

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



**EVALUACIÓN DE LA RUGOSIDAD CON EQUIPO MERLIN
CARRETERA CAÑETE – CHUPACA
METODOLOGÍA DE DISCRIMINACIÓN DE DATOS**

INFORME DE SUFICIENCIA

Para optar el Título Profesional de:

INGENIERO CIVIL

JAIME HEMAN ESPINOZA SANDOVAL

Lima- Perú

2011

DEDICATORIA

A Dios, Arquitecto y Señor del Universo,
A Él sea la gloria eterna.

A mis padres, Elías y Wilma,
por quiénes soy todo lo que soy,
con inmensa gratitud.

A Gladys, mi esposa y compañera amada,
sin cuyo apoyo invaluable hubiera podido
culminar un largo sueño de ser Ingeniero.

A mis hijos, Génesis Grisell, Jaime Elías y
Josué David, quiénes colman mi vida de alegría
y satisfacción plena y alumbran el derrotero
que debo seguir.

A la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI),
Institución rectora de la Ingeniería en el Perú,
y de quién uno se siente sumamente orgulloso
de pertenecer.

	Pág
RESUMEN	3
LISTADE TABLAS Y FIGURAS	4
LISTA DE SÍMBOLOS Y SIGLAS	6
INTRODUCCIÓN	7
CAPÍTULO I: LA CARRETERA CAÑETE-CHUPACA	
1.1 Generalidades de la carretera	8
1.1.1 Ubicación	9
1.1.2 Clima y topografía	10
1.2 Tipos de Pavimentos Básicos empleados	15
1.2.1 Tratamiento Slurry Seal	18
1.2.2 Tratamiento Monocapa	18
CAPÍTULO II: EL ÍNDICE INTERNACIONAL DE RUGOSIDAD Y EL EQUIPO MERLIN	
2.1 Rugosidad y el Índice de Rugosidad Internacional (IRI)	19
2.2 Equipos de medición de la rugosidad (ASTM 1995)	22
2.3 El equipo MERLIN	23
2.4 Metodología para determinar la rugosidad con el equipo MERLIN	24
2.5 El equipo MERLIN automatizado desarrollado por la UNI	30
2.6 El IRI como criterio de evaluación de un Pavimento Básico	32
CAPÍTULO III: CONFIABILIDAD Y ESTUDIO DE LA INCERTIDUMBRE DEL EQUIPO MERLIN	
3.1 Requisitos exigidos a un instrumento de medición	37
3.2 Evaluación de la confiabilidad del equipo MERLIN	39
3.3 Errores de medición y su tratamiento	49
3.4 Caso de tramos curvos	50

CAPÍTULO IV: CONFORMACIÓN DE LA BASE DE DATOS SOBRE LA CARRETERA CAÑETE-CHUPACA (TRAMO 74+000 AL 84+000)

4.1 Recopilación de datos históricos sobre el IRI obtenido mediante MERLIN por el convenio UNI-MTC	53
4.2 Recopilación de datos históricos sobre el IRI obtenido mediante MERLIN en cursos de titulación anteriores.	54
4.3 Recopilación de datos históricos sobre el IRI obtenido mediante otros equipos	54
4.4 Recopilación y procesamiento de datos obtenidos en la visita de campo mediante equipo MERLIN	56
4.5 Software para procesar las lecturas de campo del equipo MERLIN	57

CAPÍTULO V: HOMOGENEIZACIÓN Y DIVISIÓN DEL TRAMO ASIGNADO

5.1 IRI versus progresiva	58
5.2 Sectorización del tramo asignado	59
5.3 Software para sectorizar una carretera en función al IRI	68

CONCLUSIONES	69
RECOMENDACIONES	70
BIBLIOGRAFÍA	71
ANEXOS	72

RESUMEN

En el presente informe se desarrolla el tema de la Evaluación de la rugosidad de la carretera Cañete-Chupaca, mediante el equipo MERLIN, con orientación a la metodología de discriminación de datos.

La carretera Cañete-Chupaca es considerada una vía de bajo volumen de tránsito, debido a que su índice medio vehicular es menor a 400 vehículos por día, y como tal, debido a la reglamentación vigente, no amerita mayores trabajos, más allá de su mantenimiento.

Desde el mes de Diciembre del 2007, dicha carretera se encuentra bajo un programa de mantenimiento, mediante servicios de conservación vial por niveles de servicio, en el que se contempla, la colocación de pavimentos básicos con el fin de mejorar su transitabilidad.

La implementación de los pavimentos básicos es una situación novedosa en el Perú, por lo que el problema fundamental es que no se cuenta con información sobre su comportamiento. En razón de ello, es que mediante convenio interinstitucional entre la UNI y el MTC, se ha implementado un programa de monitoreo de la carretera.

Entre los parámetros que permiten evaluar dicha carretera se encuentra el Índice Internacional de Rugosidad (IRI), sobre el cual aún no se tienen valores típicos para pavimentos básicos. En virtud de ello, es que en el presente informe se efectúa un análisis del IRI de dicha carretera, y se propone algunos rangos de IRI adecuados para tales pavimentos.

Asimismo, se efectúa una evaluación del equipo MERLIN, con el objetivo de verificar su grado de confiabilidad, para lo cual se recurre a la teoría estadística; y se concluye sectorizando la carretera en tramos homogéneos, en función a los valores de IRI obtenidos durante la visita de campo efectuada a la carretera el 27 de Noviembre del 2010.

Finalmente, se propone un Software efectuado en Lenguaje de Programación Java, con el fin de automatizar la toma y el procesamiento de datos del equipo MERLIN.

LISTA DE TABLAS

	Pág
Tabla No. 1.01: Distancia por tramos y tipo de superficie	11
Tabla No. 1.02: Localidades, progresiva y altitud	11
Tabla No. 2.01: Variables e indicadores que usa el MTC	34
Tabla No. 2.02: Límites Admisibles de características de camino empleada en contratos por Niveles de Servicio en América Latina.	35
Tabla No. 2.03: Características de Proyecto Perú.	36
Tabla No. 2.04: Estado vial según rugosidad.	37
Tabla No. 2.05: Propuesta de rugosidad para pavimentos básicos.	37
Tabla No. 3.01: Valores de IRI con MERLIN (Marzo 2010)	41
Tabla No. 3.02: Análisis de regresión de las dos primeras lecturas	43
Tabla No. 3.03: Valores de IRI para diferentes instrumentos de medición	48
Tabla No. 4.01: Datos del MERLIN (Convenio UNI-MTC)	54
Tabla No. 4.02: Datos del MERLIN (curso de titulación 2009-2)	55
Tabla No. 4.03: Datos del Bump Integrator (Convenio UNI-MTC)	56
Tabla No. 4.04: Datos del MTC con rugosímetro láser	57
Tabla No. 4.05: Datos de la visita de campo	58
Tabla No. 5.01: IRI en tratamiento Slurry Seal.	61
Tabla No. 5.02: IRI en Slurry Seal sobre monocapa	61
Tabla No. 5.03: Sectorización del 1er tramo	66
Tabla No. 5.04: Sectorización del 2do tramo	68

LISTA DE FIGURAS

	Pág
Fig. No. 1.01: Ubicación de la carretera Cañete-Chupaca	10
Fig. No. 1.02: Perfil longitudinal de la carretera Cañete-Chupaca	12
Fig. No. 1.03: Plano clave de la carretera Cañete-Chupaca	13
Fig. No. 1.04: Los pisos Altitudinales propuestos por Javier Pulgar Vidal	14
Fig. No. 1.05: Corte transversal de un pavimento básico	17
Fig. No. 2.01: Valores típicos de IRI para distintos pavimentos	21
Fig. No. 2.02: Interpretación del IRI	22
Fig. No. 2.03: Modelo del cuarto de coche	23

Fig. No. 2.04: Esquema del MERLIN	26
Fig. No. 2.05: Medición de la desviación de la cuerda móvil	26
Fig. No. 2.06: Formato para la recolección de datos de campo	27
Fig. No. 2.07: Cálculo del Rango D	28
Fig. No. 2.08: Sensor de desplazamiento vertical del MERLIN automatizado	32
Fig. No. 2.09: Sensor magnético ubicado en la llanta	32
Fig. No. 2.10: Pantalla del instrumento	32
Fig. No. 2.11: Equipo de toma de datos	33
Fig. No. 3.01: Exactitud y precisión	39
Fig. No. 3.02: Histograma de las 3 series de IRI	44
Fig. No. 3.03: Test de normalidad de la 1era serie	45
Fig. No. 3.04: Test de normalidad de la 2da serie	45
Fig. No. 3.05: Test de normalidad de la 3era serie	46
Fig. No. 3.06: Gráfico de caja de las tres lecturas	46
Fig. No. 3.07: Variabilidad de las 3 series	47
Fig. No. 3.08: Gráfico comparativo del IRI medido por 6 métodos diferentes	49
Fig. No. 3.09: Gráfico de caja de los 6 métodos de medición del IRI	49
Fig. No. 3.10: Errores de medición del IRI en tramos curvos	51
Fig. No. 5.01: IRI versus progresiva	60
Fig. No. 5.02: Sectorización por tipo de tratamiento superficial	62
Fig. No. 5.03: Gráfico de Progresiva versus Rango de Valores de IRI	62
Fig. No. 5.04: Sectorización por rangos de IRI	63
Fig. No. 5.05: Valores de IRI vs. Progresiva	63
Fig. No. 5.06: Área acumulada versus progresiva	64
Fig. No. 5.07: Diferencia acumulada versus progresiva	65
Fig. No. 5.08: Gráfico Z vs. X (1er tramo)	67
Fig. No. 5.09: Sectorización del 1er tramo	67
Fig. No. 5.10: Sectorización final del 1er tramo	67
Fig. No. 5.11: Gráfico Z vs. X (2do tramo)	68
Fig. No. 5.12: Sectorización del 2do tramo	69
Fig. No. 5.13: Sectorización final (2do tramo)	69

LISTA DE SÍMBOLOS Y SIGLAS

AASHTO	:	American Association of State Highway and Transportation Officials.
ASTM	:	American Society for Testing Materials.
D	:	Rugosidad en unidades MERLIN.
FC	:	Factor de Corrección.
FIC	:	Facultad de Ingeniería Civil.
ICCGSA	:	Empresa "Ingenieros Civiles y Contratistas Generales".
IRI	:	Índice de Rugosidad internacional o International Roughness Index.
IRIc	:	Índice de Rugosidad internacional Característico.
IRIp	:	Índice de Rugosidad internacional Promedio.
IRRE.	:	Internacional Road Roughness Experimento Experimento internacional de Rugosidad de caminos.
MERLIN.	:	Acrónimo del ingles Machine for Evaluating Roughness using Low-cost Instrumentation.
MTC	:	Ministerio de Transportes y Comunicaciones.
NCHRP	:	National Cooperative Highway Research Program
PROMCEPRI	:	Promoción de Concesiones Privadas
RAR80	:	Reference Average Rectified Slope.
RB	:	Relación de Brazos.
RQCS	:	Reference Quarter Car Simulation.
RTRMS	:	Response Type Road Roughness Measuring.
σ	:	Desviación Estándar.
TRRL	:	Laboratorio Británico de Investigación de Transportes y Caminos.

INTRODUCCIÓN

El Índice Internacional de Rugosidad (IRI) es un indicador de la calidad superficial de una carretera, siendo el parámetro más sensible al usuario. Para medir dicho índice, existe una diversidad de equipos cada vez más sofisticados, y sin embargo, el equipo MERLIN, a pesar de su sencillez y su bajo costo, proporciona valores de IRI con un buen nivel de precisión.

El objetivo de este informe es conformar una base de datos de la carretera Cañete-Chupaca, sectorizar la carretera en tramos homogéneos y evaluar la confiabilidad del equipo MERRLIN.

En el CAPÍTULO I, se presenta la carretera Cañete-Chupaca, donde se hace referencia a las generalidades de la carretera, que incluyen clima y topografía, así como el tipo de pavimentos básicos empleados.

En el CAPÍTULO II, se aborda el Índice Internacional de Rugosidad (IRI), tales como el concepto y los equipos existentes para su medición, y el procedimiento que debe seguirse para evaluar el IRI de una carretera mediante equipo MERLIN. Asimismo, se propone algunos rangos de IRI para pavimentos básicos.

En el CAPÍTULO III, se hace un análisis de la confiabilidad del equipo MERLIN, donde se estudia dos parámetros fundamentales que garantizan la precisión de un instrumento de medición: reproducibilidad y repetividad.

En el CAPÍTULO IV, se ha efectuado una recopilación de toda la data existente sobre el IRI de la carretera Cañete – Chupaca (tramo 74+000 al 84+000). Se incluye datos históricos de la carretera medidos mediante MERLIN por el convenio UNI-Pro Vías Nacional, así como mediciones efectuadas mediante otros equipos.

En el CAPÍTULO V, se divide el tramo en estudio, en sectores homogéneos, para lo cual existen diversos métodos. En éste informe, se hace un énfasis en el método de la suma acumulada para la sectorización de la carretera.

Finalmente, se propone un Software en lenguaje Java, con el fin de automatizar el procesamiento de los datos de campo para un equipo MERLIN, así como para la sectorización de una carretera en sectores homogéneos.

CAPÍTULO I: LA CARRETERA CAÑETE – CHUPACA

1.1 GENERALIDADES DE LA CARRETERA

La carretera Cañete-Yauyos-Chupaca, fue proyectada y ejecutada durante el gobierno del Sr. Augusto B. Leguía entre la década de 1920 a 1930, mediante la Ley de Conscripción Vial Territorial del Perú, que obligaba a todos los hombres de 18 a 60 años de edad a trabajar gratuitamente por espacio de 6 a 12 días al año, en la construcción y apertura de carreteras. La carretera fue terminada posteriormente en el año de 1954, luego de varias etapas, por impulso de la misma población.

Desde el año de 1988 se han venido efectuando diversos estudios a fin de rehabilitar y mejorar dicha carretera. En el 2007, el Ministerio de Transportes y Comunicaciones crea el Programa “Proyecto Perú”, como un Programa de Conservación y Desarrollo de la Infraestructura Vial, el que implementa un nuevo sistema de gestión vial: los **contratos por niveles de servicio**.

Mediante el contrato: N° 288-2007-MTC/20, del 27 de Diciembre del 2007 celebrado entre PROVIAS NACIONAL y el Consorcio Gestión de Carreteras; éste último asume la responsabilidad de efectuar el servicio de conservación del Corredor Vial Cañete – Lunahuaná – Pacarán – Dv. Yauyos – Ronchas – Chupaca y el mejoramiento del Tramo Zúñiga – Dv. Yauyos – Ronchas a nivel de solución básica.

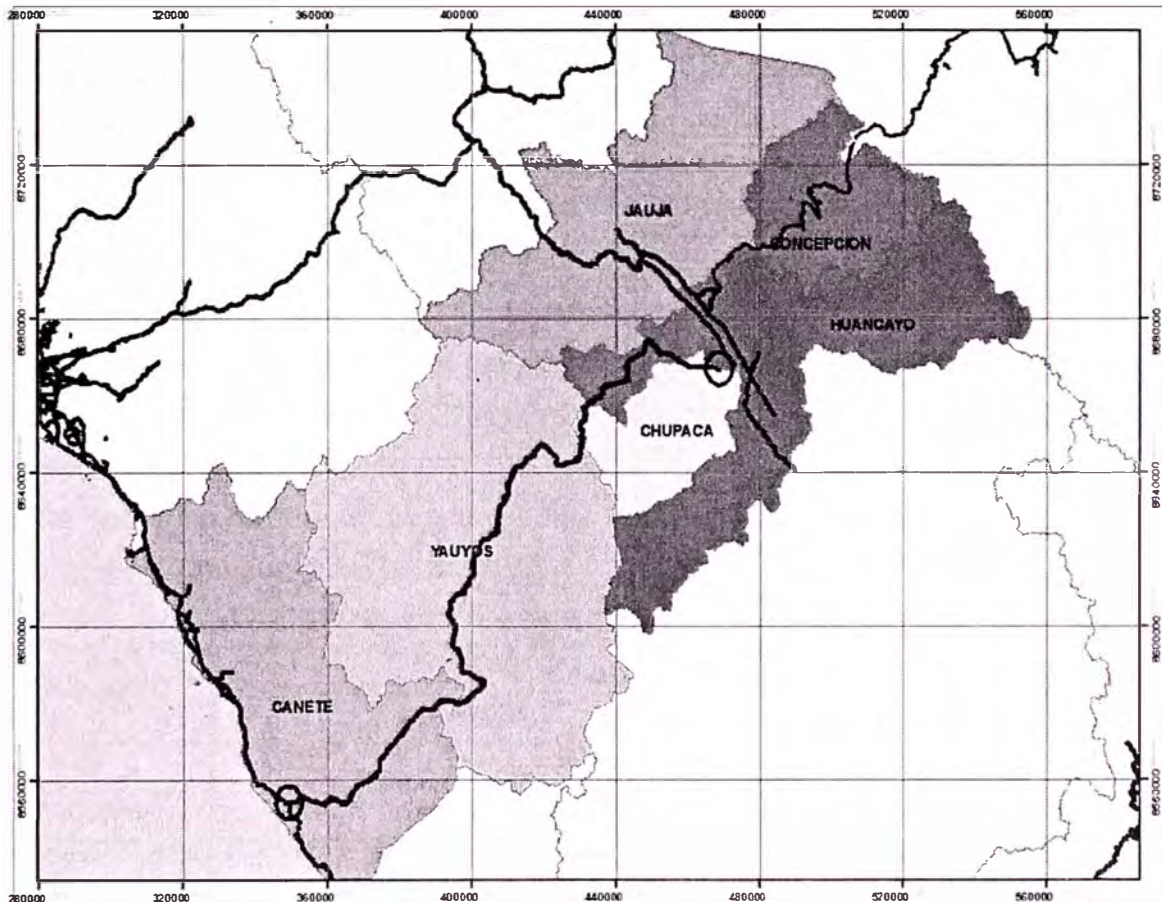
Este modelo de contratación resulta inédito, dado que los contratos celebrados se avocan fundamentalmente a los componentes de conservación vial, atención de emergencias viales y relevamiento de información (inventarios viales, estudios de tráfico, origen-destino), donde el contratista propone las soluciones tecnológicas a implementar en la vía, las aplica y luego se ocupa de su conservación, la misma que a su vez es controlada por niveles de servicio, debiendo sostener un estándar predeterminado para no ser penalizado.

Sin embargo, debido a la novedad de éste tipo de Contrato no existe una normativa explícita en relación a los niveles de servicio que se espera del Contratista en relación a la carretera.

1.1.1 Ubicación

La carretera Cañete – Lunahuana – Pacarán – Zuñiga – Dv. Yauyos – Roncha – Chupaca, se encuentra ubicada entre los departamentos de Lima y Junín, teniendo como inicio la ciudad de Cañete en la provincia del mismo nombre en el departamento de Lima, siendo su punto final la ciudad de Chupaca en el departamento de Junín.

Fig. No. 1.01: Ubicación de la Carretera Cañete-Chupaca



Fuente: MTC

La longitud total de la carretera entregada al contratista Consorcio Gestión de Carreteras para su conservación, es de 271,726 Km; estando el punto inicial 0+000 (progresiva 1+805) en el óvalo ubicado en Cañete en la salida hacia Imperial, tomándose como referencia un buzón de Telefónica existente en dicha progresiva. El punto final de la carretera se encuentra en la ciudad de Chupaca (progresiva 273+531). Las distancias entre las ciudades que atraviesa dicha

carretera, así como su estado inicial y posterior a los trabajos de conservación, se presenta en la Tabla No. 1.01.

Tabla No. 1.01: Distancias por tramos y tipos de superficie

Carretera	Tramo	Estado Inicial	Estado Actual	Longitud (Km)
024	Cañete-Lunahuana	Asfaltada	Carpeta Asfáltica	40.950
024	Lunahuana-Pacarán	Asfaltada	Tratamiento superficial	11.907
024	Pacarán-Zuñiga	Afirmada	Tratamiento superficial	3.743
024	Zuñiga-Dv. Yauyos	Afirmada	Tratamiento superficial	70.400
024	Dv. Yauyos-Roncha	Afirmada	Tratamiento superficial	128.185
024	Roncha-Chupaca	Afirmada	Tratamiento superficial	16.541
Total				271.726

Fuente: Elaboración Propia

1.1.2. Clima y Topografía

El valle de Cañete es estrecho y de forma triangular, siendo más amplio en el límite con la región Chala o Costa y más estrecho, cuanto más se aproxima a los contrafuertes andinos. La carretera Cañete – Chupaca atraviesa distintos tipos de regiones naturales, que van cambiando a lo largo de su longitud, empezando en Cañete que pertenece a la Costa y terminando en Chupaca, que pertenece a la Sierra.

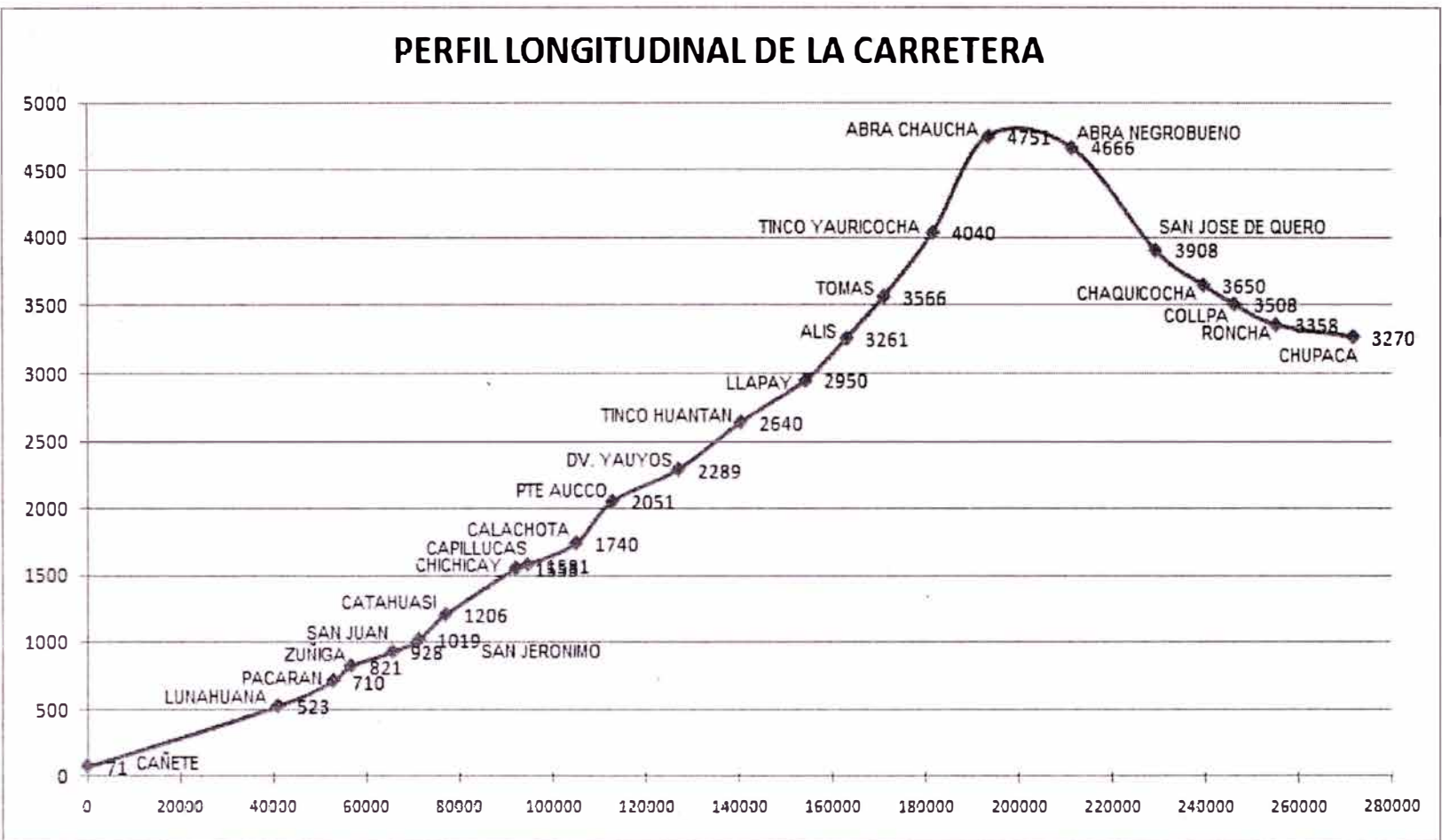
En la Tabla No. 1.02, se muestran las altitudes de las ciudades y poblados importantes que atraviesa la carretera:

Tabla No. 1.02: Localidades, Progresiva y Altitud

Localidad	Progresiva	Altitud (msnm)	Localidad	Progresiva	Altitud (msnm)
Cañete	0+000	71	Tinco Huantan	140+360	2640
Lunahuaná	40+950	523	Llapay	154+300	2950
Pacarán	52+857	710	Alis	163+100	3261
Zúniga	56+600	821	Tomas	171+090	3566
San Jerónimo	71+200	1019	Abra Chaucha	193+510	4751
Catahuasi	77+000	1206	Abra Negro Bueno	211+320	4666
Chichicay	92+110	1553	San José de Quero	229+300	3908
Capillucas	94+640	1851	Chaquicocha	239+600	3650
Calachota	105+040	1740	Collpa	246+200	3508
Puente Auco	112+800	2051	Roncha	255+185	3358
Div. Yauyos	127+000	2289	Chupaca	271+726	3270

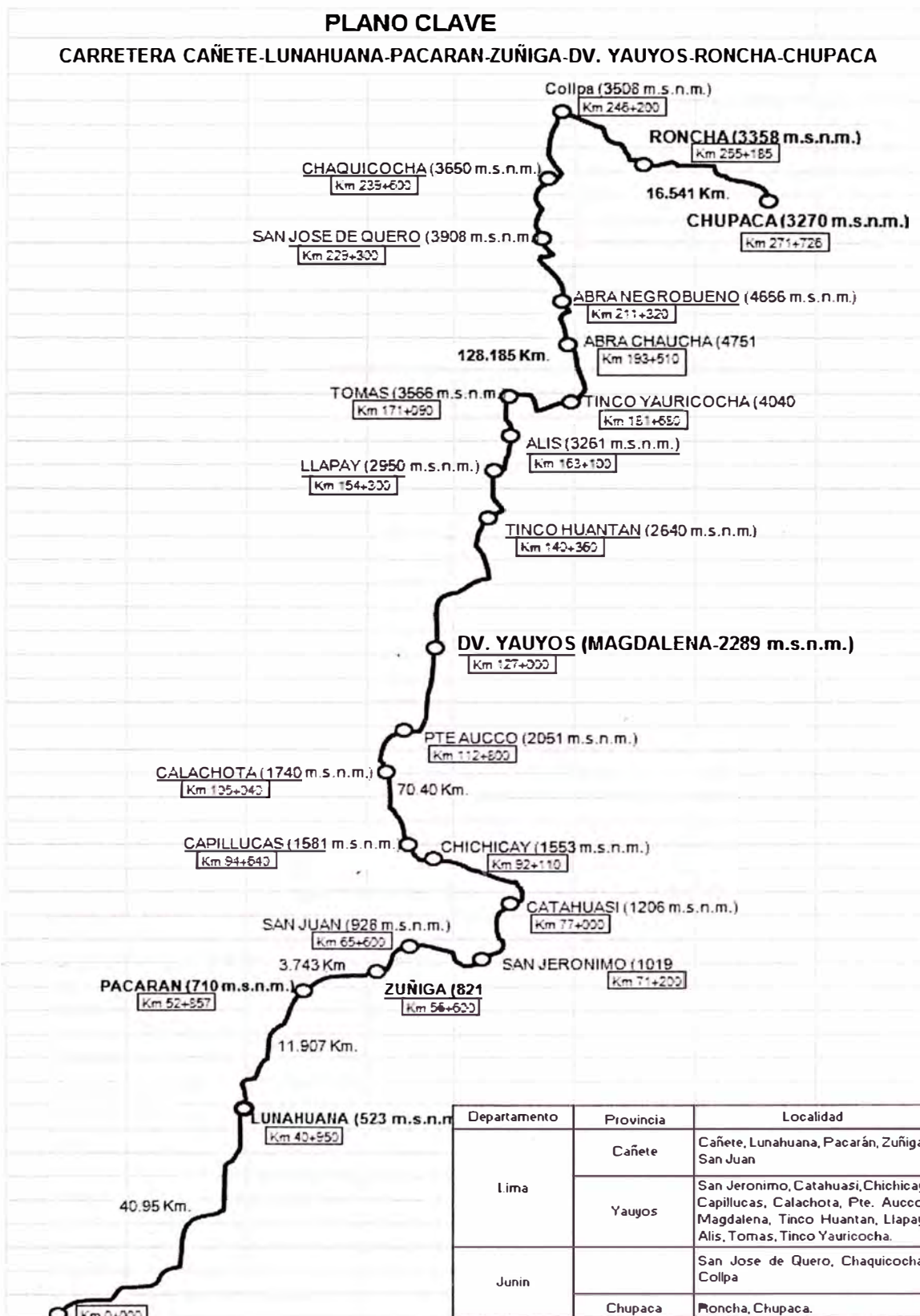
Fuente: Elaboración Propia

Fig. No. 1.02: Perfil Longitudinal de la Carretera Cañete-Chupaca



Fuente: Convenio UNI-ProVias

Fig. No. 1.03: Plano Clave Carretera Cañete – Chupaca

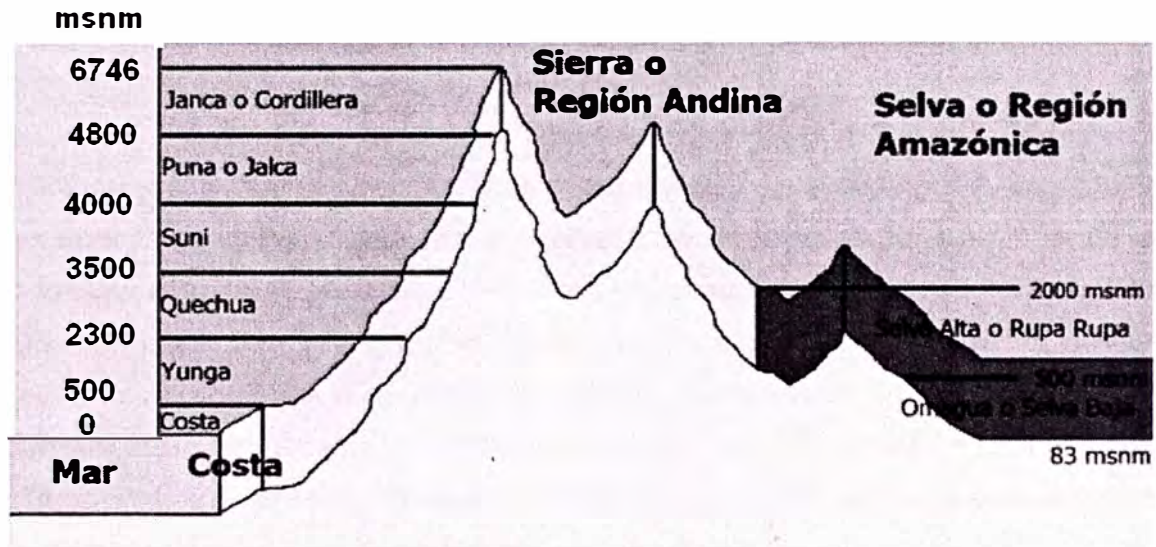


Fuente: MTC

Regiones que atraviesa la Carretera Cañete-Chupaca

Por otro lado, de acuerdo a los Pisos Altitudinales o Regiones propuesto por el Dr. Javier Pulgar Vidal, se tiene que la carretera Cañete – Chupaca atraviesa 7 de las 8 Regiones (Ver Fig. No. 1.04), por lo que el clima a lo largo de dicha vía es bastante variable.

Fig. No. 1.04: Los Pisos Altitudinales propuestos por Javier Pulgar Vidal



Fuente: Adaptado de estoesperu.net

La carretera comienza en la Región **Costa** (0–500 msnm), donde se encuentran las localidades de Cañete y Lunahuaná. El clima de esta región es subtropical en la costa centro y sur. Cañete tiene una temperatura promedio de 22°C, fluctuando entre una máxima de 29°C y una mínima de 14°C. En el caso de Lunahuaná, tiene un sol que brilla casi durante todo el año, con una temperatura promedio de 32°C durante el Verano y de 26°C durante el Invierno.

Posteriormente, atraviesa la Región **Yunga** (500 msnm - 2300 msnm), donde se encuentran las localidades de 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. 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; mientras que las noches son frescas, debido a los vientos que bajan de las regiones más altas.

Continúa la vía por la región **Quechua** (2300 msnm – 3500 msnm). El relieve de esta región es escarpada, conformada por valles interandinos y flancos de suave pendiente. Las 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. 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. Durante la noche la temperatura baja súbitamente por la escasa humedad existente en el aire, existiendo un gran contraste térmico entre el día y la noche, así como entre las áreas expuestas al sol y la sombra.

La carretera continúa su ascenso y llega a la región **Suni o Jalca** (3500 msnm a 4000 msnm). Su relieve se caracteriza por ser rocoso y escarpado, constituido por estrechos valles y por zonas ligeramente ondulantes (pampas), donde el escenario cambia a bruscas ascensiones de acantilados y cerros. La localidad llamada Tomas (km 171+090) se ubicada en esta región. Se encuentra a 3566 msnm. Al otro lado de la cordillera se ubican: San José de Quero (3908 msnm) en el km 229+300, Chaquicocha (3650 msnm) en el km 239+600, y Collpa (3508 msnm) en el km 246+200. El clima de ésta Región es frío debido a su altitud y a los vientos locales. La temperatura media anual fluctúa entre 7°C y 10°C, máximas superiores a 20°C y mínimas invernales de -1°C a -16°C. El aire es transparente y las nubes se presentan en grandes cúmulos..

La carretera atraviesa también la región **Puna**, que comprende alturas entre los 4000 msnm y 4800 msnm. Esta región es considerada como la zona de los glaciares. Janca significa "blanca", debido a que su relieve escarpado y de aspecto rocoso, se ve cubierto de nieve y glaciares. En esta región se ubican las localidades de: 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. 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

Precipitación

En cuanto a precipitaciones, la Carretera Cañete – Chupaca puede dividirse en los siguientes tramos: a) Entre Cañete (71 msnm) y Catahuasi (1206 msnm), las precipitaciones promedio anuales son escasas variando de 10 mm en Cañete a

29 mm en Catahuasi. b) Un segundo tramo corresponde a la cuenca media del río Cañete, comprendido entre los 2000 y 3500 msnm con una precipitación promedio de 297,1 mm anuales. c) Un tercer tramo correspondiente a la cuenca alta del río Cañete; comprendido entre los 3500 msnm hasta los 4500 msnm, donde la precipitación se incrementa considerablemente como lo indican las estaciones de Carania 551 mm (3825 m.s.n.m - Yauyos) y Yauricocha (4522 m.s.n.m- Alis) 944.1 mm.

La precipitación promedio mensual obedece a una estacionalidad. A partir de septiembre se inician las primeras lluvias incrementándose paulatinamente hasta el mes de marzo o abril. En el período entre enero y marzo se concentra el mayor volumen de precipitación. Entre los meses de abril y agosto son escasas las lluvias. (Fuente: Consorcio Gestión de Carreteras "Plan de manejo socio ambiental")

Hidrografía

La cuenca del río Cañete nace en la laguna Ticllacocha (4600 m.s.n.m.) a los pies del nevado Ticlla de la cordillera Pichcahuaria, recorriendo el territorio Yauyino en un 60% de su extensión, en un curso de 220 km, atravesando el valle de Cañete y desembocando finalmente en el mar.

Además constituye el mayor colector troncal del escurrimiento superficial, recibiendo las aguas de otros ríos tributarios que conforman también importantes cuencas: Huangascar, Cacara, Tupe, Huaritan, Miraflores, Yauyos, Aucampi, etc. El río cambia varias veces de dirección a lo largo de su recorrido hasta el mar.

1.2 TIPOS DE PAVIMENTOS BÁSICOS EMPLEADOS

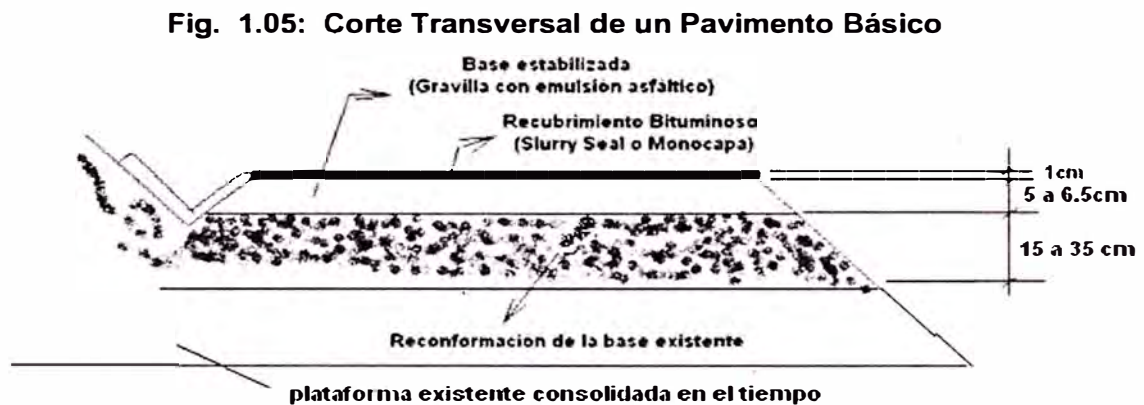
Los pavimentos básicos son alternativas utilizadas en carreteras de Bajo Volumen de Tránsito (IMD<400 vehículos/día), que por su bajo Índice Vehicular, no acreditan aún una inversión significativa a fin de tener un pavimento estándar con todas las obras complementarias de drenaje, ampliación de vía, etc.

Los pavimentos básicos constituyen una tecnología relativamente nueva y se viene usando en algunos países de la Región Latinoamericana, tales como Chile, Argentina, Uruguay y Colombia.

En el caso de la Carretera Cañete-Chupaca, el Contratista Conservador de la carretera, ha efectuado tres tipos de intervenciones de pavimentos, mediante solución básica, que incluye lo siguiente:

- a) Afirmado / Grava estabilizada con emulsión / Tratamiento superficial de Monocapa.
- b) Afirmado / Grava estabilizada con Emulsión / Slurry Seal.
- c) Afirmado / Grava Estabilizada con Emulsión / Tratamiento Superficial Monocapa / Slurry Seal

Una carretera intervenida con solución Básica, presenta la sección transversal que se muestra en la siguiente Figura.



En cualquiera de los tres tipos de intervención, se necesita tener el terreno consolidado. Precisamente, dado la antigüedad de la carretera Cañete – Chupaca, que hasta la fecha lleva más de 50 años de uso, se considera que el terreno o base ha alcanzado un alto grado de consolidación, por lo que ha sido factible el cambio de carretera afirmada a carretera con pavimento básico en toda su extensión.

El cambio de estándar de la carretera, se efectúa en tres etapas, que detallaremos a continuación:

Reconformación del Afirmado o Base existente

La reconformación del afirmado existente, cuyo espesor varía desde 10cm hasta 30cm de espesor, consiste en la siguiente serie de actividades:

- Escarificación de la plataforma existente, con la ayuda del riper de la motoniveladora;
- Riego de la plataforma con agua

- Pasada de la cuchilla de la motoniveladora (2 a 3 pasadas)
- Compactación de la base reconformada
- Riego para el sellado de la base.

Base estabilizada con emulsión asfáltica

A continuación sobre el afirmado ya reconformado, se procede a colocar una base que consiste en grava estabilizada con emulsión asfáltica. Esta base estabilizada tiene un espesor aproximado de 3 pulgadas. Para la carretera Cañete-Chupaca se utilizó emulsión asfáltica catiónica de rotura lenta, en una dosificación de 12 gal/m².

La grava utilizada debe satisfacer ciertos requisitos granulométricos, para lo cual debe ser ensayada previamente en un tramo de prueba. Por otro lado, la emulsión asfáltica que se emplea, consiste en la dispersión homogénea de pequeños glóbulos de cemento asfáltico cubiertos por un emulsificante, dentro de una fase continua acuosa. El asfalto involucra dos mecanismos:

- Impermeabilización: Creando una membrana que previene o dificulta la entrada del agua, reduciendo la tendencia del material a perder resistencia y módulo en presencia de agua.
- Adhesión: Brinda al agregado la cohesión de la cual carece, aumentando la resistencia al corte y a la flexión, así como el modulo elástico.

Tratamientos superficiales

Finalmente, sobre la base estabilizada se coloca un recubrimiento bituminoso que puede llegar a tener 1cm de espesor. Este tratamiento puede ser de dos tipos: Slurry Seal o Tratamiento superficial Simple (Monocapa)

Un tratamiento superficial por sí mismo no es considerado un pavimento, pues esta capa solo brinda una cubierta impermeabilizante a la superficie existente de la calzada, así como resistencia abrasiva al tránsito, pero no aporta un comportamiento estructural. Sin embargo, disminuye la necesidad de conservación rutinaria, estimándose, según el tipo de la solución aplicada, una durabilidad sin intervención de obras de al menos 3 a 5 años. También estos tratamientos son empleados para rellenar huecos, recubrir y ligar partículas minerales desprendidas y restaurar la superficie del pavimento.

1.2.1 Tratamiento Slurry Seal

El **Slurry Seal** o mortero asfáltico en frío, es una mezcla líquida homogénea de agua, emulsión asfáltica y arena bien grada, de endurecimiento rápido, que mejora las demandas del pavimento, para hacer una superficie resistente al uso. Esta técnica no necesita de compactación, pues basta con abrir el tráfico para obtenerla. La producción del Slurry Seal se realiza a temperatura ambiente, siendo su consistencia semilíquida y se puede preparar en boogie, trompo mezclador o camión mezclador-esparcidor, dependiendo de la envergadura de la obra.

La dosificación unitaria de los insumos a utilizarse, respetando el orden de mezclado, es aproximadamente la siguiente: 1) 50 galones de agua limpia; 2) 1 m³ de arena gruesa bien gradada; 3) 0.4 bolsas de Cemento Pórtland Tipo I (Opcional); 4) 55 galones de Emulsión Asfáltica C.S.E, de rotura rápida.

La colocación manual se realiza en pequeñas áreas, como si se estuviera vaciando un piso de concreto. Para trabajos de envergadura se utiliza un camión mezclador esparcidor cuyo rendimiento promedio es de 2500 m²/día en ciudades y 5000 m²/día o más en carreteras.

Para lograr el acabado rugoso que necesita toda superficie de rodadura se deberá pasar longitudinalmente un yute humedecido con agua. El mortero asfáltico fragua después de 2 a 4 horas de colocado, por lo que se deberá abrir el tráfico ½ hora después del curado.

1.2.2 Tratamiento Monocapa

El Tratamiento Superficial Simple o **Monocapa** consiste en la aplicación de una película continua de ligante asfáltico sobre la superficie de una carretera, seguida de la extensión y compactación de una sola capa de agregado. En éste caso, el agregado a utilizar es triturado hasta cumplir con la especificación granulométrica correspondiente. El material bituminoso utilizado es una emulsión asfáltica catiónica de rotura rápida del tipo CRR-2.

Inicialmente en la Carretera Cañete Chupaca, se efectuó un tratamiento del tipo Slurry Seal desde Pacarán hasta la ciudad de Catahuasi, y de Catahuasi en adelante el tratamiento era del tipo Monocapa. Sin embargo la práctica ha demostrado que el tratamiento superficial tipo Monocapa no es el más adecuado, debido a que experimenta un rápido deterioro, por lo que actualmente solamente se ha optado por el tratamiento Slurry Seal.

CAPITULO II: EL INDICE INTERNACIONAL DE RUGOSIDAD Y EL EQUIPO MERLIN

2.1 RUGOSIDAD Y EL INDICE DE RUGOSIDAD INTERNACIONAL (IRI)

En la Norma de Ensayo ASTM E 867-06 Standard Terminology Relating to Vehicle – Pavement Systems, se define el concepto de rugosidad como: “la desviación de una determinada superficie respecto a una superficie plana teórica, con dimensiones que afectan la dinámica del vehículo y la calidad de manejo” (ASTM , 1995)

En la Ingeniería de Carreteras, la calidad del pavimento se analiza determinando la rugosidad o regularidad Superficial. El hecho que una superficie no presente una regularidad uniforme, puede deberse a varias causas, entre las cuales resaltan: a) el proceso constructivo; b) el uso de la carretera; c) el diseño geométrico de la vía; d) el índice Medio Vehicular, etc...

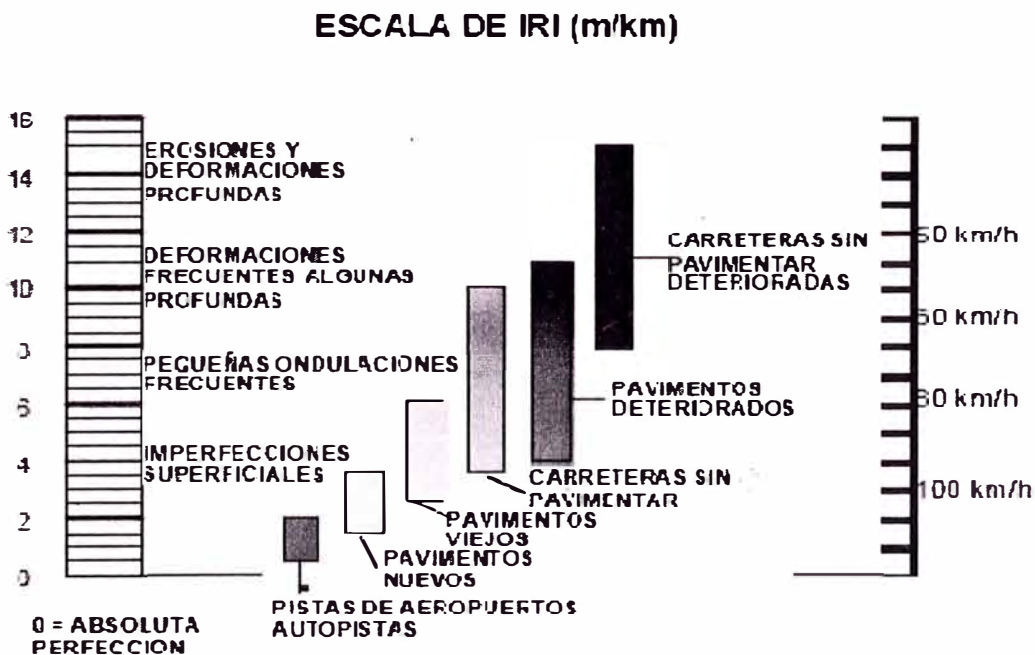
Para evaluar la calidad de la superficie de las carreteras, durante muchos años se utilizó el método desarrollado en los años sesentas por la American Association of State Highway Officials (AASHO), el cual tomaba en cuenta un parámetro denominado Present Serviceability Index (PSI), mejor conocido como Índice de Servicialidad Presente. El PSI consistía en calificar el grado de confort y seguridad que el usuario percibía al transitar por un camino a la velocidad de operación y lo realizaba un grupo de expertos o panel de evaluadores. Cada evaluador debía calificar el camino de una manera subjetiva en una escala de 0 a 5, correspondiente a una superficie intransitable y a una superficie perfecta, respectivamente. El resultado de cada sección de pavimento debía ser reportado por separado, como el promedio del valor asignado por el grupo de evaluadores. Este método ayudó a estimar (de una manera subjetiva) las condiciones en las que se encontraba una carretera, con rapidez y sin interrumpir el flujo de vehículos.

En la década de los setenta, el Banco Mundial financió diferentes programas de investigación, entre los cuales se encontraba un proyecto relacionado con la calidad superficial de las vías y los costos a los usuarios, a través del cual se detectó que la regularidad superficial jugaba un papel determinante. Sin embargo, no existía un parámetro convencional para medir la rugosidad de una carretera; dado que existían diversos equipos, cuyos resultados no era posible

comparar; debido a que las mediciones eran realizadas con equipos y métodos que no eran estables en el tiempo.

Con el objetivo de unificar los parámetros que se utilizaban en diferentes países para determinar la rugosidad o 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 éste proyecto se realizó una medición controlada de la regularidad superficial de los pavimentos bajo diferentes condiciones y con una variedad de instrumentos y métodos. A partir de dicho proyecto, se seleccionó como parámetro de medición de la regularidad superficial, el denominado **Índice de Rugosidad Internacional (IRI, International Roughness Index)**.

Fig. No. 2.01: Valores típicos de IRI para distintos pavimentos



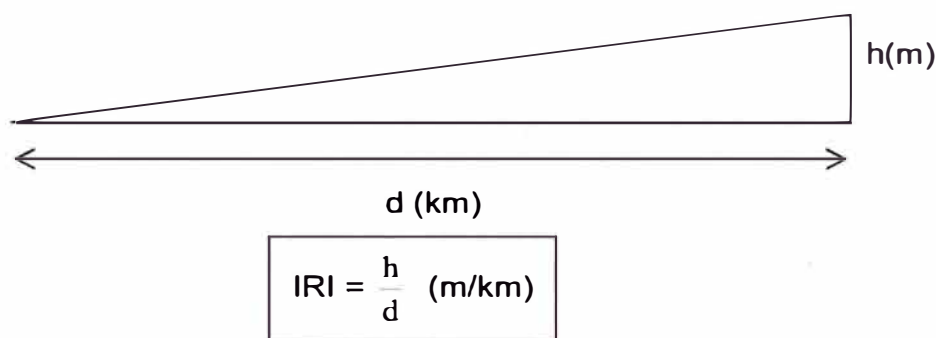
Fuente: Adaptado de UMTRI Research Review, Vol. 33. Número 1. Enero-Febrero 2002

La elección del IRI, exigía que dicho parámetro sea estable en el tiempo, que sea compatible con diversos instrumentos de medición, que diera el mismo resultado independientemente del equipo usado, pero que también refleje la experiencia del usuario en la carretera.

Definitivamente la rugosidad superficial de una carretera o pavimento, es el principal factor que los usuarios perciben para calificar una carretera como confortable o no.

El IRI es un modelo matemático, el cual calcula el movimiento acumulado de la suspensión de un vehículo de pasajeros típico, al recorrer una superficie del camino a una velocidad de 80 km/h. Si se divide el movimiento acumulado de la suspensión (h) en metros entre la distancia viajada (d) en km, se tiene el IRI en m/km.

Fig. No. 2.02: Interpretación del IRI



Fuente: Elaboración propia

El Índice Internacional de Rugosidad (IRI) es una escala de la rugosidad sobre la base de la respuesta simulada de un vehículo de motor genérico, considerando únicamente una rueda recorriendo la superficie de la carretera (Modelo del cuatro de coche). El verdadero valor del IRI, se determina mediante la obtención de una medición precisa del perfil de la carretera, y el procesamiento a través de un algoritmo que simula la forma en que la suspensión de un vehículo de referencia respondería a la irregularidad de la superficie.

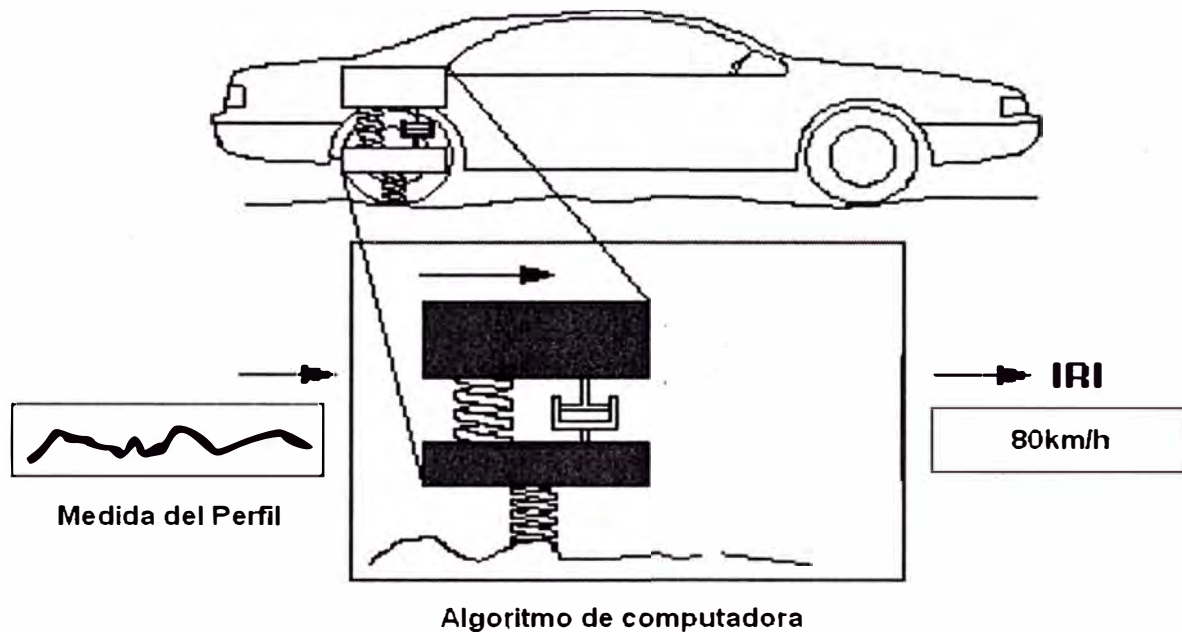
El movimiento sobre el perfil de la carretera produce desplazamientos, velocidades y aceleraciones en las masas, que nos lleva a medir los movimientos verticales no deseados atribuibles a la irregularidad del camino.

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 (Ver Fig. No. 2.03)

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.

Fig. No. 2.03: Modelo del Cuarto de Coche



Fuente: Elaboración Propia

2.2 EQUIPOS DE MEDICIÓN DE LA RUGOSIDAD (ASTM 1995)

Los diversos métodos existentes para medir el Índice de Rugosidad Internacional (IRI) fueron agrupados en cuatro categorías, clasificando los métodos de evaluación en base a cuán directamente sus mediciones se aproximan al IRI.

Métodos Clase 1: Perfiles de Precisión

Esta clase representa los más altos niveles de precisión para medir el IRI. El perfil longitudinal es medido en forma precisa y definido por una serie de elevaciones en puntos separados por una distancia de 0,25m y cotas con una precisión de 0,5mm. Pertenecen a ésta clase el método de "Mira y Nivel". En éste sentido la UNI posee equipos de mira y nivel con precisión geodésica.

Métodos Clase 2: Métodos Perfilométricos

Este grupo incluye a otros métodos que basan el cálculo del IRI en la medida del perfil longitudinal, pero que no tienen la misma exactitud que los de clase 1. Esta clase comprende medidas obtenidas con perfilómetros de alta velocidad y también los métodos estáticos, pero que no satisfacen los criterios de precisión y exactitud como para ser considerados de clase 1. Entre los equipos considerados de clase 2, se tiene: el APL Trailer y el Inertial Profilometer GMR. En el Perú, el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC) considera el equipo MERLIN como de clase 2.

Métodos de Clase 3: Estimaciones del IRI mediante correlaciones

En éste están incluidos los sistemas tipo respuesta o sistemas de medición de rugosidad por reacción (SMRR) que permiten obtener medidas de regularidad superficial. Las medidas obtenidas dependen fundamentalmente de las características dinámicas de cada vehículo. Así los valores obtenidos por los SMRR, deben ser corregidos y convertidos a escala IRI mediante ecuaciones de correlación que se consiguen calibrando experimentalmente cada uno de los equipos con algún sistema de Clase 1 o Clase 2. En éste grupo se encuentra el Mays Meter, Bump Integrator, NAASRA Meter y otros. Precisamente el equipo MERLIN, por ser considerado un aparato de alta precisión, se utiliza para calibrar el equipo Bump Integrator.

Métodos de Clase 4: Valoraciones Subjetivas y Medidas sin calibrar

Se emplean cuando se necesita conocer en forma aproximada el estado de la rugosidad de un pavimento. En éste caso, se puede utilizar un aparato de respuesta sin calibrar ; o se puede estimar la rugosidad por simple inspección visual, o bien se puede valorar el estado de la rugosidad mediante las sensaciones de confort y seguridad que experimenta una persona experta en la materia al circular por dicho tramo.

2.3 EL EQUIPO MERLIN

El acrónimo MERLIN deriva del término *Machine por Evaluating Roughness using Low-cost Instrumentation*. El equipo MERLIN es usado para determinar la

regularidad superficial de un pavimento, y juntamente con el Bump Integrator, es uno de los equipos más utilizados en el Perú. Es un equipo de bajo costo, fácil manejo y un método de análisis simple, con resultados confiables. Sin embargo, un punto débil del MERLIN, es su bajo rendimiento.

El equipo MERLIN fue desarrollado para ser usado en países en vías de desarrollo por el TRRL (Transport Research Laboratory), Instituto de Investigación en el Área de Transportes del Reino Unido, con sede en Inglaterra y en Escocia.

Principio de Operación

El MERLIN toma contacto con el pavimento en tres puntos: dos apoyos rígidos, constituidos por una rueda delantera y un patín fijo en la parte posterior; y un apoyo móvil (patín móvil) fijo al brazo. La distancia entre los apoyos fijos es de 1,80m; y el patín móvil se encuentra en el punto medio de dichos apoyos, a 0,90m de cualquiera de ellos (Ver Fig. 2.04 y 2.05)

El patín central mide la desviación vertical de un punto de la superficie de rodadura, con respecto a una superficie ideal horizontal que pasa por los dos apoyos fijos. Dicha desviación captada por el patín central es transferida a través de un brazo móvil hasta una escala situada en el tablero.

Se toman 200 medidas sucesivas, por cada vuelta completa de la rueda, lo que equivale a un desplazamiento horizontal de 2m. Ello significa, que las 200 lecturas se toman en un tramo de 400m de avance del equipo.

Las medidas obtenidas se registran en un histograma de frecuencias, de las cuales se descarta estadísticamente el 10% de los valores medidos, y con los valores restantes se calcula el IRI del tramo de 400m mediante unas fórmulas de correlación.

2.4 METODOLOGIA PARA DETERMINAR LA RUGOSIDAD CON EL EQUIPO MERLIN

Con el equipo MERLIN se puede determinar el Índice de Rugosidad para un tramo de carretera de 400m, para lo cual es necesario efectuar 200 mediciones en intervalos regulares de aproximadamente 2m. En cada estación de medida, el patín central debe estar apoyado directamente sobre el suelo.

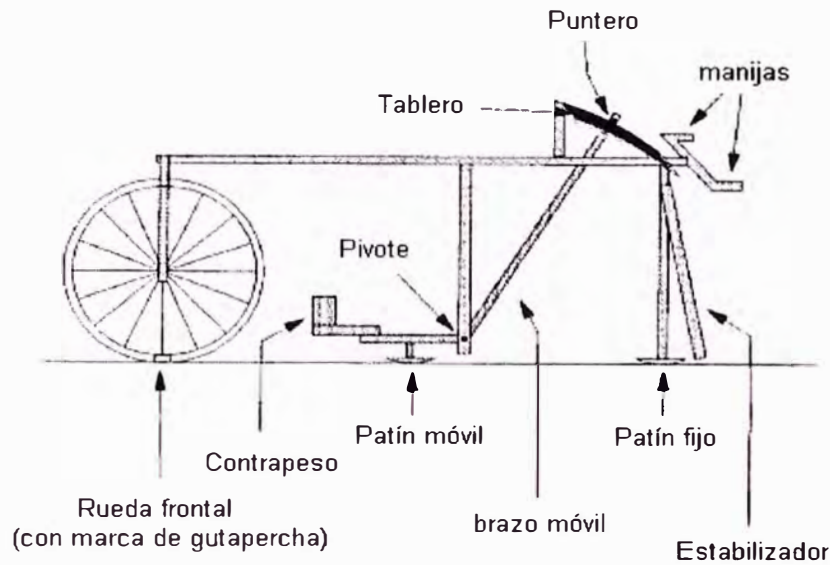


Fig. No. 2.04: Esquema del Merlin

Transport and Road Research Laboratory, M.A Cundill (Report 301)

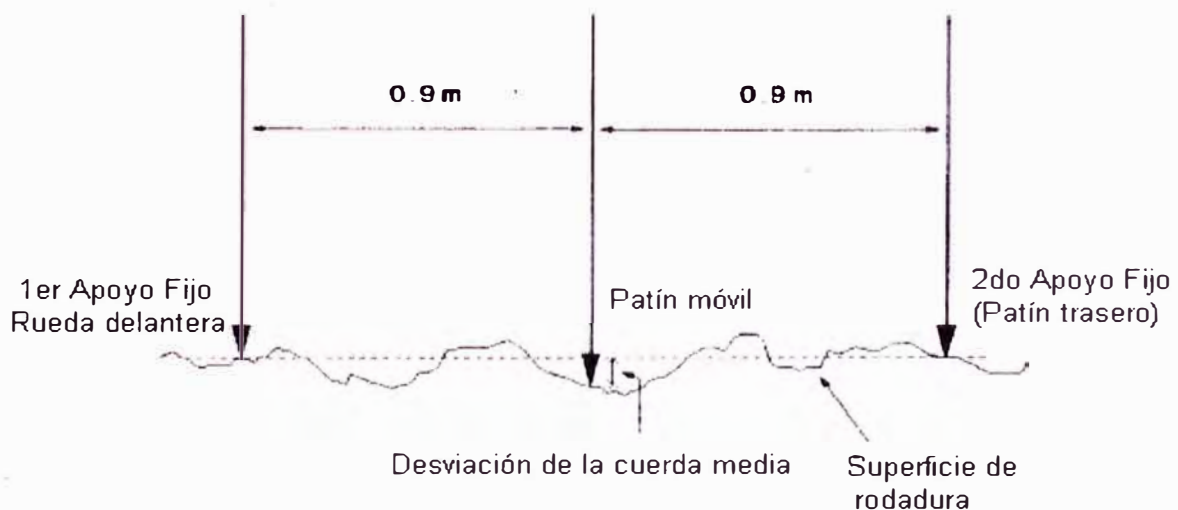


Fig. No. 2.05: Medición de la desviación de la cuerda media móvil

Transport and Road Research Laboratory, M.A Cundill (Report 301)

La posición del puntero sobre la escala indica una lectura que debe ser registrada en un cuadro de registro, hasta completar 200 lecturas. En la Fig. No. 2.06 se muestra la hoja de campo que se utilizó, para registrar las mediciones obtenidas con el equipo MERLIN, durante la visita de campo.

Figura N° 2.06: Formato para recolección de datos de campo

ENSAYO PARA MEDICIÓN DE LA RUGOSIDAD CON MERLIN (HOJA DE CAMPO) CURSO DE TITULACION 2010-2 (FIC – UNI)										
TRAMO:		75+200 AL 75+600								
OPERADOR:		Jaime Espinoza Sandoval								
CARRIL:		IZQUIERDO								
FECHA:		27/11/2010								
LECTURA DE DESVIACIONES										
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
27	31	26	22	21	20	24	24	25	29	1
26	27	17	23	27	22	27	25	29	29	2
27	28	23	22	26	24	21	22	25	21	3
24	22	22	23	24	19	25	23	25	27	4
25	24	24	21	20	20	21	31	26	31	5
24	23	26	22	24	26	25	24	22	26	6
27	27	24	24	26	24	20	22	27	25	7
21	24	19	26	21	24	22	23	22	28	8
22	30	27	25	23	23	20	21	26	22	9
27	22	28	24	26	26	25	27	17	27	10
25	34	23	22	29	23	15	26	23	24	11
26	23	22	28	28	25	23	25	23	25	12
23	22	27	24	27	26	21	20	27	25	13
22	24	18	31	22	20	26	26	19	20	14
27	25	26	27	21	21	23	24	21	26	15
24	20	32	29	24	24	26	30	20	18	16
23	27	24	26	25	24	30	18	21	22	17
25	25	29	27	20	23	26	28	23	26	18
29	31	17	23	23	20	21	27	32	28	19
25	23	19	26	18	22	23	20	20	29	20
TIPO DE PAVIMENTO:		Slurry - Seal								

Fuente : Elaboración Propia

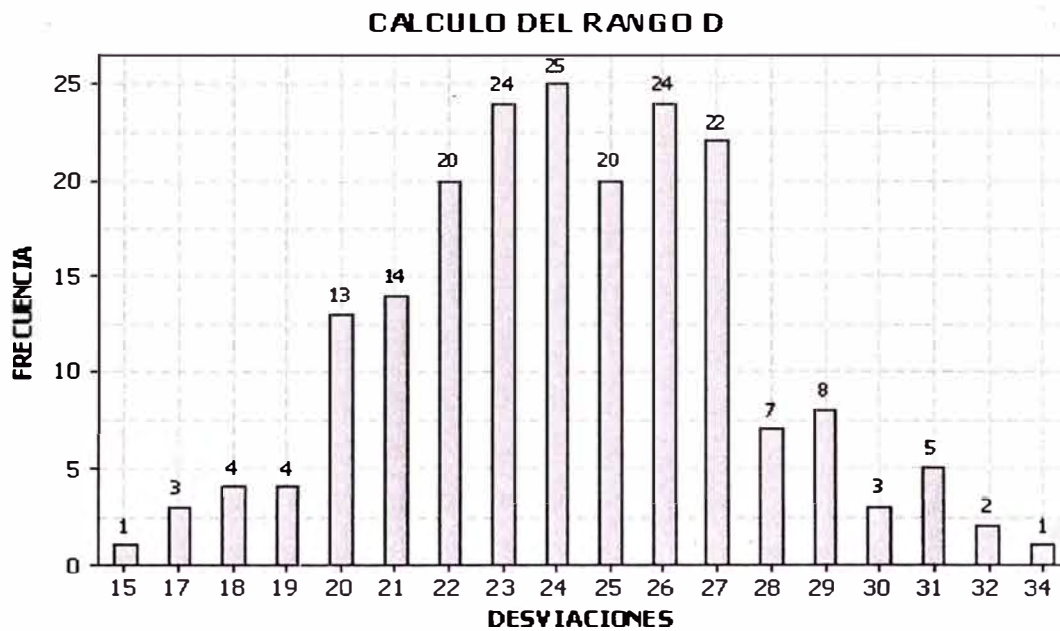
Cálculo del Rango de desviaciones “D”

Con las medidas efectuadas, se construye un histograma de desviaciones versus Frecuencia, tal como se muestra en la Fig. No. 2.07.

De dicho histograma, se descarta el 10% de las mediciones, es decir 20 valores, 10 en cada extremo del histograma. Los valores restantes definen el rango de desviaciones “D”.

Por lo general, al descartar los 10 valores de cada extremo, existen columnas que no pueden descartarse por completo. En éste caso, se excluyen valores en forma proporcional a la frecuencia de la columna.

Fig. No. 2.07: Cálculo del Rango "D"



Fuente: Elaboración Propia

Por ejemplo, en relación a la Fig. No. 2.07, debe seguirse el siguiente procedimiento:

LADO IZQUIERDO DEL HISTOGRAMA

- Se descartan completamente las columnas correspondientes a las desviaciones 15, 17 y 18; las cuales en conjunto poseen $1 + 3 + 4 = 8$ valores.
- Como faltan 2 valores para completar los 10 descartados del lado izquierdo, se descarta 2 de los 4 valores que posee la columna 19. De éste modo, quedan dentro del rango "D" los otros 2 de los 4 valores de dicha columna.

LADO DERECHO DEL HISTOGRAMA

- Se descartan completamente las columnas 31, 32 y 34, los cuales en conjunto poseen $1 + 2 + 5 = 8$ valores.
- Como faltan 2 valores para completar los 10 descartados del lado derecho, se descartan 2 valores de los 3 que posee la columna 30, quedando 1 de 3 valores de dicha columna para el cálculo del rango D.

Luego, el rango D correspondiente al histograma de la Fig. No. 2.07, se calcula de la siguiente forma:

$$\text{Rango D} = \frac{2}{4} \text{ columna} + 10 \text{ columnas enteras} + \frac{1}{3} \text{ columna}$$

$$\text{Rango D} = 0,50 + 10 + 0,43 = 10,93 \text{ columnas}$$

El Rango "D" debe expresarse en milímetros (mm) y como cada columna de la escala equivale a 5mm, multiplicamos el rango "D" encontrado por 5 y se tiene lo siguiente:

$$D = 10,93 \times 5 \text{ mm} = 54,65 \text{ mm}$$

Factor de Corrección del rango "D" (F.C)

El equipo MERLIN ha sido construido con una relación de brazos que se pueden ajustar en una relación 1:10 o 1:5. Sin embargo, debido al desgaste del patín central, dicha relación de brazos no es exactamente 1:10 o 1:5 ; por lo que se necesita un factor de corrección FC.

Para calcular dicho factor de corrección, se utiliza un disco (pastilla) de 5cm de diámetro y aproximadamente 6mm de espesor, y se sigue el siguiente procedimiento:

- Se mide el espesor real de la pastilla, utilizando para ello un calibrador Vernier, que permita una lectura al décimo de milímetro. Se efectúan cuatro mediciones y se toma un promedio. En el caso de la visita al campo efectuada el 25 de Noviembre del 2010, el espesor promedio de la pastilla fue de 6,2mm.
- Se coloca el equipo sobre una superficie plana, a un costado de la carretera, y se ajusta el patín central de tal modo que la lectura en el tablero corresponda a la marca 25.
- Se levanta el patín central, y se coloca la pastilla de calibración debajo de él sobre el piso, y se vuelve a tomar lectura. Por ejemplo, en el caso de la visita de campo se obtuvo una lectura que correspondía a la marca 39 del tablero.
- Ahora bien, como el espesor de la pastilla es de 6,2mm y la relación de brazos es de 1:10, se espera que el puntero suba 62mm sobre el tablero, y como cada división del tablero equivale a 5mm, el puntero deberá subir en $62/5 = 12,4$ marcas. Esto es, si inicialmente se leyó en la marca 25, ahora con la pastilla, el puntero debe indicar $25+12,4 = 37,4$ (aproximadamente 37). Pero como la lectura final fue 39, significa que el aparato está descalibrado y está dando una lectura en exceso, por lo que se necesita corregir en un factor dado por la siguiente expresión:

$$\text{Factor de Corrección(FC)} = \frac{10.T}{5(L_{\text{final}} - L_{\text{inicial}})}$$

Donde "T" es el espesor de la pastilla medida en milímetros. Para el caso de la visita de campo, se tiene el siguiente factor de corrección:

$$FC = \frac{10(6,2)}{5(39 - 25)} = 0,8857$$

ECUACIONES DE CALIBRACIÓN

Una vez obtenido el rango D, a partir del histograma de frecuencias, se calcula el valor del Índice Internacional de Rugosidad (IRI), mediante un conjunto de ecuaciones, denominadas ecuaciones de calibración, que han sido obtenidas a partir del estudio experimental y estadístico por el Laboratorio Británico de Investigación de Caminos y Transportes (TRRL).

D(mm) < 42	D(mm) > 42
IRI = 0.0485 X D	IRI = 0.593 + 0.0471X D

Ventajas del Equipo MERLIN

La razón principal del TRRL al diseñar el equipo MERLIN, fue proporcionar un dispositivo que sea fácil y sencillo de usar, además que las lecturas que proporcionen tengan una precisión razonable, y su costo de mantenimiento y producción sean bajos; por lo que se recomienda su uso en países en vías de desarrollo. Hasta la fecha, el MERLIN se ha utilizado en 11 países en América del Sur, África y Asia; y su costo promedio es alrededor de los 250 dólares.

La introducción del MERLIN en el Perú se produjo en el año 1993, por iniciativa del Ing. Pablo del Águila Rodríguez, en el marco del primer programa de rehabilitación de carreteras financiado por el Banco Interamericano de Desarrollo (BID). El primer estudio de rugosidad con un MERLIN se efectuó durante el mes de Septiembre de 1993, como parte de los estudios para la rehabilitación de la carretera Huayre-Huánuco.

2.5 EL EQUIPO MERLIN AUTOMATIZADO DESARROLLADO POR LA UNI

El MERLIN es un equipo gran precisión, pero de bajo rendimiento, lo que lo pone en desventaja frente a otros equipos como el Bump Integrator (método Clase 3). Ante esta situación, el Instituto de Investigaciones de la Facultad de Ingeniería Civil de la UNI (IIFIC – UNI), ha construido un equipo MERLIN automatizado, donde la toma de datos se efectúa de manera electrónica, y mediante un software apropiado se tienen los valores directos del IRI de una carretera por cada 400m, evitándose de esta forma el procesamiento manual de la Información.

Su principio de funcionamiento, es similar al MERLIN manual, pues también se requiere la toma de 200 medidas, tomándose cada medida una vez que la llanta delantera de una vuelta completa, esto es cada 2m de avance del equipo. El equipo está acondicionado, de tal modo que cada 2m, se puede registrar la lectura mediante un pulsador.

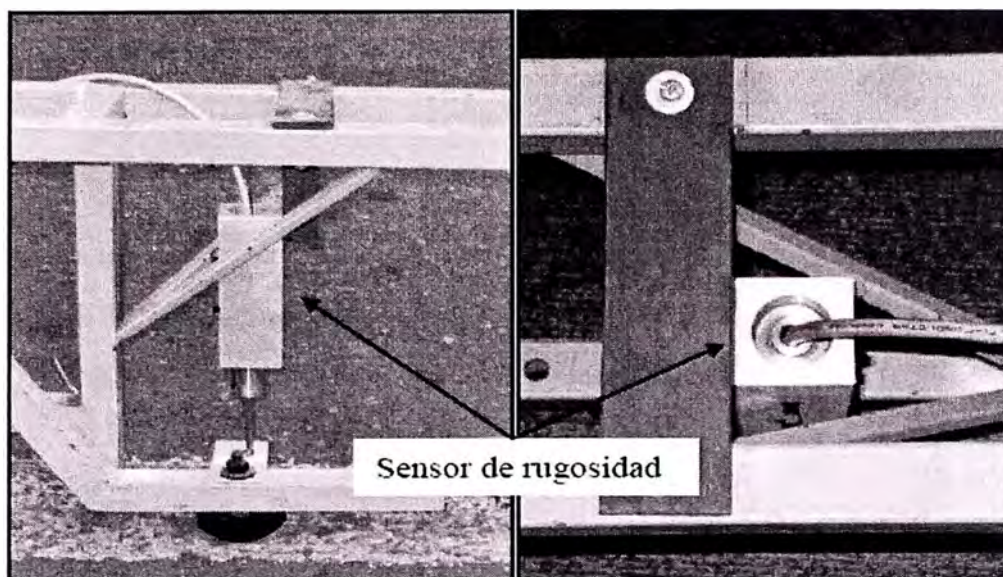
El equipo MERLIN automatizado consta de un sensor de desplazamiento vertical, que registra el movimiento vertical del patín móvil, tal como se muestra en la Fig. No. 2.08. Además de ello, a la altura del eje de la llanta, posee otro sensor que registra el hecho de que haya dado una vuelta completa (Ver Fig. 2.09).

En la parte frontal del equipo tiene ubicado un instrumento colector (pantalla), donde se puede observar las lecturas del instrumento, así como el IRI acumulado hasta el momento de la lectura (Ver Fig. No. 2.10)

El instrumento posee una memoria de 8Mbits de capacidad, permitiendo almacenar muchos tramos antes de llenarse. El instrumento se apaga automáticamente si luego de 3 minutos no ha ocurrido ningún evento, prolongando el servicio de la batería. En la Fig. No. 2.11; se muestra el equipo que permite la acumulación de datos.

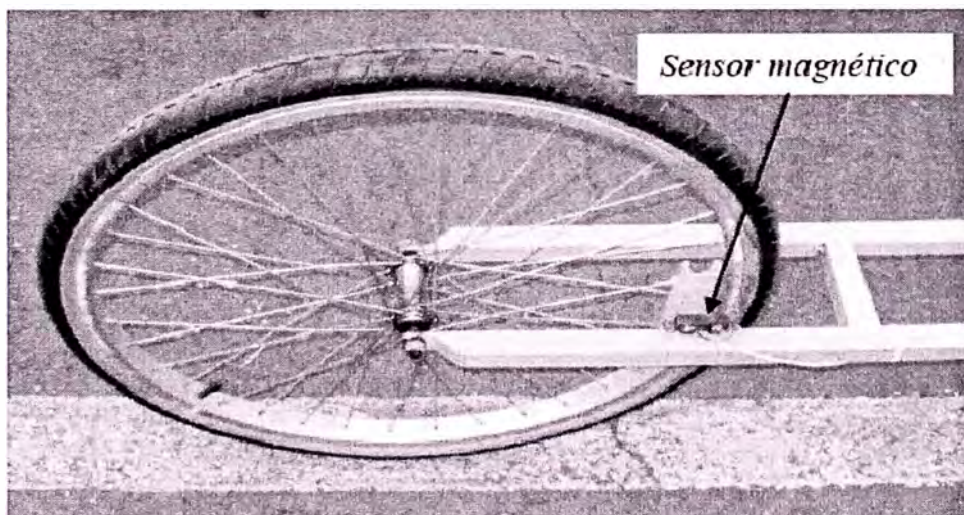
En la visita de campo efectuada a la carretera Cañete-Chupaca, el grupo de evaluación de la rugosidad mediante Equipo MERLIN, hizo sus mediciones usando el equipo manual y automatizado, observándose una correlación confiable de ambos equipos, tal como puede verse en los Anexos.

Fig. No. 2.08: Sensor de desplazamiento vertical del MERLIN automatizado.



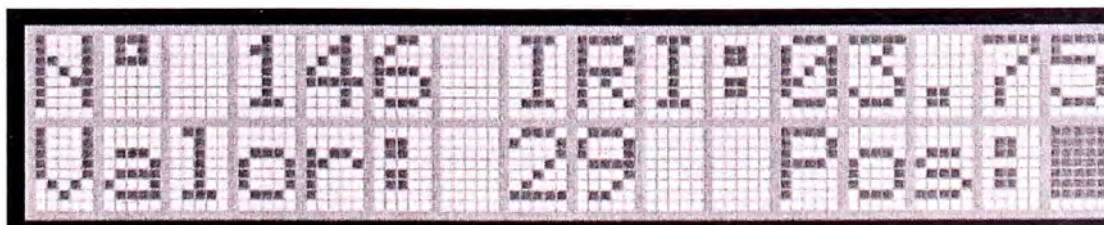
Fuente: IIFIC - UNI

Fig. No.2.09: Sensor magnético ubicado en la llanta



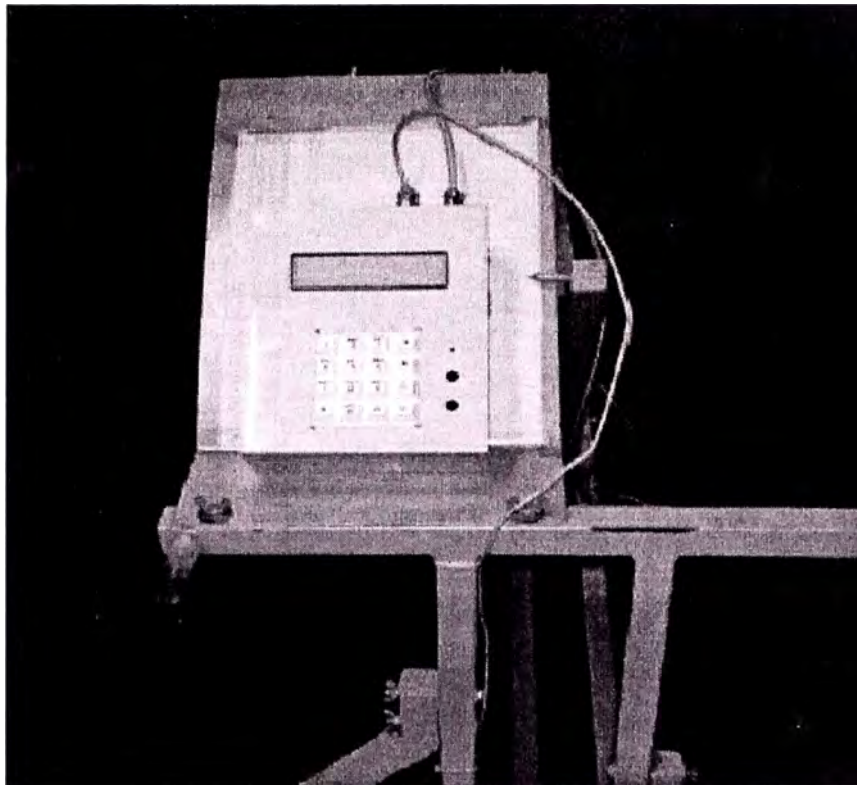
Fuente: IIFIC - UNI

Fig. No. 2.10: Pantalla del Instrumento



Fuente: IIFIC - UNI

Fig. No. 2.11: Equipo de Toma de Datos



Fuente: IIFIC - UNI

2.5 EL IRI COMO CRITERIO DE EVALUACIÓN DE UN PAVIMENTO BÁSICO

Los contratos de conservación por niveles de servicio, así como los pavimentos con solución básica, son alternativas inéditas que viene implementando el MTC a través de Proyecto Perú, con la finalidad de mejorar la transitabilidad de las carreteras de bajo volumen de tránsito.

A diferencia de los contratos ordinarios, en los contratos por niveles de servicio, el MTC efectúa periódicamente el pago al contratista conservador en función a los niveles de servicio prestados, dándose la situación que en caso de incumplimiento el contratista puede ser sancionado o penado económicamente.

De acuerdo a los Términos de Referencia del servicio de conservación vial de la carretera Cañete- Chupaca, elaborado por el MTC, se fija los criterios a tener en cuenta en la supervisión y fiscalización del trabajo desarrollado por el contratista conservador, y que como puede observarse en la siguiente tabla, se limitan a acciones que son físicamente observables, usándose como forma de medición la inspección visual.

Tabla 2.01: Variables o Indicadores que usa el MTC

Variable	Indicador	Forma de Medición	Tolerancia
Calzada	Limpieza	Inspección Visual	Siempre Limpia libre de escombros
Bermas	Limpieza	Inspección visual	Siempre Limpio libre de escombros
Zonas Laterales	Roce	Inspección visual	Altura Máxima. 0.30 M.
Crenaje	- Cunetas - Alcantarillas - Bajadas de Agua - Badenes	Inspección visual	Siempre limpias, libre de residuos sólidos, vegetación y cualquier otro elemento que cauce obstáculo
Estructuras Viales	Puentes y Pontones Muros	Inspección visual	- Siempre Limpios y libre de obstáculos - Drenes Abiertos
Señalización	- Verticales - Hitos kilometricos - Guardavías	Inspección Visual Inspección visual Inspección Visual	- Limpias - Limpios - Limpios

Fuente: Términos de Referencia para el Servicio de Conservación Vial de la Carretera Cañete – Chupaca (MTC)

Como puede observarse en la Tabla No. 2.01, el Índice de Rugosidad (IRI), no se está utilizando como un indicador del nivel de servicio de la carretera Cañete-Chupaca. Evidentemente, desarrollar una metodología para utilizar el IRI como un indicador en los contratos por niveles de servicio, resulta bastante complejo, sobre todo cuando se va a emplear en forma contractual. Indudablemente que ello amerita un trabajo de investigación muy arduo, que va más allá de los objetivos del presente Informe de Suficiencia. Entre los temas que hay necesidad de investigar, se plantea por ejemplo:

- Valores de IRI para la Costa, Sierra y Selva.
- Relacionar el IRI con el Índice Vehicular y establecer una relación de pago debido al incremento en el IMD por el mejoramiento de los pavimentos.
- Relacionar el IRI con el ancho de la calzada, dado que en las soluciones básicas no está contemplado el cambio de la geometría de las vías.

Sin embargo, se debe mencionar que en algunos países latinoamericanos, tales como Argentina y Uruguay, hoy en día se está utilizando el IRI como un factor medición de los niveles de servicio alcanzados, tal como se muestra en la Tabla No. 2.02.

Tabla 2.02: Límites Admisibles de características de camino empleada en Contratos por Niveles de Servicio en América Latina

Componente	Característica o Defecto	Límite Admisible
Calzada	Baches abiertos	0 (Uruguay-Perú-Chile)
Pavimento (A y TS)	Rugosidad (A) → mezcla asfáltica	IRI=2.0 (Argentina) IRI=2.8 (Uruguay)
	Rugosidad (TS) → Tratamiento bituminoso	IRI=2.9 (Argentina) IRI=3.4 (Uruguay)
	Grietas	Selladas (Uruguay, Perú y Chile)
	Fisuras	15% (Argentina) 20% (Chile) 10% (Uruguay y Perú)
	Hundimientos y Ahuellamientos	12mm (Argentina) 10mm (Chile y Uruguay)
Pavimento (Hormigón)	Losas quebradas	Máximo en 2 partes (Uruguay)
	Grietas, juntas y roturas	Selladas (Chile y Uruguay)
Sistema de drenaje	Obstrucciones	No. Debe haber libre escurrimiento (Uruguay, Chile y Perú)
Puentes y pontones	Drenaje	Limpio. Permitir libre escurrimiento (Chile y Perú)
Señalización vertical	Letreros	Limpios (Argentina, Chile y Perú). En Uruguay se especifican coordenadas cromáticas
Señalización horizontal	Retroreflexión	160mcd/lx/m ² (Argentina) 70mcd/lx/m ² (Chile) 150 mcd/lx/m ² (Uruguay)
Derecho de vía	Vegetación (hierbas)	Altura menor a 15cm en taludes y menor a 1m en el resto (Argentina y Uruguay) No debe interferir escurrimientos (Chile y Uruguay)
	Elementos extraños (basura)	No (Argentina, Chile y Uruguay)

FUENTE: Ing. Alberto Bull (CEPAL)

Una propuesta similar fue efectuada por Proyecto Perú, tal como se muestra en la Tabla No. 2.03, aunque varias de las variables no se han tomado en cuenta en los términos de referencia de la carretera Cañete-Chupaca. Se entiende que sea así, porque aun no se ha efectuado un trabajo experimental validado en relación al IRI y otras variables no tomadas en cuenta.

Tabla No. 2.03: Características de Proyecto Perú

Variable	Indicador	Forma de Medición	Tolerancia
Calzada sin recubrimiento	Limpieza Baches	Inspección visual Inspección visual	<ul style="list-style-type: none"> • Siempre limpio. Libre de escombros • No baches. Cero huecos.
Calzada con recubrimiento	Limpieza Baches Fisuras IRI	Inspección visual Inspección visual Inspección visual Perfilómetro	<ul style="list-style-type: none"> • Siempre limpia de escombros • No baches. Cero huecos • 20% de tolerancia • $IRI_p = 2.5$ capa nivelante • $IRI_p = 3.2$ conservación
Bermas	Limpieza Baches	Inspección visual	<ul style="list-style-type: none"> • Siempre limpio. Libre de escombros • No baches. Cero huecos
Zonas Laterales	Roce Taludes Terraplenes	Inspección visual	<ul style="list-style-type: none"> • 0,30m Altura max • Sin deformaciones, asentamiento o erosión
Drenaje	Cunetas Alcantarillas Bajadas de agua Badenes	Inspección visual	Siempre limpias. Libre de residuos sólidos, vegetación o cualquier obstáculo
Estructuras Viales	Puentes y Pontones Muros	Inspección visual	<ul style="list-style-type: none"> • Siempre limpios. Libre de obstáculos • Drenes abiertos
Señalización	Verticales Horizontales Hitos Km Guardavías	Inspección visual Retroreflexómetro Inspección visual Inspección visual	<ul style="list-style-type: none"> • Completas y limpias • Mayor a 150 mcd/lux/m^2 • Completos y limpios • Completos, limpios y sin deformaciones
Vigilancia	Cuidar la vía y su entorno	Inspección visual	Informar a la supervisión del tramo

FUENTE: Pro Vías- Proyecto Perú (http://www.mtc.gob.pe/portal/CARRTERAS_FINAL.pdf)

Por otro lado, el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC), ha establecido ciertos límites para el Índice Internacional de Rugosidad (IRI), según se muestra en la tabla No. 2.04.

Tabla No. 2.04: Estado Vial, según Rugosidad

	PAVIMENTADAS	NO PAVIMENTADAS
ESTADO	RUGOSIDAD	RUGOSIDAD
Bueno	0 < IRI < 2.8	0 < IRI < 6
Regular	2.8 < IRI < 4	6 < IRI < 8
Malo	4 < IRI < 5	8 < IRI < 10
Muy malo	5 < IRI	10 < IRI

Fuente: MTC (2007)

Finalmente, luego de analizar las propuestas de Proyecto Perú y de otros países latinoamericanos, se observa que la propuesta inicial peruana es muy exigente para un pavimento básico (IRI=2.5) en comparación a lo que propone la norma Argentina (IRI = 2.9) o la Uruguay (IRI = 3.4); por lo que se propone los siguientes valores intermedios:

- Que el IRI promedio aceptable para un pavimento básico recién intervenido sea 3.0 como máximo.
- Que el IRI promedio, para el cual deben iniciarse las labores de mantenimiento sea 4.5 como máximo.
- Que el mejor tipo de tratamiento recomendado para un pavimento básico es el de Slurry Seal.

En base a lo anterior, se propone los siguientes límites de Rugosidad (IRI) para Pavimentos Básicos en el Perú:

Tabla 2.05: Propuesta de Rugosidad para Pavimentos Básicos

ESTADO	RUGOSIDAD
Bueno	IRI < 3.0
Regular	3.0 < IRI < 4.5
Necesita mantenimiento	IRI > 4.5

Fuente: Elaboración Propia

CAPÍTULO III: CONFIABILIDAD Y ESTUDIO DE LA INCERTIDUMBRE DEL EQUIPO MERLIN

3.1. REQUISITOS EXIGIDOS A UN INSTRUMENTO DE MEDICION

El equipo MERLIN es un instrumento de medición, y como cualquier instrumento debe cumplir ciertas exigencias para ser considerado un instrumento confiable.

La medición del Índice de Rugosidad (IRI), con el objetivo de monitorear el pavimento y determinar de éste modo estrategias de mantenimiento, debe tener un aceptable grado de precisión, a fin de poder detectar pequeños cambios o variaciones que se estén produciendo en la rugosidad de una carretera. Sólo de éste modo, podemos tener una idea cabal de cómo evoluciona la rugosidad en el tiempo.

Dado que todo proceso de medición está sujeto inevitablemente a errores, necesitamos conocer su grado de incertidumbre. Los errores en los sistemas de medición pueden clasificarse en dos categorías: a) errores sistemáticos y b) errores aleatorios

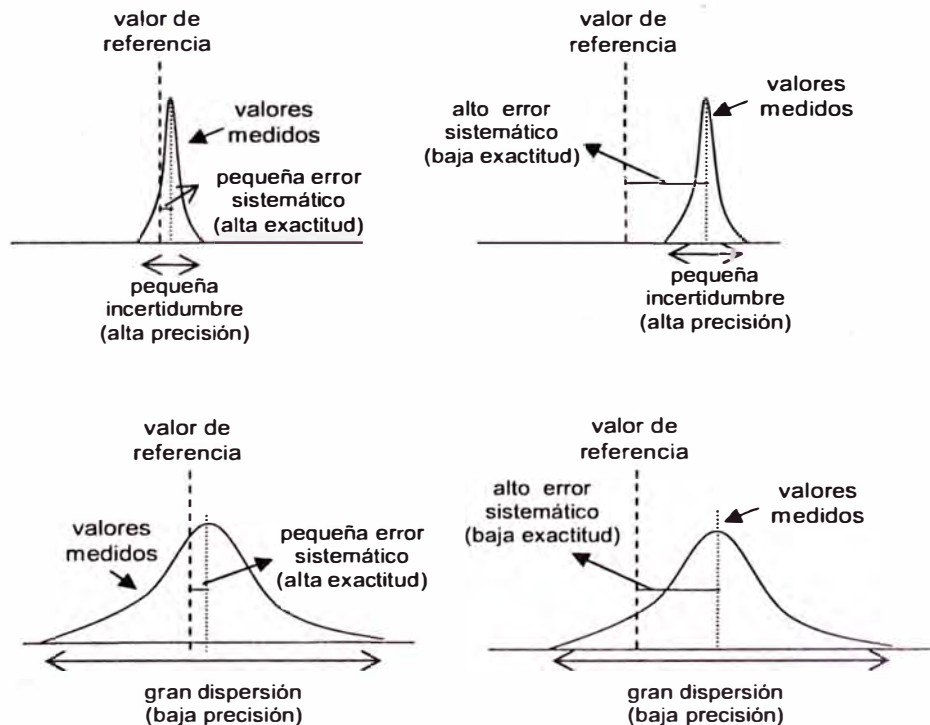
Los errores sistemáticos tienden a permanecer constantes a lo largo del proceso de medición. Estos errores puede provenir de la falta de calibración del equipo, de tal modo que al momento de la medición siempre conlleva consigo un sesgo respecto al valor verdadero que se quiere medir. En el caso del MERLIN, una forma de reducir los posibles errores sistemáticos, es calibrando el equipo con otro de mayor exactitud, tal como el Método del Nivel y Mira, y a través de ello cuantificar el grado de error sistemático y eliminarlo de las lecturas subsiguientes; esto sin embargo, no ha sido posible estudiar en el presente informe. Además de ello, es obligatorio que al inicio de una nueva secuencia de lecturas el indicador esté en la marca 25. También es deseable que al inicio de una toma de mediciones, se verifique que la rueda delantera, el patín central y el patín trasero se encuentren alineados. Sin embargo, los errores sistemáticos no sólo pueden provenir del equipo, sino también de parte del operador. Según lo observado en la visita de campo, se ha detectado que el operador por la premura al tomar las medidas, no deja que la aguja indicadora del equipo se estabilice, sino que toma lectura rápida de la aguja cuando ésta está aun oscilando. Sin embargo, si se toman las medidas adecuadas, los errores

sistemáticos pueden ser minimizados y no ser tomados en cuenta en el cálculo de la incertidumbre.

Por otro lado, los errores aleatorios o también llamados errores accidentales; resulta de la variabilidad en las medidas obtenidas, como resultado de una serie de factores aleatorios. En el caso del Equipo MERLIN, dichos factores pueden deberse, por ejemplo, al hecho que la rueda delantera no siempre esté a 1m del borde, o que el equipo al tomar la medida no se encuentre exactamente en un plano vertical. Estos errores pueden ser minimizados mediante la repetición del proceso de medida, tomándose, por ejemplo 3 series de lecturas por cada carril.

Los errores sistemáticos están relacionados con la exactitud del Equipo. Un Equipo posee un mayor nivel de exactitud, cuando los valores que proporcione están más cercanos al valor verdadero o de referencia. En el caso del IRI, el valor de referencia lo proporciona el Método del Nivel y Mira. Asimismo, los errores aleatorios están relacionados con la precisión del Equipo. Cuánto menos dispersos sean los valores medidos, mayor será la precisión.

Fig. No. 3.01: Exactitud y Precisión



FUENTE: Elaboración propia

Confiabilidad de un Instrumento de Medición

Generalmente se usan dos términos para medir la precisión de un sistema de medidas: Repetitividad y Reproducibilidad. Ambos términos describen la variabilidad del proceso de medición (ISO – 5725-1, 1994).

En relación a las carreteras, se denomina **Repetitividad** a la variación de las mediciones obtenidas con un mismo equipo de medición y un mismo operador, en el mismo segmento de carretera y bajo las mismas condiciones en un intervalo de tiempo dado. Se denomina **Reproducibilidad** a la capacidad del equipo o Instrumento, de reproducir o replicar las medidas de una misma cantidad medible, en comparación a las medidas de otros equipos. (*Transportation Research Circular E-C037: Glossary of Highway Quality Assurance Terms*, Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D.C., 2002, 30 pp).

Un equipo será más **confiable** en comparación a otro, cuando tiene mejor precisión que éste otro, es decir cuando tiene un alto grado de repetitividad y reproducibilidad.

3.2 EVALUACIÓN DE LA CONFIABILIDAD DEL EQUIPO MERLIN

En el presente informe, se evaluará la confiabilidad del equipo MERLIN, desde el punto de vista de su precisión. Para ello, se determinará su grado de Repetitividad y Reproducibilidad por separado.

Análisis de la Repetitividad del Equipo MERLIN

Para este análisis se usará como base de datos, los valores del IRI medidos en el mes de Marzo 2010 en la carretera Cañete-Chupaca, correspondiente al tramo 90 + 000 al 110 + 700 (Ver Tabla No. 3.01). Como se puede observar en dicha Tabla, el IRI fue medido en el carril derecho e izquierdo, con tres corridas por carril.

Existen dos formas de estudiar la repetitividad de dichas mediciones:

- Mediante Análisis de Correlación, y
- Análisis de Varianza (ANOVA)

Tabla No. 3.01: Valores de IRI con MERLIN (Marzo 2010)

TRAMO			IRI (m/km)								Variación		Nivel de Regularidad
			LADO IZQUIERDO				LADO DERECHO				IRI (Min-Max)	IRI PROM (Izq-Der)	
P. INICIAL	-	P. FINAL	1ra	2da	3ra	PROM	1ra	2da	3ra	PROM			
90+000	-	90+400	5.2	5.6	5.5	5.4	4.2	4.6	3.9	4.2	1.6	1.2	medio
90+400	-	90+800	6.4	6.1	5.6	6.0	5.2	4.7	4.1	4.7	2.3	1.4	alto
90+800	-	91+200	5.6	5.2	5.1	5.3	5.1	5.1	5.3	5.2	0.6	0.1	bajo
91+200	-	91+600	5.5	5.6	5.4	5.5	4.7	5.1	4.6	4.8	1.1	0.7	bajo
91+000	-	91+400	4.5	4.2	4.4	4.4	3.7	3.9	3.9	3.8	0.8	0.6	bajo
91+400	-	91+800	4.8	5.0	4.6	4.8	4.9	5.6	4.9	5.1	1.0	0.3	bajo
91+800	-	92+200	4.3	4.6	4.1	4.3	4.5	3.8	4.1	4.1	0.8	0.2	bajo
92+200	-	92+600	4.1	4.0	3.8	4.0	4.1	4.4	3.1	3.9	1.4	0.1	medio
92+600	-	93+000	4.5	5.0	4.8	4.8	3.8	3.9	4.1	3.9	1.2	0.8	medio
93+000	-	93+400	4.5	4.6	4.1	4.4	4.2	4.3	3.9	4.1	0.6	0.2	bajo
93+400	-	93+800	3.6	3.9	4.0	3.8	4.2	3.7	3.5	3.8	0.6	0.1	bajo
95+000	-	95+400	3.5	3.4	3.7	3.5	3.8	3.1	3.6	3.5	0.7	0.0	bajo
95+400	-	95+800	4.1	4.0	3.3	3.8	3.9	4.0	3.8	3.9	0.8	0.1	bajo
95+800	-	96+200	5.9	6.1	5.9	5.9	6.9	6.4	6.6	6.6	1.1	0.7	bajo
96+200	-	96+600	5.7	5.3	5.2	5.4	5.4	4.8	5.0	5.1	1.0	0.3	bajo
96+600	-	97+000	5.0	5.0	4.5	4.8	4.8	4.8	5.1	4.9	0.6	0.1	bajo
97+100	-	97+500	4.4	3.8	4.6	4.3	5.8	5.0	4.6	5.1	2.0	0.9	alto
97+500	-	97+900	4.7	4.7	4.9	4.8	5.2	5.1	5.1	5.2	0.5	0.4	bajo
97+900	-	98+300	4.6	4.3	4.0	4.3	5.7	5.1	5.1	5.3	1.8	1.0	alto
98+300	-	98+700	4.5	4.3	4.6	4.4	5.7	5.4	5.9	5.7	1.6	1.2	medio
98+700	-	99+100	5.3	4.5	4.5	4.8	5.6	5.8	4.7	5.4	1.4	0.6	medio
99+100	-	99+500	5.6	4.8	4.8	5.1	6.1	5.5	5.2	5.6	1.3	0.5	medio
99+500	-	99+900	4.7	5.7	5.8	5.4	5.7	5.2	5.0	5.3	1.1	0.1	bajo
99+900	-	100+300	4.4	4.5	3.9	4.3	5.5	5.1	4.5	5.1	1.6	0.8	medio
100+300	-	100+700	4.5	4.1	4.1	4.2	5.3	4.6	4.4	4.8	1.2	0.5	medio
100+700	-	101+100	5.2	5.1	5.9	5.4	6.3	5.1	5.3	5.6	1.3	0.2	medio
101+100	-	101+500	5.3	5.2	4.7	5.1	5.1	5.4	4.7	5.0	0.7	0.0	bajo
101+500	-	101+900	5.0	5.5	5.0	5.2	4.9	5.5	5.3	5.2	0.6	0.1	bajo
101+900	-	102+300	4.9	4.8	4.5	4.7	5.2	5.3	5.4	5.3	0.9	0.6	bajo
102+300	-	102+700	4.9	5.1	4.8	4.9	5.7	5.3	4.4	5.1	1.3	0.2	medio
102+700	-	103+100	4.5	3.9	4.5	4.3	3.8	4.8	4.6	4.4	1.0	0.1	bajo
103+100	-	103+500	4.4	5.0	5.2	4.9	4.6	4.2	4.8	4.5	1.0	0.3	bajo
103+500	-	103+900	4.9	5.3	4.7	4.9	4.6	4.9	5.6	5.0	1.0	0.1	bajo
103+900	-	104+300	4.8	5.0	4.8	4.9	4.8	5.2	4.7	4.9	0.5	0.1	bajo
104+300	-	104+700	4.8	4.9	5.4	5.0	4.6	5.2	4.8	4.9	0.8	0.1	bajo
104+700	-	105+100	4.8	4.6	5.1	4.9	4.5	4.2	4.5	4.4	0.9	0.5	bajo
105+100	-	105+500	4.4	4.6	4.1	4.4	5.0	5.0	5.2	5.0	1.1	0.7	medio
105+500	-	105+900	4.7	5.3	4.7	4.9	4.6	4.5	4.4	4.5	1.0	0.4	bajo
105+900	-	106+300	4.8	4.3	4.4	4.5	4.9	4.4	5.2	4.8	0.9	0.3	bajo
106+300	-	106+700	4.8	4.9	5.9	5.2	5.6	5.0	5.4	5.3	1.1	0.1	bajo
106+700	-	107+100	5.6	5.1	5.1	5.3	5.1	6.8	5.7	5.9	1.7	0.6	alto
107+100	-	107+500	5.4	5.2	5.6	5.4	5.2	4.9	4.8	5.0	0.8	0.5	bajo
107+500	-	107+900	3.9	4.0	4.1	4.0	3.4	3.5	3.8	3.6	0.7	0.4	bajo
107+900	-	108+300	3.8	4.2	4.6	4.2	3.9	3.8	3.8	3.8	0.8	0.4	bajo
108+300	-	108+700	4.1	4.3	4.4	4.3	4.8	4.1	4.1	4.3	0.7	0.0	bajo
108+700	-	109+100	5.2	5.2	5.0	5.2	5.2	5.6	4.9	5.2	0.8	0.1	bajo
109+100	-	109+500	4.7	4.3	4.5	4.5	4.5	4.3	4.8	4.5	0.5	0.0	bajo
109+500	-	109+900	5.3	5.4	5.3	5.3	4.7	4.6	4.8	4.7	0.9	0.7	bajo
109+900	-	110+300	5.6	5.7	6.4	5.9	5.4	5.5	5.1	5.4	1.2	0.5	medio
110+300	-	110+700	7.5	6.6	7.2	7.1	6.5	7.3	6.8	6.9	1.0	0.2	bajo

Fuente: Convenio UNI-ProVias

Análisis de la Repetitividad por Correlación

En el análisis de correlación, se estudia el grado de asociación existente entre dos series de mediciones ("x" e "y"), para lo cual se evalúa el coeficiente de correlación de Pearson (r), para una serie de N datos, se define a través de la siguiente expresión:

$$r = \frac{\sum XY - \frac{(\sum x)(\sum y)}{N}}{\sqrt{\left(\sum x^2 - \frac{(\sum x)^2}{N}\right) \left(\sum y^2 - \frac{(\sum y)^2}{N}\right)}}$$

El valor del coeficiente de correlación varía entre 1 y -1. Un valor de "r" cercano a cero, indica que no existe correlación entre las dos series de medidas; mientras un valor cercano a 1 indica una buena correlación. Por lo general, un valor de "r" mayor que 0,75 o menor que -0,75; indica un buen nivel de correlación (Ver Edgard Acuña, *Estadística Descriptiva e Inferencial, cap.3*).

- Como una demostración del proceso, se efectuará un análisis de correlación de las dos primeras series de lecturas tomadas del carril izquierdo, donde: x = IRI (1era serie) ; y = IRI (2da serie).
- Como ambas series de lecturas han sido efectuadas con el mismo instrumento y el mismo operador, se espera una buena correlación entre ambas series.
- Para efectuar dicho análisis confeccionamos la Tabla No. 3.02, obteniéndose los siguientes resultados estadísticos:

$$\begin{aligned} \sum x &= 243.2 & \sum x^2 &= 1207.26 \\ \sum y &= 241.8 & \sum y^2 &= 1190.840 \end{aligned}$$

$$\sum x y = 1195.25$$

- El coeficiente de correlación "r" de Pearson para ambas pruebas, se determina a través de la siguiente operación :

$$r = \frac{(1195.25) - \frac{(243.2)(241.8)}{50}}{\sqrt{\left((1207.26) - \frac{(243.2)^2}{50}\right) \left(50(1190.840) - \frac{(241.8)^2}{50}\right)}} \rightarrow r = 0.83663$$

- Como el coeficiente de correlación de la 1era y 2da serie es bastante elevada (0.83663 > 0.75), significa que una estrecha correlación entre

ambas series, por lo que el grado de repetitividad del equipo, es bastante aceptable.

Tabla No. 3.02: Análisis de Regresión de las 2 primeras lecturas

x	y	x ²	y ²	xy	x	y	x ²	y ²	xy
5.2	5.6	27.04	31.36	29.12	5.2	5.1	27.04	26.01	26.52
6.4	6.1	40.96	37.21	39.04	5.3	5.2	28.09	27.04	27.56
5.6	5.2	31.36	27.04	29.12	5.0	5.5	25.00	30.25	27.50
5.5	5.6	30.25	31.36	30.80	4.9	4.8	24.01	23.04	23.52
4.5	4.2	20.25	17.64	18.90	4.9	5.1	24.01	26.01	24.99
4.8	5.0	23.04	25.00	24.00	4.5	3.9	20.25	15.21	17.55
4.3	4.6	18.49	21.16	19.78	4.4	5.0	19.36	25.00	22.00
4.1	4.0	16.81	16.00	16.40	4.9	5.3	24.01	28.09	25.97
4.5	5.0	20.25	25.00	22.50	4.8	5.0	23.04	25.00	24.00
4.5	4.6	20.25	21.16	20.70	4.8	4.9	23.04	24.01	23.52
3.6	3.9	12.96	15.21	14.04	4.8	4.6	23.04	21.16	22.08
3.5	3.4	12.25	11.56	11.90	4.4	4.6	19.36	21.16	20.24
4.1	4.0	16.81	16.00	16.40	4.7	5.3	22.09	28.09	24.91
5.9	6.1	34.81	37.21	35.99	4.8	4.3	23.04	18.49	20.64
5.7	5.3	32.49	28.09	30.21	4.8	4.9	23.04	24.01	23.52
5.0	5.0	25.00	25.00	25.00	5.6	5.1	31.36	26.01	28.56
4.4	3.8	19.36	14.44	16.72	5.4	5.2	29.16	27.04	28.08
4.7	4.7	22.09	22.09	22.09	3.9	4.0	15.21	16.00	15.60
4.6	4.3	21.16	18.49	19.78	3.8	4.2	14.44	17.64	15.96
4.5	4.3	20.25	18.49	19.35	4.1	4.3	16.81	18.49	17.63
5.3	4.5	28.09	20.25	23.85	5.2	5.2	27.04	27.04	27.04
5.6	4.8	31.36	23.04	26.88	4.7	4.3	22.09	18.49	20.21
4.7	5.7	22.09	32.49	26.79	5.3	5.4	28.09	29.16	28.62
4.4	4.5	19.36	20.25	19.80	5.6	5.7	31.36	32.49	31.92
4.5	4.1	20.25	16.81	18.45	7.5	6.6	56.25	43.56	49.50

Fuente: Elaboración propia

- o Usando el Programa MINITAB se puede evaluar simultáneamente el grado de correlación existente entre la 1era, 2da y 3era serie de medición, obteniéndose la siguiente matriz de correlación:

Matriz CORR

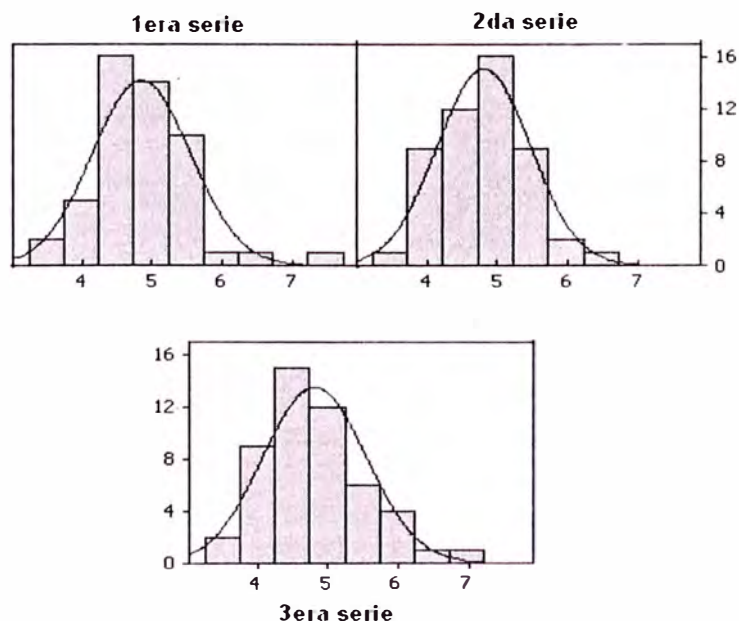
1.00000	0.83663	0.77427
0.83663	1.00000	0.82261
0.77427	0.82261	1.00000

- Interpretando la matriz anterior, se tienen los siguientes índices de correlación: $r_{12} = 0.83663$; $r_{13} = 0.77427$; $r_{23} = 0.82261$. Luego se observa que entre las 3 series de medición existe una buena correlación, pero entre las series 1 y 3, la correlación es menor.
- Se concluye que el equipo MERLIN tiene un alto índice de Repetitividad, pero siempre es necesario efectuar varias mediciones de una misma característica, a fin de reducir los errores aleatorios.

Análisis de la Repetitividad mediante Análisis de Varianza (ANOVA)

- El método del análisis de varianza, también permite comparar las tres mediciones efectuadas en el carril izquierdo, y establecer hasta qué punto tienen un buen nivel de repetitividad.
- Sin embargo, antes de aplicar éste método se debe verificar si las tres series de medidas efectuadas, se ajustan a una curva de distribución normal. Una forma de probar la normalidad de una distribución es efectuando un histograma, tal como se muestra en la Fig. No. 3.02.

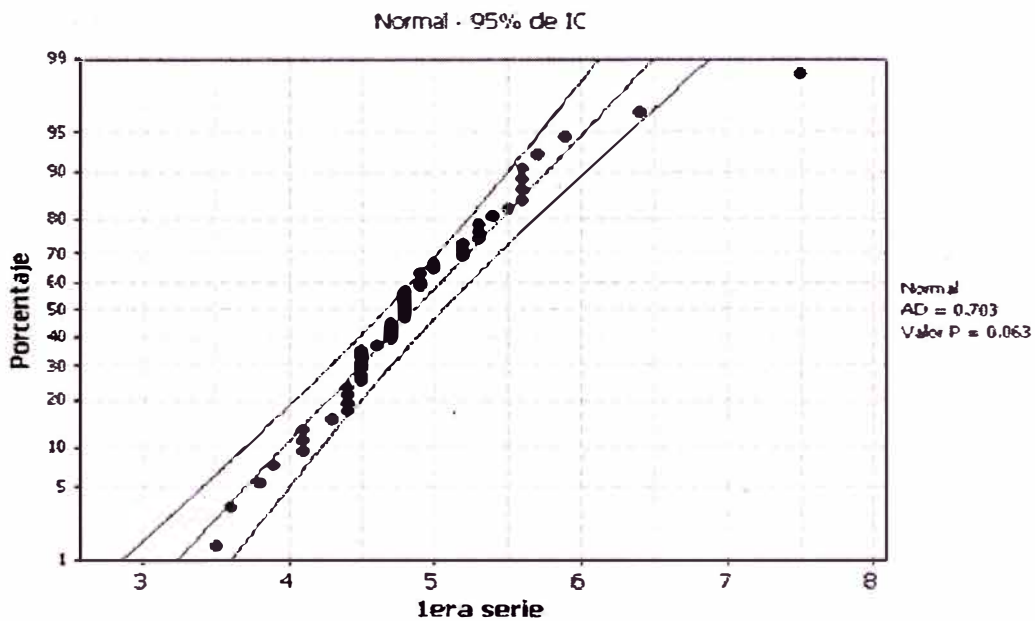
Fig. No. 3.02: Histograma de las 3 series de IRI



Fuente: Elaboración propia

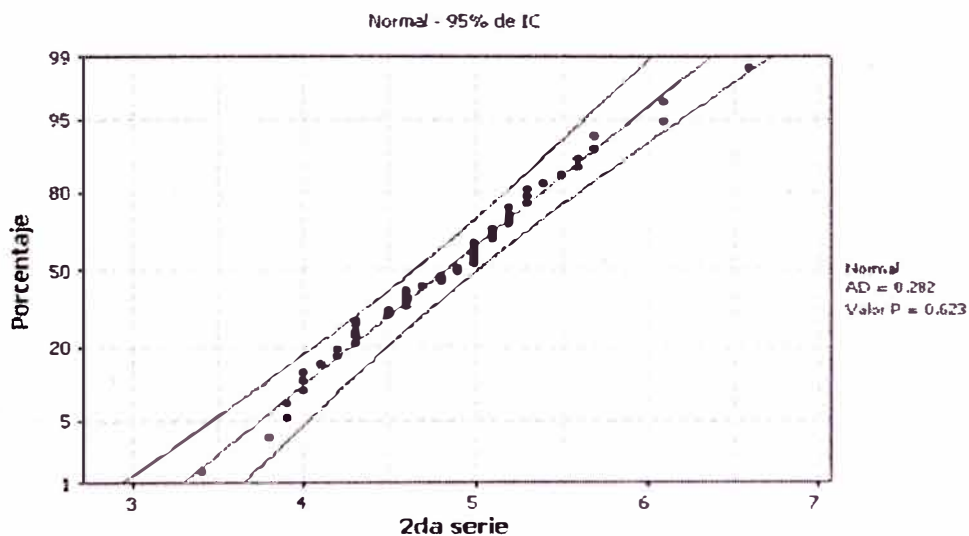
- Del análisis de la Fig. No. 3.02, se deduce que las tres series de medidas tienen comportamiento aproximadamente normal. Sin embargo, un mejor criterio es someter las tres series a un test de normalidad, y mediante el estadístico de Anderson Darling (AD) determinar la normalidad de cada serie ($AD > 0.5$). Dicho procedimiento se muestra en las Fig. 3.03 al 3.05, donde con un intervalo de confianza del 95% puede afirmarse que cada serie es normal.

Fig. No. 3.03: Test de Normalidad de la 1era serie



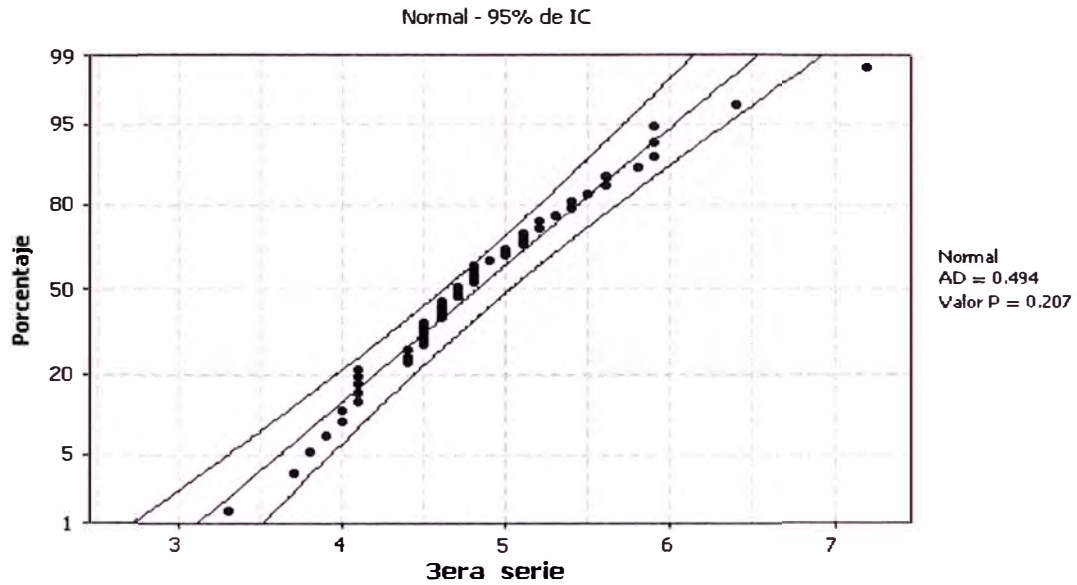
Fuente: Elaboración Propia

Fig. No. 3.04: Test de Normalidad de la 2da serie



Fuente: Elaboración propia

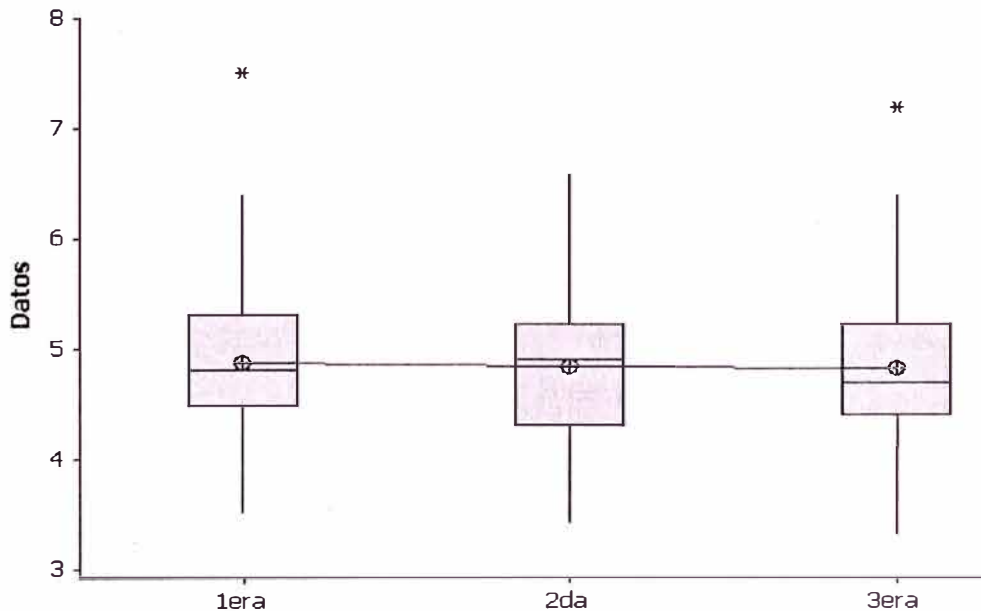
Fig. No. 3.05: Test de Normalidad de 3era serie



Fuente: Elaboración Propia

- A continuación, mediante el MINITAB, se obtiene el siguiente gráfico de caja de las tres series de lecturas, tal como se muestra en la Fig. No. 3.06. En dicha figura se observa, que las medias de las tres series son muy similares.

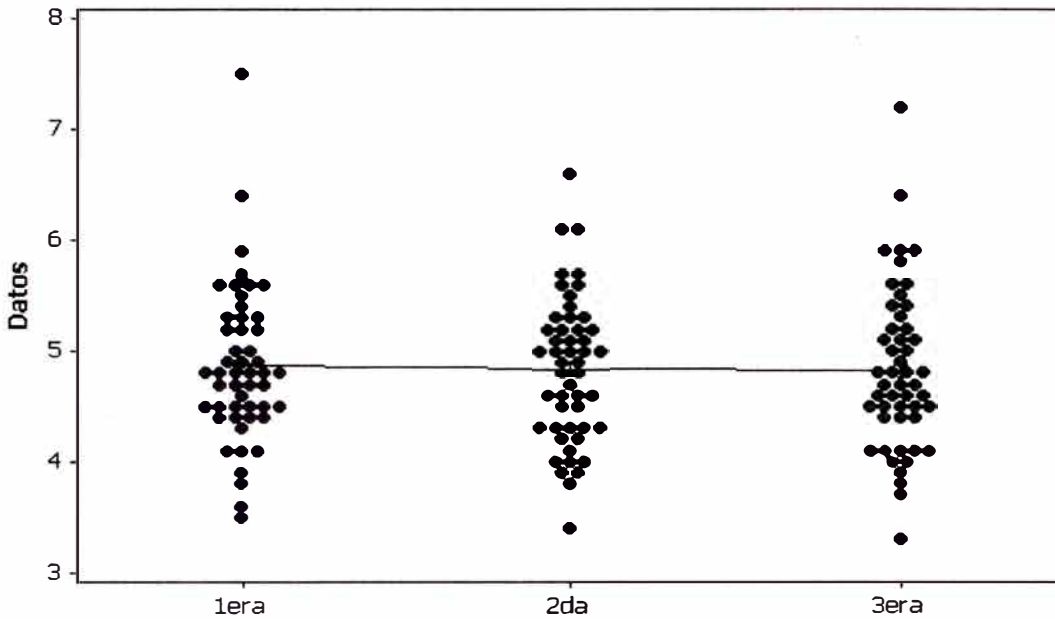
Fig. No. 3.06: Gráfico de Caja de las tres lecturas



Fuente: Elaboración Propia

- También es posible, evaluar la variación dentro de cada serie, y la variación entre las series, tal como se muestra en la Fig. No. 3.07.

Fig. No. 3.07: Variabilidad de las 3 series



Fuente: Elaboración propia

- Por otro lado, con el mismo Programa MINITAB, se efectúa una prueba hipótesis, para determinar hasta qué punto las mediciones de las tres series se correlacionan entre sí:

Hipótesis Nula → H_0 : La media de las 3 lecturas coinciden

Hipótesis Alternativa → H_a : No todas las medias son iguales.

Los resultados obtenidos de dicho análisis se muestran a continuación:

ANOVA unidireccional: 1era, 2da, 3era

Fuente	GL	SC	MC	F	P
Factor	2	0.046	0.023	0.05	0.955
Error	147	72.296	0.492		
Total	149	72.342			

S = 0.7013 R-cuad. = 0.06% R-cuad. (ajustado) = 0.00%

ICs de 95% individuales para la media basados en Desv.Est. agrupada

Nivel	N	Media	Desv.Est.	ICs
1era	50	4.8640	0.7047	(-----*-----)
2da	50	4.8360	0.6623	(-----*-----)
3era	50	4.8220	0.7349	(-----*-----)

4.68 4.80 4.92 5.04

Desv.Est. agrupada = 0.7013

- El p-valor $p = 0,955$ indica que con un 95,5% de confianza, que se puede aceptar la Hipótesis Nula que las medias de las tres lecturas son coincidentes entre sí, y que por tanto presentan un alto grado de repetitividad.

Análisis de la Reproducibilidad del Equipo MERLIN

Como se ha visto anteriormente, otro factor importante en la confiabilidad de un equipo de medición, es su Reproducibilidad. Para evaluar éste aspecto, es necesario medir el mismo tramo de carretera, pero con equipos y tecnologías diferentes. Lamentablemente, por las limitaciones de recursos, entre la data obtenida, no se tiene Información sobre medidas de rugosidad con equipos diferentes realizados en la carretera Cañete-Chupaca, ni en otras carreteras del país.

En virtud de tal limitación, se usará la data de un estudio de medición de rugosidad efectuada por Greggory Morrow en Nueva Zelanda en Mayo del 2006, en su Tesis de Maestría sustentada en el Department of Civil and Environmental Engineering, de la Universidad de Auckland, en donde efectúa un estudio comparativo de diversos equipos de medición de la rugosidad, incluyendo el MERLIN. La data que al respecto se obtuvo es la siguiente:

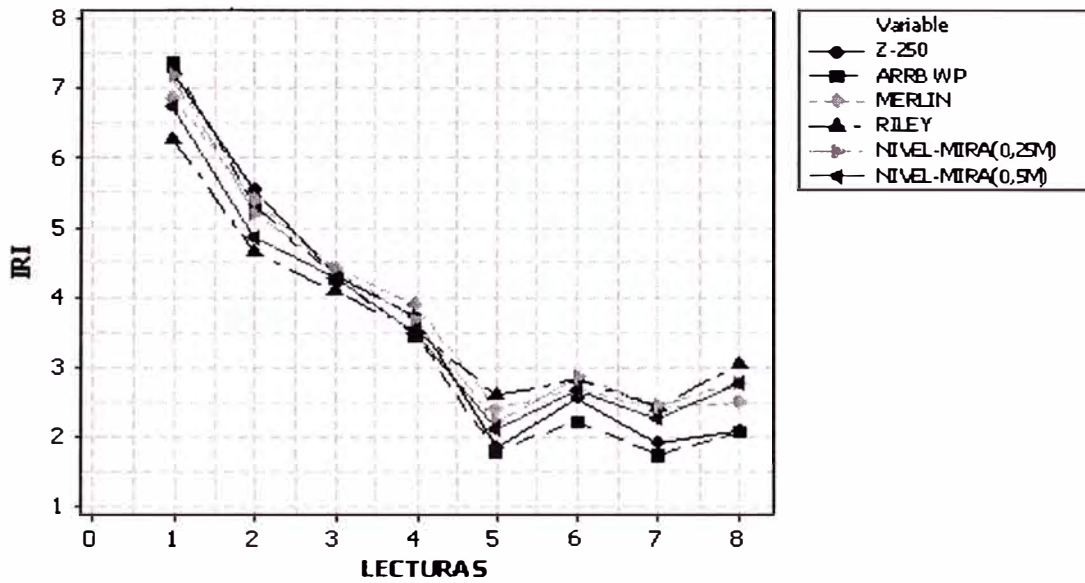
Tabla No. 3.03: Valores de IRI para diferentes Instrumentos de Medición

INSTRUMENTO	SITIO No.3		SITIO No.5		SITIO No.6		SITIO No.7	
	IZQ	DER	IZQ	DER	IZQ	DER	IZQ	DER
Z-250	7.24	5.55	4.30	3.72	1.86	2.55	1.92	2.08
ARRB WP	7.38	5.31	4.27	3.46	1.79	2.23	1.74	2.06
MERLIN	6.85	5.39	4.42	3.90	2.41	2.67	2.40	2.50
RILEY	6.27	4.65	4.09	3.52	2.60	2.83	2.42	3.04
Nivel-Mira(0,25m)	7.18	5.19	4.39	3.67	2.21	2.85	2.45	2.77
Nivel – Mira(0,5m)	6.73	4.85	4.26	3.49	2.12	2.67	2.26	2.75

Fuente: Morrow et.al, 2005

- En la Fig. No. 3.08, se presenta un gráfico comparativo de las mediciones del IRI, efectuada por 6 metodologías diferentes, entre ellas el Equipo MERLIN.

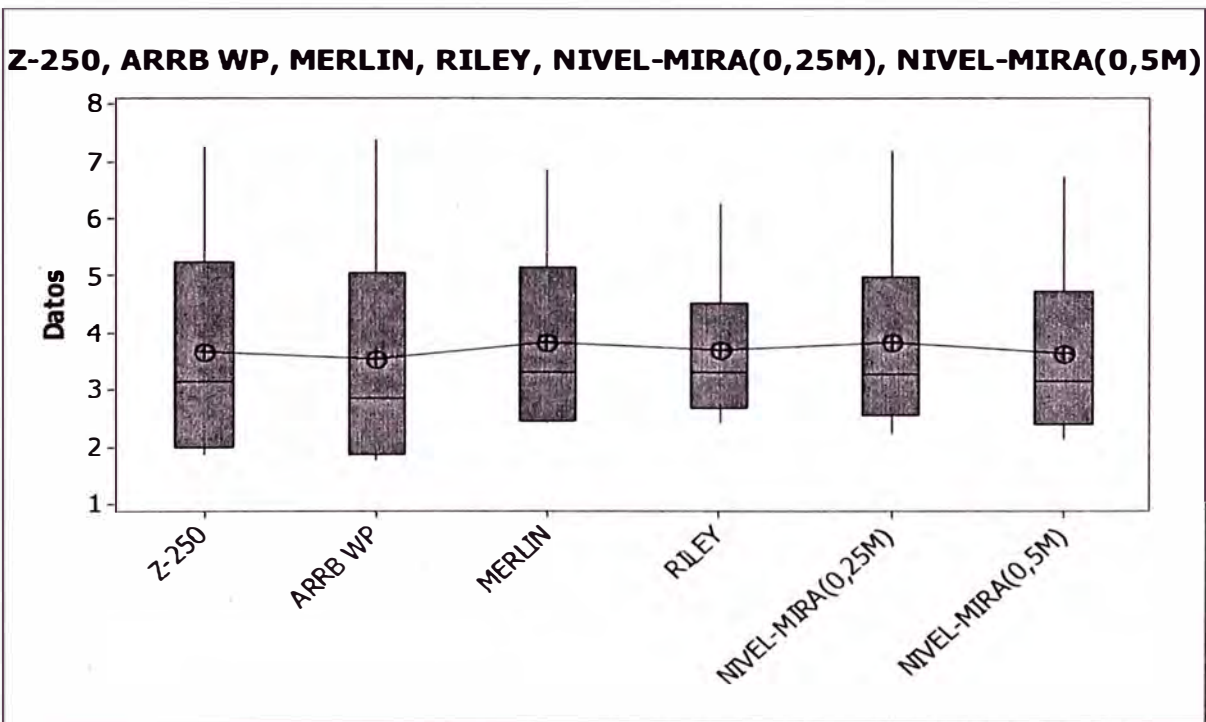
Fig. No. 3.08: Gráfico Comparativo de IRI medidos por 6 métodos diferentes



Fuente: Elaboración Propia

- Efectuando un análisis de varianza (ANOVA) para los 6 métodos de medición de Rugosidad, se tiene el gráfico de caja de la Fig. No. 3.09, donde se muestran las medias de los 6 métodos de medición del IRI.

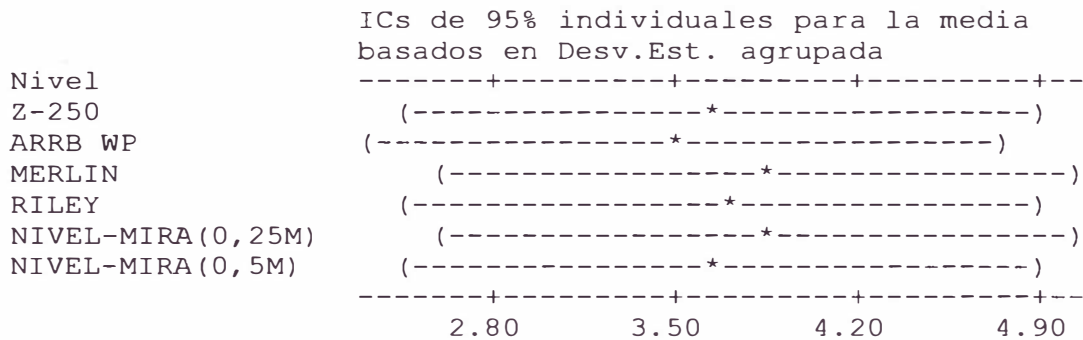
Fig. No. 3.09: Gráfico de Caja de los 6 métodos de medición del IRI



Fuente Elaboración Propia

- En el Gráfico anterior puede observarse cómo la media de los 6 equipos de medición se encuentran dentro de un rango aceptable.
- El Análisis ANOVA arroja el siguiente resultado:

Nivel	N	Media	Desv.Est.
Z-250	8	3.652	1.957
ARRB WP	8	3.530	2.022
MERLIN	8	3.817	1.651
RILEY	8	3.677	1.294
NIVEL-MIRA (0, 25M)	8	3.839	1.691
NIVEL-MIRA (0, 5M)	8	3.641	1.575



Desv.Est. agrupada = 1.716

- Puede observarse de los resultados anteriores, que la reproducibilidad del equipo MERLIN es altísima, y con nivel de confianza del 95% se puede afirmar, que las mediciones obtenidas con el MERLIN, son similares a las obtenidas por otros equipos.

Luego, puede concluirse que el equipo MERLIN presenta un alto grado de repetitividad y reproducibilidad, lo que lo tipifica como un instrumento de gran confiabilidad.

3.3 ERRORES DE MEDICIÓN Y SU TRATAMIENTO

Por lo expuesto anteriormente, debe tenerse en cuenta que los errores sistemáticos pueden ser reducidos al mínimo, mediante una calibración adecuada de los equipos, con otro de mayor exactitud. Asimismo se recomienda efectuar un análisis de reproducibilidad y repetitividad de forma periódica, a fin tener un proceso de medición bajo control estadístico. Sólo de ésta forma, los errores de medición serán reducidos al mínimo.

3.4 CASO DE TRAMOS CURVOS

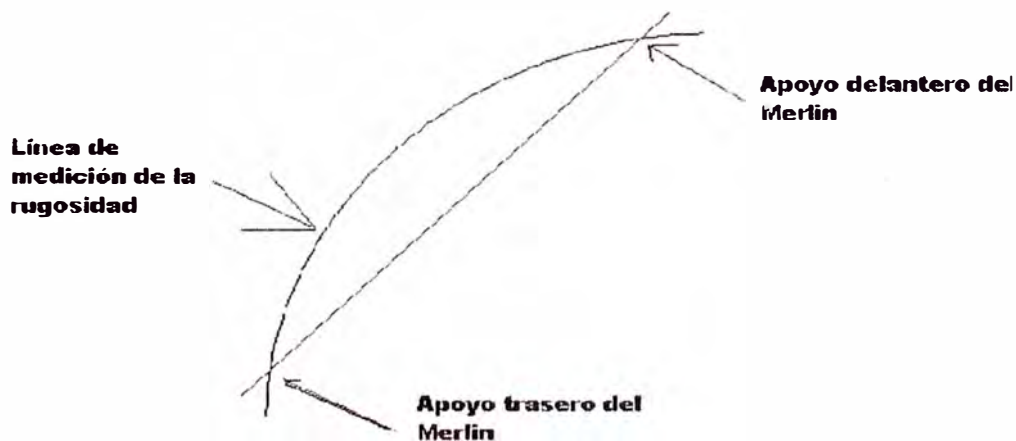
La rugosidad en una carretera debe medirse por donde circulan las ruedas de los vehículos, razón por la cual casi siempre se establece que la línea de medición de la rugosidad quede a aproximadamente 1m del borde externo ó del borde interno del carril que está siendo objeto de medición.

El rugosímetro MERLIN mide la diferencia de nivel entre una recta que pasa por sus apoyos (rueda delantera adelante y patín trasero) y el punto del pavimento que queda bajo el centro de la mencionada recta, es decir a 90 cm de cualquiera de esos apoyos. Si se utiliza el MERLIN en un tramo recto, la recta que se inicia en la rueda delantera y finaliza en su apoyo trasero coincide perfectamente con la recta sobre la cual se está midiendo el MERLIN.

Cuando se mide la rugosidad con el MERLIN en una curva, lo expresado en el anterior párrafo deja de tener validez, ya que la línea recta definida por sus puntos de apoyo no coincidirá con la línea de medición de la rugosidad.

Si esto sucede en un tramo sin peralte, la desviación del punto de medición de la rugosidad no tendrá ningún efecto, pero si el tramo tiene peralte existirá un error en la medición de la rugosidad, como se puede apreciar a continuación:

Fig. No. 3.10. Errores en la medición del IRI en tramos curvos





Fuente: Elaboración Propia

Por lo tanto, se debe corregir la lectura del MERLIN en curvas, disminuyendo a la lectura el incremento causado por la curva y el peralte.

Un estudio detallado de éste tema sale de los límites del presente Informe de Suficiencia, por lo que se deja para un trabajo de investigación posterior.

CAPÍTULO IV: CONFORMACIÓN DE LA BASE DE DATOS SOBRE LA CARRETERA CAÑETE-CHUPACA (TRAMO 74+000 AL 84+000)

A través del Convenio Interinstitucional entre ProVías Nacional y la FIC UNI, se ha estado monitoreando la Carretera Cañete – Chupaca, levantando información sobre la rugosidad de dicha carretera a partir del año 2009. Para la medición del IRI de la carretera en mención, la UNI ha utilizado el Equipo MERLIN, así como el BUMP INTEGRATOR.

Por otro lado, se cuenta con información sobre el IRI de la Carretera medida por los alumnos de Cursos de Titulación anteriores al 2010-2. Sin embargo, dicha información es muy pobre, dado que sólo se llegaron a medir tramos muy reducidos, algunos sólo de 400m y en sectores diferentes.

Por otro lado, el Ministerio de Transportes y Comunicaciones, usando un Rugosímetro del tipo Láser, ha tomado mediciones del IRI del sector comprendido entre Cañete y Lunahuaná, previo a la entrega de la Carretera al Contratista Conservador y posteriormente en el 2009 se levantó información con el Rugosímetro Láser entre las Progresivas 53+000 y 78+000.

Por consiguiente, la información que se tiene sobre la rugosidad superficial de Carretera en el tramo asignado (74+000 al 81+000) es muy escasa y variada.

Conformar una base de datos única que pueda relacionar la Información del IRI medido en diferentes fechas para un mismo tramo, y con diferentes métodos de medición, es realmente imposible. Y esto, no porque la conformación de la base en sí sea un procedimiento muy complejo, sino porque la data existente es muy variada y no ha sido tomada sistemáticamente. Uno de los problemas encontrados está en las Progresivas. Por ejemplo, con el MERLIN se ha tomado el IRI de la Progresiva 74+400 al 74+800 en Junio del 2009, pero con el BUMP se tomó el IRI entre las Progresivas 74+200 y 74+600 en Mayo del 2010. Esto no permite hacer un buen estudio de correlación entre el IRI y el tiempo.

Hubiese sido deseable, sistematizar el estudio de la rugosidad, midiendo los mismos tramos en diferentes fechas y con los dos equipos que dispone la UNI, a fin de tener una Base de Datos, que permita monitorear el comportamiento de la carretera.

4.1 RECOPIACIÓN DE DATOS HISTÓRICOS SOBRE EL IRI OBTENIDO MEDIANTE MERLIN POR EL CONVENIO UNI – MTC

A continuación se presenta los datos obtenidos del Convenio UNI – ProVías para el tramo en estudio motivo del siguiente informe (km 74+000 al 84+000). Los datos completos se encuentran en los Anexos del presente informe.

Tabla 4.01: Datos del MERLIN (convenio UNI-MTC)c)

PROGRESIVA INICIAL(km)	PROGRESIVA FINAL(km)	TRATAMIENTO	FECHA	IRI
74.40	74.80	slurry-seal	03/07/2009	3.51
75.00	75.40	slurry-seal	03/07/2009	3.57
76.30	76.70	slurry-seal	03/07/2009	3.51
77.20	77.60	slurry-seal	03/07/2009	3.18
78.05	78.45	slurry-seal	03/07/2009	2.84
79.50	79.90	monocapa	29/06/2009	4.64
79.90	80.30	monocapa	29/06/2009	3.51
80.30	80.70	monocapa	29/06/2009	3.49
80.70	81.10	monocapa	29/06/2009	3.74
81.90	82.30	monocapa	29/06/2009	6.32
82.30	82.70	monocapa	29/06/2009	3.50
83.00	83.40	monocapa	29/06/2009	5.89

Fuente: Convenio ProVías – UNI

4.2 RECOPIACIÓN DE DATOS HISTÓRICOS SOBRE EL IRI OBTENIDO MEDIANTE MERLIN EN CURSOS DE TITULACIÓN ANTERIORES.

En la Tabla No. 4.02 se muestra los datos obtenidos sobre la Rugosidad de la Carretera Cañete – Chupaca (Tramo 74+000 al 84+000), obtenidos durante el Curso de Titulación 2009-2. Como puede observarse, los datos son muy diversos.

Tabla No.. 4.02: DATOS DEL MERLIN (Curso de Titulación 2009-2)

	CURSO DE TITULACIÓN	
Fecha de ensayo	02/10/2009	
Tipo de superficie	Tramo	IRI (m/km)
SLURRY	60+000 - 60+400	3.81
	66+600 - 67+000	3.64
	72+000 - 72+400	3.16
	76+600 - 77+000	3.84
MONOCAPA	80+100 - 80+500	3.94
	84+600 - 85+000	4.93
	91+100 - 91+500	4.30
	97+800 - 98+200	4.79
	99+800 - 100+200	6.48

Fuente: Informes de Suficiencia 2009-2 (Elaboración Propia)

4.3 RECOPIACIÓN DE DATOS HISTÓRICOS SOBRE EL IRI OBTENIDO MEDIANTE OTROS EQUIPOS.

Medición del IRI usando Bump Integrator

En la Tabla No. 4.03 se presenta los datos sobre la rugosidad superficial del tramo asignado, medido con el equipo BUMP INTEGRATOR, por el Convenio UNI-ProVías Nacional. La Información completa se encuentra en los Anexos.

**Tabla No. 4.03: DATOS DEL BUMP INTEGRATOR
(CONVENIO UNI - MTC)**

PROGRESIVA INICIAL	PROGRESIVA FINAL	IRI	FECHA	TRATAMIENTO
74.2	74.6	3.56	17/05/2010	SLURRY SEAL
74.6	75.0	3.59	17/05/2010	SLURRY SEAL
75.0	75.4	3.57	17/05/2010	SLURRY SEAL
75.4	75.8	3.57	17/05/2010	SLURRY SEAL
75.8	76.2	3.68	17/05/2010	SLURRY SEAL
76.2	76.6	3.59	17/05/2010	SLURRY SEAL
76.6	77.0	3.56	17/05/2010	SLURRY SEAL
77.0	77.4	3.55	17/05/2010	SLURRY SEAL
78.2	78.6	4.59	17/05/2010	SLURRY SEAL
78.6	79.0	3.71	17/05/2010	SLURRY SEAL
79.0	79.4	4.01	17/05/2010	MONOCAPA
79.4	79.8	4.98	17/05/2010	MONOCAPA
79.8	80.2	4.28	17/05/2010	MONOCAPA
80.2	80.6	3.57	17/05/2010	MONOCAPA
80.6	81.0	4.01	17/05/2010	MONOCAPA
81.0	81.4	3.59	17/05/2010	MONOCAPA
81.4	81.8	3.59	17/05/2010	MONOCAPA
81.8	82.2	3.56	17/05/2010	MONOCAPA
82.2	82.6	3.60	17/05/2010	MONOCAPA
82.6	83.0	5.94	17/05/2010	MONOCAPA
83.0	83.4	5.33	17/05/2010	MONOCAPA
83.4	83.8	3.82	17/05/2010	MONOCAPA
83.8	84.2	3.75	17/05/2010	MONOCAPA

Fuente: Convenio ProVias- UNI

Medición del IRI usando Rugosímetro Láser

En la Tabla No. 4.04 se presenta la data sobre la rugosidad superficial del tramo asignado, obtenido directamente del MTC. Dicha medición fue efectuada en Setiembre del 2009, usando un Rugosímetro LASER. La medición fue efectuada en tramos de 20m cada una, y fue procesada mediante el

Programa MINITAB para obtener un IRI promedio para tramos de 400m. La Información completa y procesada se encuentra en los Anexos.

**Tabla No. 4.04: DATOS DEL MTC CON RUGOSÍMETRO LÁSER
(Setiembre 2009)**

PROG. INIC	PROG. FIN	IRI PROMEDIO
74.0	74.4	3.918
74.4	74.8	3.425
74.8	75.2	3.688
75.2	75.6	2.894
75.6	76.0	3.289
76.0	76.4	3.342
76.4	76.8	3.318
76.8	77.2	3.135
77.2	77.6	3.994
77.6	78.0	4.125
78.0	78.4	3.570
78.4	78.8	3.528

Fuente: Elaboración Propia

4.4 RECOPIACIÓN Y PROCESAMIENTO DE DATOS OBTENIDOS DE LA VISITA DE CAMPO, MEDIANTE EQUIPO MERLIN.

A continuación se tiene los datos de la visita de campo, efectuada el 27 de Noviembre del 2010, en el que se midió el Índice de Rugosidad de la carretera Cañete –Chupaca, en el tramo asignado (74+000 al 84+000). Para dicho efecto se contó con el Equipo MERLIN Manual y Automático. El MERLIN Manual se usó para medir el IRI de la carretera en el carril izquierdo, y el Automático en el carril derecho. El procesamiento de la información recopilada en el campo, se encuentra en los Anexos del presente informe.

Tabla No.4.05: Datos de la Visita de Campo

PROGR. INICIAL	-	PROGR. FINAL	TIPO DE TRATAMIENTO	FECHA	IRI MERLIN AUTOM. carril der	IRI MERLIN MANUAL carril izq	IRI _{prom}
74 + 000	-	74 + 400	slurry seal	27/11/2010	4.16	3,70	3.93
74 + 400	-	74 + 800	slurry seal	27/11/2010	3.27	3,29	3.28
74 + 800	-	75 + 200	slurry seal	27/11/2010	3.76	3,30	3.53
75 + 200	-	75 + 600	slurry seal	27/11/2010	3.15	2,85	3.00
75 + 600	-	76 + 000	slurry seal	27/11/2010	3.76	3,30	3.53
76 + 000	-	76 + 400	slurry seal	27/11/2010	3.53	3,67	3.60
76 + 400	-	76 + 800	slurry seal	27/11/2010	3.65	3,28	3.46
76 + 800	-	77 + 200	slurry seal	27/11/2010	3.22	3,08	3.15
77 + 200	-	77 + 600	slurry seal	27/11/2010	3.06	3,20	3.13
77 + 600	-	78 + 000	slurry seal	27/11/2010	-	3,46	3.46
78 + 000	-	78 + 400	slurry seal	27/11/2010	-	3,10	3.10
78 + 400	-	78 + 800	slurry seal	27/11/2010	-	3,72	3.72
79 + 000	-	79 + 400	slurry seal sobre monocapa	27/11/2010	4.36	4,28	4.32
79 + 400	-	79 + 800	slurry seal sobre monocapa	27/11/2010	3.70	3,27	3.48
79 + 800	-	80 + 200	slurry seal sobre monocapa	27/11/2010	3.88	3,72	3.80
80 + 200	-	80 + 600	slurry seal sobre monocapa	27/11/2010	4.31	3,65	3.98
80 + 600	-	81 + 000	slurry seal sobre monocapa	27/11/2010	3.62	4,13	3.88

Fuente: Elaboración propia

4.5 SOFTWARE PARA PROCESAR LAS LECTURAS DEL EQUIPO MERLIN

Para automatizar el procesamiento de datos, cálculo del IRI y conformación de una base de datos, se ha desarrollado el programa de computadora MERLUNI usando el lenguaje de programación Java.

CAPÍTULO V: HOMOGENEIZACIÓN Y DIVISIÓN DEL TRAMO ASIGNADO

La sectorización de una carretera en sectores homogéneos es un paso importante en un programa de mantenimiento. Se considera un sector como homogéneo, cuando el pavimento en dicha zona tiene características uniformes o similares. De éste modo se puede establecer cuál es el mantenimiento más adecuado de una sección dada de la carretera.

La sectorización de la carretera puede efectuarse usando diversos criterios, tales como:

- La rugosidad superficial (IRI)
- Condición estructural del pavimento
- El volumen de tráfico (IMD)
- El número de carriles
- La condición superficial del pavimento (PCI)
- El tipo de pavimento usado
- Espesor de la sub-base, etc.

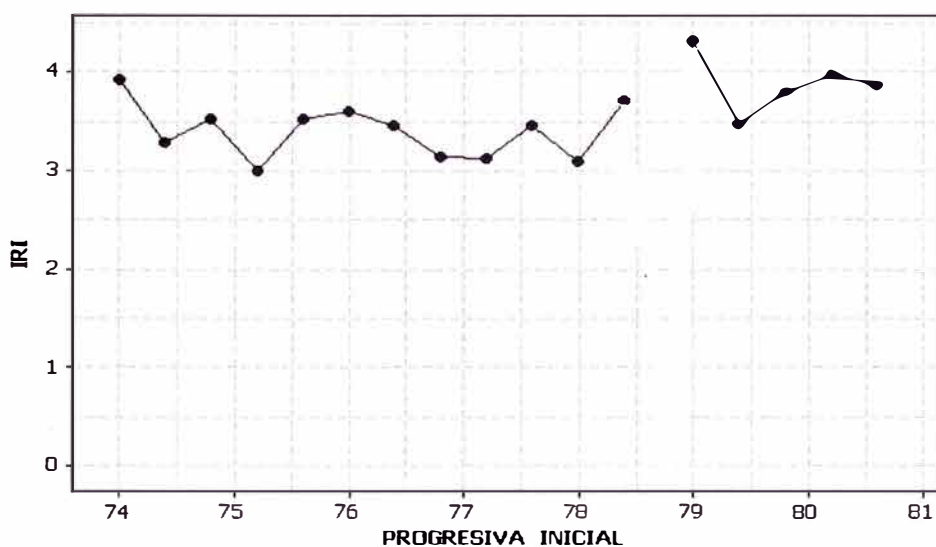
En el presente informe, se sectoriza el tramo asignado (km 74+000 al km 84+000), en función al IRI y al tipo de tratamiento superficial dado al pavimento. Esto es debido a que el IMD, el número de carriles y el espesor de la sub-base se mantienen constantes en todo el tramo, y no se cuenta información actualizada sobre la Condición Estructural y Superficial del pavimento.

5.1 IRI VERSUS PROGRESIVA

Un primer paso en el análisis del tramo asignado será ver como varía el IRI a lo largo del tramo, para lo cual se efectúa un gráfico IRI versus progresiva, tal como se muestra en la Fig. 5.01, usando los datos de la visita de campo, registrados en la Tabla No. 4.05. Este gráfico fue elaborado usando en Programa MINITAB.

En dicha visita de campo, se utilizó el Equipo MERLIN Manual y Automático, midiéndose el IRI de la huella izquierda con el Manual y el IRI de la huella derecha con el Automático. Como el tramo asignado es de un solo carril, se ha tomado un promedio de ambas medidas para determinar el IRI cada 400m.

Fig. No. 5.01: IRI versus Progresiva



Fuente: Elaboración Propia

Como puede observarse en la Figura No. 5.01, el IRI del tramo en estudio es muy disperso, luego, para un mantenimiento adecuado del tramo en estudio, esta información no es suficiente, por lo que se hace necesario sectorizar el tramo en sectores homogéneos. Téngase en cuenta que no se ha tomado lectura del IRI entre las progresivas 78+800 y 79+000, por estar comprendido en el mismo poblado de Catahuasi.

5.2 SECTORIZACIÓN DEL TRAMO ASIGNADO

En la Bibliografía consultada, se han encontrado diversas metodologías para la sectorización en tramos homogéneos, tales como:

- **Cambio de características.** La carretera se divide en sectores, donde cada sector tiene una misma característica, como por ejemplo, el mismo tipo de tratamiento superficial o igual ancho de vía.
- **Por rango de valores de IRI.** Se divide la carretera en sectores por un rango de valores definido de IRI. Todos los datos incluidos dentro de un rango, pertenecerán a una misma sección
- **Método de la Suma acumulada (CUSUM).** Un método muy efectivo para el seccionamiento estadístico de una carretera. En general, es preferido a los otros métodos.

SECTORIZACIÓN POR CAMBIO DE CARACTERÍSTICAS (Tipo de tratamiento superficial)

En el caso del tramo en estudio, se puede sectorizar la carretera en función al tipo de tratamiento superficial recibido: Slurry Seal o Slurry Seal sobre Monocapa (Ver Tabla No. 5.01 y 5.02)

Tabla No. 5.01: IRI en tratamiento Slurry Seal

Progresiva	Tipo de tratamiento	IRI _{promedio}
74+000 – 74+400	Slurry Seal	3.93
74+400 – 74+800	Slurry Seal	3.28
74+800 – 75+200	Slurry Seal	3.53
75+200 – 75+600	Slurry Seal	3.00
75+600 – 76+000	Slurry Seal	3.53
76+000 – 76+400	Slurry Seal	3.60
76+400 – 76+800	Slurry Seal	3.46
76+800 – 77+200	Slurry Seal	3.15
77+200 – 77+600	Slurry Seal	3.13
77+600 – 78+000	Slurry Seal	3.46
78+000 – 78+400	Slurry Seal	3.10
78+400 – 78+800	Slurry Seal	3.72

Fuente: Elaboración Propia

Los datos estadísticos para éste sector son: $IRI_{promedio} = 3.4075$; Desviación Estándar = 0,2802

Tabla No. 5.02: IRI en Slurry Seal sobre monocapa

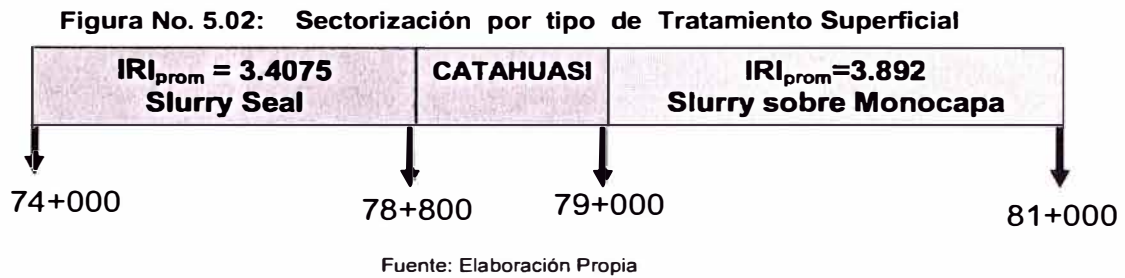
Progresiva	Tipo de tratamiento	IRI _{promedio}
79+000 – 79+400	Slurry sobre monocapa	4.32
79+400 – 79+800	Slurry sobre monocapa	3.48
79+800 – 80+200	Slurry sobre monocapa	3.80
80+200 – 80+600	Slurry sobre monocapa	3.98
80+600 – 81+000	Slurry sobre monocapa	3.88

Fuente: Elaboración Propia

Los datos estadísticos para éste sector son:

$IRI_{promedio} = 3.892$; Desviación Estándar = 0,304

Luego, de acuerdo a ésta metodología, se tiene la siguiente sectorización:

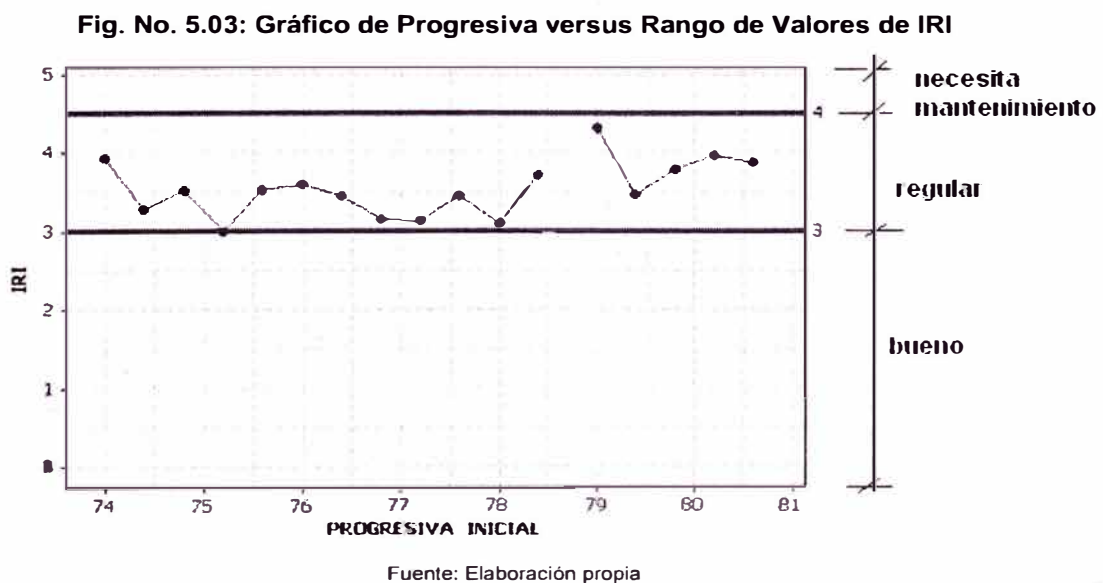


SECTORIZACIÓN POR RANGO DE VALORES DE IRI

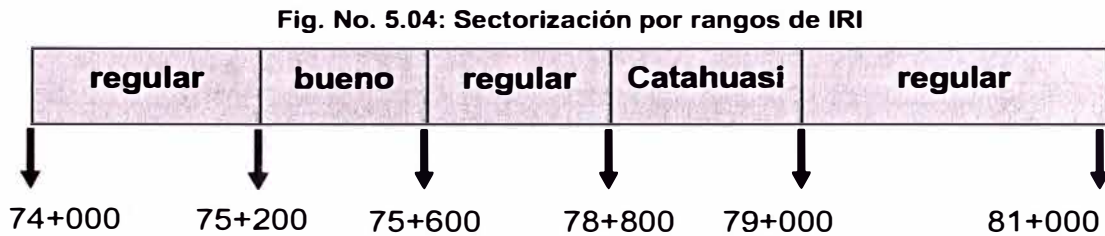
Según ésta metodología, la carretera se sectoriza según un rango de valores definido de IRI, el cual según la propuesta establecida en el Capítulo 2 del presente informe, los clasifica en Bueno, Regular y Necesita Mantenimiento.

ESTADO	RUGOSIDAD
Bueno	$IRI < 3.0$
Regular	$3.0 < IRI < 4.5$
Necesita mantenimiento	$IRI > 4.5$

Para tal efecto, con los mismos datos de la Tabla No. 5.01; y usando el Programa MINITAB, se divide la carretera por rango de valores de IRI, tal como se muestra en la Fig. No. 5.03



De acuerdo al gráfico anterior, la mayor parte del tramo asignado (km 74+000 al km 84+000) se encuentra en estado regular, y solamente existe un tramo que considera bueno. Luego el tramo asignado queda sectorizado según se muestra en la Fig. No. 5.04:

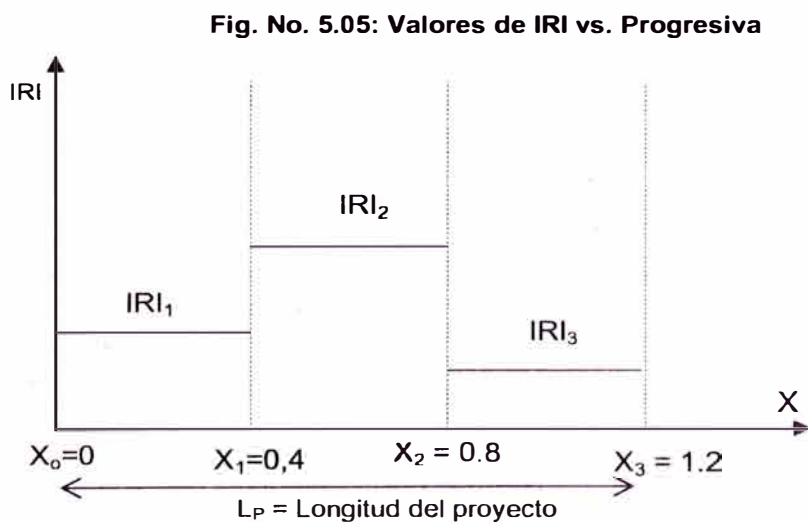


Fuente: Elaboración Propia

SECTORIZACIÓN POR EL MÉTODO DE LA SUMA ACUMULADA (CUSUM)

Es el mejor método estadístico para sectorizar un pavimento en sectores homogéneos, tal que incluso ha sido recomendado por la AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials, contenido en el apéndice J de la AASHTO, Guide for Design of Pavement Structures, edición 1993).

Hagamos la descripción de éste método tomando como ejemplo, tres sectores de 400m, cada una con su valor de IRI correspondiente, tal como se muestra en la Fig. No. 5.05. Se toma como unidad de longitud 400m, para adaptar el procedimiento a la lectura del Equipo MERLIN.



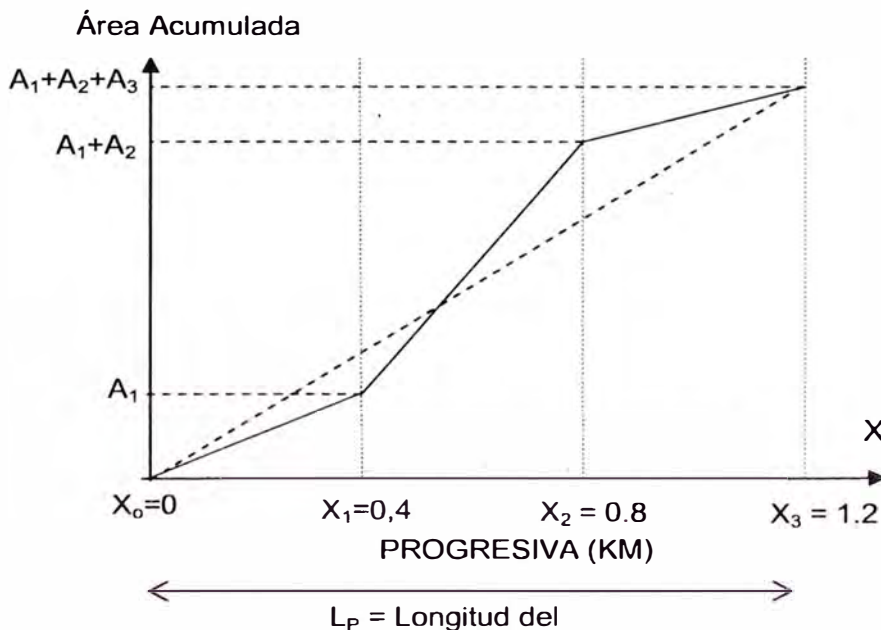
Fuente: Elaboración Propia, Adaptado de AASHTO (Guide for Design of Pavement Structures, 1993)

A continuación se toma el promedio de los valores de IRI de dos sectores consecutivos y se calcula el área promedio de cada región. Para el primer tramo, el IRI promedio se considera su valor correspondiente.

- $X = X_0 \rightarrow A_0 = 0$
- $X = X_1 \rightarrow A_1 = (X_1 - X_0) \cdot IRI_1$
- $X = X_2 \rightarrow A_2 = (X_2 - X_1) \left(\frac{IRI_1 + IRI_2}{2} \right)$
- $X = X_3 \rightarrow A_3 = (X_3 - X_2) \left(\frac{IRI_2 + IRI_3}{2} \right)$

En la Fig. No. 5.06 se presenta una gráfica del área acumulada versus Progresiva. La línea sólida representa el área acumulada de sector a sector, mientras que la línea punteada representa el área media acumulada.

Fig. No. 5.06: Área Acumulada vs. Progresiva



Fuente: Elaboración Propia

Para calcular el área media acumulada, se usa la siguiente expresión:

$$\bar{A} = \bar{r} \cdot X$$

Donde:

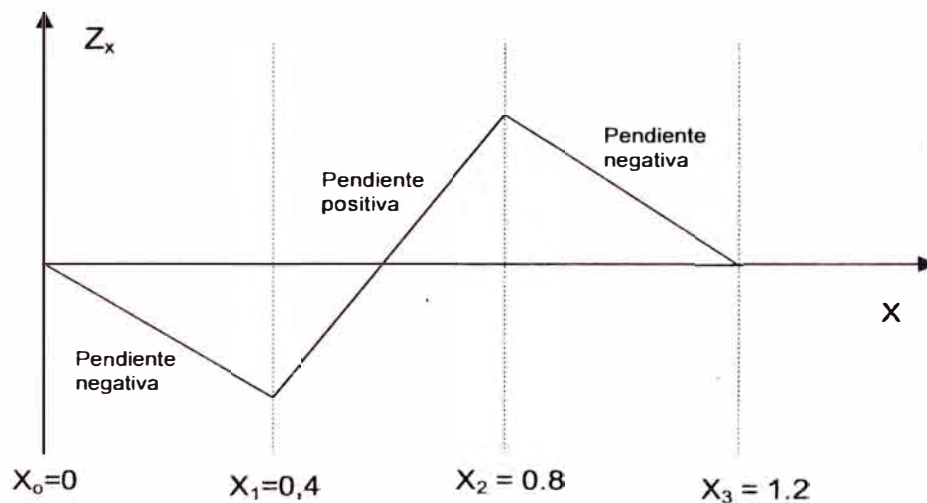
$$\bar{r} = \frac{A_1 + A_2 + A_3}{L_p} = \frac{A_{\text{total}}}{L_p}$$

Posteriormente, se calcula el estadístico Z_x denominado **Diferencia Acumulada**, que es el resultado de la diferencia entre las líneas sólida y punteada, es decir, entre el área acumulada y el área media acumulada.

$$Z_x = A_x - \bar{A}_x$$

Finalmente se grafica Z_x versus la Progresiva, obteniéndose un gráfico similar al que se muestra en la Fig. No. 5.06. Como puede observarse en dicho gráfico, la curva muestra diversos cambios de pendiente, pudiendo pasar de una pendiente positiva a negativa o viceversa o inclusive pendiente nula.

Fig. No. 5.07: Diferencia acumulada versus Progresiva



Fuente: Elaboración Propia, Adaptado de AASHTO (Guide for Design of Pavement Structures, 1993)

Los sectores que poseen una misma pendiente en valor y signo, se consideran sectores homogéneos o de características similares. Un valor de Z_x positivo estará indicada que en ese sector el valor del IRI estará por encima del promedio ; un valor de Z_x negativo indicará que el valor del IRI estará por debajo del promedio; y un valor de $Z_x = 0$, indicará que en dicho sector el valor del IRI es muy similar al promedio.

Con ésta metodología podemos agrupar sectores de 400m que tengan características similares, y para calcular el IRI correspondiente al sector agrupado se usa el promedio de los IRI de los sectores considerados homogéneos.

$$IRI_{\text{grupo}} = \frac{IRI_1 + IRI_2 + \dots + IRI_n}{n}$$

Aplicación del método de la Suma Acumulada

Para aplicar los conceptos presentados sobre la suma acumulada, debe tenerse en cuenta que no se levantó lectura del IRI entre las progresivas 78+800 y 79+000, tramo correspondiente al poblado de Catahuasi. Luego, se aplicará el método de la suma acumulada en dos tramos independientes: del 74+000 al 78+800 y del 79+000 al 81+000.

- **Tramo 74+000 al 78+800:** Se considera que el eje "x" se extiende a lo largo de la carretera, teniendo su origen $x=0$ se encuentra en la progresiva 74+000. En la tabla No. 5.03, se presentan tabulados los valores de cada coordenada X con su valor de diferencia acumulada correspondiente Z_x .

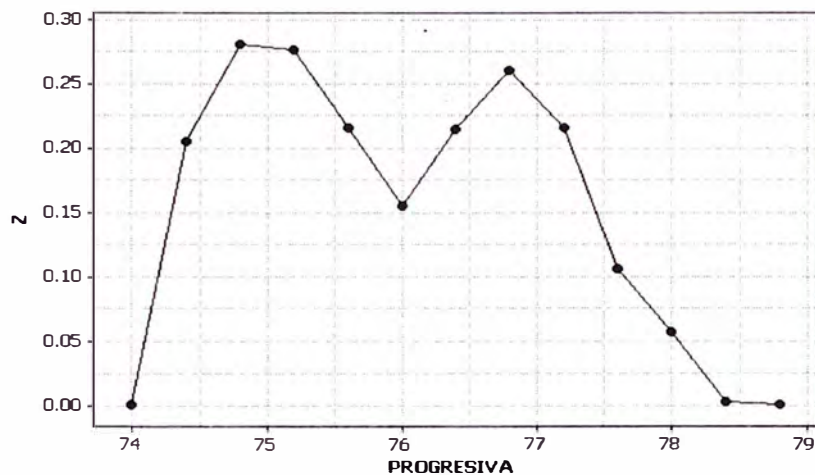
Tabla No. 5.03: Sectorización del 1er tramo

Prog.Inic	X(Km)	IRI _{prom}	A _x	A _x acumulada	A _{med x}	Z _x
74 + 000	0	0	0	0	0.0000	0.0000
74 + 400	0.4	3.93	1.572	1.572	1.3665	0.2055
74 + 800	0.8	3,605	1.442	3.014	2.7330	0.2810
75 + 200	1.2	3.405	1.362	4.376	4.0995	0.2765
75 + 600	1.6	3.265	1.306	5.682	5.4660	0.2160
76 + 000	2.0	3.265	1.306	6.988	6.8325	0.1555
76 + 400	2.4	3.565	1.426	8.414	8.1990	0.2150
76 + 800	2.8	3.530	1.412	9.826	9.5655	0.2605
77 + 200	3.2	3.305	1.322	11.148	10.9320	0.2160
77 + 600	3.6	3.140	1.256	12.404	12.2985	0.1055
78 + 000	4.0	3.295	1.318	13.722	13.6650	0.0570
78 + 400	4.4	3.280	1.312	15.034	15.0315	0.0025
78+800	4.8	3,410	1.364	16.398	16.3980	0.0000

Fuente: Elaboración propia

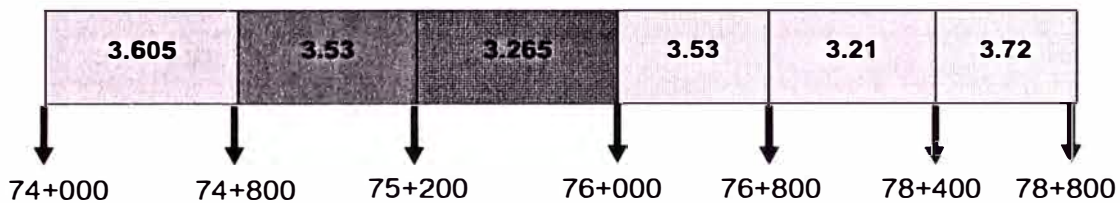
A continuación se efectúa una gráfica X vs. Z_x , tal como se muestra en la Fig. No. 5.08, en la que se observan sectores que tienen pendiente positiva y negativa. Luego para la sectorización, se agrupa a los sectores de pendiente similar, teniéndose como resultado la sectorización mostrada en la Fig. No. 5.09, calculándose también el IRI de cada grupo.

Fig No. 5.08: Gráfico Z vs. X (1er tramo)



Fuente: Elaboración propia

Fig. No. 5.09: Sectorización del 1er tramo

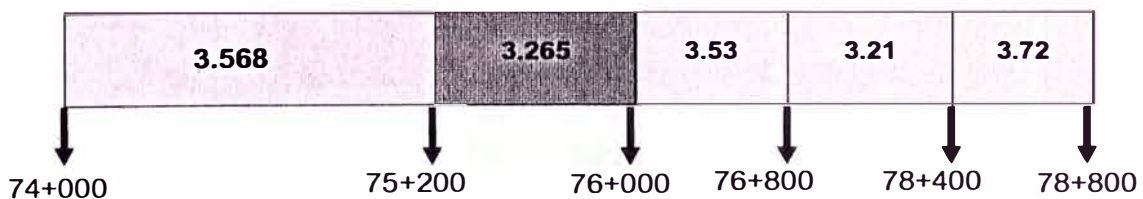


Fuente: Elaboración propia

Después de completado el método de la Diferencia Acumulada, y haber definido estadísticamente los sectores homogéneos, es posible aún reducir el número de sectores homogéneos, juntando aquellos sectores adyacentes cuyo IRI de grupo no se diferencien en más de 0.15. (Ver *Dynamic Segmentation of Pavement Surface Condition*, de James Kennedy). En éste caso, el Nuevo IRI grupal, será el promedio de los IRI de grupo de los sectores juntados.

De éste modo se pueden juntar los sectores comprendidos entre las progresivas 74+000 – 74+800 y 74+800 – 75+200, quedando finalmente sectorizado el primer tramo, según se muestra en la Fig. No. 5.10

Fig. No. 5.10: Sectorización final del 1er tramo



Fuente: Elaboración propia

- **Tramo 79+000 al 81+000:** Se considera que el eje "x" se extiende a lo largo de la carretera, teniendo su origen $x=0$ se encuentra en la progresiva 79+000. En la tabla No. 5.04, se presentan tabulados los valores de cada coordenada X con su valor de diferencia acumulada correspondiente Z_x .

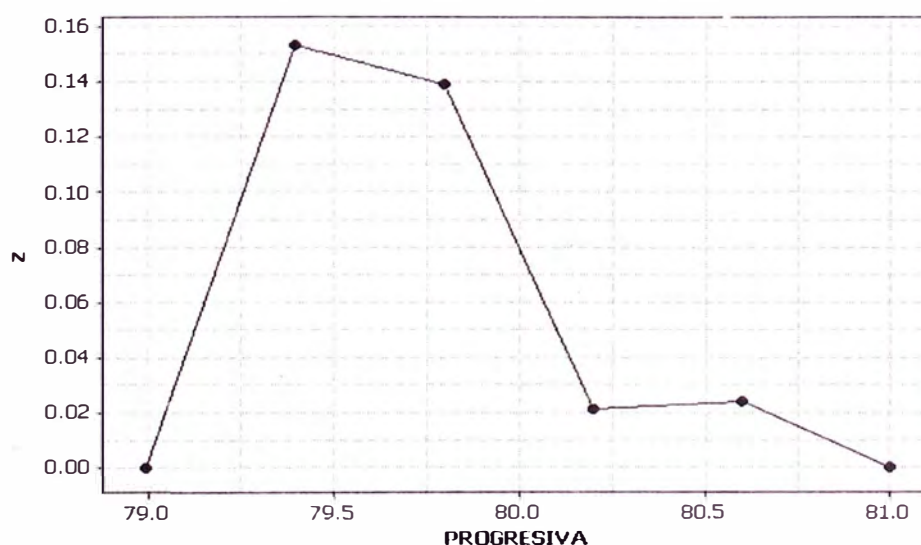
Tabla No. 5.04: Sectorización del 2do tramo

Prog.Inic	X(Km)	IRI _{prom}	A _x	A _x acumulada	A _{med x}	Z _x
79 + 000	0	0	0	0	0.0000	0.0000
79 + 400	0.4	4.32	1.728	1.728	1.5744	0.1536
79 + 800	0.8	3.90	1.560	3.288	3.1488	0.1392
80 + 200	1.2	3.64	1.456	4.744	4.7232	0.0208
80 + 600	1.6	3.89	1.556	6.300	6.2976	0.024
81 + 000	2.0	3.93	1.572	7.872	7.872	0.0000

Fuente: Elaboración propia

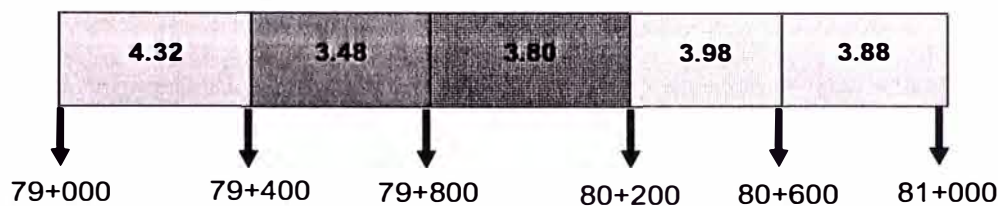
A continuación se efectúa una gráfica X vs. Z_x, tal como se muestra en la Fig. No. 5.11, en la que se observan sectores que tienen pendiente positiva y negativa. Luego para la sectorización, se agrupa a los sectores de pendiente similar, teniéndose como resultado la sectorización mostrada en la Fig. No. 5.12, calculándose también el IRI de cada grupo.

Fig No. 5.11: Gráfico Z vs. X (2do tramo)



Fuente: Elaboración propia

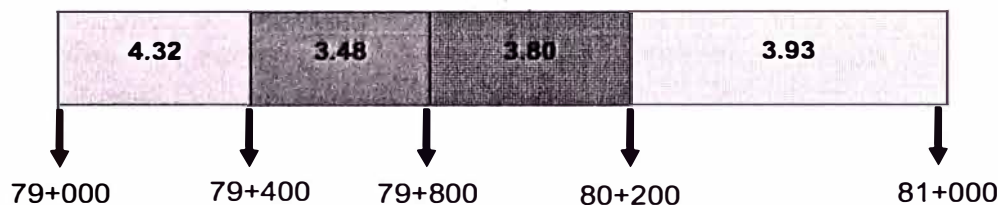
Fig. No. 5.12: Sectorización del 2do tramo



Fuente: Elaboración propia

Nuevamente, se observa que se pueden juntar los sectores comprendidos entre las progresivas 80+200 – 80+600 y 80+600 – 81+000, quedando finalmente sectorizado el primer tramo, según se muestra en la Fig. No. 5.13

Fig. No. 5.13: Sectorización final (2do tramo)



Fuente: Elaboración propia

5.3 SOFTWARE PARA SECTORIZAR UNA CARRETERA EN FUNCIÓN AL IRI

A fin de automatizar el proceso de sectorización de la carretera en sectores homogéneos, se propone un Software desarrollado en Lenguaje de Programación Java, denominado MERLUNI, en donde se emplea el método de la suma acumulada, método recomendado por la AASHTO.

CONCLUSIONES

- Los contratos de mantenimiento por niveles de servicio, que recientemente se están efectuando, permiten tener carreteras con un buen grado de transitabilidad, siendo un desafío para los ingenieros de ahora, buscar nuevas tecnologías que brinden un buen nivel de servicio, a precios relativamente bajos.
- De acuerdo a los valores de IRI procesados, se observa que el tratamiento superficial con Slurry Seal, tiene un mejor comportamiento que el del tipo Monocapa.
- El Índice Internacional de Rugosidad (IRI) es un parámetro que se puede usar como indicador de la calidad de obra, en los contratos por niveles de servicio, así como en la administración de los pagos al contratista.
- El equipo MERLIN para la medición de la rugosidad, además de ser un equipo sencillo y económico, es un equipo que presenta una gran precisión en las mediciones del IRI, teniendo un buen índice de reproducibilidad y repetitividad. Su única desventaja es su bajo rendimiento.
- La base de datos que se tiene sobre el IRI de la carretera Cañete – Chupaca es insuficiente y dispersa, habiendo faltado una sistematización en el monitoreo permanente de la carretera.
- Los valores del IRI que actualmente presenta la carretera ($IRI < 4.5$), indican que el comportamiento superficial de la carretera es REGULAR, y si se proyecta en el tiempo, la carretera no necesitará mantenimiento en el tiempo que aún resta para la culminación del contrato (aprox en 1 año), lo cual significa una alta rentabilidad para el contratista.
- El mejor método para sectorizar una carretera en tramos homogéneos es el método de la suma acumulada, el cual combinado con información adicional, tal como deflectometría y condición superficial, brindarían información adecuada para un trabajo de mantenimiento.

RECOMENDACIONES

- Profundizar en el estudio del IRI aplicado a pavimentos básicos, investigándose la relación entre éste índice y el clima, tipo de región (selva, sierra o costa), ancho de vía, evolución del tráfico, tipo de tratamiento y otros, a fin de obtener un parámetro que indique la calidad de la obra alcanzada mediante niveles de servicio.
- Mejorar el diseño del equipo MERLIN automatizado propuesto por la UNI, a fin de obtener un mejor rendimiento. Como por ejemplo, el botón pulsador que debe activarse cada 2m, debería estar en las manijas, a fin de que el operador no se esté agachando cada 2m, perdiéndose un tiempo valioso.
- A fin de minimizar los errores de medición, sería bueno que el equipo MERLIN manual, posea un nivel para indicar la verticalidad del instrumento, y un dispositivo que permitan guiar saber que el equipo se encuentra a 1m de distancia del borde.
- Debería existir un plan de capacitación para los operadores del equipo MERLIN a fin de garantizar la eficiencia del operario en la toma de medidas. Asimismo se hace necesario una calibración del equipo con otro de mayor exactitud, con el Método del Nivel y Mira. Por otro lado, se recomienda efectuar un seguimiento estadístico en forma periódica del equipo y del sistema de medición en conjunto, a fin de asegurar la calidad de la medición. Si es que el IRI se va usar como parámetro indicador de la calidad de una obra por niveles de servicio y va regular los pagos al contratista, la calidad de la medición es importantísima y exigible.
- Sistematizar y planificar el proceso de toma de datos del IRI y otros parámetros, a fin de tener una base de datos organizada que permita tomar o inferir decisiones adecuadas. Esta carencia se hace extensivo a todas las carreteras del país, debido a que la base de datos con que se cuenta es insuficiente e irregular, lo que nos pone en desventaja frente a otros países.

BIBLIOGRAFÍA

1. Acuña Edgard, "Estadística Descriptiva e Inferencial" , Universidad de Puerto Rico, Recinto Universitario de Mayaguez.
2. Bennett Christopher R; "Sectioning Of Road Data for Pavement Management"; The World Bank; Washington, USA
3. Cundill M.AI, "The Merlin Road Roughness Machine:User Guide";Transport Research Laboratory, Inglaterra,1996
4. Del Aguila Rodriguez Pablo, "Experiencias y Resultados obtenidos de la evaluación de la rugosidad de más de 3000 km de pavimentos en el Perú y otros países"; Lima
5. Del Aguila Rodriguez Pablo, "Metodología para la Determinación de la Rugosidad de los Pavimentos con equipos de Bajo Costo y Gran Precisión"; Lima.
6. Jhonson Richard, "Probabilidad y Estadística para Ingenieros" , Editorial Prentice Hall.
7. Karamihas, S. M., "Development of Cross Correlation for Objective Comparison of Profiles." International Journal of Vehicle Design, Vol. 36, Nos. 2/3 (2004) pp. 173-193.
8. Karamihas, S. M; 2005 Acpa profiler repeatability tests; UMTRI-2005-35; The University of Michigan Transportation Research Institute.
9. Kennedy James, Ahmed Shalaby, PhD, P.Eng.(Ont.), and Ray Van CauwenbergheB; "Dynamic segmentation of Pavement surface condition". Department of Civil Engineering, University of Manitoba,
10. McGhee Kevin K; "Quality Assurance of Road Roughness Measurement"; Virginia Transportation Research Council; Charlottesville, Virginia, Mayo 2000.
11. National Cooperative Highway Research Program, "Quality Management of Pavement Condition Data Collection" ; Transportation Research Board 2009, Executive Committee.
12. Townsend Pinto Edgardo; "Determinación de Umbrales de Rugosidad (IRI) obtenido de base de datos de caminos con controles receptivos", Dirección de Vialidad de Coquimbo, Chile.

ANEXOS

1. Valores de IRI con MERLIN de la progresiva 55+050 a la 78+450(Convenio UNI-MTC)
2. Valores de IRI con MERLIN de la progresiva 79+500 a la 138+935(Convenio UNI-MTC)
3. Valores de IRI con Bump Integrator de la progresiva 55+000 al 79+000
4. Valores de IRI con Bump Integrator de la progresiva 79+000 al 227+000
5. Valores de IRI con MERLIN de la progresiva 90+000 al 113+000 (Marzo 2010)
6. Procesamiento de los datos de la visita de campo del 27/11/2010

RESUMEN DE LOS VALORES DEL INDICE DE RUGOSIDAD INTERNACIONAL - IRI

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

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

PROMEDIO ARITMETICO

3.36

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

RESUMEN DE LOS VALORES DEL INDICE DE RUGOSIDAD INTERNACIONAL - IRI

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

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

RESUMEN DE LOS VALORES DEL INDICE DE RUGOSIDAD INTERNACIONAL - IRI

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

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

PROMEDIO ARITMETICO

4.35

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



PERÚ Ministerio de Transportes y Comunicaciones

Viceministerio de Transportes

Provias Nacional

CONVENIO DE COOPERACION INTERINSTITUCIONAL ENTRE EL PROYECTO ESPECIAL DE INFRAESTRUCTURA DE TRANSPORTE NACIONAL - PROVIAS NACIONAL Y LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA - FIC

ÍNDICE DE RUGOSIDAD INTERNACIONAL CON BUMP INTEGRATOR

PROYECTO: Corredor Vial N° 13

PROCESADO POR : BACH. EDUARDO COURT

TIPO DE SUP: Slurry Seal

REVISADO POR: ING. EDWIN APOLINARIO

TRAMO: Km 55+000 - Km 79+000

LADO: SOBRE LA HUELLA

N°	PROGRESIVA km		BI	IRI (m/km)	FECHA
	INICIO	FIN			
1	55+000	55+400	773	3,68	17/05/2010
2	55+400	55+800	698	3,82	17/05/2010
3	55+800	56+200	796	3,64	17/05/2010
4	56+200	56+600	1304	4,25	17/05/2010
5	56+600	57+000	738	3,74	17/05/2010
6	57+000	57+400	791	3,65	17/05/2010
7	57+400	57+800	1388	4,60	17/05/2010
8	57+800	58+200	1366	4,50	17/05/2010
9	58+200	58+600	1211	3,95	17/05/2010
10	58+600	59+000	1399	4,65	17/05/2010
11	59+000	59+400	843	3,59	17/05/2010
12	59+400	59+800	888	3,56	17/05/2010
13	59+800	60+200	967	3,56	17/05/2010
14	60+200	60+600	1247	4,05	17/05/2010
15	60+600	61+000	859	3,58	17/05/2010
16	61+000	61+400	1012	3,59	17/05/2010
17	61+400	61+800	812	3,62	17/05/2010
18	61+800	62+200	973	3,56	17/05/2010
19	62+200	62+600	1009	3,58	17/05/2010
20	62+600	63+000	911	3,55	17/05/2010
21	63+000	63+400	875	3,57	17/05/2010
22	63+400	63+800	866	3,57	17/05/2010
23	63+800	64+200	938	3,55	17/05/2010
24	64+200	64+600	824	3,61	17/05/2010
25	64+600	65+000	676	3,88	17/05/2010
26	65+000	65+400	820	3,61	17/05/2010
27	65+400	65+800	1211	3,95	17/05/2010
28	65+800	66+200	661	3,91	17/05/2010
29	66+200	66+600	749	3,72	17/05/2010
30	66+600	67+000	731	3,75	17/05/2010
31	67+000	67+400	934	3,55	17/05/2010
32	67+400	67+800	841	3,59	17/05/2010
33	67+800	68+200	1229	4,00	17/05/2010
34	68+200	68+600	930	3,55	17/05/2010
35	68+600	69+000	814	3,62	17/05/2010
36	69+000	69+400	815	3,62	17/05/2010
37	69+400	69+800	822	3,61	17/05/2010
38	69+800	70+200	818	3,62	17/05/2010
39	70+200	70+600	1237	4,02	17/05/2010
40	70+600	71+000	926	3,55	17/05/2010



PERÚ Ministerio de Transportes y Comunicaciones

Viceministerio de Transportes

Proviás Nacional

CONVENIO DE COOPERACION INTERINSTITUCIONAL ENTRE EL PROYECTO ESPECIAL DE INFRAESTRUCTURA DE TRANSPORTE NACIONAL - PROVIAS NACIONAL Y LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA - FIC

ÍNDICE DE RUGOSIDAD INTERNACIONAL CON BUMP INTEGRATOR

PROYECTO: Corredor Vial N° 13
TIPO DE SUP: Slurry Seal
TRAMO: Km 55+000 - Km 79+000

PROCESADO POR : BACH. EDUARDO COURT
REVISADO POR: ING. EDWIN APOLINARIO
LADO: SOBRE LA HUELLA

N°	PROGRESIVA km		BI	IRI (m/km)	FECHA
	INICIO	FIN			
41	71+000	71+400	826	3,61	17/05/2010
42	71+400	71+800	1110	3,71	17/05/2010
43	71+800	72+200	1072	3,65	17/05/2010
44	72+200	72+600	829	3,60	17/05/2010
45	72+600	73+000	850	3,58	17/05/2010
46	73+000	73+400	1138	3,77	17/05/2010
47	73+400	73+800	1229	4,00	17/05/2010
48	73+800	74+200	1060	3,64	17/05/2010
49	74+200	74+600	953	3,56	17/05/2010
50	74+600	75+000	1014	3,59	17/05/2010
51	75+000	75+400	870	3,57	17/05/2010
52	75+400	75+800	865	3,57	17/05/2010
53	75+800	76+200	772	3,68	17/05/2010
54	76+200	76+600	839	3,59	17/05/2010
55	76+600	77+000	895	3,56	17/05/2010
56	77+000	77+400	910	3,55	17/05/2010
57	77+400	77+800	1073	3,65	17/05/2010
58	77+800	78+200	1312	4,28	17/05/2010
59	78+200	78+600	1385	4,59	17/05/2010
60	78+600	79+000	755	3,71	17/05/2010
Valor Máximo				4,65	
Valor Mínimo				3,55	
Valor Promedio				3,75	
Desviación Estandar				0,28	



PERÚ Ministerio de Transportes y Comunicaciones

Viceministerio de Transportes

Provias Nacional

CONVENIO DE COOPERACION INTERINSTITUCIONAL ENTRE EL PROYECTO ESPECIAL DE INFRAESTRUCTURA DE TRANSPORTE NACIONAL - PROVIAS NACIONAL Y LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA - FIC

ÍNDICE DE RUGOSIDAD INTERNACIONAL CON BUMP INTEGRATOR

PROYECTO: Corredor Vial N° 13
TIPO DE SUP: Monocapa
TRAMO: Km 79+000 - Km 227+000

PROCESADO POR : BACH. EDUARDO COURT
REVISADO POR: ING. EDWIN APOLINARIO
LADO: SOBRE LA HUELLA

N°	PROGRESIVA km		BI	IRI (m/km)	FECHA
	INICIO	FIN			
1	79+000	79+400	1231	4,01	17/05/2010
2	79+400	79+800	1464	4,98	17/05/2010
3	79+800	80+200	1312	4,28	17/05/2010
4	80+200	80+600	878	3,57	17/05/2010
5	80+600	81+000	1233	4,01	17/05/2010
6	81+000	81+400	1019	3,59	17/05/2010
7	81+400	81+800	1020	3,59	17/05/2010
8	81+800	82+200	973	3,56	17/05/2010
9	82+200	82+600	834	3,60	17/05/2010
10	82+600	83+000	1621	5,94	17/05/2010
11	83+000	83+400	1526	5,33	17/05/2010
12	83+400	83+800	1160	3,82	17/05/2010
13	83+800	84+200	1127	3,75	17/05/2010
14	84+200	84+600	1000	3,58	17/05/2010
15	84+600	85+000	1050	3,62	17/05/2010
16	85+000	85+400	1091	3,68	17/05/2010
17	85+400	85+800	1128	3,75	17/05/2010
18	85+800	86+200	1151	3,80	17/05/2010
19	86+200	86+600	996	3,57	17/05/2010
20	86+600	87+000	1469	5,01	17/05/2010
21	87+000	87+400	1382	4,57	17/05/2010
22	87+400	87+800	927	3,55	17/05/2010
23	87+800	88+200	839	3,59	17/05/2010
24	88+200	88+600	904	3,56	17/05/2010
25	88+600	89+000	1090	3,68	17/05/2010
26	89+000	89+400	1573	5,62	17/05/2010
27	89+400	89+800	1464	4,98	17/05/2010
28	89+800	90+200	1033	3,61	17/05/2010
29	90+200	90+600	1336	4,38	17/05/2010
30	90+600	91+000	1232	4,01	17/05/2010
31	91+000	91+400	1049	3,62	17/05/2010
32	91+400	91+800	1254	4,08	17/05/2010
33	91+800	92+200	1210	3,94	17/05/2010
34	92+200	92+600	1021	3,59	17/05/2010
35	92+600	93+000	1251	4,07	17/05/2010
36	93+000	93+400	1364	4,49	17/05/2010
37	93+400	93+800	1253	4,07	17/05/2010
38	93+800	94+200	1236	4,02	17/05/2010

MARZO 2010

RESUMEN DE LOS VALORES DEL INDICE DE RUGOSIDAD INTERNACIONAL (IRI)

TRAMO		IRI (m/km)								Variación		Nivel de Regularidad
		LADO IZQUIERDO				LADO DERECHO				IRI (Min-Max)	IRI PROM (Izq-Der)	
P. INICIAL	P. FINAL	1ra	2da	3ra	PROM	1ra	2da	3ra	PROM			
90+000	- 90+400	5.2	5.6	5.5	5.4	4.2	4.6	3.9	4.2	1.6	1.2	medio
90+400	- 90+800	6.4	6.1	5.6	6.0	5.2	4.7	4.1	4.7	2.3	1.4	alto
90+800	- 91+200	5.6	5.2	5.1	5.3	5.1	5.1	5.3	5.2	0.6	0.1	bajo
91+200	- 91+600	5.5	5.6	5.4	5.5	4.7	5.1	4.6	4.8	1.1	0.7	bajo
91+000	- 91+400	4.5	4.2	4.4	4.4	3.7	3.9	3.9	3.8	0.8	0.6	bajo
91+400	- 91+800	4.8	5.0	4.6	4.8	4.9	5.6	4.9	5.1	1.0	0.3	bajo
91+800	- 92+200	4.3	4.6	4.1	4.3	4.5	3.8	4.1	4.1	0.8	0.2	bajo
92+200	- 92+600	4.1	4.0	3.8	4.0	4.1	4.4	3.1	3.9	1.4	0.1	medio
92+600	- 93+000	4.5	5.0	4.8	4.8	3.8	3.9	4.1	3.9	1.2	0.8	medio
93+000	- 93+400	4.5	4.6	4.1	4.4	4.2	4.3	3.9	4.1	0.6	0.2	bajo
93+400	- 93+800	3.6	3.9	4.0	3.8	4.2	3.7	3.5	3.8	0.6	0.1	bajo
95+000	- 95+400	3.5	3.4	3.7	3.5	3.8	3.1	3.6	3.5	0.7	0.0	bajo
95+400	- 95+800	4.1	4.0	3.3	3.8	3.9	4.0	3.8	3.9	0.8	0.1	bajo
95+800	- 96+200	5.9	6.1	5.9	5.9	6.9	6.4	6.6	6.6	1.1	0.7	bajo
96+200	- 96+600	5.7	5.3	5.2	5.4	5.4	4.8	5.0	5.1	1.0	0.3	bajo
96+600	- 97+000	5.0	5.0	4.5	4.8	4.8	4.8	5.1	4.9	0.6	0.1	bajo
97+100	- 97+500	4.4	3.8	4.6	4.3	5.8	5.0	4.6	5.1	2.0	0.9	alto
97+500	- 97+900	4.7	4.7	4.9	4.8	5.2	5.1	5.1	5.2	0.5	0.4	bajo
97+900	- 98+300	4.6	4.3	4.0	4.3	5.7	5.1	5.1	5.3	1.8	1.0	alto
98+300	- 98+700	4.5	4.3	4.6	4.4	5.7	5.4	5.9	5.7	1.6	1.2	medio
98+700	- 99+100	5.3	4.5	4.5	4.8	5.6	5.8	4.7	5.4	1.4	0.6	medio
99+100	- 99+500	5.6	4.8	4.8	5.1	6.1	5.5	5.2	5.6	1.3	0.5	medio

99+500	-	99+900	4.7	5.7	5.8	5.4	5.7	5.2	5.0	5.3	1.1	0.1	bajo
99+900	-	100+300	4.4	4.5	3.9	4.3	5.5	5.1	4.5	5.1	1.6	0.8	medio
100+300	-	100+700	4.5	4.1	4.1	4.2	5.3	4.6	4.4	4.8	1.2	0.5	medio
100+700	-	101+100	5.2	5.1	5.9	5.4	6.3	5.1	5.3	5.6	1.3	0.2	medio
101+100	-	101+500	5.3	5.2	4.7	5.1	5.1	5.4	4.7	5.0	0.7	0.0	bajo
101+500	-	101+900	5.0	5.5	5.0	5.2	4.9	5.5	5.3	5.2	0.6	0.1	bajo
101+900	-	102+300	4.9	4.8	4.5	4.7	5.2	5.3	5.4	5.3	0.9	0.6	bajo
102+300	-	102+700	4.9	5.1	4.8	4.9	5.7	5.3	4.4	5.1	1.3	0.2	medio
102+700	-	103+100	4.5	3.9	4.5	4.3	3.8	4.8	4.6	4.4	1.0	0.1	bajo
103+100	-	103+500	4.4	5.0	5.2	4.9	4.6	4.2	4.8	4.5	1.0	0.3	bajo
103+500	-	103+900	4.9	5.3	4.7	4.9	4.6	4.9	5.6	5.0	1.0	0.1	bajo
103+900	-	104+300	4.8	5.0	4.8	4.9	4.8	5.2	4.7	4.9	0.5	0.1	bajo
104+300	-	104+700	4.8	4.9	5.4	5.0	4.6	5.2	4.8	4.9	0.8	0.1	bajo
104+700	-	105+100	4.8	4.6	5.1	4.9	4.5	4.2	4.5	4.4	0.9	0.5	bajo
105+100	-	105+500	4.4	4.6	4.1	4.4	5.0	5.0	5.2	5.0	1.1	0.7	medio
105+500	-	105+900	4.7	5.3	4.7	4.9	4.6	4.5	4.4	4.5	1.0	0.4	bajo
105+900	-	106+300	4.8	4.3	4.4	4.5	4.9	4.4	5.2	4.8	0.9	0.3	bajo
106+300	-	106+700	4.8	4.9	5.9	5.2	5.6	5.0	5.4	5.3	1.1	0.1	bajo
106+700	-	107+100	5.6	5.1	5.1	5.3	5.1	6.8	5.7	5.9	1.7	0.6	alto
107+100	-	107+500	5.4	5.2	5.6	5.4	5.2	4.9	4.8	5.0	0.8	0.5	bajo
107+500	-	107+900	3.9	4.0	4.1	4.0	3.4	3.5	3.8	3.6	0.7	0.4	bajo
107+900	-	108+300	3.8	4.2	4.6	4.2	3.9	3.8	3.8	3.8	0.8	0.4	bajo
108+300	-	108+700	4.1	4.3	4.4	4.3	4.8	4.1	4.1	4.3	0.7	0.0	bajo
108+700	-	109+100	5.2	5.2	5.0	5.2	5.2	5.6	4.9	5.2	0.8	0.1	bajo
109+100	-	109+500	4.7	4.3	4.5	4.5	4.5	4.3	4.8	4.5	0.5	0.0	bajo
109+500	-	109+900	5.3	5.4	5.3	5.3	4.7	4.6	4.8	4.7	0.9	0.7	bajo
109+900	-	110+300	5.6	5.7	6.4	5.9	5.4	5.5	5.1	5.4	1.2	0.5	medio

110+300	-	110+700	7.5	6.6	7.2	7.1	6.5	7.3	6.8	6.9	1.0	0.2	bajo	
110+700	-	111+100	4.7	5.3	4.4	4.8	4.2	5.0	4.9	4.7	1.1	0.1	bajo	
111+100	-	111+500	5.2	5.7	4.5	5.1	4.0	4.5	5.3	4.6	1.7	0.5	alto	
111+500	-	111+900	5.3	4.8	5.1	5.0	4.8	4.8	4.7	4.8	0.5	0.3	bajo	
111+900	-	112+300	4.8	4.0	5.4	4.7	4.5	5.4	4.5	4.8	1.4	0.1	medio	
112+300	-	112+700	6.5	6.8	6.5	6.6	6.0	5.2	5.0	5.4	1.9	1.2	alto	
112+700	-	113+100	6.3	6.4	5.1	5.9	5.4	6.0	6.2	5.9	1.2	0.1	medio	
IRI Mínimo						3.5	IRI Mínimo				3.5	0.5	0.0	=MÍN
IRI Máximo						7.1	IRI Máximo				6.9	2.3	1.4	=MÁX
IRI Promedio						4.9	IRI Promedio				4.9			
Desv. Estandar						0.7	Desv. Estandar				0.7			
IRI Carácter.						6.0	IRI Carácter.				6.0			

PROCESAMIENTO DE LOS DATOS DE CAMPO – EQUIPO MERLIN

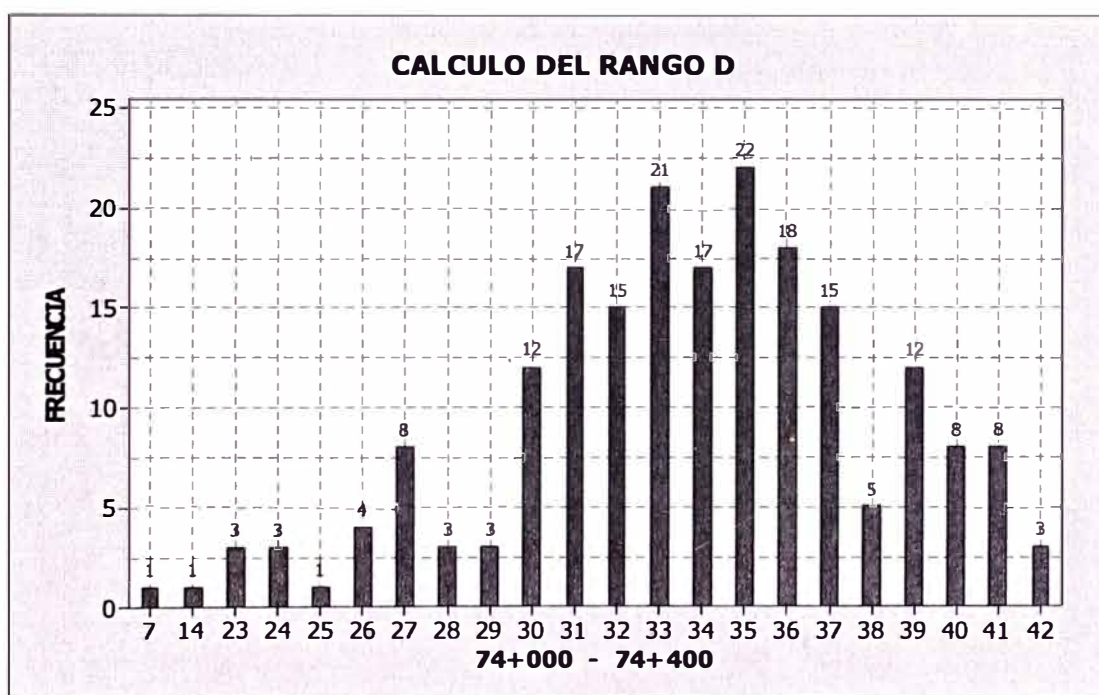
PROGRESIVA: DEL 74+000 AL 74+400

FECHA: 27/11/10

CARRIL : IZQUIERDO

DISTANCIA DEL BORDE: 1 m

CONTEO DE DESVIACIONES PARA EL CÁLCULO DEL IRI



Histograma de la Distribución de frecuencia de 200 lecturas

D < 42	D > 42
IRI = 0.0485 x D	IRI = 0.593 + 0.0471 x D

D	D(mm)	Factor Corrección	D corregido	IRI(m/km)
14,875	74,375	0,88571	65,875	3,70

PROCESAMIENTO DE LOS DATOS DE CAMPO – EQUIPO MERLIN

PROGRESIVA: DEL 74+400 AL 74+800

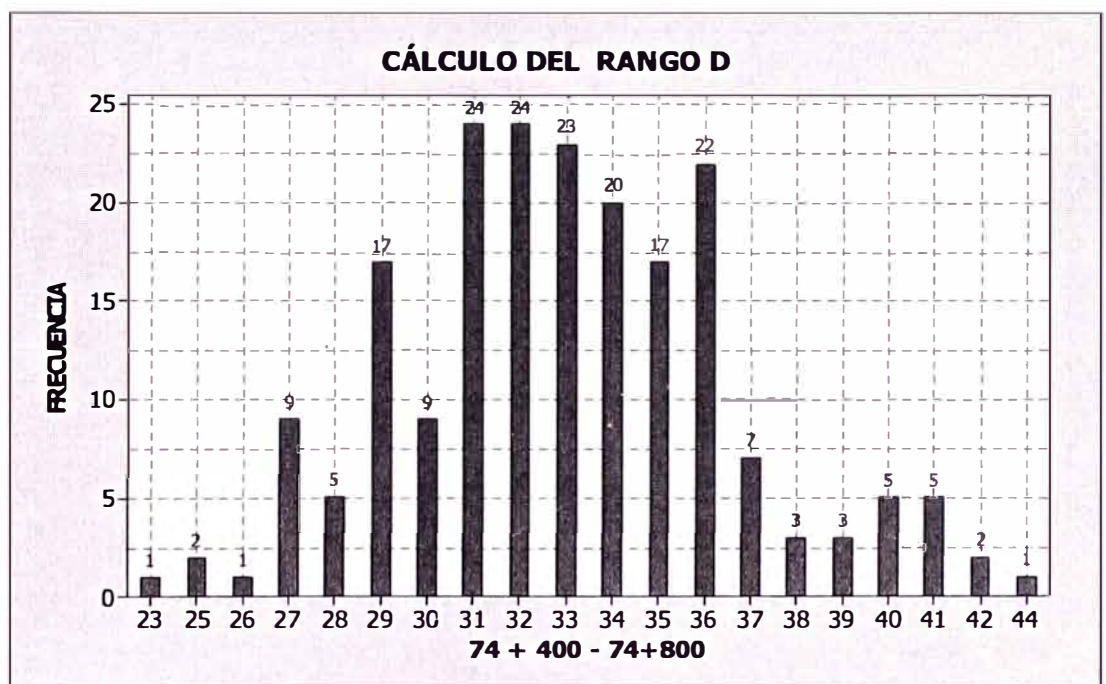
FECHA: 27/11/10

CARRIL : IZQUIERDO

DISTANCIA DEL BORDE: 1 m

CONTEO DE DESVIACIONES PARA EL CÁLCULO DEL IRI

23	1
25	2
26	1
27	9
28	5
29	17
30	9
31	24
32	24
33	23
34	20
35	17
36	22
37	7
38	3
39	3
40	5
41	5
42	2
44	1
TOTAL	200



Histograma de la Distribución de frecuencia de 200 lecturas

D < 42	D > 42
$IRI = 0.0485 \times D$	$IRI = 0.593 + 0.0471 \times D$

D	D(mm)	Factor Corrección	D corregido	IRI(m/km)
12,933	64,665	0,88571	57,274	3,29

PROCESAMIENTO DE LOS DATOS DE CAMPO – EQUIPO MERLIN

PROGRESIVA: DEL 74 + 800 AL 75+200

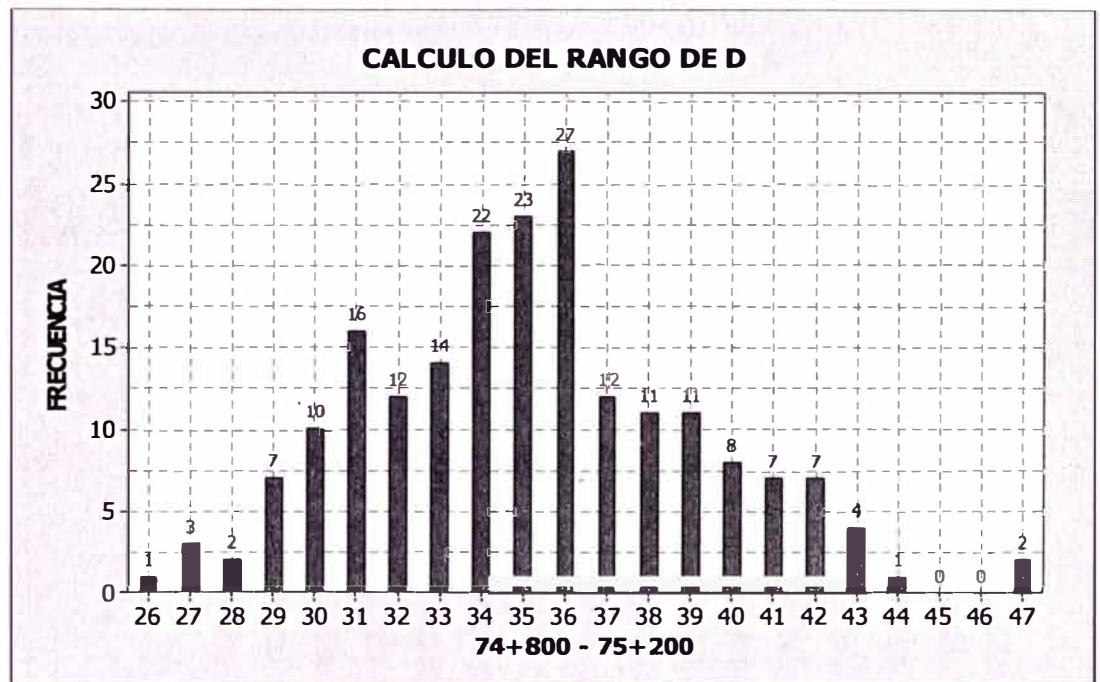
FECHA: 27/11/10

CARRIL : IZQUIERDO

DISTANCIA DEL BORDE: 1 m

CONTEO DE DESVIACIONES PARA EL CÁLCULO DEL IRI

26	1
27	3
28	2
29	7
30	10
31	16
32	12
33	14
34	22
35	23
36	27
37	12
38	11
39	11
40	8
41	7
42	7
43	4
44	1
45	0
46	0
47	2
TOTAL	200



Histograma de la Distribución de frecuencia de 200 lecturas

$D < 42$	$D > 42$
$IRI = 0.0485 \times D$	$IRI = 0.593 + 0.0471 \times D$

D	D(mm)	Factor Corrección	D corregido	IRI(m/km)
13	65	0,88571	57,5712	3,30

PROCESAMIENTO DE LOS DATOS DE CAMPO – EQUIPO MERLIN

PROGRESIVA: DEL 75+200 AL 75+600

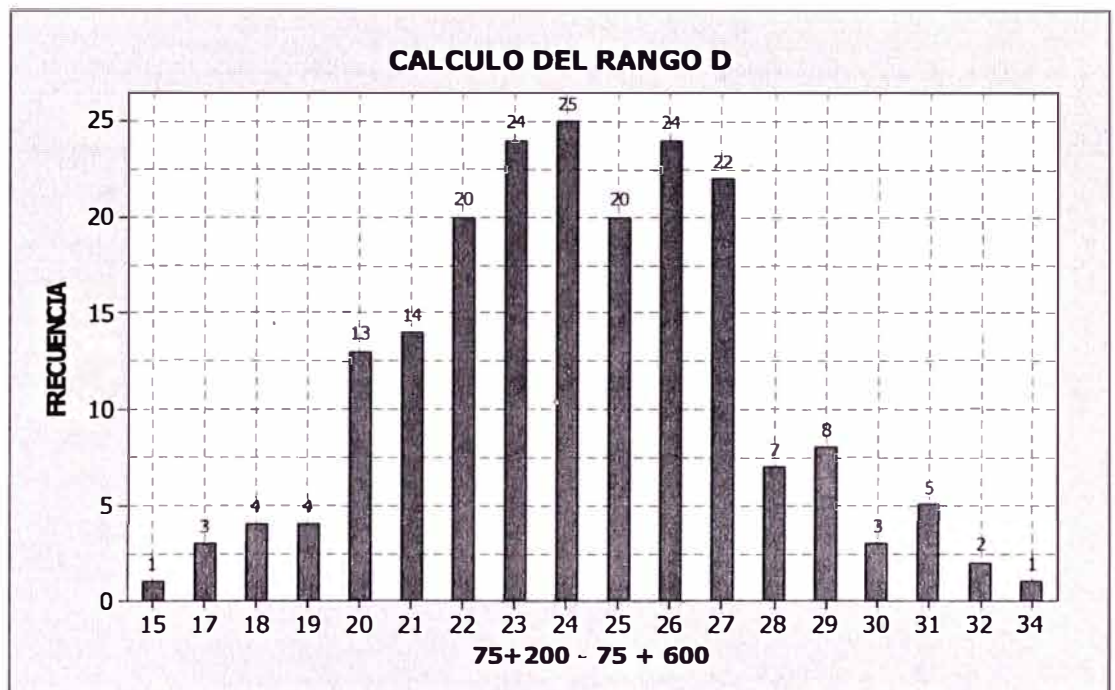
FECHA: 27/11/10

CARRIL : IZQUIERDO

DISTANCIA DEL BORDE: 1 m

CONTEO DE DESVIACIONES PARA EL CÁLCULO DEL IRI

15	1
17	3
18	4
19	4
20	13
21	14
22	20
23	24
24	25
25	20
26	24
27	22
28	7
29	8
30	3
31	5
32	2
34	1
TOTAL	200



Histograma de la Distribución de frecuencia de 200 lecturas

$D < 42$	$D > 42$
$IRI = 0.0485 \times D$	$IRI = 0.593 + 0.0471 \times D$

D	D(mm)	Factor Corrección	D corregido	IRI(m/km)
10,833	54,167	0,88571	47,976	2,85

PROCESAMIENTO DE LOS DATOS DE CAMPO – EQUIPO MERLIN

PROGRESIVA: DEL 75+600 AL 76+000

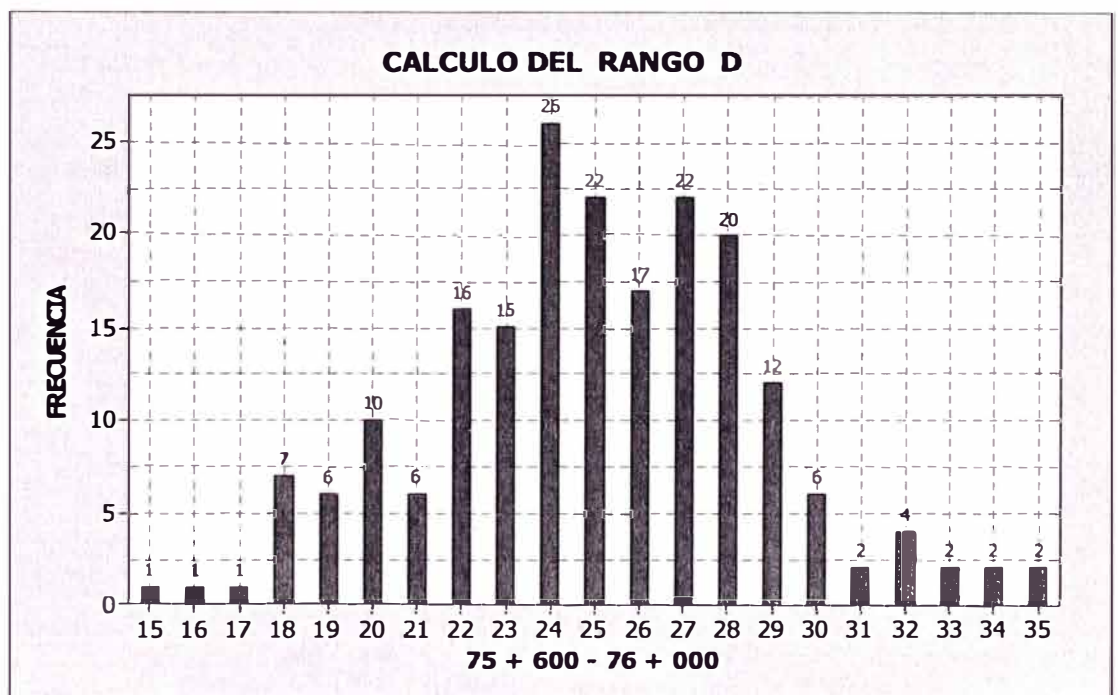
FECHA: 27/11/10

CARRIL : IZQUIERDO

DISTANCIA DEL BORDE: 1 m

CONTEO DE DESVIACIONES PARA EL CÁLCULO DEL IRI

15	1
16	1
17	1
18	7
19	6
20	10
21	6
22	16
23	15
24	26
25	22
26	17
27	22
28	20
29	12
30	6
31	2
32	4
33	2
34	2
35	2
TOTAL	200



Histograma de la Distribución de frecuencia de 200 lecturas

$D < 42$	$D > 42$
$IRI = 0.0485 \times D$	$IRI = 0.593 + 0.0471 \times D$

D	D(mm)	Factor Corrección	D corregido	IRI(m/km)
13	65	0,88571	57,57115	3,30

PROCESAMIENTO DE LOS DATOS DE CAMPO – EQUIPO MERLIN

PROGRESIVA: DEL 76+000 AL 76+400

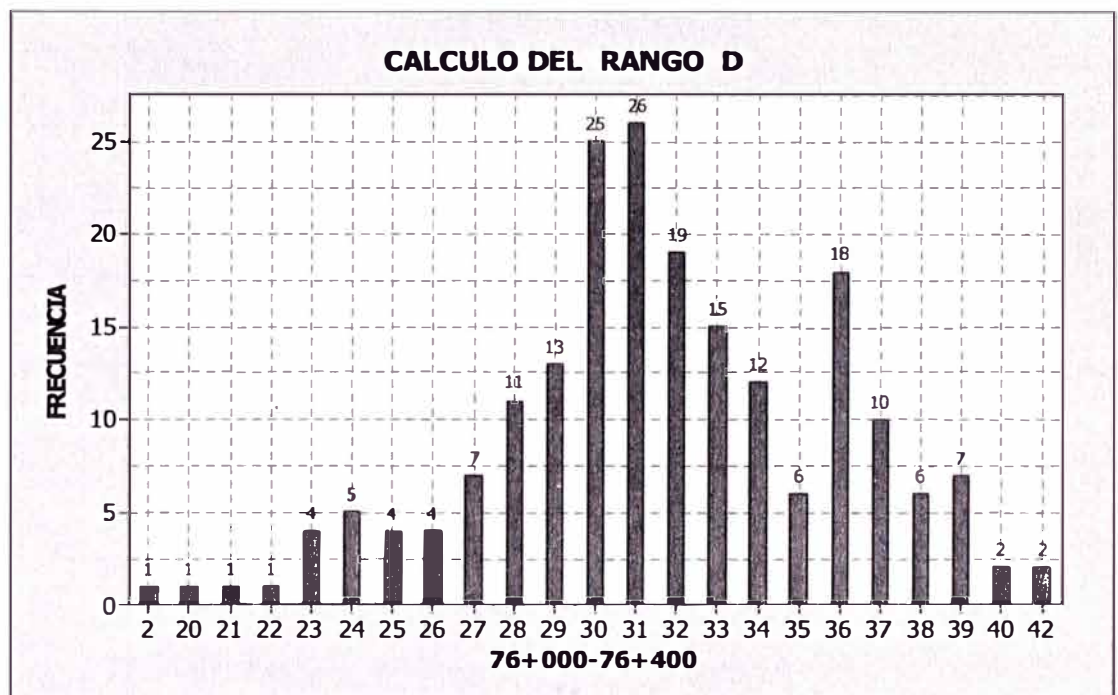
FECHA: 27/11/10

CARRIL : IZQUIERDO

DISTANCIA DEL BORDE: 1 m

CONTEO DE DESVIACIONES PARA EL CÁLCULO DEL IRI

2	1
20	1
21	1
22	1
23	4
24	5
25	4
26	4
27	7
28	11
29	13
30	25
31	26
32	19
33	15
34	12
35	6
36	18
37	10
38	6
39	7
40	2
42	2
TOTAL	200



Histograma de la Distribución de frecuencia de 200 lecturas

$D < 42$	$D > 42$
$IRI = 0.0485 \times D$	$IRI = 0.593 + 0.0471 \times D$

D	D(mm)	Factor Corrección	D corregido	IRI(m/km)
14,7428	73,714	0,88571	65,2892	3,67

PROCESAMIENTO DE LOS DATOS DE CAMPO – EQUIPO MERLIN

PROGRESIVA: DEL 76+400 AL 76+800

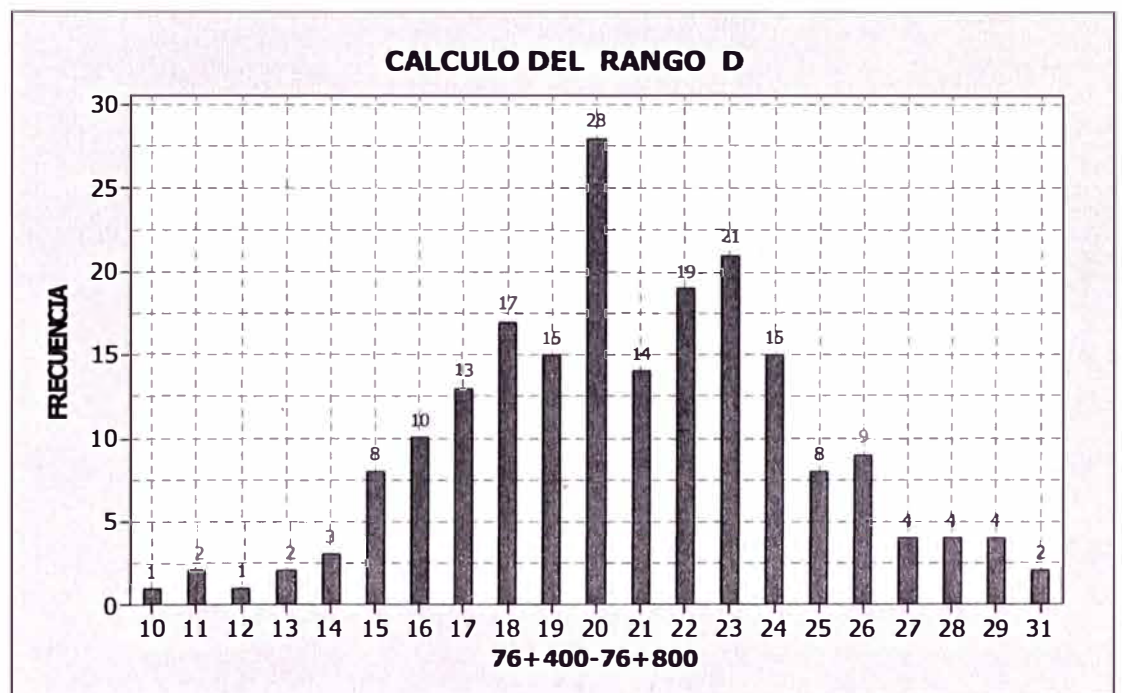
FECHA: 27/11/10

CARRIL : IZQUIERDO

DISTANCIA DEL BORDE: 1 m

CONTEO DE DESVIACIONES PARA EL CÁLCULO DEL IRI

10	1
11	2
12	1
13	2
14	3
15	8
16	10
17	13
18	17
19	15
20	28
21	14
22	19
23	21
24	15
25	8
26	9
27	4
28	4
29	4
31	2
TOTAL	200



Histograma de la Distribución de frecuencia de 200 lecturas

$D < 42$	$D > 42$
$IRI = 0.0485 \times D$	$IRI = 0.593 + 0.0471 \times D$

D	D(mm)	Factor Corrección	D corregido	IRI(m/km)
12,875	64,375	0,88571	57,0176	3,28

PROCESAMIENTO DE LOS DATOS DE CAMPO – EQUIPO MERLIN

PROGRESIVA: DEL 76+800 AL 77+200

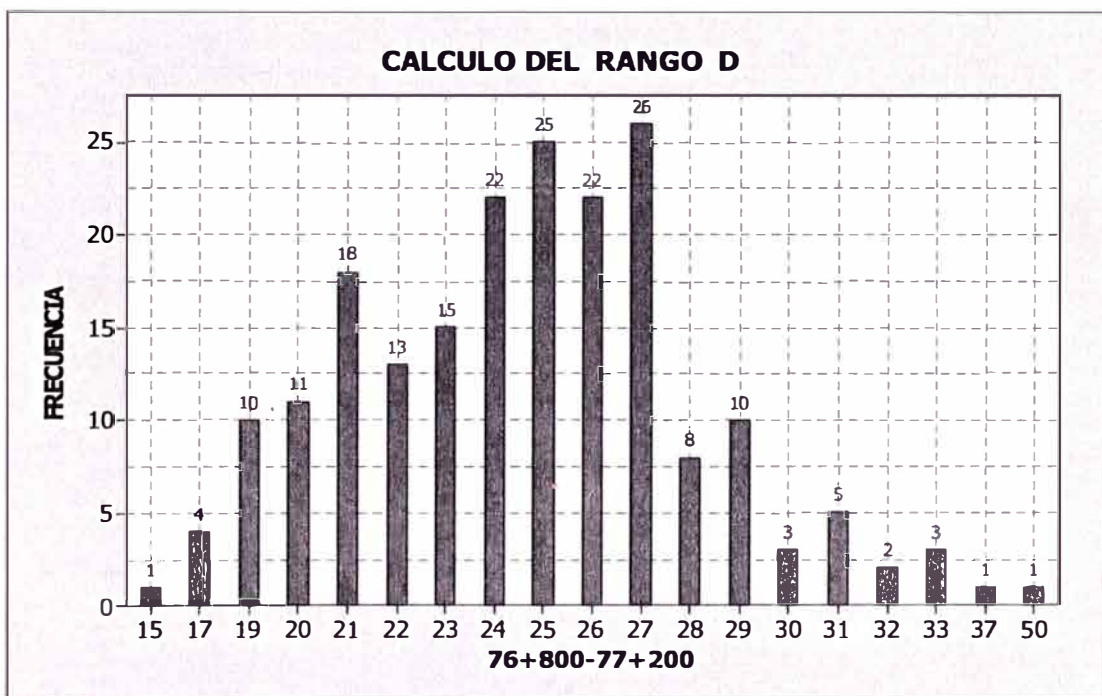
FECHA: 27/11/10

CARRIL : IZQUIERDO

DISTANCIA DEL BORDE: 1 m

CONTEO DE DESVIACIONES PARA EL CÁLCULO DEL IRI

15	1
17	4
19	10
20	11
21	18
22	13
23	15
24	22
25	25
26	22
27	26
28	8
29	10
30	3
31	5
32	2
33	3
37	1
50	1
TOTAL	200



Histograma de la Distribución de frecuencia de 200 lecturas

$D < 42$	$D > 42$
$IRI = 0.0485 \times D$	$IRI = 0.593 + 0.0471 \times D$

D	D(mm)	Factor Corrección	D corregido	IRI(m/km)
11,9	59,5	0,88571	52,6997	3,08

PROCESAMIENTO DE LOS DATOS DE CAMPO – EQUIPO MERLIN

PROGRESIVA: DEL 77+200 AL 77+600

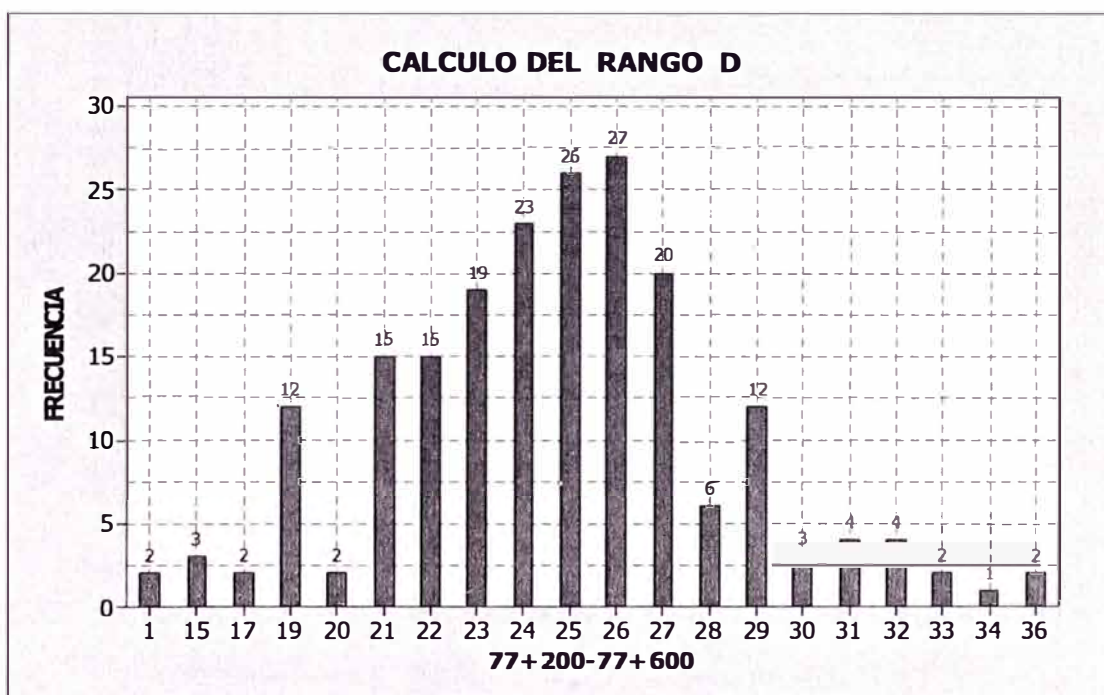
FECHA: 27/11/10

CARRIL : IZQUIERDO

DISTANCIA DEL BORDE: 1 m

CONTEO DE DESVIACIONES PARA EL CÁLCULO DEL IRI

1	2
15	3
17	2
19	12
20	2
21	15
22	15
23	19
24	23
25	26
26	27
27	20
28	6
29	12
30	3
31	4
32	4
33	2
34	1
36	2
TOTAL	200



Histograma de la Distribución de frecuencia de 200 lecturas

$D < 42$	$D > 42$
$IRI = 0.0485 \times D$	$IRI = 0.593 + 0.0471 \times D$

D	D(mm)	Factor Corrección	D corregido	IRI(m/km)
12,5	62,5	0,88571	55,3569	3,20

PROCESAMIENTO DE LOS DATOS DE CAMPO – EQUIPO MERLIN

PROGRESIVA: DEL 77+600 AL 78+000

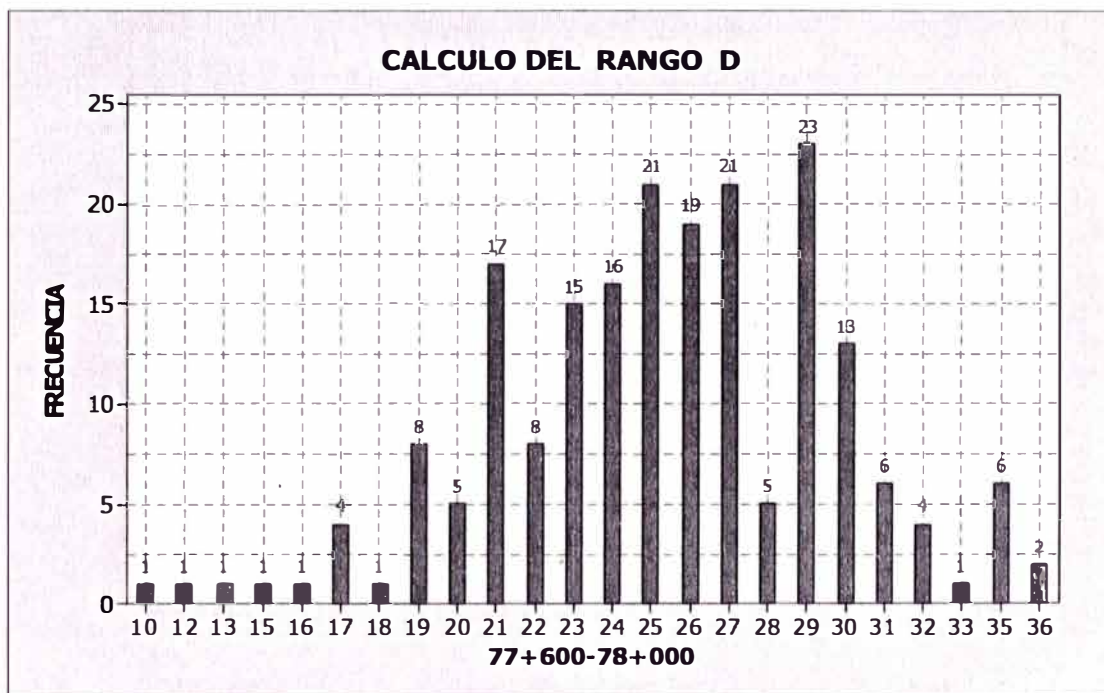
FECHA: 27/11/10

CARRIL : IZQUIERDO

DISTANCIA DEL BORDE: 1 m

CONTEO DE DESVIACIONES PARA EL CÁLCULO DEL IRI

10	1
12	1
13	1
15	1
16	1
17	4
18	1
19	8
20	5
21	17
22	8
23	15
24	16
25	21
26	19
27	21
28	5
29	23
30	13
31	6
32	4
33	1
35	6
36	2
TOTAL	200



Histograma de la Distribución de frecuencia de 200 lecturas

$D < 42$	$D > 42$
$IRI = 0.0485 \times D$	$IRI = 0.593 + 0.0471 \times D$

D	D(mm)	Factor Corrección	D corregido	IRI(m/km)
13,75	68,75	0,88571	60,8926	3,46

PROCESAMIENTO DE LOS DATOS DE CAMPO – EQUIPO MERLIN

PROGRESIVA: DEL 78+000 AL 78+400

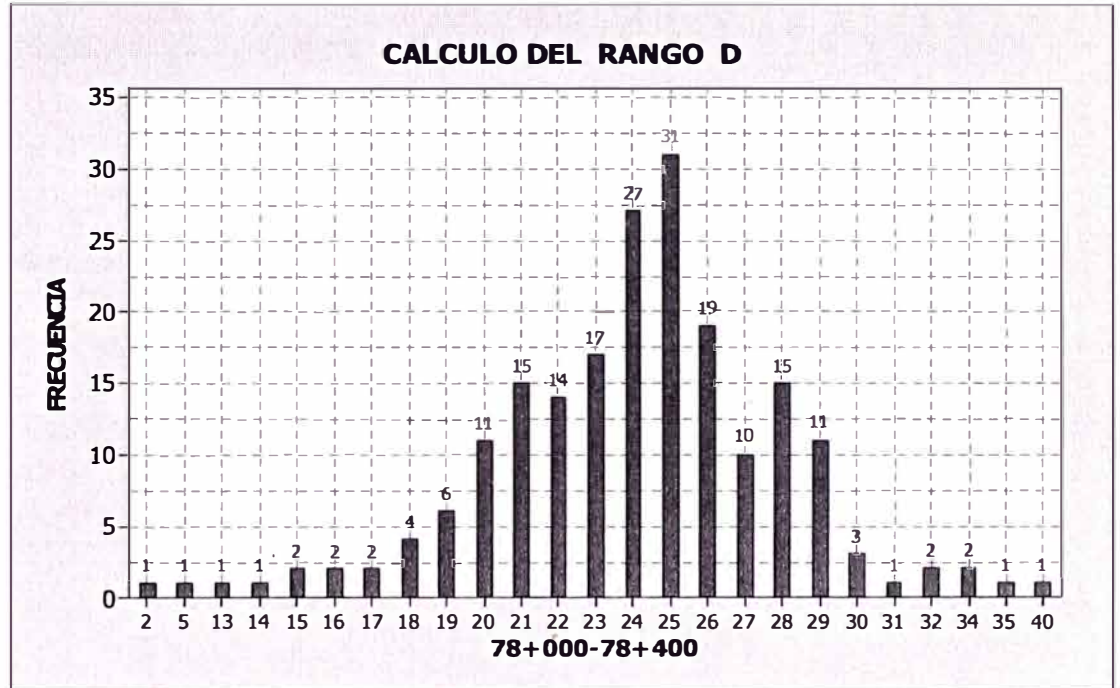
FECHA: 27/11/10

CARRIL : IZQUIERDO

DISTANCIA DEL BORDE: 1 m

CONTEO DE DESVIACIONES PARA EL CÁLCULO DEL IRI

2	1
5	1
13	1
14	1
15	2
16	2
17	2
18	4
19	6
20	11
21	15
22	14
23	17
24	27
25	31
26	19
27	10
28	15
29	11
30	3
31	1
32	2
34	2
35	1
40	1
TOTAL	200



Histograma de la Distribución de frecuencia de 200 lecturas

$D < 42$	$D > 42$
$IRI = 0.0485 \times D$	$IRI = 0.593 + 0.0471 \times D$

D	D(mm)	Factor Corrección	D corregido	IRI(m/km)
12	60	0,88571	53,1426	3,10

PROCESAMIENTO DE LOS DATOS DE CAMPO – EQUIPO MERLIN

PROGRESIVA: DEL 78+400 AL 78+800

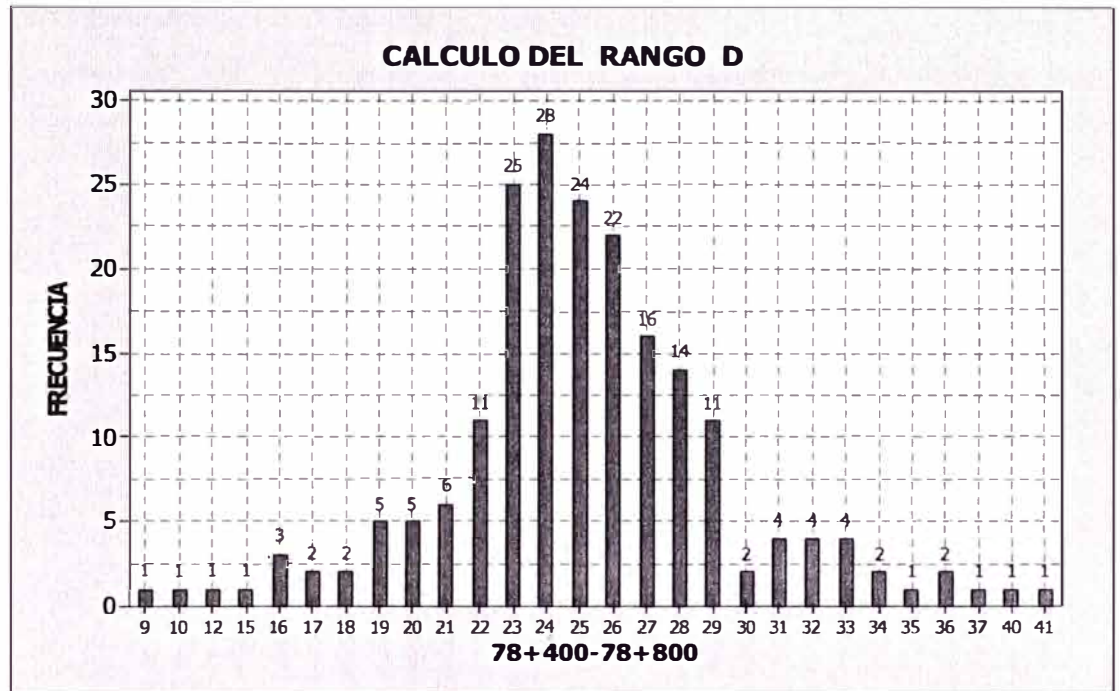
FECHA: 27/11/10

CARRIL : IZQUIERDO

DISTANCIA DEL BORDE: 1 m

CONTEO DE DESVIACIONES PARA EL CÁLCULO DEL IRI

9	1
10	1
12	1
15	1
16	3
17	2
18	2
19	5
20	5
21	6
22	11
23	25
24	28
25	24
26	22
27	16
28	14
29	11
30	2
31	4
32	4
33	4
34	2
35	1
36	2
37	1
40	1
41	1
TOTAL	200



Histograma de la Distribución de frecuencia de 200 lecturas

$D < 42$	$D > 42$
$IRI = 0.0485 \times D$	$IRI = 0.593 + 0.0471 \times D$

D	D(mm)	Factor Corrección	D corregido	IRI(m/km)
15	75	0,88571	66,42825	3,72

PROCESAMIENTO DE LOS DATOS DE CAMPO – EQUIPO MERLIN

PROGRESIVA: DEL 79+000 AL 79+400

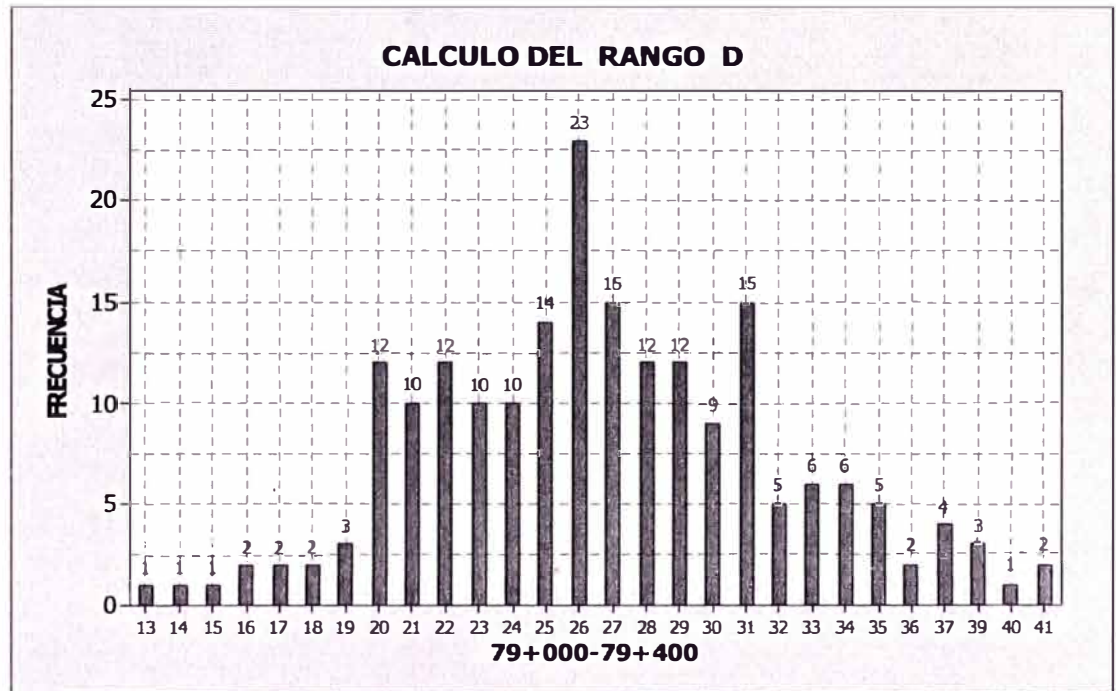
FECHA: 27/11/10

CARRIL : IZQUIERDO

DISTANCIA DEL BORDE: 1 m

CONTEO DE DESVIACIONES PARA EL CÁLCULO DEL IRI

13	1
14	1
15	1
16	2
17	2
18	2
19	3
20	12
21	10
22	12
23	10
24	10
25	14
26	23
27	15
28	12
29	12
30	9
31	15
32	5
33	6
34	6
35	5
36	2
37	4
39	3
40	1
41	2
TOTAL	200



Histograma de la Distribución de frecuencia de 200 lecturas

D < 42	D > 42
IRI = 0.0485 × D	IRI = 0.593 + 0.0471 × D

D	D(mm)	Factor Corrección	D corregido	IRI(m/km)
17,6667	88,3335	0,88571	78,2379	4,28

PROCESAMIENTO DE LOS DATOS DE CAMPO – EQUIPO MERLIN

PROGRESIVA: DEL 79+400 AL 79+800

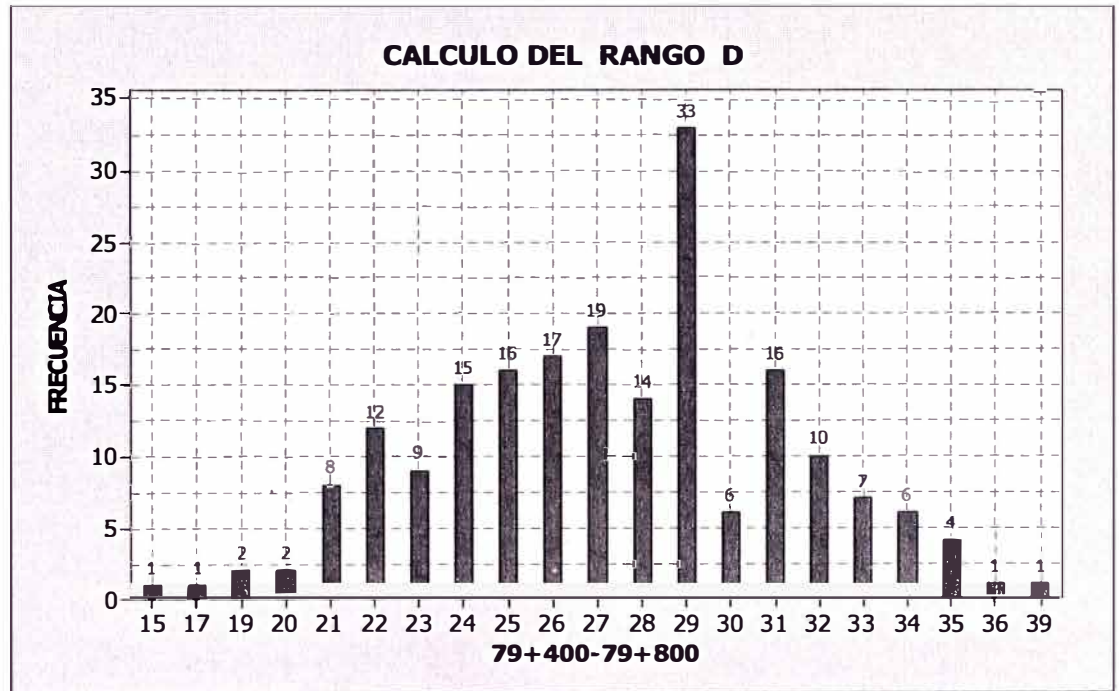
FECHA: 27/11/10

CARRIL : IZQUIERDO

DISTANCIA DEL BORDE: 1 m

CONTEO DE DESVIACIONES PARA EL CÁLCULO DEL IRI

15	1
17	1
19	2
20	2
21	8
22	12
23	9
24	15
25	16
26	17
27	19
28	14
29	33
30	6
31	16
32	10
33	7
34	6
35	4
36	1
39	1
TOTAL	200



Histograma de la Distribución de frecuencia de 200 lecturas

$D < 42$	$D > 42$
$IRI = 0.0485 \times D$	$IRI = 0.593 + 0.0471 \times D$

D	D(mm)	Factor Corrección	D corregido	IRI(m/km)
12,8333	64,1665	0,88571	56,8329	3,27

PROCESAMIENTO DE LOS DATOS DE CAMPO – EQUIPO MERLIN

PROGRESIVA: DEL 79+800 AL 80 + 200

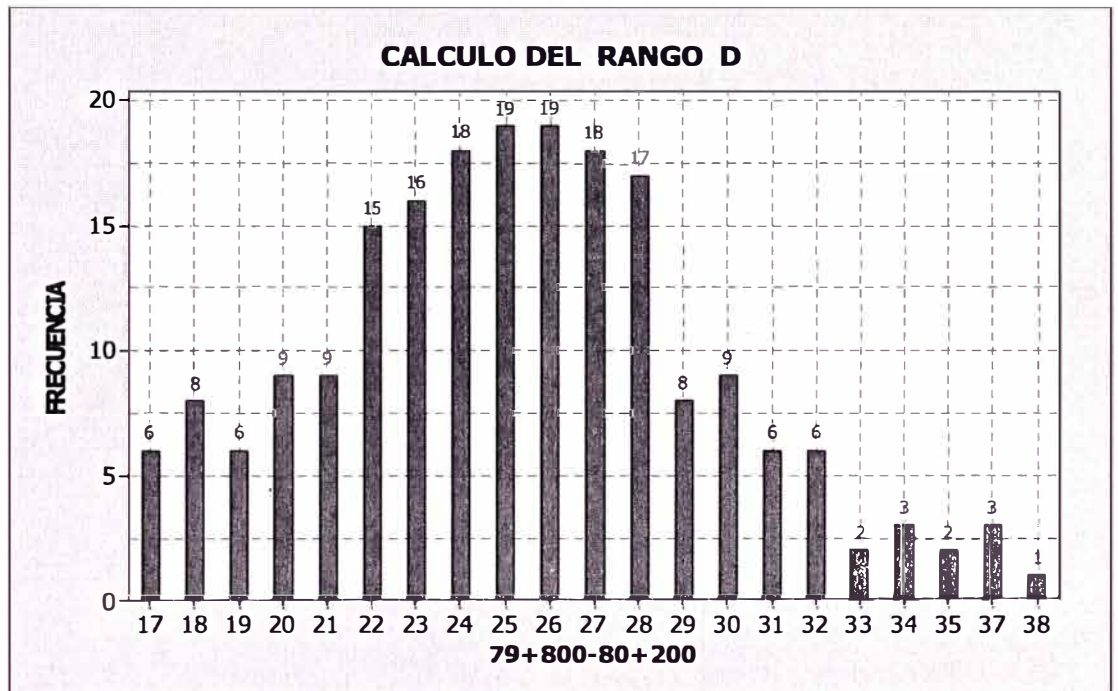
FECHA: 27/11/10

CARRIL : IZQUIERDO

DISTANCIA DEL BORDE: 1 m

CONTEO DE DESVIACIONES PARA EL CÁLCULO DEL IRI

17	6
18	8
19	6
20	9
21	9
22	15
23	16
24	18
25	19
26	19
27	18
28	17
29	8
30	9
31	6
32	6
33	2
34	3
35	2
37	3
38	1
TOTAL	200



Histograma de la Distribución de frecuencia de 200 lecturas

$D < 42$	$D > 42$
$IRI = 0.0485 \times D$	$IRI = 0.593 + 0.0471 \times D$

D	D(mm)	Factor Corrección	D corregido	IRI(m/km)
15	75	0,88571	66,42825	3,72

PROCESAMIENTO DE LOS DATOS DE CAMPO – EQUIPO MERLIN

PROGRESIVA: DEL 80 + 200 AL 80+600

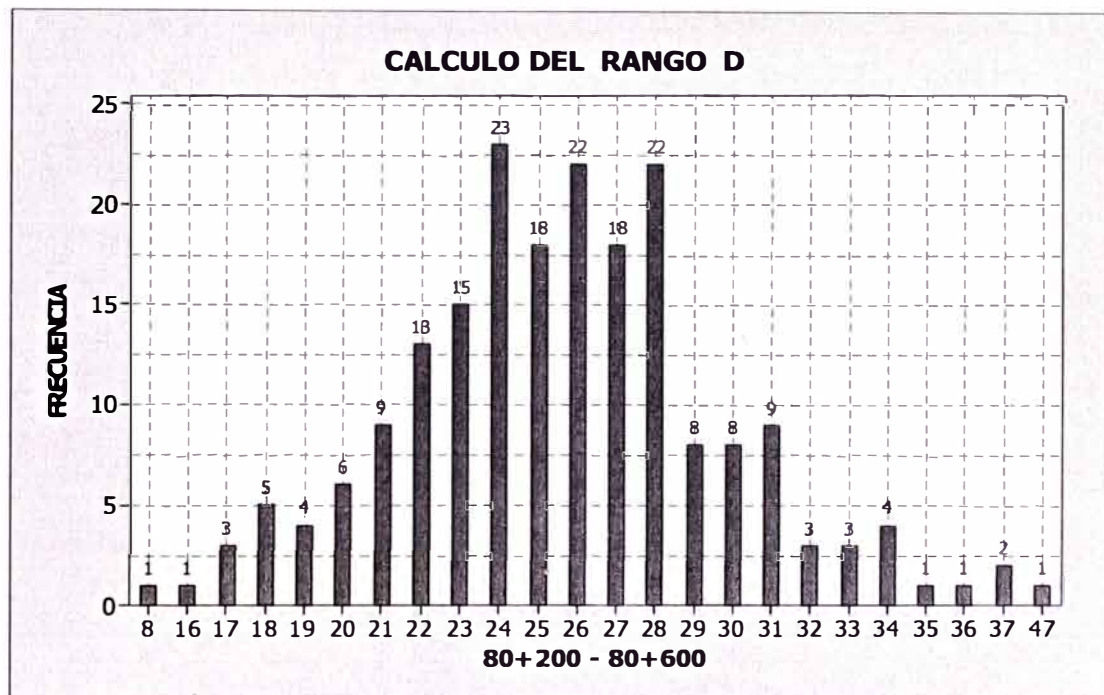
FECHA: 27/11/10

CARRIL : IZQUIERDO

DISTANCIA DEL BORDE: 1 m

CONTEO DE DESVIACIONES PARA EL CÁLCULO DEL IRI

8	1
16	1
17	3
18	5
19	4
20	6
21	9
22	13
23	15
24	23
25	18
26	22
27	18
28	22
29	8
30	8
31	9
32	3
33	3
34	4
35	1
36	1
37	2
47	1
TOTAL	200



Histograma de la Distribución de frecuencia de 200 lecturas

$D < 42$	$D > 42$
$IRI = 0.0485 \times D$	$IRI = 0.593 + 0.0471 \times D$

D	D(mm)	Factor Corrección	D corregido	IRI(m/km)
14,6667	73,3335	0,88571	64,9522	3,65

PROCESAMIENTO DE LOS DATOS DE CAMPO – EQUIPO MERLIN

PROGRESIVA: DEL 80 + 600 AL 81 + 000

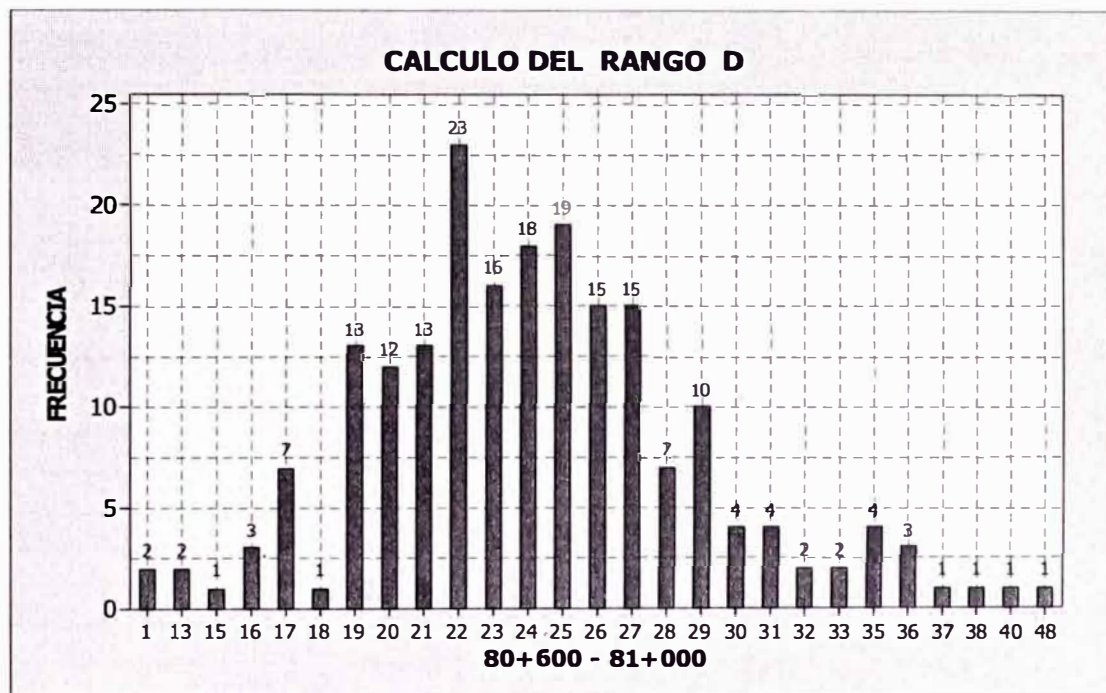
FECHA: 27/11/10

CARRIL : IZQUIERDO

DISTANCIA DEL BORDE: 1 m

CONTEO DE DESVIACIONES PARA EL CÁLCULO DEL IRI

1	2
13	2
15	1
16	3
17	7
18	1
19	13
20	12
21	13
22	23
23	16
24	18
25	19
26	15
27	15
28	7
29	10
30	4
31	4
32	2
33	2
35	4
36	3
37	1
38	1
40	1
48	1
TOTAL	200



Histograma de la Distribución de frecuencia de 200 lecturas

$D < 42$	$D > 42$
$IRI = 0.0485 \times D$	$IRI = 0.593 + 0.0471 \times D$

D	D(mm)	Factor Corrección	D corregido	IRI(m/km)
16,9643	84,8215	0,88571	75,12725	4,13

**VALORES DEL ÍNDICE DE RUGOSIDAD INTERNACIONAL (IRI)
CURSO DE TITULACIÓN 2010-2
VISITA DE CAMPO**

EQUIPO MERLIN MANUAL

CARRIL : IZQUIERDO

DISTANCIA DEL BORDE: 1 m

PROGRESIVA INICIAL		PROGRESIVA FINAL	FECHA	IRI (m/km)
74 + 000	-	74 + 400	27/11/2010	3,70
74 + 400	-	74 + 800	27/11/2010	3,29
74 + 800	-	75 + 200	27/11/2010	3,30
75 + 200	-	75 + 600	27/11/2010	2,85
75 + 600	-	76 + 000	27/11/2010	3,30
76 + 000	-	76 + 400	27/11/2010	3,67
76 + 400	-	76 + 800	27/11/2010	3,28
76 + 800	-	77 + 200	27/11/2010	3,08
77 + 200	-	77 + 600	27/11/2010	3,20
77 + 600	-	78 + 000	27/11/2010	3,46
78 + 000	-	78 + 400	27/11/2010	3,10
78 + 400	-	78 + 800	27/11/2010	3,72
79 + 000	-	79 + 400	27/11/2010	4,28
79 + 400	-	79 + 800	27/11/2010	3,27
79 + 800	-	80 + 200	27/11/2010	3,72
80 + 200	-	80 + 600	27/11/2010	3,65
80 + 600	-	81 + 000	27/11/2010	4,13

IRI promedio	3,4706
Desviación estándar	0,3754
IRI característico (IRI_p + 1.645 σ)	4,09

**VALORES DEL ÍNDICE DE RUGOSIDAD INTERNACIONAL (IRI)
CURSO DE TITULACIÓN 2010-2**

VISITA DE CAMPO

EQUIPO MERLIN AUTOMATIZADO

CARRIL : DERECHO

DISTANCIA DEL BORDE: 1 m

PROGRESIVA INICIAL		PROGRESIVA FINAL	FECHA	IRI (m/km)
74 + 000	-	74 + 400	27/11/2010	4.16
74 + 400	-	74 + 800	27/11/2010	3.27
74 + 800	-	75 + 200	27/11/2010	3.76
75 + 200	-	75 + 600	27/11/2010	3.15
75 + 600	-	76 + 000	27/11/2010	3.76
76 + 000	-	76 + 400	27/11/2010	3.53
76 + 400	-	76 + 800	27/11/2010	3.65
76 + 800	-	77 + 200	27/11/2010	3.22
77 + 200	-	77 + 600	27/11/2010	3.06
77 + 800	-	78 + 200	27/11/2010	3.32
78 + 200	-	78 + 600	27/11/2010	3.09
79 + 000	-	79 + 400	27/11/2010	4.36
79 + 400	-	79 + 800	27/11/2010	3.70
79 + 800	-	80 + 200	27/11/2010	3.88
80 + 200	-	80 + 600	27/11/2010	4.31
80 + 600	-	81 + 000	27/11/2010	3.62

IRI promedio	3,6150
Desviación estándar	0,4183
IRI característico (IRI_p + 1.645 σ)	4,30