 m.s.n.m., el inicio de este tramo se da en la progresiva 231+105 finalizando en 273+531 ubicada en la localidad de Chupaca a 3270 m.s.n.m., nuevamente la totalidad de este tramo se desarrolla en la sierra de nuestro país. Tiene una longitud total es de 42.426 Km, presenta tratamiento superficial con monocapa el cual esta deteriorado por efecto del clima y tráfico. Del análisis de tráfico el **IMD** correspondiente a esta zona es de **642**

Su topografía es ondulada, en lo referente al drenaje en esta zona, esta resulta insuficiente para la evacuación del agua de la plataforma.

En cuanto a la señalización, se notó la ausencia de señalización horizontal y la vertical se encuentra en regular o mal estado.

FIGURA N° 1.07. Tramo con monocapa hacia Chupaca.



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

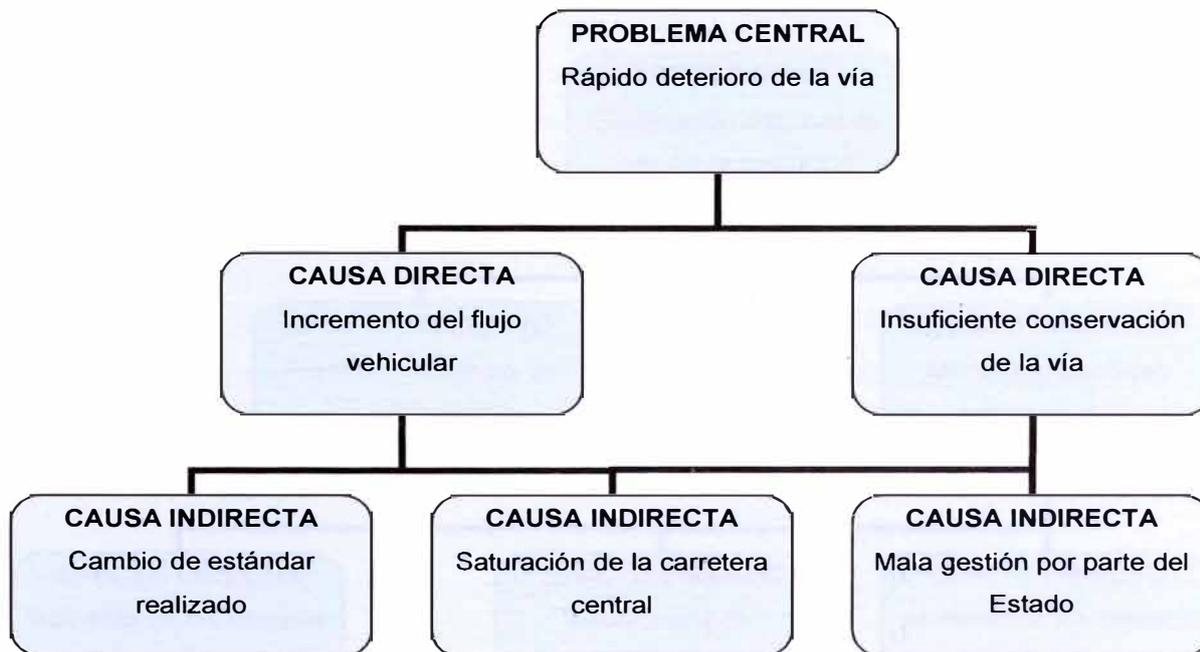
1.4. Descripción del Problema y sus Causas

El problema central de la vía en estudio es su rápido deterioro el cual hará que no sea transitable al cabo de 3 años debido al incremento del flujo vehicular por los cambios de estándar realizados y por ser un ruta alterna a la Carretera Central.

Asimismo se puede considerar como causa del problema las inadecuadas características técnicas de la vía, como son: ancho de calzada insuficiente y variable que afectan en las maniobras de los vehículos, realizando esfuerzos en la vía, otra causa considerada son las curvas cerradas, donde el frenado continuo desgasta con mayor rapidez la superficie de rodadura, además de realizar cambio de velocidades.

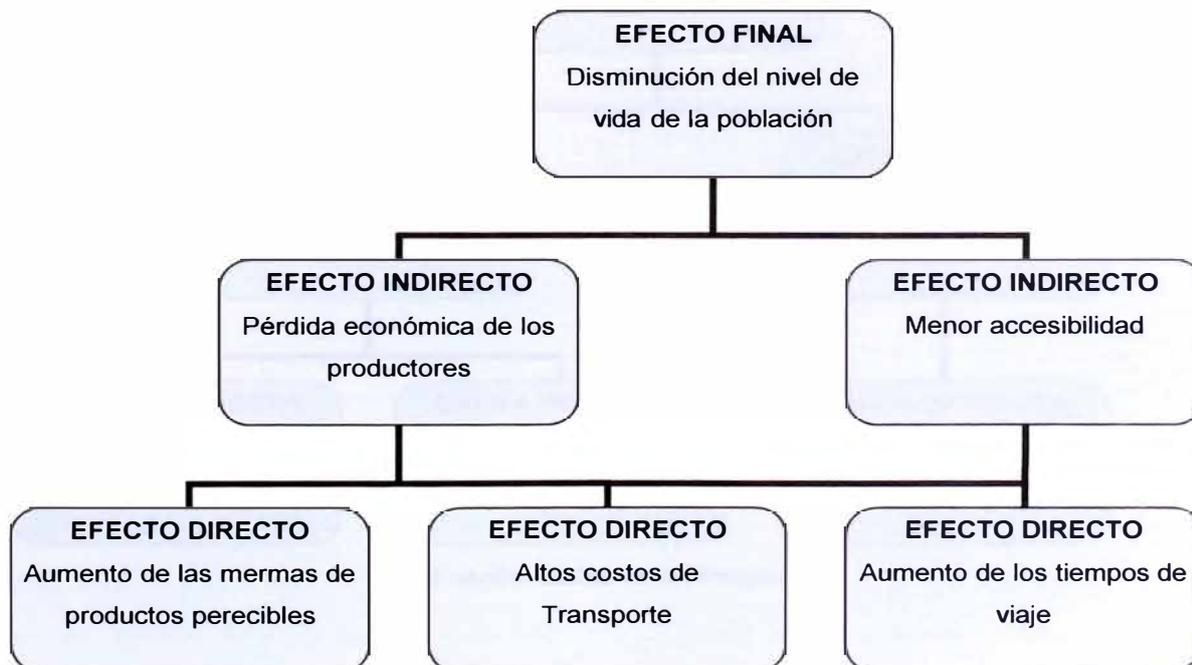
Estas causas son las que contribuyen al aislamiento de los pueblos ubicados a lo largo de la carretera en estudio y trae como consecuencia el retraso en su desarrollo y en general del país.

FIGURA N° 1.08. Árbol de Causas



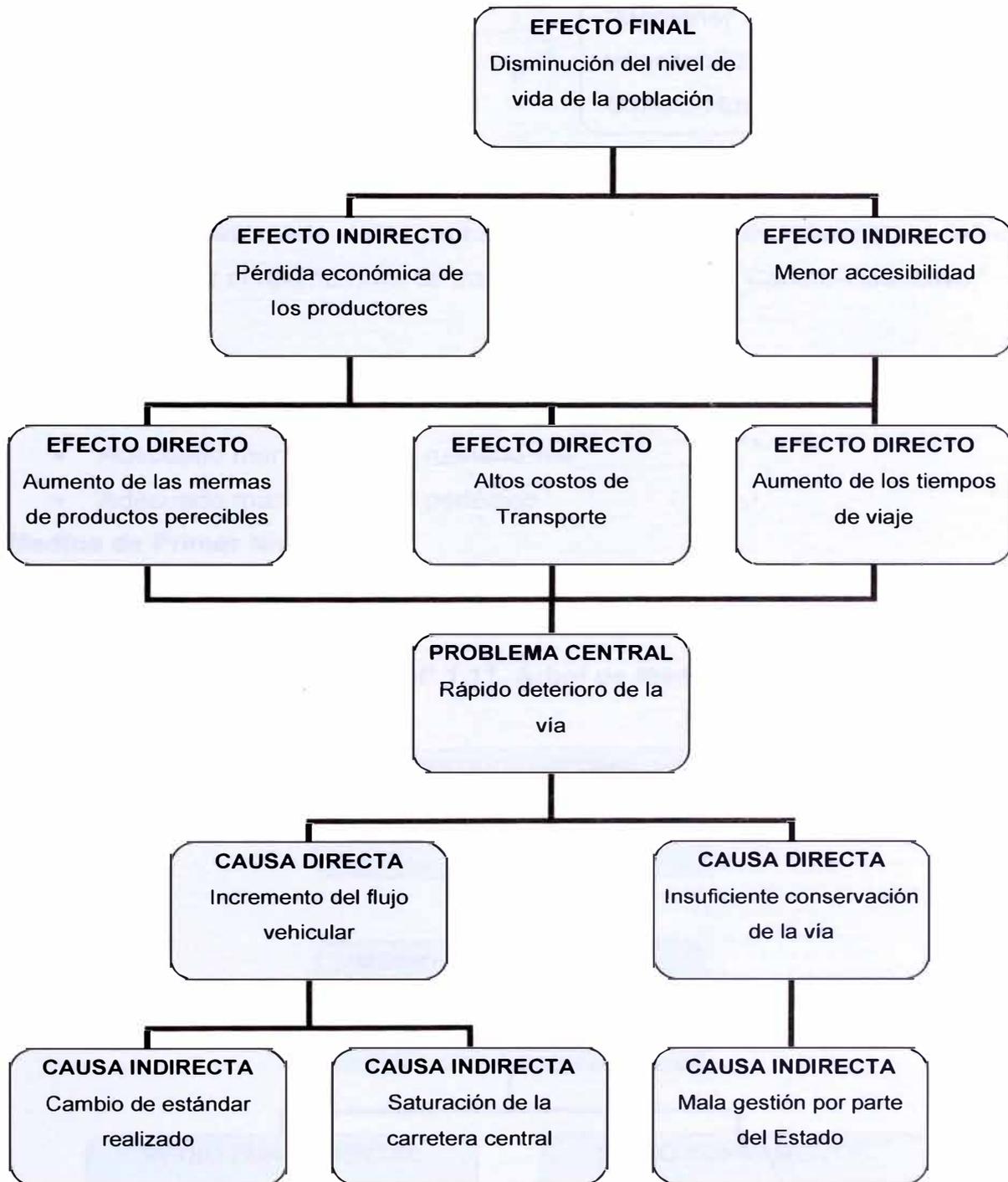
Fuente: Elaboración Propia

FIGURA N° 1.09. Árbol de Efectos



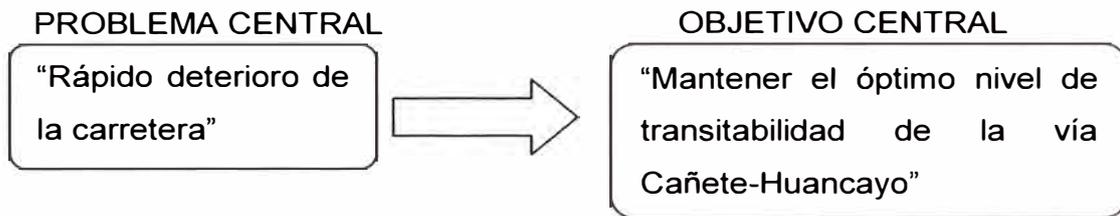
Fuente: Elaboración Propia

FIGURA N° 1.10. Árbol Causa-Efecto



Fuente: Elaboración Propia

1.5. Objetivos del proyecto



Objetivos Directos

Bajo premisa presentada como problema central, el objetivo directo se define como: "Mantener el óptimo nivel de transitabilidad de la vía Cañete-Huancayo."

Medios Fundamentales:

Los medios necesarios para alcanzar el objetivo son:

- Adecuado mantenimiento rutinario vial
- Adecuado mantenimiento periódico.

Medios de Primer Nivel:

- Adecuada conservación vial.

FIGURA N° 1.11. Árbol de Medios



Fuente: Elaboración Propia

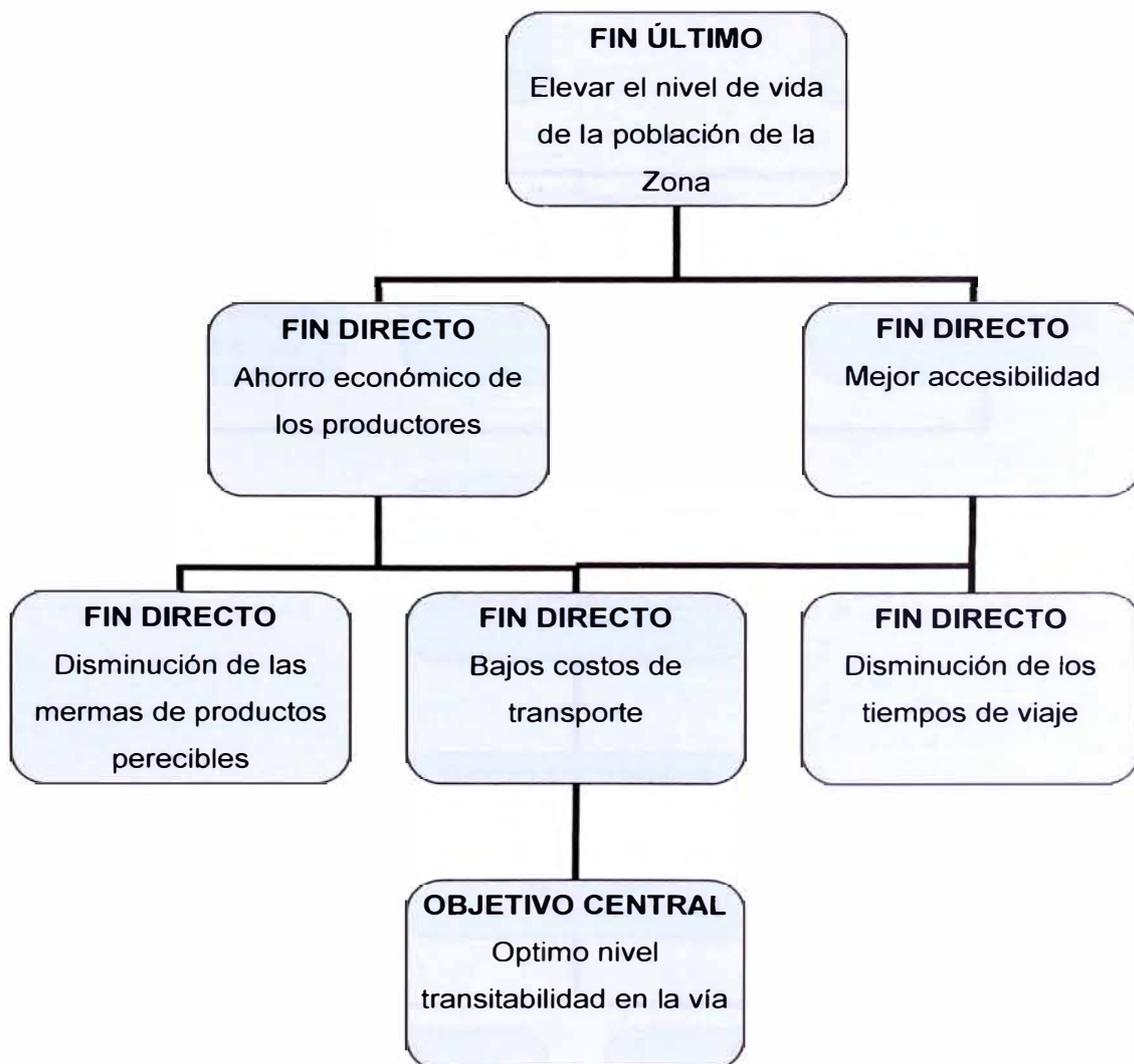
Fin Directo:

- Disminución de mermas de productos perecibles.
- Bajos costos de transporte.
- Disminución de los tiempos de viaje.

Fin Indirecto:

- Ahorro económico de los productos.
- Mejor accesibilidad de la vía.

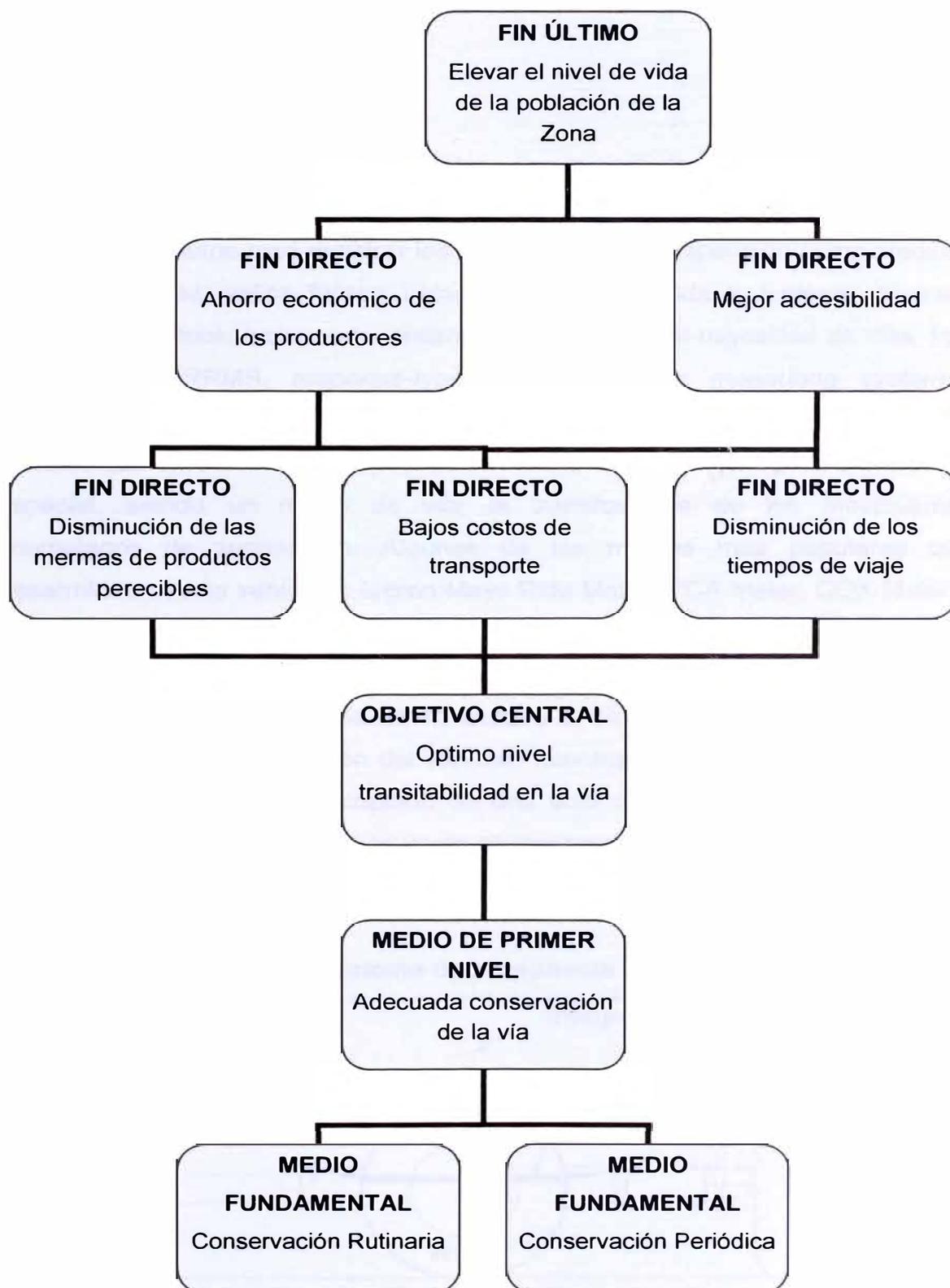
FIGURA Nº 1.12. Árbol de Fines



Fuente: Elaboración Propia

El árbol de medios y fines se muestra a continuación:

FIGURA N° 1.13. Árbol de Medios y Fines



Fuente: Elaboración Propia

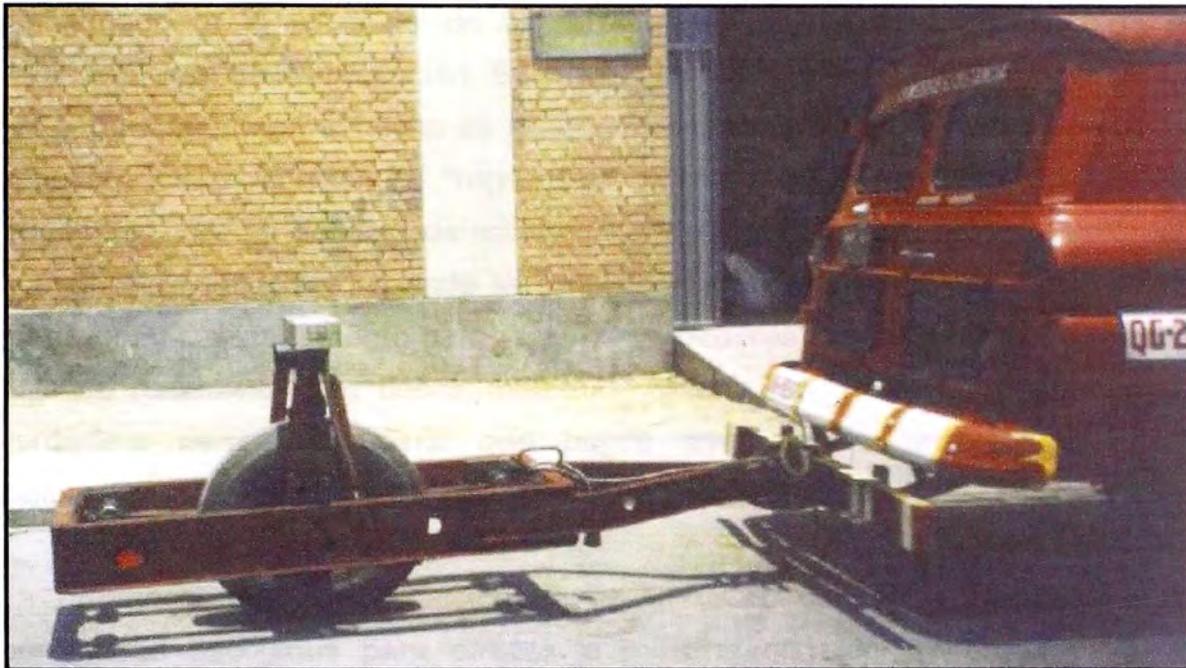
2.2. Desarrollo de los Sistemas Tipo Respuesta

Desde la década de 1940, los ingenieros a cargo del diseño y/o evaluación de aeronaves y vehículos militares, en el afán de obtener un perfil con métodos convencionales de superficie y convertirlos dentro de una forma compatible con los métodos computacionales de ese entonces (computadores analógicos), estuvieron muy lejos en considerar el uso de la simulación vehicular en la evaluación de la rugosidad de vías, pero dadas las consecuencias terribles en fallas de aeronaves mientras atravesaban las pistas de aterrizaje o de un vehículo militar mientras atravesaba un terreno rugoso, el esfuerzo en la realización de simulaciones se justificaba para estas aplicaciones.

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

En ese entonces, el más conocido sistema de medida de rugosidad fue el BPR rugosímetro RTRRMS. A finales de 1960, ambos MDOT y K.J. Law desarrollan el "equivalente" electrónico del BPR rugosímetro, el cual emplea una simulación de vehículo usando una computadora análoga. Ya que el BPR rugosímetro tiene solo una llanta, este vehículo de simulación fue llamado un BPR rugosímetro de simulación de un cuarto de carro (BPR/QCS). El BPR/QCS usado por MDOT y K.J. Law tiene ecuaciones idénticas en su forma aun modelo matemático usado para caracterizar varios sistemas dinámicos siendo esta la primera aplicación de este modelo para cuantificar la rugosidad de la vía.

FIGURA N° 2.02. Sistema tipo respuesta BPR/QCS



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

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

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

Durante fines de la década 1970, grandes proyectos de investigación (NCHRP, Programa Nacional de Cooperación para la Investigación de Carreteras) fueron asumidos por el Instituto de investigación del transporte de la Universidad de Michigan (UMTRI) con los siguientes fines:

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

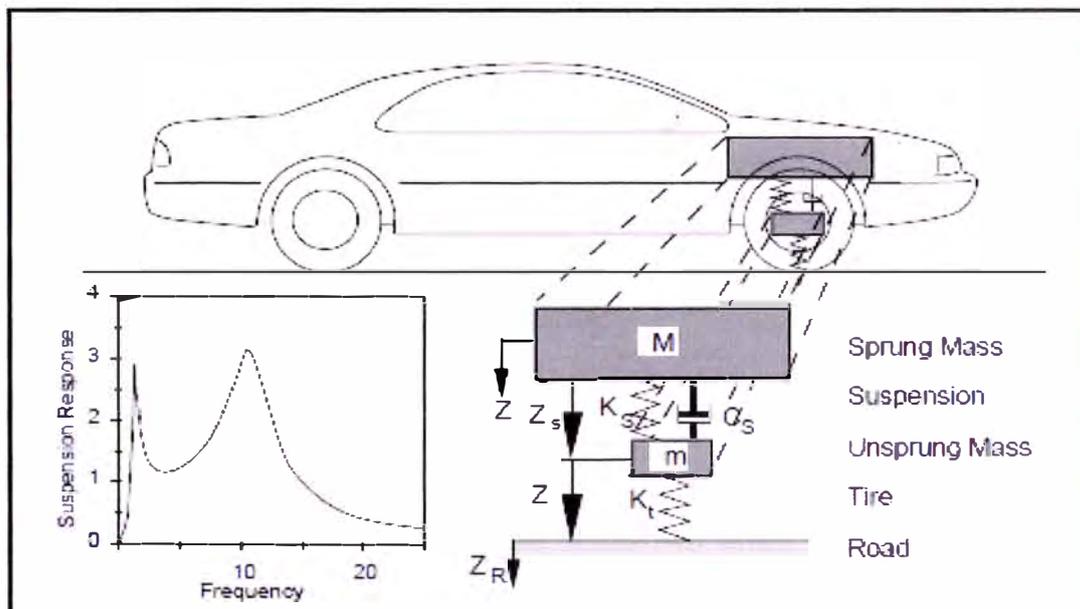
La investigación incluyó extensos muestreos del RTRRMS en un laboratorio ambientado, a lo largo de un análisis teórico formal de los conceptos de RTRRMS y su instrumentación. Se hizo evidente que la principal fuente de los problemas radica en el hecho de que los instrumentos fueron inventados sin un concepto claro de que es "rugosidad" o como debe medirse. En cambio, "rugosidad", se ha definido de manera bastante aproximada como: "cualquiera que el RTRRMS mide". Desde la calibración, requiere la comparación de las mediciones del instrumento para valores "verdaderos" de las variables medidas, esto es necesario para definir matemáticamente, un aspecto mensurable del verdadero perfil longitudinal que puede servir como una referencia de calibración.

La referencia que fue seleccionada es el QCS, con el nuevo modelo de parámetros escogidos para ofrecer la máxima correlación con el existente RTRRMS. En adición a un nuevo conjunto de parámetros, el QCS fue "actualizado" para la simulación de medio-carro, debido a que casi todos los RTRRMS usado en los Estados Unidos son basados en vehículos de doble vía (carro de pasajeros y dos-coches vagones). Se encontró que la forma en que un neumático "envuelve" pequeñas protuberancias de la vía, tenía una influencia crítica en la QCS cuando se utilizó para simular las velocidades bajas. En consecuencia, este efecto fue añadido al modelo cuando la simulación se desarrollo para velocidades bajas. El RQCS (Simulación del cuarto carro de referencia) descrito en aquel reporte es cercanamente idéntico al NCHRP de referencia, diferenciándolo solo en el parámetro del efecto de la "rueda envuelta", el cual fue cambiado en consecuencia de 1 pie (300mm) a 250 mm. para simplificar los requerimientos de medición para método de vara y nivel.

El reporte 228 del Programa Nacional de Cooperación para la Investigación de Carreteras (NCHRP, National Cooperative Highway Research Program) recomienda una rugosidad estadística llamada "referencia promedio rectificada de velocidad" (RARV, referente average rectified velocity) el cual es usado cuando comparan medidas por RTRRMS en mas de una medida de velocidad. El otro estadista asociado con el RQCS es llamado "referencia promedio de pendiente rectificada" (RARS, reference average rectified slope). El RARS numérico obtenido con una simulación a velocidad de 80 Km./h (RARS 80) es

seleccionado en este reporte como mejor elección para un Índice Internacional de Rugosidad. Mucho de los resultados obtenidos con el RQCS son reportados como valores RARS.

FIGURA N° 2.03. RTRRMS Modelo Matemático



Fuente: Pequeño Libro sobre Perfiles

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

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

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

2.3. Equipos existentes para la medición de la Rugosidad

Existen diferentes equipos para medir el perfil longitudinal del camino y así determinar la regularidad superficial, los cuales han venido evolucionando en el tiempo, variando unos de otros en la precisión y rapidez para la obtención de los resultados.

2.3.1. Nivel y mira topográfica

Es la manera más conocida para la medición del perfil longitudinal. El equipo consiste en una mira de precisión, graduada con unidades convenientes de elevación (típicamente divisiones de cm o pies), y un nivel topográfico empleado para establecer el dato de la línea horizontal.

2.3.2. Dipstick

El Dipstick consiste en un inclinómetro sostenido entre dos apoyos separados por 300 mm ó 250 mm (dependiendo de las unidades de análisis, los apoyos pueden separarse 12 pulgadas), los cuales registran la elevación de un apoyo relativo a la elevación del otro.

FIGURA N° 2.04. Dipstick



Fuente: Unidad de Investigación y Desarrollo vial – El Salvador

2.3.3. Perfilografos

Los perfilógrafos tienen una rueda sensible, montada al centro del marco para mantener el movimiento vertical libre. La desviación de un plano de referencia, establecido por el marco del perfilógrafo, se registra (automáticamente en algunos modelos) en papel según el movimiento de la rueda sensible. Se pueden encontrar en una gran variedad de formas, configuraciones y marcas.

FIGURA N° 2.05. Perfilografo

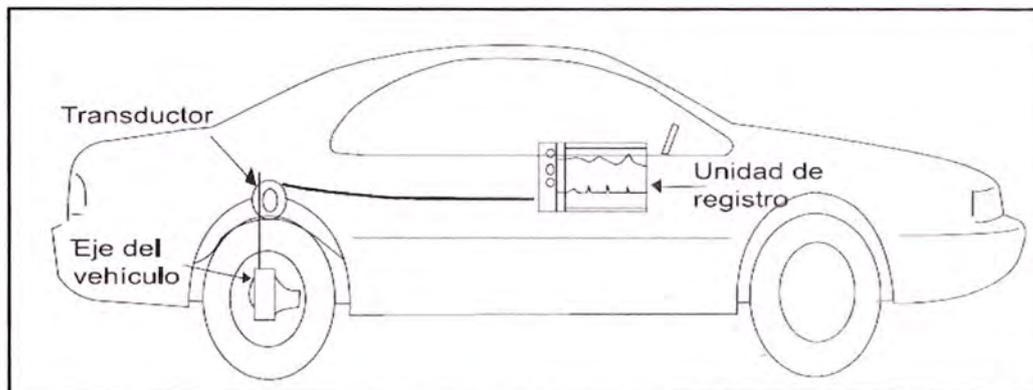


Fuente: Unidad de Investigación y Desarrollo vial – El Salvador

2.3.4. Equipos Tipo Respuesta (RTRRMS)

Los equipos RTRRMS operan a la velocidad normal de circulación de una carretera. Miden los movimientos verticales del eje trasero del automóvil o el eje del remolque respecto al marco del vehículo. De esta manera el equipo mide la respuesta (rebote) del vehículo a la regularidad del camino, por lo que no es realmente una medida verdadera de la lisura de la superficie.

FIGURA N° 2.06. Componentes de equipos tipo respuesta

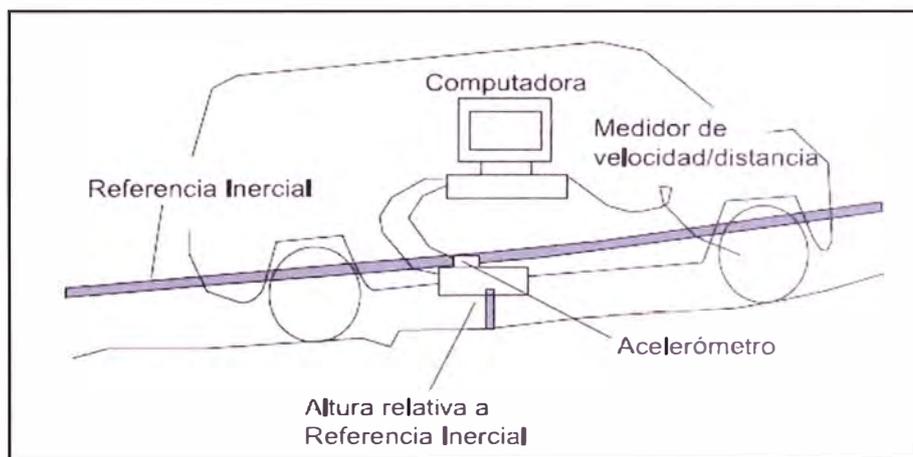


Fuente: Unidad de Investigación y Desarrollo vial – El Salvador

2.3.5. Perfilometro Inercial

Los equipos RTRRMS operan a la velocidad normal de circulación de una carretera. Miden los movimientos verticales del eje trasero del automóvil o el eje del remolque respecto al marco del vehículo. De esta manera el equipo mide la respuesta (rebote) del vehículo a la regularidad del camino, por lo que no es realmente una medida verdadera de la lisura de la superficie.

FIGURA N° 2.07. Componentes de equipos con referencia inercial



Fuente: Unidad de Investigación y Desarrollo vial – El Salvador

En el cuadro N° 2.01, se resumen las principales características de los equipos utilizados para la medición de la regularidad superficial.

Cuadro N° 2.01. Características en equipos de medición de Rugosidad

Equipo	Grado de precisión	Implementación	Complejidad del equipo	Observaciones
Nivel y Mira Topográfica	Muy alto	Mediciones de perfil y calibración de equipos más complejos	Simple	Poco practico y costos muy elevados para proyectos largos
Dipstick	Muy alto	Mediciones de perfil y calibración de equipos mas complejos	Muy Simple	Poco práctico y costos muy elevador para proyectos largos
Perfilografos	Medio	Control de calidad y recepción de obras	Simple	No son prácticos para evaluar la condición a nivel de la red
Equipos tipo Respuesta (RTRRMS)	Medio	Monitoreo de carreteras a nivel de la red	Compleja	Los resultados no son transportables ni estables en el tiempo, pues dependen de la dinámica particular del movimiento del vehículo.
Perfilografo Inercial	Muy alto	Monitoreo de carreteras a nivel de red y recepción de proyectos viales	Muy compleja	Equipo de alta precisión, cuyos resultados son transportables y estables en el tiempo. Su principal uso es la evaluación de redes viales grandes

Fuente: Unidad de Investigación y Desarrollo vial – El Salvador

CAPITULO III: MARCO TEORICO

3.1. Evaluación Superficial

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

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

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

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

Cuadro N° 3.01. Estado Superficial en función del IRI

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

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

3.2. Rugosidad

Según la definición de la ASTM-E867, describe a la rugosidad como "Las desviaciones de una superficie del pavimento de una superficie plana con ciertas dimensiones características que afectan la dinámica del vehículo, la calidad de conducción, las cargas dinámicas y el drenaje, por ejemplo, perfil longitudinal, perfil transversal, y la pendiente transversal. "

Esto incluye los factores que contribuyen a la rugosidad del camino. Sin embargo, no proporciona una definición cuantitativa o escala estándar de la aspereza. También es muy amplio, incluyendo cualidades tales como el drenaje y la calidad de conducción que generalmente no tienen relación entre sí.

3.2.1. Métodos para la medición de la Rugosidad

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

MÉTODOS CLASE 1.- Involucran el uso de perfilómetros de precisión, representan los altos estándares de precisión. Se realizan medidas muy exactas del perfil longitudinal a distancias no mayores a 25 cm y cotas con una precisión de 0.5mm.

MÉTODOS CLASE 2.- Esta clase incluye todos los otros métodos perfilométricos, en los cuales el perfil es medido como la base para el cómputo

directo del IRI, pero el cual no es capaz de alcanzar la precisión requerida en la clase 1.

MÉTODO CLASE 3.- Estos métodos también llamados tipo respuesta, involucran ecuaciones de correlación para convertir data de campo a unidades internacionales de medición de rugosidad. Usualmente emplean rugosímetros dinámicos. La precisión depende de la calibración.

MÉTODOS CLASE 4.- Hay situaciones en las que se requieren datos de rugosidad sin necesidad de una gran precisión o simplemente no es posible obtener datos precisos; Sin embargo se hace deseable relacionar las medidas a la escala del IRI. En tales casos se puede recurrir a una evaluación subjetiva, ya sea mediante experiencia previa recorriendo caminos o basándose en una inspección visual.

3.3. Índice de Rugosidad Internacional (IRI)

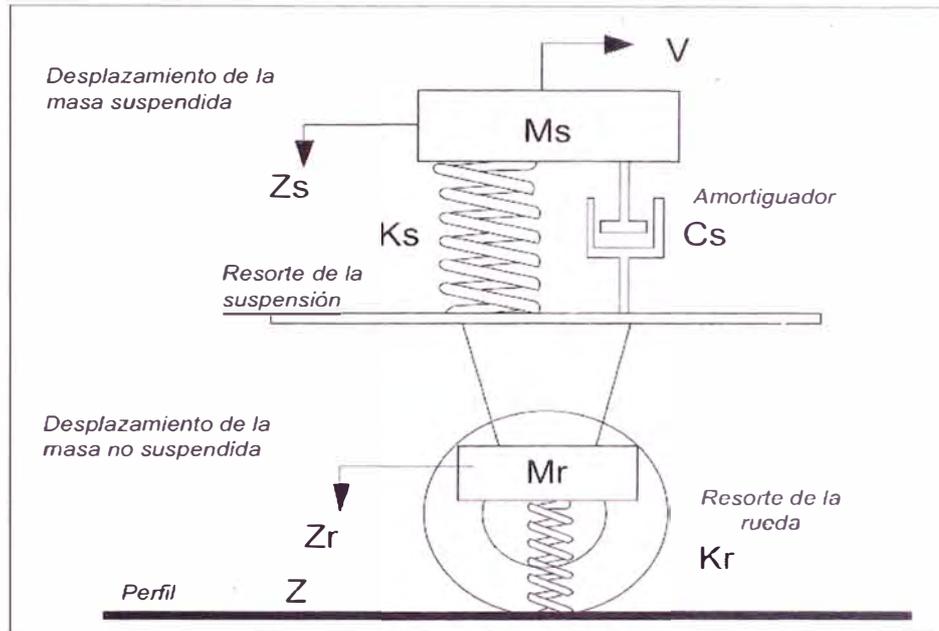
Para establecer criterios de calidad y comportamiento de los pavimentos que indicaran las condiciones actuales y futuras del estado superficial de un camino, surgió la necesidad de establecer un índice que permitiera evaluar las deformaciones verticales de un camino, que afectan la dinámica de los vehículos que transitan sobre él. Se trató de unificar los criterios de evaluación con los equipos de medición de rugosidad a nivel mundial, tales como los perfilómetros o los equipos de tipo respuesta, y que de alguna manera sustituyera el método de la AASHO, ahora AASHTO, que permite calificar la condición superficial de un camino solo en forma subjetiva.

El Índice Internacional de Rugosidad, mejor conocido como IRI (International Roughness Index), fue propuesto por el Banco Mundial en 1986 como un estándar estadístico de la rugosidad y sirve como parámetro de referencia en la medición de la calidad de rodadura de un camino. El Índice Internacional de Rugosidad tiene sus orígenes en un programa Norteamericano llamado National Cooperative Highway Research Program (NCHRP) y está basado en un modelo llamado "Golden Car" descrito en el reporte 228 del NCHRP.

El cálculo matemático del Índice Internacional de Rugosidad está basado en la acumulación de desplazamientos en valor absoluto, de la masa superior con respecto a la masa inferior (en milímetros, metros o pulgadas) de un modelo de

vehículo (cuarto de carro, Figura 3.01), dividido entre la distancia recorrida sobre un camino (en m, km. o millas) que se produce por los movimientos al vehículo, cuando éste viaja a una velocidad de 80 km/hr. El IRI se expresa en unidades de mm/m, m/km, in/mi, etc.

FIGURA Nº 3.01. Representación grafica del modelo "Cuarto de Carro"



Fuente: Adaptado de Instituto Mexicano del Transporte

El modelo de simulación consta de una masa "amortiguada o suspendida" (masa de un cuarto de carro ideal) conectada a una masa "no amortiguada" (eje y neumático), a través de un resorte y un amortiguador lineal (suspensión), y por último el neumático es representado por otro resorte lineal.

El modelo de cuarto de carro emplea los parámetros de lo que se ha denominado como el Carro de Oro, los cuales se muestran a continuación:

$$k_1 = \frac{k_r}{M_s} = 653 \quad k_2 = \frac{k_s}{M_s} = 63.3$$

$$c = \frac{c_s}{M_s} = 6 \quad \mu = \frac{M_r}{M_s} = 0.15$$

Donde

k_s : constante del resorte de la suspensión

k_r : constante del resorte de la rueda

M_s : masa suspendida

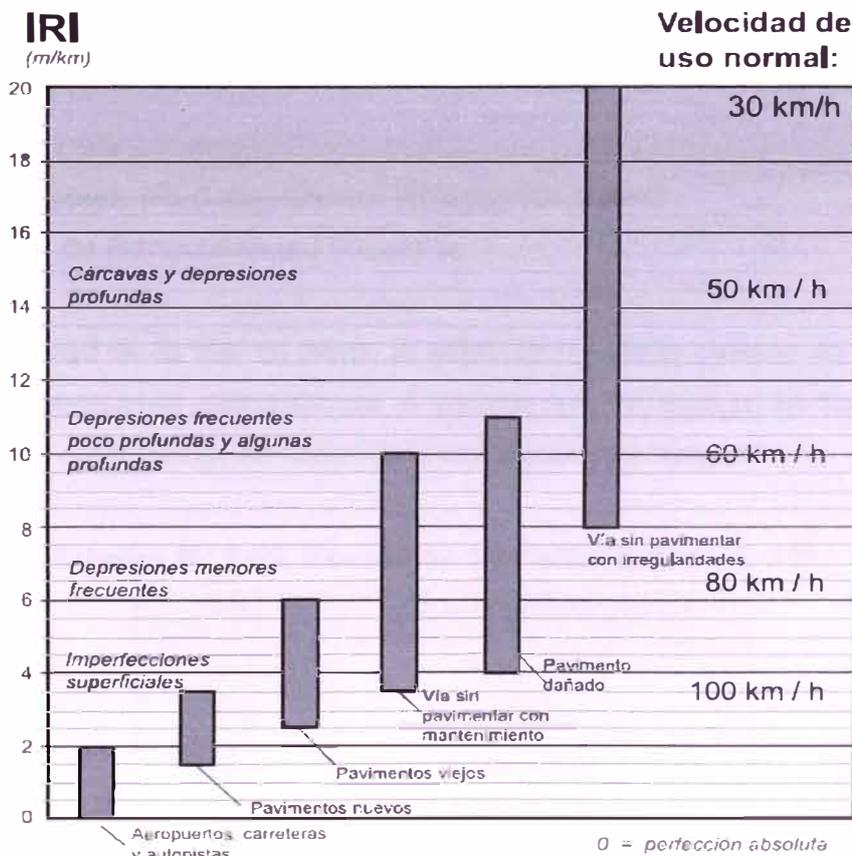
M_r : masa no suspendida

c_s : amortiguador

Las ecuaciones dinámicas presentes en el modelo, forman un sistema de ecuaciones que utilizan como dato de entrada el perfil de la carretera (en la parte inferior del "resorte del neumático"). El movimiento vertical del eje respecto a la masa suspendida, se calcula y acumula. El valor en m/km (metros acumulados por kilómetro viajado) es la medida final de la regularidad del camino.

A partir del estudio realizado por el Banco Mundial, se propuso una escala de medición de la regularidad superficial para diferentes tipos de vías (Figura N° 3.02).

FIGURA N° 3.02. Escala estándar del IRI



Fuente: Banco mundial

Para caminos pavimentados, el rango de la escala del IRI es de 0 a 12 m/km, donde 0 representa una superficie perfectamente uniforme y 12 un camino intransitable; para vías no pavimentadas la escala se extiende hasta el valor de 20. El perfil real de una carretera recién construida tiene un estado cero, pero se define por su IRI inicial mayor a cero, debido principalmente a que alcanzar valores de IRI = 0 es sumamente difícil desde el punto de vista constructivo. Una vez puesta en servicio, la regularidad del pavimento se modifica lentamente en función del paso del tránsito.

3.4. Relación entre el IRI y PSI

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

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

Donde:

R : Rugosidad, IRI (International Roughness Index)

PSI : Índice de Serviciabilidad Presente

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

Cuadro N° 3.02. Escala de Transitabilidad vs. PSI

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

Fuente: Evaluación de la Rugosidad en mas de 3000 Km. de pavimentos en el Perú

CAPITULO IV: APLICACION AL TRAMO KM. 112+000 – KM. 114+000

4.1. Recopilación de Datos de Campo

La recopilación de datos se efectúa en el tramo comprendido entre los Km. 112+000 al Km. 114+000, correspondientes al eje ubicado entre los poblados de Calachota y Magdalena

4.1.1. Equipo tipo Respuesta Bump Integrator

El Rugosímetro Electrónico Bump-Integrator Tipo UNI (REBITU), es un equipo diseñado para medir la rugosidad de pavimentos y está conformado por un adquirente de datos y un sensor de desplazamiento.

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

Especificaciones técnicas del adquirente de datos

Protocolo de comunicación:	Serial
Indicadores luminosos:	Alimentación, Cargador de batería
Dimensiones:	12.5*15.9*7 cm
Peso:	824 gr.
Alimentación:	12 VDC
Numero de sensores:	1 Sensores
Teclado	4*4
Display LCD	2*24

Especificaciones técnicas – Sensor de Distancia

Tipo de sensor:	Mecánico - Encoder
Precisión:	0.9 mm
Rango de medida:	20 cm

Velocidad Máxima de rotación:	300 RPM
Alimentación:	5 VDC
Salida:	Tren de pulsos onda cuadrada
Dimensiones	19.5*19.7*9.5 cm
Peso	2014 gr.
Rango de temperatura:	-40 a +85 °C

FIGURA N° 4.01. Equipo Bump Integrator



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

Características de la Prueba

La prueba se realizó utilizando la camioneta la Facultad de Ingeniería Civil, los tramos de evaluación son de 400 metros, se marco puntos al inicio y final para poder iniciar y terminar la toma de datos. Los recorridos efectuados son de ida y vuelta en los tramos seleccionados y la velocidad promedio fue de 40 Km./h.

El rugosímetro es calibrado comparándolo con la rugosidad obtenida por métodos patrón, como el de la Nivelación Topográfica.

Se eligió secciones de calibración que presenten una condición favorable, y que puedan permitir las formulas de correlación entre las mediciones del REBITU y el método patrón. De esta forma poder obtener el factor de correlación entre las medidas obtenidas por el REBITU y el IRI de la carretera.

FIGURA N° 4.02. Selección de Tramos de Evaluación



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

4.1.2. Reconocimiento de Campo del Tramo Km. 112+000 al Km. 114+000

El tramo en evaluación, perteneciente al eje comprendido entre el poblado Calachota (Km. 106+845) y Puente Aucco (114+605), presenta un ancho de vía que varia entre los 3.50m a 4.00m, con un desarrollo sinusoidal a lo largo del tramo.

Tratamiento superficial

El tramo en evaluación presenta como cambio de estándar, tratamiento superficial a nivel de monocapa.

Infraestructura vial observada

Para el tramo evaluado se ha inventariado los siguientes elementos de vía, a tener en cuenta, pues son puntos en los cuales las mediciones pueden presentar distorsiones.

**Cuadro N° 4.01. Infraestructura vial
 Km. 112+000 al Km. 114+000**

Progr.	Tipo	Longitud / Diámetro	Observación	Fotografía
112+675	Alcantarilla	Ø 48"	De concreto, en buen estado de conservación	
113+000	Giba	4.00 m	De asfalto, desgaste leve. Funcional. Pintado.	
113+345	Alcantarilla	Ø 48"	De concreto, en buen estado de conservación	
113+710	Alcantarilla	Ø 48"	De concreto, en buen estado de conservación	

Fuente: Auditoria vial MTC

4.1.3. Datos obtenidos con Equipo Bump Integrator

Para la toma de datos en el tramo evaluado, se procede a la selección de secciones de evaluación en subtramos de 400m, los cuales presentan las condiciones necesarias para la correcta lectura del equipo:

- Tramos rectos de 400m,
- Velocidad de evaluación para cada tramo de 40 Km./hr

Con este propósito, y luego de haber realizado el reconocimiento de la infraestructura vial, y los posibles puntos desfavorables, se han elegido los subtramos siguientes:

Cuadro N° 4.02. Secciones de Evaluación

Subtramo	Progresiva Inicial	Progresiva Final
1	112 + 000	112 + 400
2	112 + 400	112 + 800
3	113 + 000	113 + 400
4	113 + 600	114 + 000

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

Las mediciones así obtenidas, en tramos de 400m que permiten desarrollar una velocidad de 40Km./hr, son realizadas en dos repeticiones para cada subtramo, en sentido de ida y vuelta.

Cuadro N° 4.03. Datos obtenidos Bump Integrator (BI)

Progresivas	1ra. Medición		2da. Medición	
	Ida	Retorno	Ida	Retorno
De 112 + 000 al 112 + 400	1109	1011	1096	1066
De 112 + 400 al 112 + 800	1277	1292	1327	1320
De 113 + 000 al 113 + 400	1275	1224	1247	1268
De 113 + 600 al 114 + 000	1013	929	1003	942

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

4.2. Calibración del Equipo

De acuerdo a las mediciones tomadas de campo, con equipo clase II MERLIN (Cuadro N° 4.04) se obtiene los valores de IRI para cada tramo. Luego se procede con graficar la relación IRI vs. BI, para obtener la ecuación de calibración.

4.2.1. Relación de IRI vs. BI

De las mediciones de campo, realizadas con Merlín, se obtiene los valores de IRI para las secciones elegidas, según progresivas:

Cuadro N° 4.04. Evaluación del IRI (Merlín)

Progresiva	CD	CI	IRI Prom. Merlín (m/Km)
110+200 - 110+600	5.25	5.27	5.26
110+900 - 111+300	4.61	3.67	4.14
112+000 - 112+400	4.38	4.99	4.69
113+600 - 114+000	4.50	4.59	4.55
114+800 - 115+200	5.20	5.30	5.25
115+600 - 116+000	4.13	4.37	4.25
116+300 - 116+700	4.44	3.29	3.87
117+400 - 117+800	4.69	3.67	4.18
118+000 - 118+400	5.55	5.28	5.42
118+400 - 118+800	6.80	5.28	6.04

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

Donde:

CD = Carril derecho

CI = Carril izquierdo

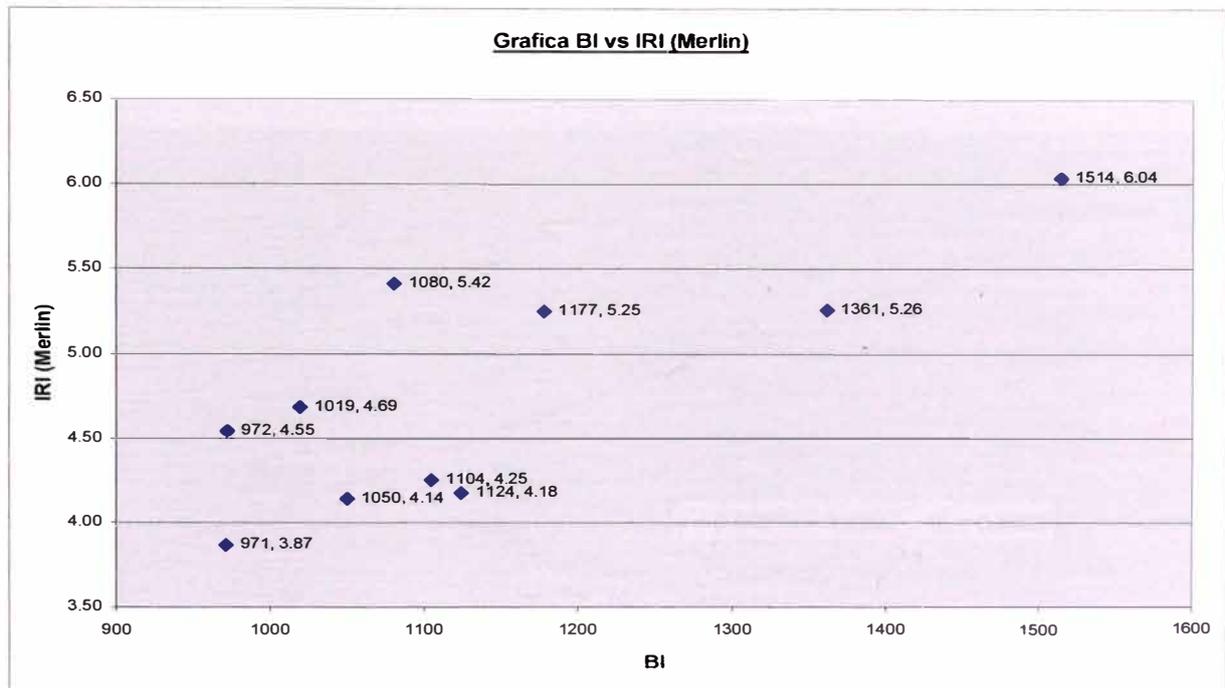
Igualmente, con los valores de BI que se obtienen en las mediciones con equipo Bump Integrator, se resume en el siguiente cuadro.

Cuadro N° 4.05. Valores de BI obtenidos de campo

Tramo	CD	CD	CI	CI	BI Prom.
110+200 - 110+600	1343	1437	1305	1360	1361
110+900 - 111+300	1028	1045	1110	1017	1050
112+000 - 112+400	1109	1096	929	942	1019
113+600 - 114+000	1013	1003	929	942	972
114+800 - 115+200	1189	1187	1177	1154	1177
115+600 - 116+000	1085	1085	1149	1096	1104
116+300 - 116+700	930	997	1001	957	971
117+400 - 117+800	1084	1158	1156	1096	1124
118+000 - 118+400	1286	1314	869	849	1080
118+400 - 118+800	1527	1532	1485	1510	1514

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

FIGURA N° 4.03. Grafica BI vs IRI



Fuente: Elaboración propia

De la Figura N° 4.03, se observa que existe una gran dispersión en los valores de BI vs. IRI (Merlín) obtenidos en el tramo Km. 110+000 al Km. 120+000. Luego, se procederá a evaluar la ecuación de regresión.

Ecuación de Regresión

De los cuadros N° 4.04 y N° 4.05 y del análisis por el método de “mínimos cuadrados” se obtiene la ecuación de regresión de la forma $Y = a + bx$, la cual deberá mostrar la tendencia lineal entre los valores de BI vs. IRI.

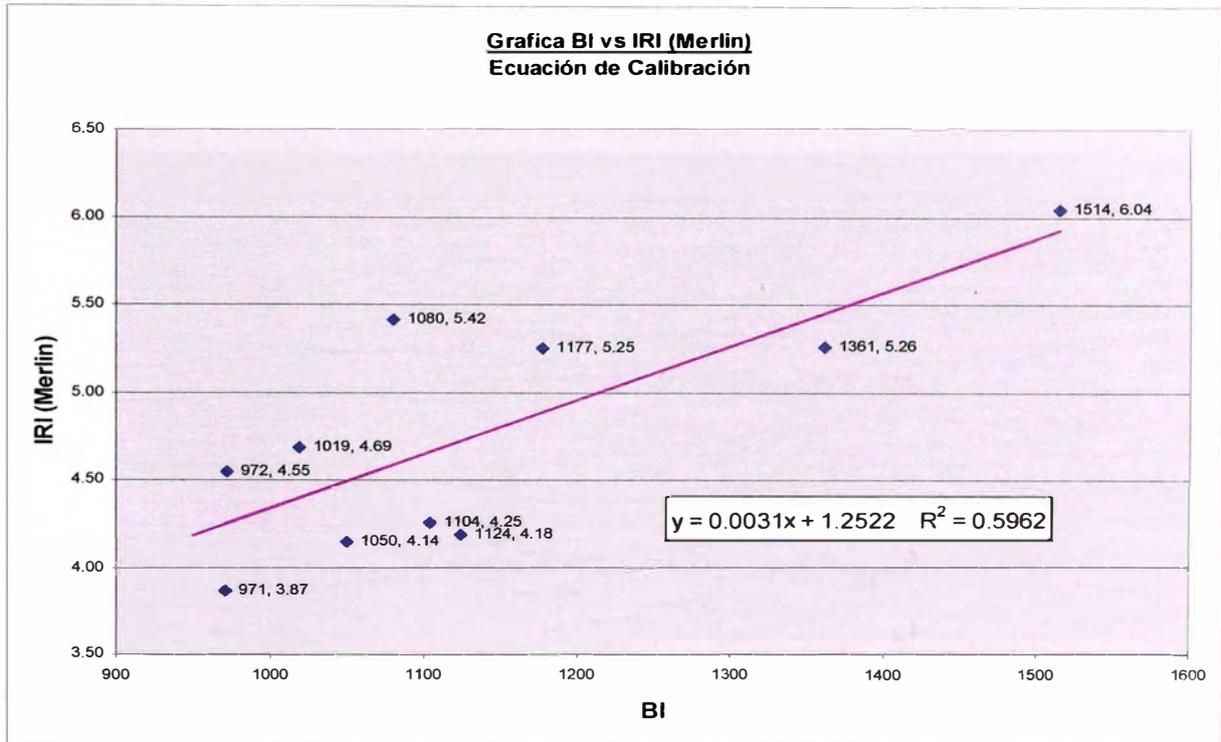
Ecuación: $y = a + bx$
 $(IRI) = a + b*(BI)$

De la evaluación obtenemos: $b = 0.003$; $a = 1.252$; $r^2 = 0.596$

Donde, r^2 : Factor de correlación

Luego, $(IRI) = 0.003*(BI) + 1.252 \dots\dots\dots (1)$

FIGURA N° 4.04. Recta BI vs IRI (Merlín)



Fuente: Elaboración propia

De la Figura N° 4.04 se observa que la curva presenta un factor de correlación R2 de 0.596, el cual indica que los valores de la grafica mantiene una baja correlación.

4.2.2. Ecuación de Correlación

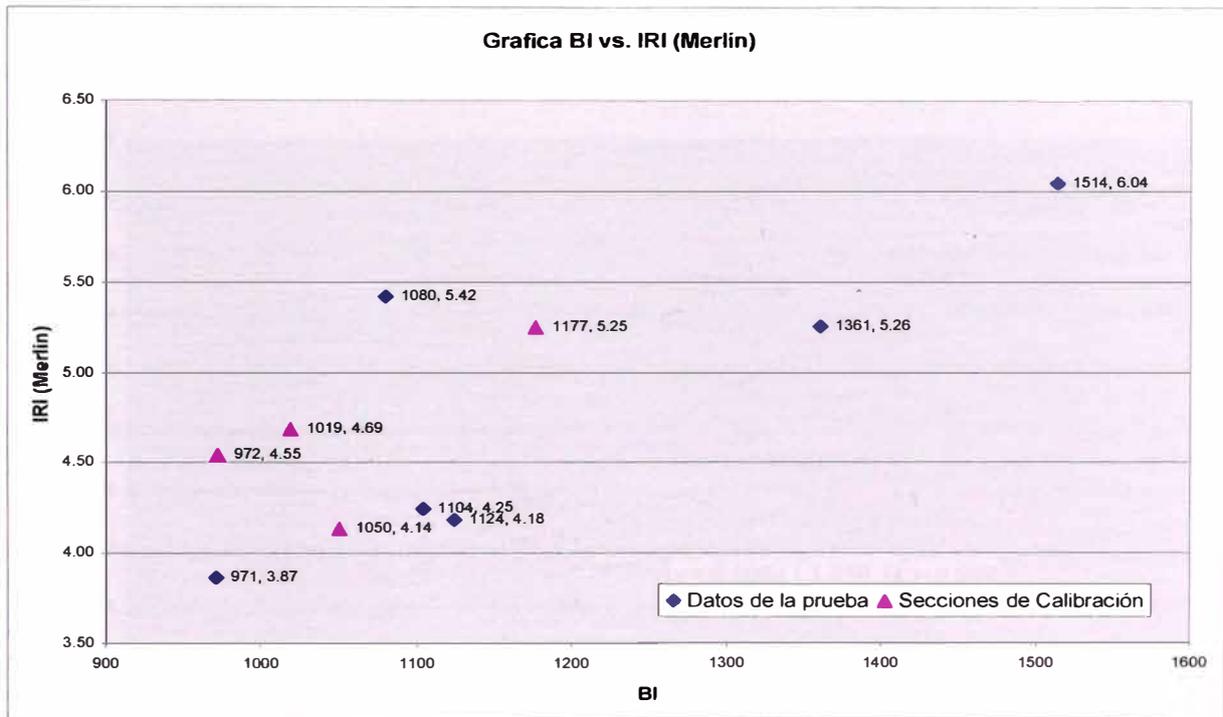
Para poder obtener la mejor correlación entre los valores de BI vs. IRI (Merlín), se toma como secciones de calibración los tramos indicados en el Cuadro N° 4.06.

Cuadro N° 4.06. Secciones de Calibración

Sección	Progresiva Inicial	Progresiva Final	BI Prom.	IRI Prom. (m/Km.)
Sector 1	110+900	111+300	1050	4.14
Sector 2	112+000	112+400	1019	4.69
Sector 3	113+600	114+000	972	4.55
Sector 4	114+800	115+200	1177	5.25

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

**FIGURA N° 4.05. Grafica BI vs. IRI (Merlín)
Secciones de Calibración**



Fuente: Elaboración propia

De la Figura N° 4.05 se observa que el punto correspondiente al sector 1, subtramo Km. 110+900 al Km. 111+300, desvirtúa la relación entre los valores de BI vs. IRI (Merlín), por lo cual se procede a eliminar de las secciones de calibración.

Luego, del Cuadro N° 4.06 y del análisis por el método de “mínimos cuadrados” se obtiene la ecuación de regresión de la forma $y = a + bx$

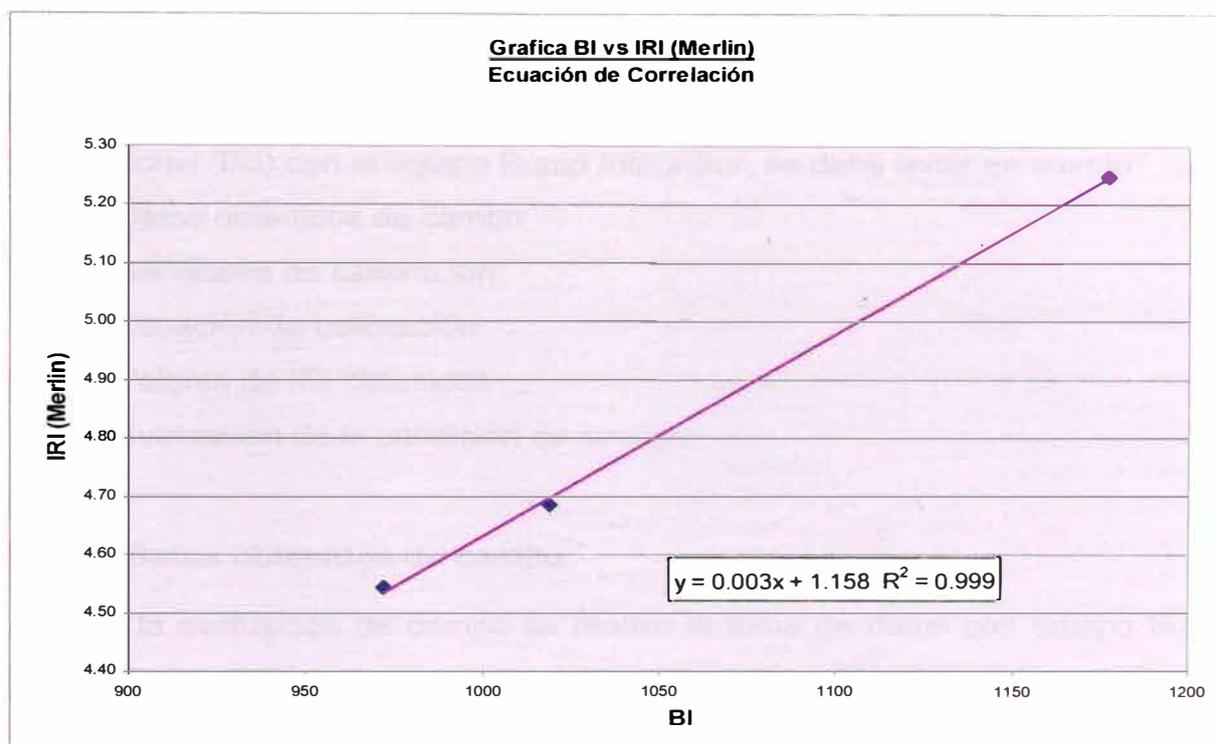
Ecuación: $y = a + bx$
 $(IRI) = a + b \cdot (BI)$

De la evaluación se obtiene: $b = 0.003$; $a = 1.158$; $r^2 = 0.999$

Donde, r^2 : Factor de correlación

Luego, $(IRI) = 0.003 \cdot (BI) + 1.158 \dots\dots\dots (2)$

FIGURA N° 4.06. Grafica BI vs. IRI (Merlín)
Ecuación de Correlación



Fuente: Elaboración propia

De la Figura N° 4.06 y de acuerdo al valor de R^2 , se observa que la recta de regresión lineal representa la mejor relación entre los valores de BI vs. IRI.

Por otro lado las ecuaciones de regresión (1) y (2) presentan pendientes cercanas, lo que indica que ambas rectas representan correctamente la relación entre BI vs. IRI (Merlín).

Para el caso de la ecuación (2) el valor de "a" (1.158 m/Km.), representa físicamente, el estado ideal de pavimento.

Cuadro N° 4.07. Valores IRI obtenidos con Equipo Bump Integrator

Progresiva Inicial	Progresiva Final	BI Promedio	IRI (m/Km.)
112+000	112+400	1019	4.76
112+400	112+800	1274	5.55
113+000	113+400	1284	5.58
113+600	114+000	972	4.61

Fuente: Elaboración Propia

CAPITULO V: ANALISIS DE RESULTADOS

Para el análisis de los resultados en la determinación del índice de Rugosidad Internacional (IRI) con el equipo Bump Integrator, se debe tener en cuenta:

- Datos obtenidos de campo
- Secciones de calibración
- Ecuación de calibración
- Valores de IRI obtenidos
- Evaluación de la condición de servicio

5.1. Datos obtenidos de campo

Durante la evaluación de campo se realizó la toma de datos con equipo Bump Integrator, para el tramo comprendido entre el Km. 110+000 al Km. 120+000. Estos datos se muestran en el Cuadro N° 5.01.

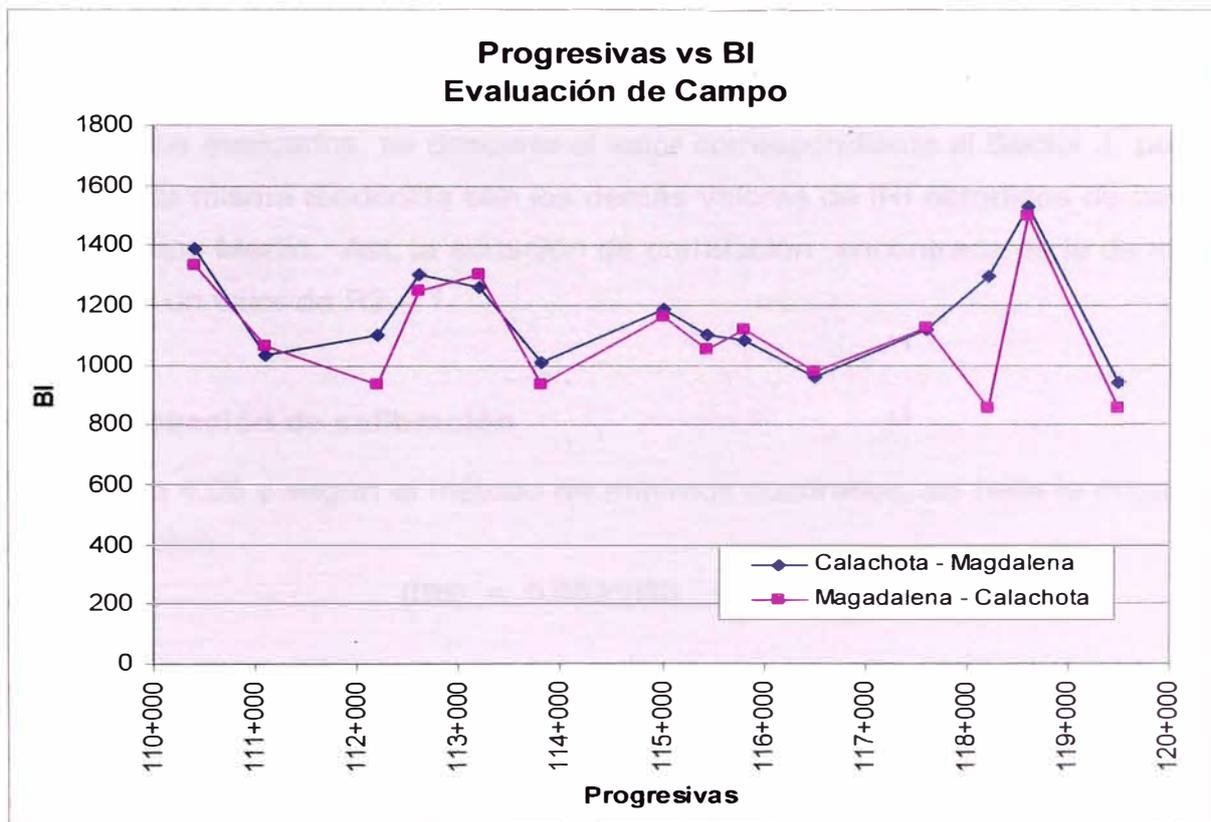
Cuadro N° 5.01. Datos de campo con equipo Bump Integrator

Progresiva Inicial	Progresiva Final	CD Prom.	CI Prom.	BI Prom.
110+200	110+600	1390	1333	1361
110+900	111+300	1037	1064	1050
112+000	112+400	1103	936	1019
112+400	112+800	1302	1246	1274
113+000	113+400	1261	1306	1284
113+600	114+000	1008	936	972
114+800	115+200	1188	1166	1177
115+230	115+630	1100	1056	1078
115+600	116+000	1085	1123	1104
116+300	116+700	964	979	971
117+400	117+800	1121	1126	1124
118+000	118+400	1300	859	1080
118+400	118+800	1530	1498	1514
119+300	119+700	944	859	901

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

Siendo las columnas de **CD Prom.** y **CI Prom.** las que representan el promedio de los valores obtenidos en campo para el carril derecho y carril izquierdo respectivamente, considerados en el recorrido con dirección desde el poblado Calachota hacia el poblado Magdalena.

FIGURA N° 5.01. Progresivas vs. BI



Fuente: Elaboración propia

De la Figura N° 5.01 se observa que los valores de BI de campo mantiene la misma tendencia para el carril derecho (sentido Calachota – Magdalena) como para el carril izquierdo (sentido Magdalena – Calachota), con la excepción del tramo comprendido entre el Km. 118+000 al Km. 118+400, el cual deberá ser excluido para el calculo del IRI del tramo. Además, dicho tramo no deberá ser considerado dentro de las secciones de calibración.

De esta manera se puede considerar que los valores de BI promedio, obtenidos de campo son representativos para el cálculo del IRI y para la obtención de la curva de calibración

5.2. Secciones de calibración

Para el cálculo de la ecuación de correlación se eligieron 4 secciones de calibración (Cuadro N° 4.06), de los valores tomados en campo, teniendo en consideración:

- Secciones en tramos adyacentes a la zona en evaluación (Km. 112+000 al Km. 114+000).
- Determinación del mejor factor de correlación R2 para los datos evaluados.

De los datos evaluados, se descarto el valor correspondiente al Sector 1, por no mantener la misma tendencia con los demás valores de IRI obtenidos de campo con el equipo Merlín. Así, la ecuación de correlación encontrada es la de mejor ajuste con un valor de R2 = 1.

5.3. Ecuación de calibración

Del cuadro 4.06 y según el método de mínimos cuadrados, se halla la ecuación de correlación

$$(IRI) = 0.003*(BI) + 1.158$$

Además, al obtener un coeficiente de correlación de 1.00, la ecuación de calibración muestra que los valores del IRI están relacionados directamente con los valores de BI, siendo esta ecuación la de mejor ajuste entre los valores de BI e IRI.

5.4. Valores de IRI obtenidos

Del Cuadro N° 4.06, se tiene los valores de IRI, determinados con la ecuación de calibración, para el tramo en estudio, Km. 112+000 al Km.114+000. Luego, se determina el IRI característico para dicho tramos, según:

$$IRI \text{ caract.} = IRI \text{ prom.} + 1.645\sigma \dots\dots\dots (3)$$

Donde:

IRI caract. = Índice de Rugosidad Internacional Característico

IRI prom = Índice de Rugosidad Internacional Promedio

σ = Desviación estándar de la muestra

Cuadro N° 5.02. Determinación del IRI característico

Progresiva Inicial	Progresiva Final	IRI (m/Km.)
112+000	112+400	4.70
112+400	112+800	5.58
113+000	113+400	5.62
113+600	114+000	4.53
Promedio		5.11
Desviación Estándar		0.57
IRI característico		6.05

Fuente: Elaboración propia

A continuación, de la ecuación (3) y con los valores del cuadro N° 5.02, se determina el IRI característico para el tramo en evaluación. De ello se obtiene el valor de 5.11 m/Km. como reflejo de la condición de la superficie del pavimento, lo que indica que dicho tramo esta en el rango Malo (Cuadro N° 3.01).

5.5. Evaluación de la condición de servicio

El Ministerio de Transportes y Comunicaciones, viene evaluando el seguimiento de la condición de los pavimentos, tanto estructural como funcional, y por ello elabora reportes periódicos de los cuales se ha podido extraer la variación de los valores de IRI desde Julio 2009.

Cuadro N° 5.03. Evaluación del IRI – Julio 2009

Progresiva Inicial	Progresiva Final	IRI (m/Km.)
112+100	112+500	4.71
113+300	113+700	4.52
114+900	115+300	4.73
Promedio		4.65
Desviación Estándar		0.11
IRI característico		4.84

Fuente: Reporte MTC

Del Cuadro N° 5.03, se ha determinado el valor de IRI característico, para la evaluación realizada en el mes de Julio 2009. Para ello se ha tomado el tramo comprendido entre las progresivas Km. 112+100 al 115+300, en el cual se puede notar que los valores de IRI mantienen una desviación baja y por ello el valor de IRI característico es representativo de la condición del pavimento en el tramo evaluado.

Cuadro N° 5.04. Evaluación del IRI – Marzo 2010

Progresiva Inicial	Progresiva Final	IRI (m/Km.)
111+500	111+900	4.91
111+900	112+300	4.74
112+300	112+700	5.99
112+700	113+100	5.91
Promedio		5.39
Desviación Estándar		0.65
IRI característico		6.46

Fuente: Reporte MTC

Para este año, de los reportes realizados por el MTC, se ha podido extraer el Cuadro N° 5.04, para el tramo comprendido entre las progresivas Km.111+500 al 113+100, y con la evaluación de los valores de IRI promedio y característico. De acuerdo a los cuadros mostrados y con los datos obtenidos de campo para la determinación del IRI, se tiene:

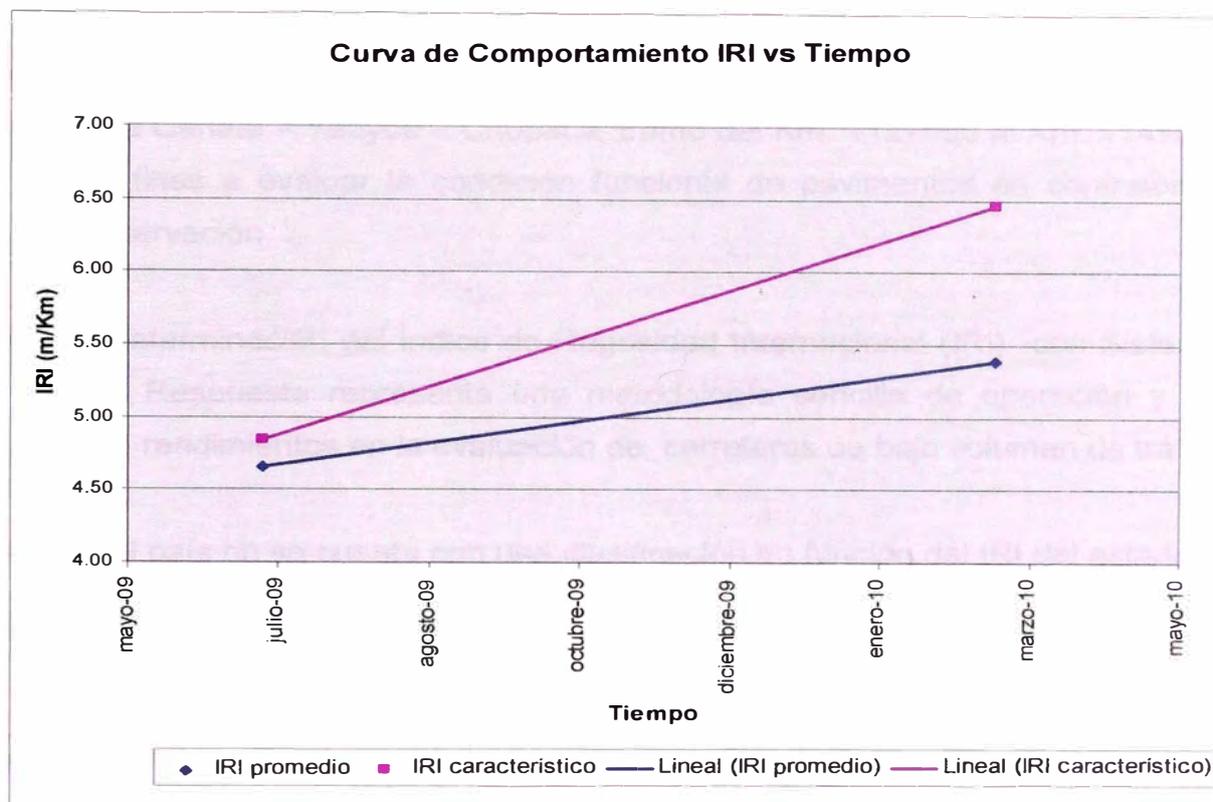
Cuadro N° 5.05. Evaluación del IRI (Jul. 2009 – Mar. 2010)

Evaluación	IRI (m/Km.) promedio	IRI (m/Km.) Característico
Julio-09	4.65	4.84
Marzo-10	5.39	6.46

Fuente: Elaboración propia

Del Cuadro N° 5.05, se grafica la curva de IRI vs Tiempo, del cual se puede visualizar gráficamente el comportamiento del pavimento en función del tiempo.

FIGURA N° 5.02. Comportamiento del IRI vs. Tiempo



Fuente: Elaboración propia

De la Figura N° 5.02, se procede a extrapolar los valores de IRI promedios y característico, en función de la recta lineal, considerando la misma pendiente y a partir de los valores obtenidos en la evaluación de Mayo 2010

Cuadro N° 5.06. Proyección del IRI (Marzo 2011)

Evaluación	IRI (m/Km.) promedio	IRI (m/Km.) Característico
Mayo-10	5.11	6.05
Diciembre -10	5.75	7.48
Marzo -11	6.02	8.09

Fuente: Elaboración propia

Del cuadro N° 5.06, se ha considerado la dependencia lineal entre los valores de IRI vs. el tiempo, para un periodo cercano a un año (julio 2009 a Marzo 2010) y que la decaída de la serviciabilidad del pavimento se replicara bajo las mismas condiciones climáticas y de tráfico, se puede decir, que el valor de IRI hacia marzo del año 2011 estará en el rango malo (mayor a 6.0 m/Km)

CONCLUSIONES

- El desarrollo del presente informe corresponde a la determinación del IRI en la vía Cañete – Yauyos – Chupaca, tramo del Km. 112+000 al Km. 114+000, con fines a evaluar la condición funcional de pavimentos en contratos de conservación.
- La determinación del Índice de Rugosidad Internacional (IRI) con Sistemas Tipo Respuesta representa una metodología sencilla de operación y con altos rendimientos en la evaluación de carreteras de bajo volumen de tráfico.
- En el país no se cuenta con una clasificación en función del IRI del estado de la superficie de pavimentos que considere los tratamientos superficiales Monocapa o Slurry Seal, aplicados en vías de bajo volumen de tráfico.
- El Índice internacional de Rugosidad constituye un parámetro importante en la evaluación de la infraestructura vial de un país.
- De los datos tomados en campo se determinó que el valor del IRI característico para el tramo evaluado, Km. 112+000 al 114+000, es de 5.11 m/Km., el cual corresponde a un pavimento con un estado de serviciabilidad en el rango malo (Cuadro N° 3.01).
- Para el periodo restante en el contrato de conservación, es necesario realizar el mantenimiento periódico de la vía evaluada, considerando que aun valores de IRI mayores a 6 (rango pésimo) mantienen un estado de serviciabilidad aceptable para vías de bajo volumen de tráfico.
- Del análisis realizado, se observa que para el periodo de 1 año, con un pavimento con tratamiento superficial monocapa y bajo las condiciones de tráfico en el tramo Catahuasi a Dv. Yauyos, la merma en el valor del IRI está en el rango de 1 m/Km.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda, continuar manteniendo el monitoreo de la vía, sectorizando los tramos con distinto tratamiento superficial, para obtener resultados que reflejen el estado real de la superficie del pavimento.
- Del análisis realizado, se recomienda programar el mantenimiento periódico del tramo evaluado, pues se ha observado una disminución en los parámetros de transitabilidad de la vía.
- Se recomienda contrastar los valores de IRI con la capacidad estructural del pavimento, para evaluar el estado integral de la vía.

BIBLIOGRAFÍA

1. Badilla Vargas, Gustavo. "Determinación de la regularidad superficial del pavimento, mediante el cálculo del Índice de Regularidad Internacional (IRI)". Unidad de investigación y Desarrollo Vial, El Salvador, 2005
2. Del Aguila, Pablo. "Experiencias y resultados obtenidos en la evaluación de la rugosidad de mas de 3000 Km. De pavimentos en el Perú y otros países", X Congreso Ibero Latinoamericano del Asfalto, Sevilla, España, 1999.
3. Gutiérrez Lázares, José Wilfredo, Modelación Geotécnica de Pavimentos Flexibles con fines de Análisis y Diseño en el Perú, Tesis para optar el Grado de Magíster en ciencias con Mención en Ingeniería Geotécnica, Perú, 2007.
4. Sayers, M. Steven M. Karamihas "The Little Book of Profiling", University of Michigan, 1998
5. Sayers, M. et al. "Guidelines for conducting and calibrating Road Roughness Measurements". Bank Technical Paper N°46. Washington D.C., 1986.
6. Sayers, M. et al. "The International Road Roughnes Experiment: establishing correlations and a calibration standard for measurements". Bank Technical Paper N°45. Washington D.C., 1986.
7. www.camineros.com
8. www.proviasnac.gob.pe

ANEXOS

ANEXO A1

CURVA DE AJUSTE, REGRESION Y CORRELACION

ANEXO A2

DATOS DE EVALUACION DE CAMPO CON EQUIPO MERLIN

ANEXO A3

PANEL FOTOGRAFICO

ANEXO A1 CURVA DE AJUSTE, REGRESION Y CORRELACION

CURVA DE AJUSTE

Muy a menudo en la práctica se encuentra que existe una relación entre dos o más variables, y se desea expresar esta relación en forma matemática determinando una ecuación que conecte las variables.

Del diagrama de dispersión es posible frecuentemente visualizar una curva que se aproxime a los datos. Dicha curva se llama curva de aproximación. En la Fig. a-1, por ejemplo, se observa que los datos se aproximan bien por una recta y decimos que existe una relación lineal entre las variables. Sin embargo, en la Fig. a-2 aunque existe una relación entre las variables ésta no es una relación lineal y por esto la llamamos relación no lineal. En la Fig. a-3 parece que no hay ninguna relación entre las variables.



Fig. a-1



Fig. a-2



Fig. a-3

El problema general de hallar ecuaciones de curvas de aproximación que se ajusten a conjuntos de datos dados se denomina curva de ajuste. En la práctica el tipo de ecuación se sugiere frecuentemente del diagrama de dispersión. Así para la Fig. a-1 podríamos utilizar una recta.

$$y = a + bx$$

Uno de los propósitos principales de la curva de ajuste es estimar una de las variables (la variable dependiente) de la otra (la variable independiente). El proceso de estimación se conoce como regresión.

METODO DE MINIMOS CUADRADOS

Generalmente, más de una curva de un tipo dado parece ajustar un conjunto de datos. Para evitar el juicio individual en la construcción de rectas, parábolas, u otras curvas de aproximación, es necesario obtener una definición de la "mejor recta de ajuste"; "mejor parábola de ajuste", etc.

Para motivar una posible definición considérese la Fig. a-4 en la cual los puntos de datos son (x_1, y_1) ..., (x_n, y_n) . Para un valor dado de x , por ejemplo x_1 , habrá una diferencia entre el valor de y_1 y el valor correspondiente determinado de la curva C . Denotamos esta diferencia por d_1 , que algunas veces se conoce como desviación, error, o residuo y puede ser positivo, negativo o cero. Análogamente, correspondiendo a los valores x_2, \dots, x_n obtenemos las desviaciones d_2, \dots, d_n .

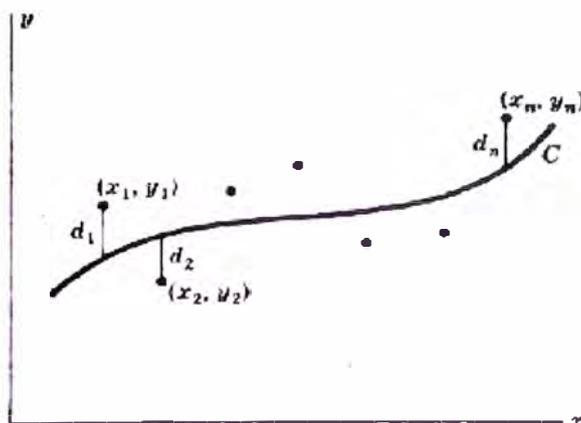


Fig. a-4

Una medida de la "bondad del ajuste" de la curva C al conjunto de datos la suministra la cantidad $d_1^2 + d_2^2 + \dots + d_n^2$. Si la suma es pequeña el ajuste es bueno si es grande el ajuste es malo. Por tanto tomamos la siguiente definición, "De todas las curvas de aproximación de un conjunto de puntos de datos dados, la curva que tenga la propiedad de, $d_1^2 + d_2^2 + \dots + d_n^2 =$ un mínimo, es la de mejor ajuste.

Una curva con esta propiedad se dice que ajusta los datos en el sentido de mínimos cuadrados y se llama curva de regresión de mínimos cuadrados o simplemente curva de mínimos cuadrados. Por tanto una recta con esta

propiedad se llama recta de mínimos cuadrados, una parábola con esta propiedad se llama parábola de mínimos cuadrados. etc.

RECTA DE MÍNIMOS CUADRADOS

Empleando la definición anterior podemos demostrar que la recta de mínimos cuadrados de aproximación al conjunto de datos $(x_1, y_1) \dots, (x_n, y_n)$ tiene la ecuación.

$$y = a + bx \dots\dots\dots (1)$$

De donde las constantes **a** y **b** se determina solucionando simultáneamente las ecuaciones,

$$\begin{aligned} \sum y &= an + b \sum x \\ \sum xy &= a \sum x + b \sum x^2 \end{aligned} \dots\dots (2)$$

Las ecuaciones en (2) son las que se conocen como **ecuaciones normales** para la recta de mínimos cuadrados. Luego, los valores de **a** y **b** obtenidos de resolver (2) están dados por.

$$a = \frac{(\sum y)(\sum x^2) - (\sum x)(\sum xy)}{n\sum x^2 - (\sum x)^2} \quad b = \frac{n\sum xy - (\sum x)(\sum y)}{n\sum x^2 - (\sum x)^2} \dots (3)$$

COEFICIENTE DE CORRELACION LINEAL EN TERMINOS DE VARIANZA Y , COVARIANZA

La varianza y covarianza muestrales de x, y están dadas por

$$s_x^2 = \frac{\sum (x - \bar{x})^2}{n}, \quad s_y^2 = \frac{\sum (y - \bar{y})^2}{n}, \quad s_{xy} = \frac{\sum (x - \bar{x})(y - \bar{y})}{n} \quad (4)$$

Donde **Sx²**, **Sy²** representan la varianza para los valores de **x** e **y** respectivamente y además, **Sxy** como la co-varianza de los valores de **y** sobre **x**.

Luego, definimos el coeficiente de correlación muestral por la ecuación (5)

$$r = \frac{s_{xy}}{s_x s_y} = \frac{\sum (x - \bar{x})(y - \bar{y})}{\sqrt{\sum (x - \bar{x})^2} \sqrt{\sum (y - \bar{y})^2}} \dots\dots\dots (5)$$

Para el caso del análisis de las rectas de regresión, es usual tomar el valor de r^2 , el cual se puede definir como la relación,

$$r^2 = \frac{\text{variación explicada}}{\text{variación total}}$$

Entonces el valor de r^2 puede interpretarse como la fracción de la variación total que se explica por la recta de regresión de mínimos cuadrados. En otras palabras, r mide qué tan bien la recta de regresión de mínimos cuadrados se ajusta a los datos muestrales. Si la variación total se explica totalmente por la recta de regresión, es decir, si $r^2 = 1$ ó $r = \pm 1$, decimos que hay una correlación lineal perfecta (y en tal caso también regresión lineal perfecta). De otra parte si la variación total no se puede explicar, entonces la variación explicada es cero y así $r = 0$. En la práctica la cantidad r^2 , algunas veces llamada coeficiente de determinación, se encuentra entre 0 y 1.

APLICACIÓN A LOS DATOS DE BI vs IRI

De los datos tomados en campo para el calculo de la recta de regresión tenemos,

Datos de Campo

Secciones	Progresiva Inicial	Progresiva Final	BI Prom.	IRI Prom. Merlin
Sector 1	110+200	110+600	1361	5.26
Sector 2	110+900	111+300	1050	4.14
Sector 3	112+000	112+400	1019	4.69
Sector 4	113+600	114+000	972	4.55
Sector 5	114+800	115+200	1177	5.25
Sector 6	115+600	116+000	1104	4.25
Sector 7	116+300	116+700	971	3.87
Sector 8	117+400	117+800	1124	4.18
Sector 9	118+000	118+400	1080	5.42
Sector 10	118+400	118+800	1514	6.04

Según el análisis de los datos, se eligen los valores correspondientes a los sectores 2, 3, 4 y 5 como las secciones de calibración. De estos valores se elimina el sector 2 por no presentar relación con los valores de IRI mostrados en la Figura N° 4.04.

Para fines de aplicación se designa a los valores de **BI** como la variable independiente **x** y a los valores de **IRI (Merlín)** como la variable independiente **y**. Luego se procede a procesar la tabla siguiente.

Secciones de calibración

Secciones	x	y	x ²	xy
Sector 3	1019	4.69	1038361	4774.02
Sector 4	972	4.55	944784	4417.74
Sector 5	1177	5.25	1385329	6179.25
SUMA	3168	14.48	3368474.00	15371.01

De los resultados obtenidos y reemplazando en las ecuaciones (3), obtenemos:

$$\begin{aligned} n &= 3 \\ a &= 1.158 \\ b &= 0.003 \end{aligned}$$

De la ecuación (1), se observa que **b** representa la pendiente de la recta de regresión lineal y **a** el valor de la constante. Además para el cálculo del coeficiente de correlación, **r**, se procede a evaluar los valores de la varianza u co-varianza según:

Calculo del Coeficiente de Correlación "r"

Secciones	x	y	(X-Xprom) ²	(Y-Yprom) ²	(X-Xp)(Y-Yp)
Sector 3	1019	4.69	1369.00	0.02	5.24
Sector 4	972	4.55	7056.00	0.08	23.66
Sector 5	1177	5.25	14641.00	0.18	51.22
SUMA			23066.00	0.28	80.13

De las ecuaciones en (4) y (5) tenemos

$$\begin{aligned}Sx^2 &= 7688.667 \\Sy^2 &= 0.093 \\Sxy &= 26.708 \\r &= 0.999489768 \\r^2 &= 1.00\end{aligned}$$

Finalmente, tenemos que la ecuación,

$$\begin{aligned}y &= a + bx \\IRI &= 1.158 + 0.003*BI\end{aligned}$$

Representa la recta de mejor ajuste para los valores de BI tomados en campo, con un coeficiente de correlación $r^2 = 1.00$.

ANEXO A2

DATOS DE EVALUACION DE CAMPO CON EQUIPO MERLIN

Cuadro A2.01. Km. 112+000 al Km. 112+400 – Carril Derecho

INDICE DE RUGOSIDAD INTERNACIONAL													desv.	cant.
ENSAYO CON EQUIPO MERLIN - DATOS DE CAMPO														
DATOS DEL ENSAYO Nº		01	02	03	04	05	06	07	08	09	10			
Proyecto:	Corredor Vial Nº 13	1	23	21	23	27	22	24	21	25	21	27	01	00
Sector:	Catahuasi - Yauyos	2	15	19	20	17	30	22	19	28	21	26	02	00
Tramo (km):	112+400 112+000	3	14	25	22	19	26	22	23	22	25	17	03	00
Fecha:	22 de Mayo del 2010	4	25	22	20	24	21	19	26	29	16	27	04	00
Sentido:	Descendente	5	21	22	21	13	33	22	23	18	20	15	05	00
Carril:	Derecho	6	10	22	21	29	24	25	24	33	21	22	06	00
Tipo de Sup.:	Monocapa	7	25	24	19	29	11	22	17	24	25	23	07	01
DATOS DEL OPERADOR		8	24	17	18	25	23	17	26	20	12	22	08	00
Nombre:	Dennys P.A.	9	13	18	24	35	14	18	35	10	23	17	09	00
DATOS DEL EQUIPO:		10	14	21	15	29	26	19	17	27	17	17	10	04
Serie:	541	11	23	31	15	21	25	26	24	20	22	17	11	04
SUPERVISADO POR:		12	22	17	22	07	25	10	19	19	26	20	12	03
	Ing. Gonzalo Brazzini	13	18	10	13	20	21	11	23	25	18	18	13	05
OBSERVACIONES:		14	26	13	11	21	20	22	24	25	15	12	14	04
Primera Rodada		15	26	20	19	23	25	22	13	24	28	25	15	06
		16	20	27	21	16	20	19	28	12	26	23	16	02
		17	30	22	20	21	18	22	19	15	23	20	17	12
		18	17	20	23	14	18	28	25	20	26	19	18	09
		19	25	20	23	19	25	25	23	23	11	21	19	14
		20	20	20	31	30	22	25	19	23	27	25	20	18
													21	16
													22	20
													23	17
													24	11
													25	20
													26	11
													27	06
													28	04
													29	04
													30	03
													31	02
													32	00
													33	02
													34	00
													35	02
													36	00
													37	00
													38	00
													39	00
													40	00
													41	00
													42	00
													43	00
													44	00
													45	00
													46	00
													47	00
													48	00
													49	00
													50	00
													Total	200

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

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

INDICE DE RUGOSIDAD INTERNACIONAL (IRI)			
Valor Máximo:	35	D= 17.42	IRI calculado según la ecuación de correlación del TRRL: IRI = 0,593 + 0,0471xD
Valor Mínimo:	07		
IRI= 4.38		m/km	

Cuadro A2.02. Km. 113+600 al Km. 114+000 – Carril Derecho

INDICE DE RUGOSIDAD INTERNACIONAL													desv.	cant.
ENSAYO CON EQUIPO MERLIN - DATOS DE CAMPO														
DATOS DEL ENSAYO N°		01	02	03	04	05	06	07	08	09	10		01	00
Proyecto:	Corredor Vial N° 13	1	20	19	20	19	17	27	17	15	18	22	02	00
Sector:	Catahuasi - Yauyos	2	17	07	22	15	08	19	18	07	12	24	03	02
Tramo (km):	114+000 113+600	3	23	03	04	23	25	19	22	21	20	11	04	02
Fecha:	22 de Mayo del 2010	4	19	24	08	23	28	17	23	19	10	25	05	00
Sentido:	Descendente	5	10	24	17	18	20	22	08	15	19	21	06	00
Carril:	Derecho	6	22	20	22	15	22	17	19	24	19	19	07	04
Tipo de Sup.:	Monocapa	7	17	22	09	15	18	11	28	23	07	17	08	03
DATOS DEL OPERADOR		8	16	31	25	23	10	23	14	23	23	13	09	01
Nombre:	Dennys P.A.	9	14	32	15	20	19	32	24	21	18	21	10	05
DATOS DEL EQUIPO:		10	22	32	15	23	15	13	12	21	26	24	11	05
Serie:	541	11	10	12	21	20	15	24	14	21	22	17	12	06
SUPERVISADO POR:		12	11	12	21	20	17	19	13	17	19	24	13	03
	Ing. Gon alo Brazzini	13	22	14	18	21	23	21	15	23	19	21	14	05
OBSERVACIONES:		14	23	04	16	23	25	15	23	23	18	23	15	15
Primera Rodada		15	21	11	21	20	16	26	23	26	17	18	16	07
		16	20	11	25	23	12	15	12	23	16	26	17	14
		17	22	07	18	22	19	21	15	15	19	27	18	11
		18	25	03	25	17	22	21	22	19	21	18	19	18
		19	21	19	25	20	25	16	18	20	17	25	20	13
		20	25	14	24	20	10	26	15	16	16	22	21	17
													22	16
													23	20
													24	09
													25	11
													26	05
													27	02
													28	02
													29	00
													30	00
													31	01
													32	03
													33	00
													34	00
													35	00
													36	00
													37	00
													38	00
													39	00
													40	00
													41	00
													42	00
													43	00
													44	00
													45	00
													46	00
													47	00
													48	00
													49	00
													50	00
													Total	200

Frecuencia de desviaciones

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

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

INDICE DE RUGOSIDAD INTERNACIONAL (IRI)			
Valor Máximo:	32	D= 17.93	IRI calculado según la ecuación de correlación del TRRL: IRI = 0,593 + 0,0471xD
Valor Mínimo:	03		
IRI=	4.50	m/km	

Cuadro A2.03. Km. 112+000 al Km. 112+400 – Carril Izquierdo

INDICE DE RUGOSIDAD INTERNACIONAL												desv.	cant.	
ENSAYO CON EQUIPO MERLIN - DATOS DE CAMPO														
DATOS DEL ENSAYO N°		01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	01	00	
Proyecto:	Corredor Vial N° 13	1	12	21	20	25	12	29	26	20	19	25	02	00
Sector:	Magdalena - Calachota	2	17	24	19	22	17	20	23	19	15	22	03	00
Tramo (km):	112+400 112+000	3	22	22	12	20	10	24	26	32	07	13	04	02
Fecha:	22 de Mayo del 2010	4	20	26	17	29	33	22	22	24	28	24	05	01
Sentido:	Descendente	5	26	19	22	14	11	28	26	22	23	14	06	00
Carril:	Izquierdo	6	26	15	28	28	28	25	29	23	15	19	07	01
Tipo de Sup.:	Mono capa	7	17	20	17	25	22	25	28	19	28	13	08	00
DATOS DEL OPERADOR		8	15	24	25	33	22	26	28	20	13	15	09	00
Nombre:	Italo H.V.	9	31	27	12	31	04	19	26	26	20	34	10	01
DATOS DEL EQUIPO:		10	28	32	16	27	14	14	32	28	20	31	11	02
Serie:	540	11	31	34	11	29	27	18	16	21	30	35	12	07
SUPERVISADO POR:		12	17	23	27	25	25	27	24	25	20	14	13	05
		13	26	20	27	16	25	19	19	23	31	36	14	07
OBSERVACIONES:		14	22	28	33	19	30	19	13	29	25	16	15	09
Primera Rodada		15	23	19	05	16	15	15	17	15	24	16	16	08
		16	26	25	20	15	17	25	26	26	13	23	17	08
		17	20	22	14	12	24	29	04	21	20	25	18	02
		18	23	27	18	32	25	12	12	21	26	16	19	13
		19	27	37	29	14	32	19	16	32	27	22	20	14
		20	34	25	23	36	23	27	23	29	23	34	21	04
													22	13
													23	12
													24	08
													25	16
													26	14
													27	10
													28	11
													29	08
													30	02
													31	05
													32	06
													33	03
													34	04
													35	01
													36	02
													37	01
													38	00
													39	00
													40	00
													41	00
													42	00
													43	00
													44	00
													45	00
													46	00
													47	00
													48	00
													49	00
													50	00
													Total	200

Frecuencia de desviaciones

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

FACTOR DE CORRECCION			
Posición Inicial del Puntero:	25.00	Espesor de pastilla	
Posición Final del Puntero:	10.50	e= 6.47 mm	
F.C. =	0.892		

INDICE DE RUGOSIDAD INTERNACIONAL (IRI)			
Valor Máximo:	37	D= 20.90	IRI calculado según la ecuación de correlación del TRRL: IRI = 0,593 + 0,0471xD
Valor Mínimo:	04		
IRI=	4.99	m/km	

Cuadro A2.04. Km. 113+600 al Km. 114+000 – Carril Izquierdo

INDICE DE RUGOSIDAD INTERNACIONAL														
ENSAYO CON EQUIPO MERLIN - DATOS DE CAMPO														
DATOS DEL ENSAYO Nº		01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	desv.	cant.	
Proyecto:	Corredor Vial Nº 13	1	29	23	30	32	28	37	31	26	25	35	01	00
Sector:	Magdalena - Calachota	2	44	16	23	25	24	36	12	40	24	30	02	00
Tramo (km):	114+000 113+600	3	29	31	32	28	35	30	20	30	31	37	03	00
Fecha:	22 de Mayo del 2010	4	35	37	14	25	37	34	23	29	25	27	04	00
Sentido:	Descendente	5	37	37	27	33	28	22	23	31	28	29	05	00
Carril:	Izquierdo	6	32	37	25	23	34	28	24	29	34	26	06	00
Tipo de Sup.:	Monocapa	7	35	42	28	25	30	14	36	32	42	34	07	00
DATOS DEL OPERADOR		8	26	20	10	28	30	38	33	32	27	40	08	01
Nombre:	Italo H.V.	9	31	33	37	32	23	24	28	26	28	27	09	00
DATOS DEL EQUIPO:		10	42	20	24	29	25	31	23	33	29	27	10	01
Serie:	540	11	41	22	31	27	19	29	21	21	31	34	11	00
SUPERVISADO POR:		12	26	28	36	35	30	32	28	30	36	31	12	01
		13	25	08	22	34	30	39	37	33	28	36	13	00
OBSERVACIONES:		14	18	23	29	31	34	25	29	34	24	30	14	02
Primer a Rodada		15	31	18	26	32	34	35	36	31	30	34	15	00
		16	34	22	31	32	46	31	30	31	17	30	16	01
		17	25	20	33	33	33	29	23	36	37	39	17	01
		18	38	28	31	28	32	23	20	27	34	32	18	02
		19	23	33	33	27	26	30	26	30	38	24	19	01
		20	26	21	29	34	31	34	37	33	32	38	20	05
		21											21	03
		22											22	04
		23											23	11
		24											24	07
		25											25	10
		26											26	09
		27											27	08
		28											28	14
		29											29	12
		30											30	15
		31											31	17
		32											32	12
		33											33	11
		34											34	14
		35											35	06
		36											36	07
		37											37	11
		38											38	04
		39											39	02
		40											40	02
		41											41	01
		42											42	03
		43											43	00
		44											44	01
		45											45	00
		46											46	01
		47											47	00
		48											48	00
		49											49	00
		50											50	00
		200											Total	200

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

FACTOR DE CORRECCION			
Posición Inicial del Puntero:	25.00	Espesor de pastilla	
Posición Final del Puntero:	10.50	e= 6.47 mm	
F.C. =	0.892		

INDICE DE RUGOSIDAD INTERNACIONAL (IRI)			
Valor Máximo:	46	D= 19.00	IRI calculado según la ecuación de correlación del TRRL: IRI = 0,593 + 0,0471xD
Valor Mínimo:	08		
IRI=	4.59	m/km	

ANEXO A3 PANEL FOTOGRAFICO



FOTO A3.1.- Inicio de Tramo en evaluación. Progresiva 112+000

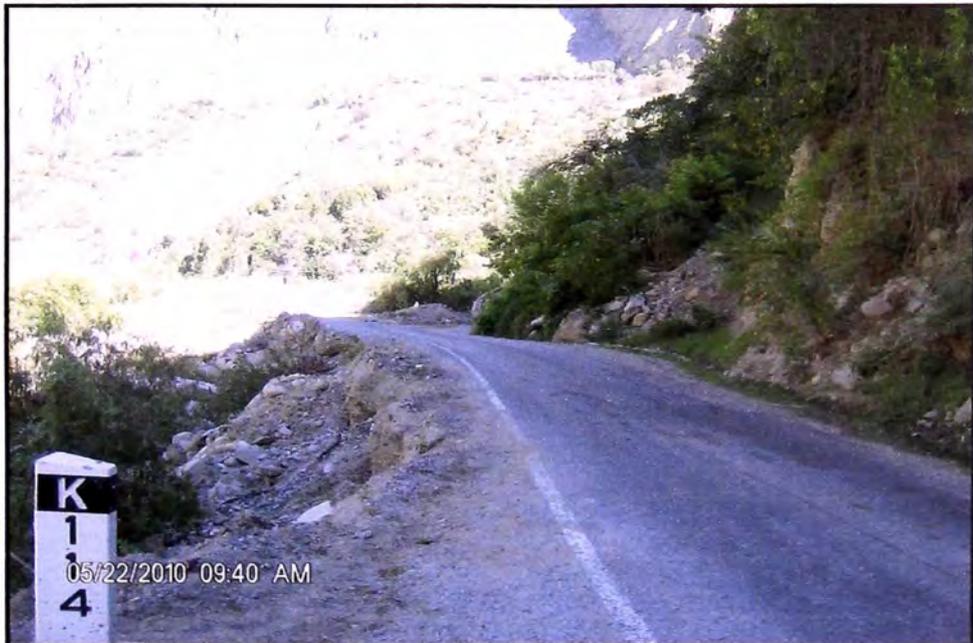


FOTO A3.2.- Fin del Tramo en evaluación. Progresiva Km.
114+000

ANEXO A3 PANEL FOTOGRAFICO



FOTO A3.3. Evaluación de campo del IRI con equipo Merlin. Carril izquierdo. Secciones de calibración.



FOTO A3.4. Evaluación de campo del IRI con equipo Merlin. Carril Derecho. Secciones de calibración.

ANEXO A3 PANEL FOTOGRAFICO



FOTO A3.5.- Evaluación de campo con equipo Bump Integrator.
Progresiva Km. 112+800



FOTO A3.6. Evaluación de campo con equipo Bump Integrator.
Progresiva Km. 113+400