

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



**EVALUACIÓN DE LA RUGOSIDAD CON EQUIPO BUMP
INTEGRATOR, CARRETERA CAÑETE –CHUPACA.
SISTEMATIZACIÓN DEL PROCEDIMIENTO Y PROPUESTA
DEL MANUAL.**

INFORME DE SUFICIENCIA

Para optar el Título Profesional de:

INGENIERO CIVIL

JIMMY RONALD CARRANZA PALOMINO

Lima- Perú

2011

ÍNDICE

RESUMEN	03
LISTA DE CUADROS	04
LISTA DE FIGURAS	05
LISTA DE SÍMBOLOS Y DE SIGLAS	06
INTRODUCCIÓN	07
CAPÍTULO 1: GENERALIDADES	08
1.1. ANTECEDENTES	08
1.1.1 Objetivo del Proyecto	08
1.1.2 Estado del Arte de la Carretera	08
1.2. UBICACIÓN	10
1.3. CARACTERÍSTICAS DE LA CARRETERA	11
1.3.1 Tramo evaluado Km 74+000 - Km 84+000	12
CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO	15
2.1. RUGOSIDAD	15
2.2. MÉTODO DE EVALUACIÓN DE LA RUGOSIDAD CON EQUIPO BUMP INTEGRATOR	25
CAPÍTULO 3: SISTEMATIZACIÓN DEL PROCEDIMIENTO CON EL BUMP INTEGRATOR	28
3.1. SISTEMATIZACIÓN DEL PROCEDIMIENTO	28
3.2. APLICACIÓN EN EL PROCEDIMIENTO DE ESTUDIO	37
3.2.1. Primer tiempo: El punto de partida	37
3.2.2. Segundo tiempo: Las preguntas iniciales	38
3.2.3. Tercer Tiempo: Recuperación del proceso vivido	39
3.2.4. Cuarto Tiempo: La reflexión de fondo	42
3.2.5. Quinto Tiempo: Los puntos de llegada	43
CAPÍTULO 4: PROPUESTA DE MANUAL	46
4.1. GENERALIDADES	46
4.2. IDENTIFICACIÓN DE ERRORES	48
4.2.1. Errores Sistemáticos	48
4.2.2. Errores Aleatorios	49

4.3. PROCESAMIENTO Y DISCRIMINACIÓN DE DATOS	50
4.3.1. Tratamiento estadístico de datos	53
4.4. LINEAMIENTOS PARA LA GENERACIÓN DE CURVAS DE DETERIORO Y POLÍTICAS DE MANTENIMIENTO	56
4.4.1. Curva de deterioro	56
4.4.2. Política de mantenimiento	58
CONCLUSIONES	67
RECOMENDACIONES	68
BIBLIOGRAFÍA	69
ANEXO A	70
ANEXO B	96
ANEXO C	104

RESUMEN

El presente informe pretende obtener la sistematización del procedimiento para la generación de un manual de trabajo, con la evaluación de la rugosidad con equipo Bump Integrator, adicionalmente se busca recopilar información histórica del tramo a evaluar, para determinar las condiciones del pavimento, en cuestiones de serviciabilidad en el cual se enmarca el presente informe.

Acorde a los programas de conservación vial y a la necesidad de contar con metodologías estándares para la evaluación de pavimentos de bajo volumen de tránsito, es necesario contar con parámetros de medición que reflejen el estado real de las vías que permitan a su vez adoptar medidas de prevención y planificación que conlleven a la adecuada conservación de las mismas

Para ello se realizó el trabajo de campo, recopilando la información necesaria para su análisis de acuerdo a métodos conocidos, adicionalmente paralelo se analizó las diferentes alternativas de evaluación de la rugosidad con el equipo Bump Integrator que existen en el Perú y en el mundo, para dicho fin.

Las mediciones de la rugosidad con el equipo Bump Integrator se hace necesario debido al continuo desgaste que sufren nuestras vías por agentes externos, como el clima, la geografía o el mismo aumento de flujo vehicular que a su vez generarán un sobre costo, teniendo esta nueva base sistematizada se puede generar planes de mantenimiento más exactos basados en las variaciones que se tienen de la condición del pavimento a la fecha.

Luego de analizar los resultados del trabajo en gabinete se llegó a la conclusión de que existen distintas formas de elaborar un manual de procedimientos, asimismo tenemos muchos métodos estadísticos para la evaluación de resultados, de los cuales se optó por aquellos que más se ajustaban a los requerimientos según los objetivos planteados, generando así la primera versión del "Manual de procedimiento para la evaluación de la rugosidad con equipo Bump Integrator".

LISTA DE CUADROS

Cuadro 2.1: Variación en el valor del IRI (m/km) según la longitud de evaluación	25
Cuadro 4.1: Modelo propuesto para la recolección de datos	51
Cuadro 4.2: Cuadro para la calibración	52
Cuadro 4.3: Cuadro para la homogenización de tramos	54
Cuadro 4.4: Cuadro resumen de tramos homogenizados	55
Cuadro 4.5: Cuadro para la verificación del estado de pavimento	55
Cuadro 4.6: Alternativas y procedimientos del SMP para varias condiciones	59

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1. Localización del tramo en estudio	11
Figura 1.2. Detalle de poblaciones que une la carretera	12
Figura 1.3. Pisos altitudinales que atraviesa la carretera Cañete - Huancayo	14
Figura 2.1. Modelo de cuarto carro	17
Figura 2.2. Escala estándar empleada por el Banco Mundial para la cuantificación del IRI para diferentes tipos de vías	18
Figura 2.3. Nivel y mira topográfica	19
Figura 2.4. Equipo Merlin	20
Figura 2.5. Perfilógrafo California	21
Figura 2.6. Componentes de equipos de respuesta	21
Figura 2.7. Componentes de equipos de referencia inercial	22
Figura 2.8. Variaciones aparentes de perfiles longitudinales utilizando diferentes Equipos	23
Figura 2.9. Los mismos perfiles de la figura anterior después del filtrado	23
Figura 2.10 Modelo de conexión del rugosímetro electrónico	26
Figura 2.11 Software de Comunicación para el rugosímetro electrónico	26
Figura 2.12 Unidad Bump Integrator	27
Figura 2.13 Unidad de adquisición de datos del rugosímetro Bump Integrator	27
Figura 3.1. Proceso de sistematización	29
Figura 3.2. Rutas o tiempos para la sistematización de un Procedimiento	37
Figura 3.3. Procedimiento para la evaluación de la rugosidad con el Bump Integrator	41
Figura 3.4. Diagrama de proceso para la discriminación de datos	44
Figura 4.1. Modelo de conexión del rugosímetro electrónico	46
Figura 4.2. Instalación del instrumento	47
Figura 4.3. Modelo de una ecuación de correlación	52
Figura 4.4. Escala de IRI para los diferentes tipos de pavimentos	55
Figura 4.5. Curva de deterioro del pavimento	58
Figura 4.6. Caída de Huayco	66

LISTA DE SIMBOLOS Y DE SIGLAS

AASHTO	: American Association of State Highway and Transportation Officials
ASTM	: American Society for Testing and Materials
CBR	: California Bearing Ratio
CGC	: Consorcio Gestión de Carreteras
DG-2000	: Manual de Diseño Geométrico
EAL	: Número de Ejes Equivalentes
IMD	: Índice Medio Diario.
IRI	: Índice de Rugosidad Internacional
MTC	: Ministerio de Transportes y Comunicaciones
NCHRP	: National Cooperative Highway Research Program
PERT	: Proyecto Especial Rehabilitación de Transportes
PSI	: Índice de Serviciabilidad Presente
RARS	: Reference Average Rectified Slope
RQCS	: Reference Quarter Car Simulation
RTRRMS	: Response Type Road Roughness Meters
UMTRI	: University of Michigan Transportation Research Institute

INTRODUCCIÓN

En el presente Informe de Suficiencia se describe la metodología de trabajo, teniendo como base de la evaluación de la rugosidad con el equipo Bump Integrator, asimismo propone un método para la sistematización del procedimiento, tratamiento de datos y obtención de las curvas de deterioro que son necesarios para finalmente generar los lineamientos para definir la política de mantenimiento en base a dicha curva.

A continuación se describe el contenido del presente informe, comprendido en 4 capítulos:

En el Capítulo I, se enfoca un resumen de los antecedentes de la Carretera Cañete – Yauyos – Chupaca, con ubicación y características generales de la misma entre las progresivas Km 74+000-Km 84+000.

En el Capítulo II, se explica en detalle el concepto de la rugosidad, acompañando principalmente de una cronología de cómo se ha ido implementando y mejorando el método de la Medición de la Rugosidad con los Equipos Tipo Respuesta, hasta llegar al equipo actual utilizado en nuestras mediciones en campo con el Equipo Bump Integrator REBITU.

En el Capítulo III, se detalla los fundamentos y conceptos necesarios que son el sustento de la sistematización de procedimientos, y la aplicación en la sistematización del procedimiento de la evaluación de la rugosidad y la generación de un manual de usuario del Bump Integrator.

En el Capítulo IV, se menciona como se ha aplicado el método de sistematización en el manual de procedimientos. Comenzaremos con las generalidades del equipo, para explicar la parte estadística y finalizar con la generación de curvas de deterioro y políticas de mantenimiento de la carretera.

Finalmente, se presentan las conclusiones y recomendaciones del informe

CAPÍTULO 1. GENERALIDADES

1.1. ANTECEDENTES

1.1.1. Objetivo del Proyecto

Objetivo General.

Elaborar una metodología, sobre la base de la evaluación de la rugosidad con el equipo Bump Integrator, para la sistematización del procedimiento de tratamiento de los datos tomados, para la obtención de las curvas de deterioro para finalmente generar los lineamientos para la política de mantenimiento.

Objetivos Específicos.

- Analizar la rugosidad para adquirir información de campo en el tramo el Km.74 al Km.84, para su proceso y análisis.
- Recopilar información histórica del proyecto, en oficinas vinculadas a él y el contratista que lleva a cabo los trabajos.

1.1.2. Estado del Arte de la Carretera.

Carretera Cañete – Yauyos – Chupaca fue proyectada y ejecutada por etapas durante el Gobierno del Sr. Augusto B. Leguía entre los años 1920 a 1930, mediante la ley de la Conscripción Vial Territorial del Perú. Mediante esta ley se impulsó la creación y reparación de carreteras, ley que fue promulgada por el entonces Ministerio de Fomento.

Entre los años 1930 hasta los años 1954, todos los trabajos se paralizan por problemas de accidentes de trabajo fatales por el desprendimiento de rocas.

En los años 1940- 1944 durante el Gobierno del Dr. Manuel Prado Ugarteche y el alcalde de Yauyos Dr. Carlos Ayulo Laos, se avanza con los trabajos en la zona de la costa desde Cañete hasta Yauyos, siendo inaugurada por el presidente en Junio de 1944, quedando postergado los trabajos de Yauyos a Huancayo.

En 1954 se retoman los trabajos, por la necesidad de los pueblos del Norte de Yauyos, sobre todo en el pase del Cañón de Uchco. Por tal motivo deciden gestionar ayuda ante el Ministerio de Fomento, solicitando una delegación de Ingenieros para realizar la rectificación del trazo.

En 1957, se concluyó con el trazo de la carretera, integrando la región costa con la sierra.

En 1958 se realizaron trabajos de mantenimiento a la vía por las empresas Cementos Lima y ARPL Tecnología Industrial, realizando algunos trabajos de perfilado.

En los sub siguientes años hasta el año 1998 no se encontró información alguna sobre la Carretera.

En el año 1998 la Comisión de Promoción de Concesiones Privadas (PROMCEPRI) adjudicó la buena Pro al Consorcio “Asociación Aguas y Estructuras (AYESA) – ALPHA CONSULT SA” para realizar el servicio de consultoría a nivel de Estudio Definitivo de la carretera Lunahuana - Huancayo.

En el año 2003, el Proyecto Especial Rehabilitación de Transportes (PERT) del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC) encargó al consultor Ing. Floriano Palacios León, (Contrato de Estudios N° 0412-2003-MTC/20 del 28.11.2003) la elaboración del Estudio de Pre inversión a Nivel de Perfil de la Carretera Ruta 22, Tramo: Lunahuaná – Yauyos – Chupaca de 245.15 km de longitud.

En año 2005, PROVIAS NACIONAL – MTC ha realizado el Estudio de Pre Inversión a nivel de Factibilidad del Proyecto Mejoramiento y Rehabilitación de la Carretera Ruta 22, enfatizando el tema de Diseño Vial.

Posteriormente en 2007 por Resolución Ministerial N° 408 -2007-MTC/02 se creó el Programa “Proyecto Perú” bajo responsabilidad de PROVIAS NACIONAL, el cual es un programa de Infraestructura vial diseñado para mejorar las vías de integración de corredores económicos, conformado por ejes de desarrollo

sostenido con el fin de mejorar el nivel de competitividad de las zonas rurales, en la red Vial Nacional, Departamental y Vecinal. Dicho programa se caracteriza por contratos que se controlan por niveles de servicio y plazos mayores o iguales a los 3 años.

Con fecha 16 de Octubre de 2007 se realiza la Convocatoria para el Concurso Público "Servicio de Conservación Vial por Niveles de Servicio de la Carretera Cañete – Lunahuana – Pacaràn-Chupaca y Rehabilitación del tramo Zúñiga. Dv. Yauyos – Ronchas por un periodo de 5 años.

Con fecha 17 de Diciembre 2007 se firma el contrato con el CONSORCIO GESTION DE CARRETERAS, por un monto que asciende en S/. 131'589,139.71, por la conservación vial de 281.73 Km. En los Términos de Referencia señalan que se debe dar una Solución Básica a aplicar sobre la superficie actual de la vía, previamente conformada, pero no se deben realizar cambios en la geometría ni trazo de la vía existente.

Con fecha 01 de febrero del 2008 se inicia el servicio. Como punto de partida se preparó un inventario vial, el cual se realizó con el objetivo de tener un registro de la infraestructura vial y las condiciones actuales de estructuras de obras ligadas a la carretera, así mismo se identificaron sectores críticos y necesidades de la vía como fase Pre-operativa, a ejecutarse durante los meses de abril, mayo y junio de 2008.

La carretera actualmente se encuentra en trabajos de rehabilitación y mantenimiento.

1.2. UBICACIÓN

Políticamente la cuenca del río Cañete forma parte de las provincias de Cañete y Yauyos, pertenecientes ambas al departamento de Lima. Geográficamente, se encuentra entre los paralelos 11°58'00" y 13°09'00" de latitud Sur y los Meridianos 75°31'00" y 76°31'00" de Longitud Oeste. La cuenca del río Cañete tiene una extensión aproximada de 6,192 Km².

La Carretera Cañete-Yauyos-Chupaca se encuentra ubicada en la región central del país, abarcando los departamentos de Lima y Junín, tiene una longitud de 271.726 Km. considerado el inicio en el Km. 1+805 y el término en el Km. 273+531. Pasa por las principales zonas pobladas como: Lunahuaná (Km. 42+750), Pacarán (Km. 51+500) , Zúñiga (Km. 58+500), San Juan (Km. 67+000), San Jerónimo (Km. 72+500), Catahuasi (Km. 78+100), Canchán (Km. 82+580), Capilluca (Km. 94+600), Calachota (Km. 104+920), Auco (Km. 112+500), Magdalena (Km. 125+690), Huantan (Km. 139+200), Llapay (Km. 152+880), Alis (Km. 161+200), Tomas (Km. 169+200), Planta Lechera (Km. 179+850), Capillayoc (Km. 193+400), San José de Quero (Km. 219+500), Chaquicocha (Km. 225+000), Chupaca (Km. 250+500), Pilcomayo (Km. 258+000).

Figura 1.1. Localización del tramo en estudio.



Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones

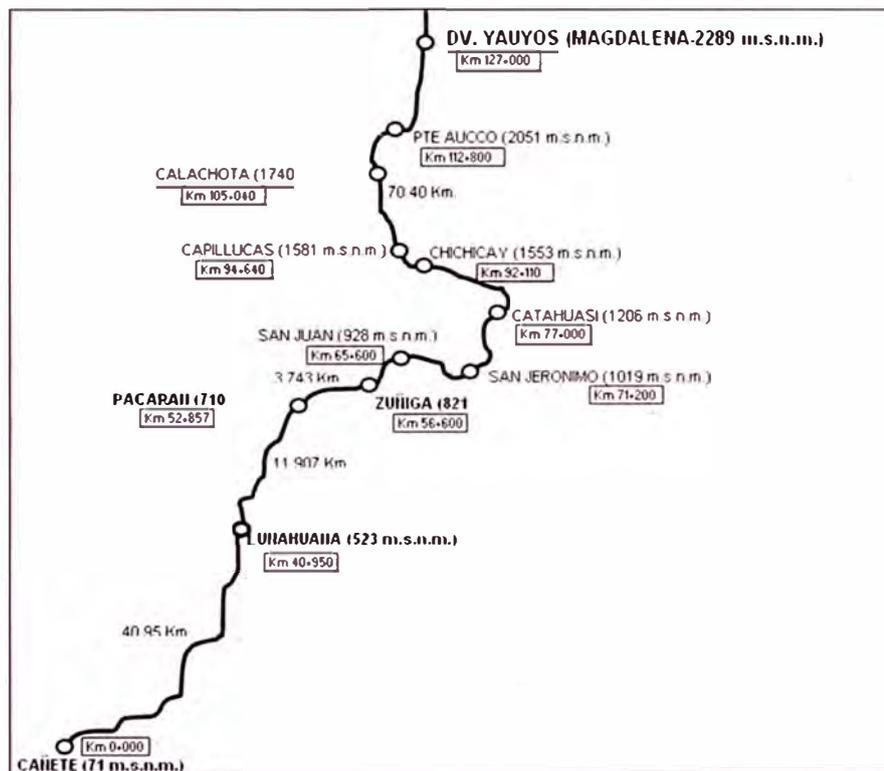
1.3. CARACTERÍSTICAS DE LA CARRETERA

A continuación se detalla algunas características principales de la Carretera en estudio:

- El Diseño de la Carretera es a media ladera y a su vez paralela al río Cañete, en gran parte de su longitud.
- Número de Carriles Variables y a su vez también los anchos (3.0 – 6.60 m.)

- Tratamiento Superficial del Pavimento en estudio – Slurry Seal.
- Diseño geométrico no estandarizado.
- Drenaje superficial escaso – cunetas de tierra – alcantarillas artesanales.
- Moderada vegetación – áreas de cultivo en terrazas.
- Escasa protección de talud inferior en tramos sinuosos.
- Une centros poblados (Zúñiga – San Juan – San Jerónimo – Catahuasi – Chichicay – Capillucas – Calachota – Magdalena).

Figura 1.2. Detalle de poblaciones que une la Carretera



Fuente: Escuela Profesional de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Ingeniería

1.3.1. Tramo evaluado Km 74+000 - Km.84+000

El tramo en estudio comprende desde la progresiva del 74+.000 al 84+000. de la Carretera Cañete-Yauyos, se encuentra ubicada en la Provincia de Yauyos, en el departamento de Lima a 1200 msnm, en dicho tramo se evaluó la rugosidad para ver su evolución con respecto al tiempo (Generación del modelo de deterioro).

Geología:

El tramo de la Carretera en estudio es una quebrada, conformada por una estrecha garganta en las zonas próximas a los contrafuertes andinos. Todas las superficies de los cerros son pétreas, rocallosas, resacas y completamente desprovistas de condiciones naturales para la agricultura, por falta de agua. Este tramo está considerado dentro de la Región Yunga (500msnm – 2300msnm).

Clima:

Al estar ubicado el tramo en estudio dentro de la Región Yunga, se caracteriza por tener un clima caluroso (sol todo el año) teniendo una temperatura que varía entre 20°C y 27° C durante el día y las noches son frescas a causa de los vientos que bajan de las regiones más altas.

Topografía:

La carretera tiene una topografía bastante sinuosa y agreste. El ancho de la actual plataforma vial es variable entre 3m y 4m.

Composición de Suelos de Fundación:

Los materiales de fundación del tramo en estudio, se clasifica en el Sistema SUCS como SC-SM y en el Sistema AASHTO varía entre A-1-b (0) y A-2-4(0).

Los agregados gruesos de este material arenoso son de forma subangular, mientras que la matriz tiene plasticidad comprendida entre escasa a moderada (como máximo I.P.=6%).

En la subrasante se han encontrado bolonerías a partir de 0.40m (en promedio) mayor concentración de ellos, entre 40% y 50% y en tamaños variables entre 4" a 8".

Geometría de la Carretera

La geometría de la carretera está condicionada a la geografía de la zona (quebrada), presentando secciones a media ladera.

El trazo geométrico de la carretera no cumple con la norma DG-2000 del MTC, por tener curvas muy próximas entre ellas, longitudes de transición cortos, sección de vía inadecuada, etc.

Sistema de Drenaje

No cuenta con sistema de drenaje el tramo en estudio. Existe flujo de agua tanto superficial y subterráneo.

Características Principales del Tramo en Estudio

Las características principales obtenidos de los Estudios Técnicos para el cambio de estándar de afirmado a solución básica de la Concesionaria CGC proyectado para el periodo del 2009-2013 son:

EAL (Número de Ejes Equivalentes a 8.2 ton en el periodo de diseño)= 84,000.

IMDa (Veh/día) = 53.

Tasa de Crecimiento =3.6%

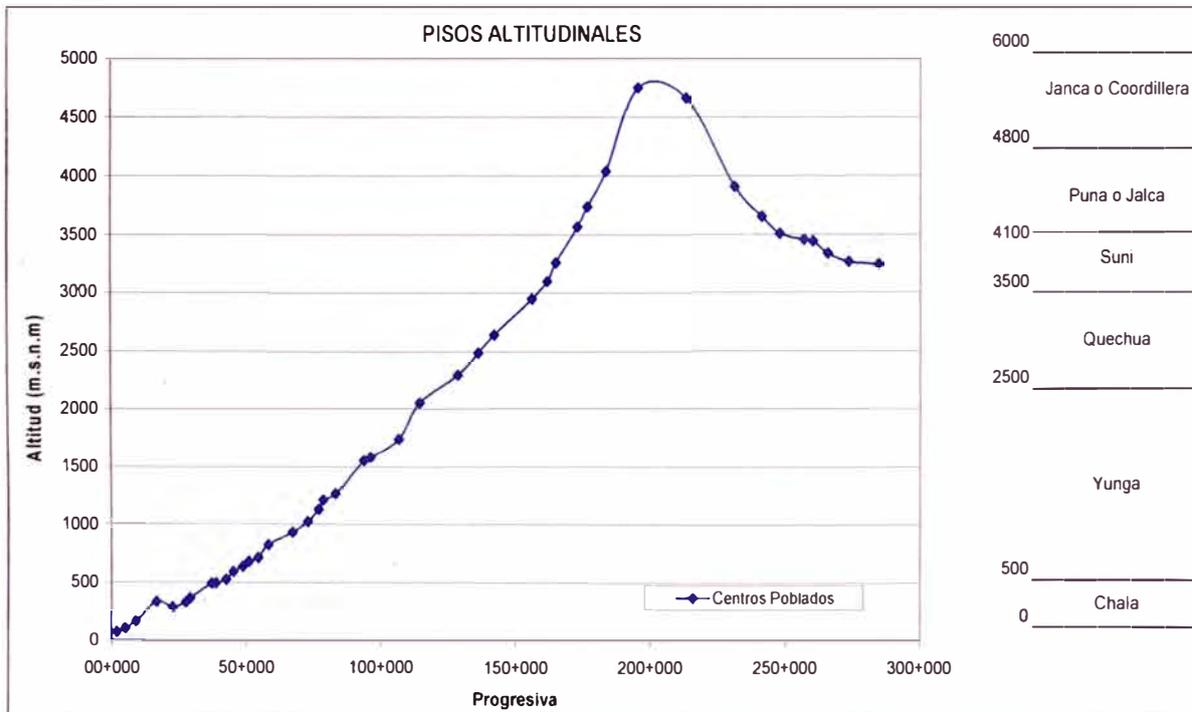
DTA = IMD x 3.6% (Según USACE).

CBR (al 95%)= 20 Buena (Capacidad Portante del Terreno)

Módulo Resiliente Mr = 13.201psi.

Coefficiente de Drenaje CD=1.

Figura N° 1.3. Pisos altitudinales que atraviesa la carretera Cañete – Huancayo.



Fuente: Escuela Profesional de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Ingeniería

CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO

2.1. RUGOSIDAD

La rugosidad de un pavimento es el parámetro que relaciona la magnitud y frecuencia de las irregularidades superficiales o altimétricas, con la comodidad o confort al transitar sobre él. La American Society of Testing and Materials (ASTM) E867 define rugosidad como la desviación de la superficie del pavimento respecto de una superficie plana teórica con dimensiones características que afectan la dinámica del vehículo y la calidad al manejar por la superficie de rodadura.

La rugosidad está asociada a la textura de una superficie, podemos clasificarlas en Microtextura y Macrotextura, las cuales se definen como:

- **Microtextura (coeficiente de fricción):** está relacionado con las características propias del árido expuesto sobre la superficie de los pavimentos.
- **Macrotextura:** intersticios generados debido a la distribución de los áridos en la superficie.

La rugosidad es un dato empleado en el inventario vial que permite calificar el estado o condición funcional de la vía y permite el cálculo de los costos de operación del usuario. El Índice de Rugosidad Internacional (IRI) es el parámetro más recomendado por el Banco Mundial y es el más difundido actualmente para la medición de la rugosidad en pavimentos.

El concepto de Serviciabilidad ha sido desarrollado en la AASHTO Road Test y se define en relación con el propósito para el que fue construido el pavimento y asegurar una circulación suave, cómoda y segura.

Cálculo del Índice de Regularidad Internacional (IRI)

El cálculo del IRI involucra la utilización de herramientas matemáticas, estadísticas y computacionales que permiten derivar la medida de regularidad

asociada a la vía; lo cual contempla etapas claramente diferenciadas y ajustadas no normadas hasta el momento en el país por lo que nuestro trabajo se basará en conseguir un manual de procedimiento para evaluación de la rugosidad exclusivamente con el equipo Bump Integrator y todo lo que esto conlleva.

El primer paso del procedimiento para el cálculo del IRI, y el más importante de todos, consiste en medir las cotas o elevaciones de terreno que permiten representar el perfil real del camino. Esto significa que, el IRI es independiente de la técnica o equipo utilizado para obtener el perfil, y dependerá únicamente de la calidad del perfil longitudinal. Estos datos son sometidos a un primer filtro, en el cual se realiza un análisis estadístico (media móvil) y adecuaciones matemáticas, para poder generar un nuevo perfil que permite ser analizado desde el punto de vista de las irregularidades que se pudieran observar. Las razones para aplicar este primer filtro son las siguientes:

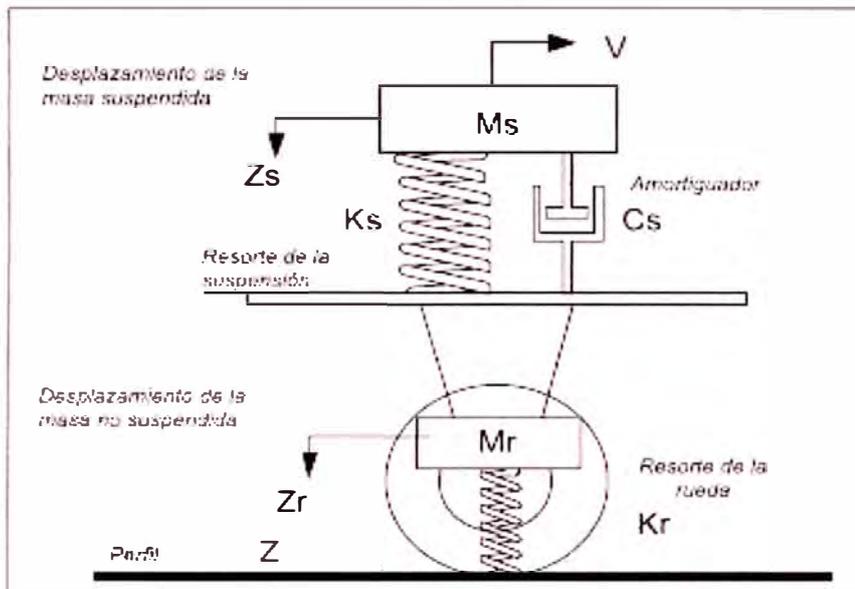
- Para simular el comportamiento entre las llantas de los vehículos y la carretera.
- Para reducir la sensibilidad del algoritmo del IRI al intervalo de muestreo.

Al nuevo perfil generado se le aplica un segundo filtro, el cual consiste en la aplicación de un modelo de cuarto de carro que se desplaza a una velocidad de 80km/h.

A través de éste, se registran las características asociadas al camino basadas en los desplazamientos verticales inducidos a un vehículo estándar, el cual es modelado de forma simplificada como un conjunto de masas ligadas entre sí y con la superficie de la carretera, mediante resortes y amortiguadores. 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 Figura 2.1).

Figura 2.1. Modelo de cuarto de carro



Fuente: DeSolminihac, H. Presentación Power Point. Planificación y Gestión Vial. 2006

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

$$k_2 = \frac{k_s}{M_s} = 63.3 \quad k_1 = \frac{k_r}{M_r} = 65.3$$

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

Dónde:

ks: constante del resorte de la suspensión

kr: constante del resorte de la rueda

Ms: masa suspendida

Mr: masa no suspendida

cs: amortiguador

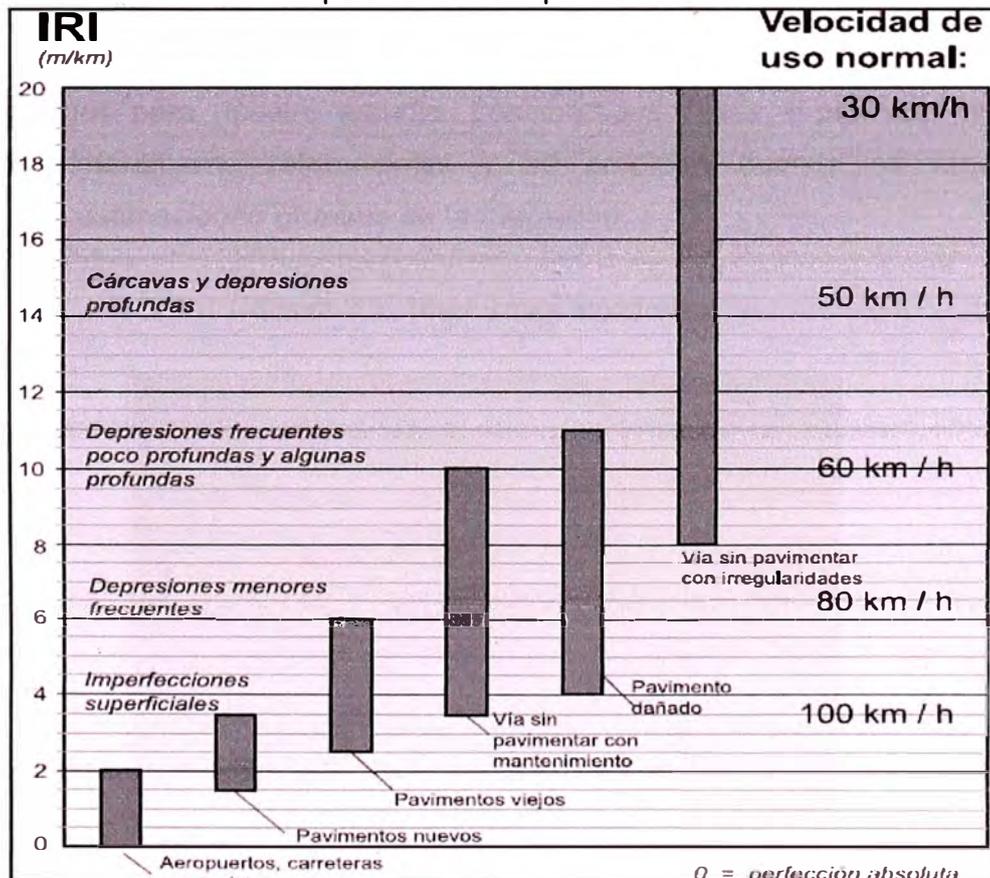
Las ecuaciones dinámicas presentes en el modelo, forman un sistema de ecuaciones que utilizan como dato de entrada el perfil de la carretera (en la parte inferior del "resorte del neumático"). El movimiento vertical del eje respecto a la

masa suspendida, se calcula y acumula. El valor en m/km (metros acumulados por kilómetro viajado) es la medida final de la regularidad del camino.

Un aspecto importante que debe considerarse en el método de cálculo de IRI, es que se deben estimar valores iniciales entre la respuesta de transición y la respuesta inducida por el perfil. Los efectos de esta inicialización disminuyen conforme la simulación del cuarto de carro cubre una mayor distancia del perfil. Esta inicialización influye en el modelo del cuarto de carro en aproximadamente 20 m. Por lo tanto, la manera más precisa de tratar con la inicialización, es medir el perfil al menos 20 metros del punto de inicio del tramo, e iniciar a partir de allí determinar el cálculo del IRI (Índice de Rugosidad Internacional).

A partir del estudio realizado por el Banco Mundial, se propuso una escala de medición de la regularidad superficial para diferentes tipos de vías (ver Figura 2.2).

Figura 2.2. Escala estándar empleada por el Banco Mundial para la cuantificación del IRI para diferentes tipos de vías



Fuente: Adaptada de UMTRI ResearchReview, Vol. 33. Número 1. Enero-Febrero 2002

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

Equipos existentes para la medición de la regularidad superficial de los pavimentos

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

Figura 2.3. Nivel y mira topográfica



Fuente: Internet

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

El método de medición que utiliza el MERLIN, por haber sido diseñado este equipo como una variación de un perfilómetro estático y debido a la gran exactitud de sus resultados, califica como un método Clase 1.

Figura 2.4. Equipo Merlin

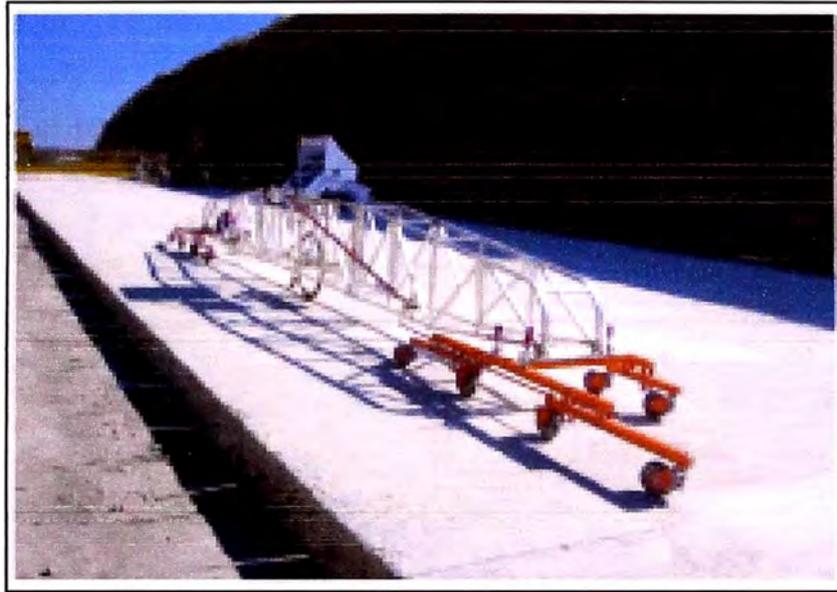


Fuente: Ventura, J. Determinación del Índice de Regularidad Internacional (IRI). 2005

Perfilógrafos

Los perfilógrafos (Ver figura 2.5) tienen una rueda sensible, montada al centro del marco para mantener el movimiento vertical libre. La desviación de un plano de referencia, establecido por el marco del perfilógrafo, se registra (automáticamente en algunos modelos) en papel según el movimiento de la rueda sensible. Se pueden encontrar en una gran variedad de formas, configuraciones y marcas.

Figura 2.5. Perfilógrafo California

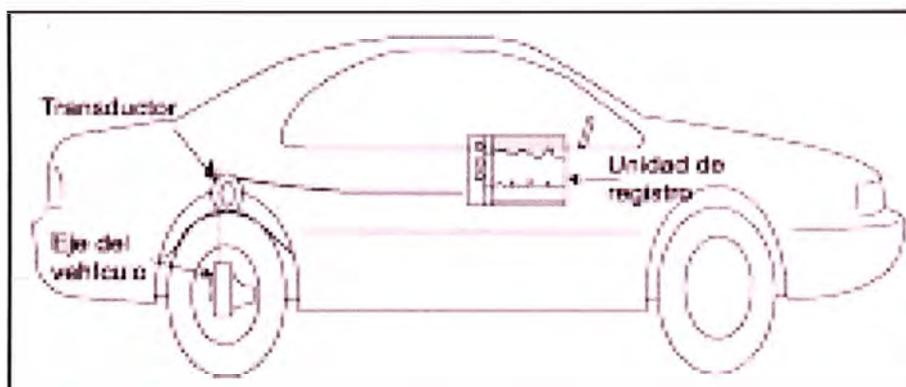


Fuente: Romaro Internacional, S.A. de C.V.

Equipos Tipo Respuesta (RTRRMS)

Los equipos RTRRMS (Ver figura 2.6) operan a la velocidad normal de circulación de una carretera. Miden los movimientos verticales del eje trasero del automóvil o el eje del remolque respecto al marco del vehículo, de esta manera el equipo mide la respuesta (rebote) del vehículo a la regularidad del camino, por lo que no es realmente una medida verdadera de la lisura de la superficie.

Figura 2.6. Componentes de equipos de respuesta

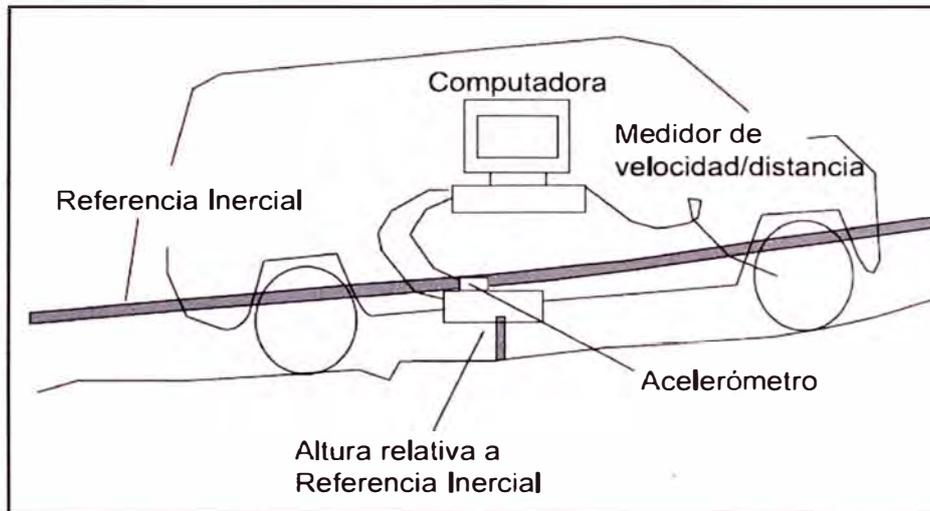


Fuente: Adaptado de "A synopsis on the current equipment used for measuring pavement smoothness"

Perfilómetro Inercial

Son equipos de alto rendimiento que producen medidas automáticas y de alta calidad del perfil del camino. Las mediciones son independientes de cualquier variación en el peso y velocidad del vehículo, temperatura, color y textura del pavimento.

Figura 2.7. Componentes de equipos de referencia inercial

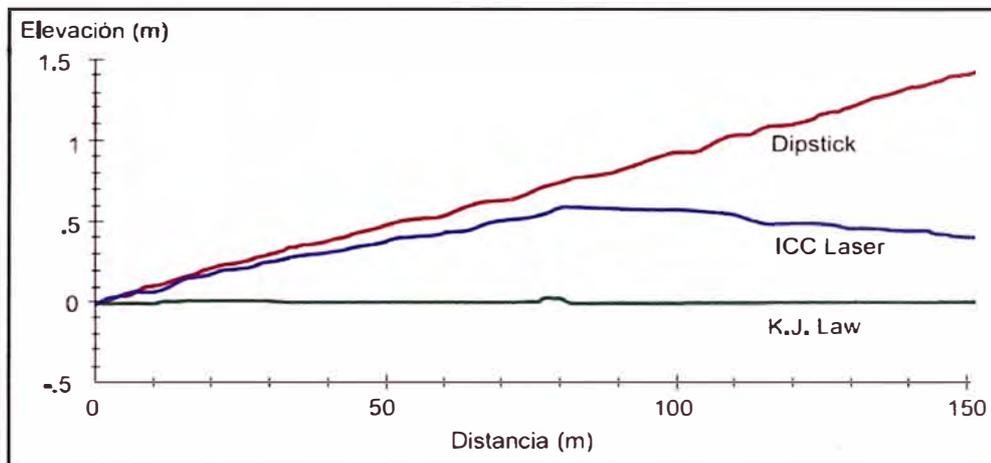


Fuente: Adaptado de "A synopsis on the current equipment used for measuring pavement smoothness"

Como se mencionó anteriormente el paso más importante para el cálculo del IRI, consiste en la medición de las ordenadas o cotas de una línea de perfil longitudinal, sin embargo, es importante destacar que, graficar las elevaciones versus la distancia longitudinal para un mismo tramo de carretera, empleando diferentes equipos de medición, no necesariamente implica que los perfiles longitudinales medidos coincidan entre sí. Por ejemplo, la Figura 2.8 muestra los perfiles longitudinales obtenidos a partir del Dipstick y otros dos perfilómetros inerciales (ICC Laser y K.J. Law), los cuales evidentemente son muy diferentes entre sí. Estas diferencias se deben principalmente a la conjugación entre la parte del perfil del camino que contribuye a la regularidad y la pendiente total del tramo seleccionado. En otras palabras, dependiendo del equipo se establecen niveles de referencia diferentes para la determinación del perfil; es decir, en el caso del Dipstick se registran la elevación de un apoyo relativo a la elevación del otro, mientras que en el caso de los perfilómetros inerciales, las elevaciones se

registran respecto a un eje de referencia inercial, lo cual genera las diferencias mostradas en la Figura 2.8.

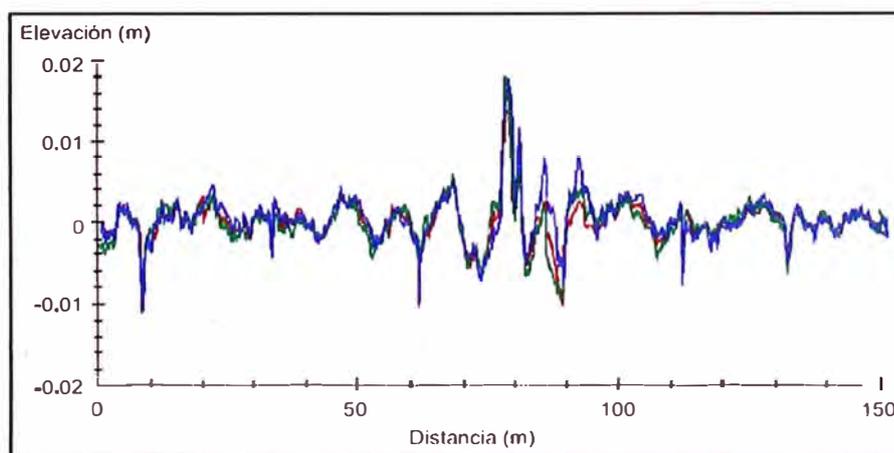
Figura 2.8. Variaciones aparentes de perfiles longitudinales utilizando diferentes equipos



Fuente: Adaptado de The Little Book of Profiling / Basic information about Measuring and Interpreting / Road Profiles. 1998.

Una vez que se cuenta con el perfil longitudinal, este es sometido al primer filtro, que consiste en una serie de adecuaciones matemáticas y análisis estadístico (media móvil), para generar un nuevo perfil suavizado de las irregularidades, obteniéndose los resultados mostrados en la Figura 2.9 donde se muestra básicamente el mismo patrón.

Figura 2.9. Los mismos perfiles de la figura anterior después del filtrado



Fuente: Adaptado de The Little Book of Profiling / Basic information about Measuring and Interpreting Road Profiles. 1998

Finalmente a este perfil suavizado se le aplica el segundo filtro de la simulación del cuarto de carro, RQCS, a una velocidad de 40 km/h y se le determina finalmente el IRI.

Variación del IRI según la longitud de evaluación

El IRI puede ser calculado sobre cualquier longitud de camino; sin embargo, los usuarios deben entender que el cálculo del IRI depende altamente sobre qué longitud es acumulado. Es fundamental entender la relación que existe entre la variación de regularidad a lo largo del camino y el tramo del camino sobre el cual la regularidad es promediada. De esta forma, aunque la bibliografía casi siempre habla solamente del valor del IRI de una carretera, es conocido que, para ser precisos, se debe añadir la longitud a la cual se determina dicho valor, ya que el IRI es el valor medio de los IRI unitarios o puntuales que se obtienen. Habitualmente, el valor unitario más utilizado es cada 0.25 m y el valor global de referencia puede variar dependiendo de cada país o agencia de pavimentos.

En vista de la importancia que reviste la longitud para la determinación del IRI, es necesario establecer un intervalo de longitud, ya que intervalos de longitud mayores ocultan niveles altos de regularidad superficial en los pavimentos, obteniendo de una manera inadecuada valores de IRI satisfactorios. Por otra parte, la utilización de intervalos de longitud menores para la determinación del IRI, puede detectar niveles altos de irregularidad, contribuyendo a obtener pavimentos con mejores niveles de seguridad y confort.

Como se puede observar en el Cuadro 2.1, las variaciones en la longitud del intervalo de medición del IRI, tienen incidencia directa en los resultados, de forma tal que los valores se suavizan como consecuencia del efecto de promediar. Lo cual es bastante evidente, al observar los primeros 100 m del tramo, en el cual se dan valores de IRI mayores a 10 y valores de IRI inferiores a 2, cuando el intervalo de evolución es igual a 5 m. Por su parte, al calcular el valor del IRI en una longitud de evaluación de 100 m, el efecto de promediar los valores dentro de este tramo muestra un valor de IRI igual a 4.5.

Cuadro 2.1. Variación en el valor del IRI (m/km) según la longitud de evaluación

Estación inicial (m)	Estación final (m)	Valores de IRI promediando resultados del RSP a diferentes intervalos			
		Cada 5 m	Cada 20 m	Cada 50 m	Cada 100 m
0	5	11.4	9.7	6.1	4.5
5	10	10.5			
10	15	13.0			
15	20	4.0			
20	25	3.8	3.3		
25	30	3.7			
30	35	3.5			
35	40	2.2	4.5		
40	45	4.6			
45	50	4.8			
50	55	3.8			
55	60	4.8	2.5		
60	65	2.8			
65	70	1.7			
70	75	2.3			
75	80	3.1			
80	85	3.0	2.7		
85	90	3.6			
90	95	1.6			
95	100	2.8			

Fuente: Badilla Vargas, Gustavo Laboratorio de Materiales y Modelos estructurales

2.2. MÉTODO DE EVALUACIÓN DE LA RUGOSIDAD CON EQUIPO BUMP INTEGRATOR

El Equipo Bump Integrator es un Equipo Tipo Respuesta que sirve como ya se mencionó en los párrafos anteriores para la medición de la Rugosidad de las Vías, a continuación daremos algunos alcances del Equipo Utilizado en las mediciones que se han realizado en el presente informe.

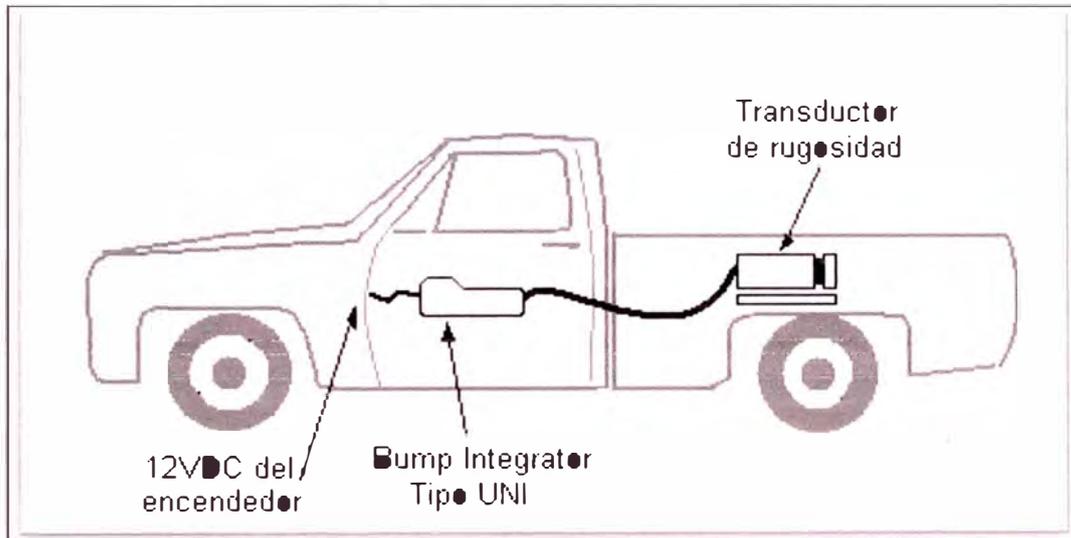
Rugosímetro Electrónico Bump Integrator.

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

El REBITU va instalado en el eje posterior transversal de un vehículo. El desplazamiento del vehículo sobre la carretera produce desplazamientos en el eje posterior del vehículo debido a la irregularidad del asfalto, el equipo registra y

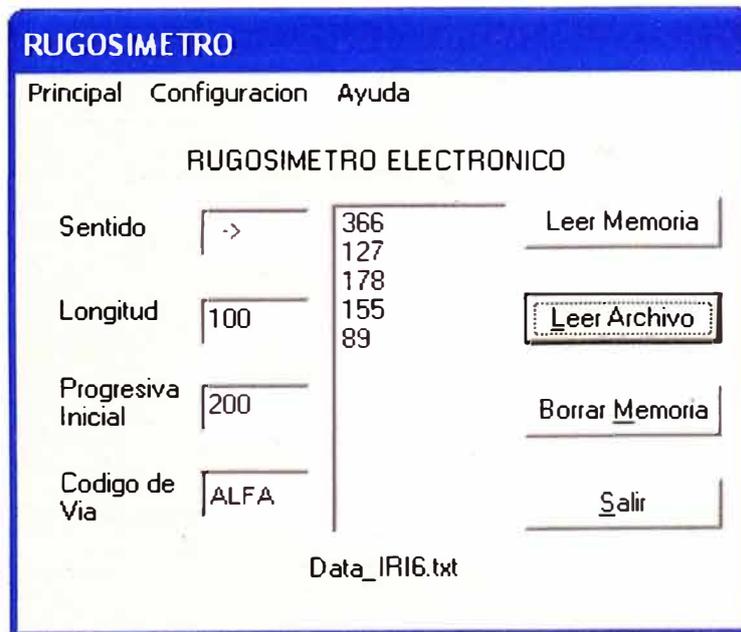
acumula estos desplazamientos verticales, en la Figura 2.10 se detalla un esquema de cómo se deberá de instalar el equipo para su utilización.

Figura 2.10 Modelo de conexión del Rugosímetro electrónico



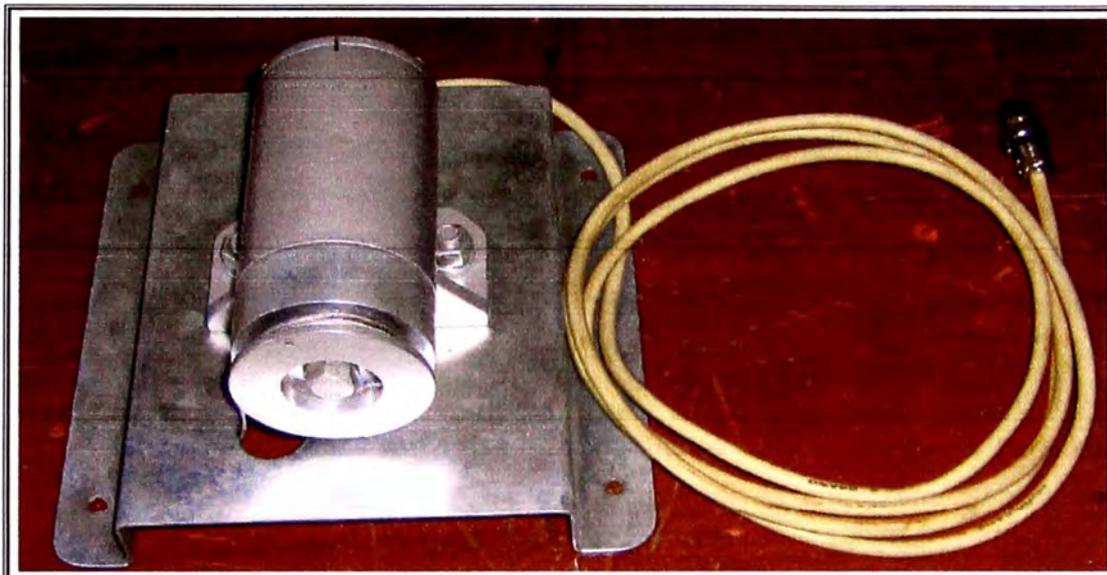
Fuente: Internet

Figura 2.11 Software de Comunicación para el Rugosímetro Electrónico



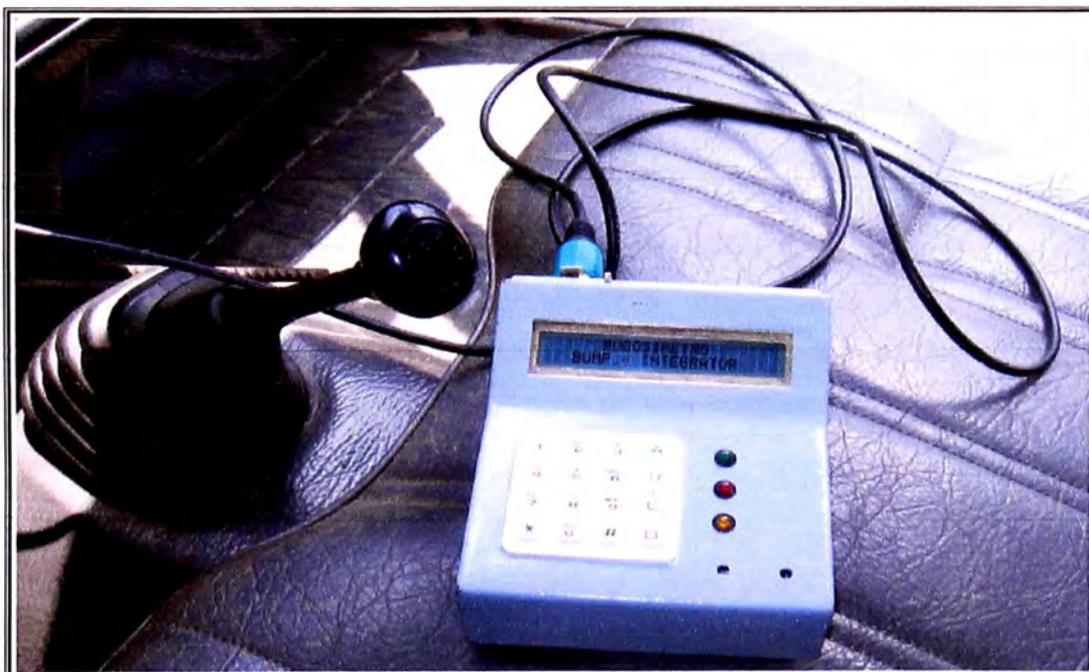
Fuente: Instituto de Investigación de la Facultad de Ingeniería Civil - UNI

Figura 2.12 Unidad Bump Integrator



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

Figura 2.13 Unidad de adquisición de datos del Rugosímetro Bump Integrator



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

CAPÍTULO 3. SISTEMATIZACIÓN DEL PROCEDIMIENTO CON EL BUMP INTEGRATOR

3.1. SISTEMATIZACIÓN DEL PROCEDIMIENTO.

La sistematización es una forma científica de conocer nuestras realidades contextuales y nuestra realidad a partir de nuestras propias experiencias, es un proceso que nos permite aprender de nuestra práctica, mediante el cual podemos redescubrir lo que hemos experimentado, pero que aún no lo asimilamos en un cuerpo “teórico” propio.

Sistematizar es un proceso de conocimiento que no sólo reconstruye y ordena la experiencia en forma integradora, sino que también la interpreta. Esto permite que los sujetos o actores de las experiencias aprendan de ellas y utilicen los conocimientos que han producido para mejorarlas y transformarlas. Este proceso de conocimiento utiliza tanto datos cualitativos como cuantitativos.

La sistematización no es una evaluación, es una forma de investigación diferente a la investigación clásica, se asemeja mucho más a la investigación acción y a la investigación participante, ya que el punto de partida es la práctica y permite rescatar la experiencia por sus propios actores, en los respectivos niveles en donde ellos han realizado dicha práctica.

La sistematización es un proceso de interpretación crítica de una o varias experiencias, que a partir de su reordenamiento, muestran la lógica del proceso vivido, los factores que han intervenido en dicho proceso, cómo se han relacionado entre sí y por qué lo han hecho de esa manera.

Sistematizar nos va permitir:

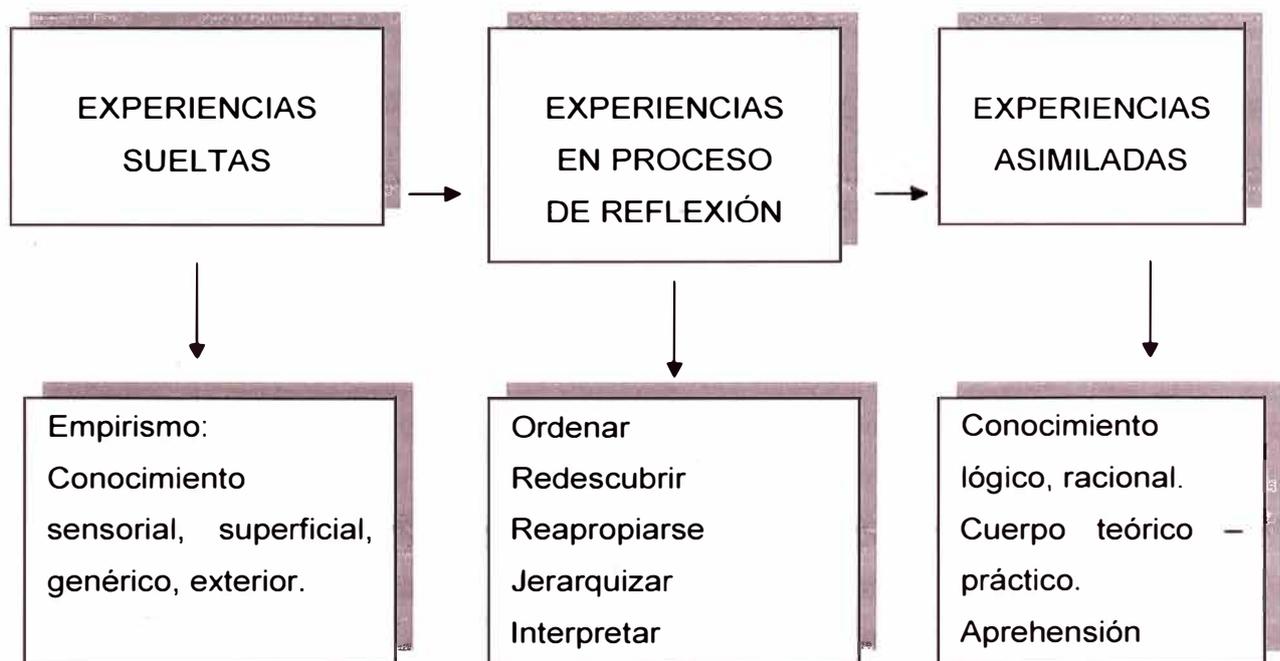
- ✓ Ordenar y jerarquizar experiencias aisladas y sin conexión aparente o con una débil relación recíproca.
- ✓ Nos permite pasar de la observación externa de las cosas y fenómenos a la observación interna de los mismos.

- ✓ Tener una comprensión más profunda de las experiencias que realizamos con el fin de comprender y mejorar nuestra propia práctica.
- ✓ Tener una base para la teorización y la generalización y para extraer enseñanzas y compartirlas. En síntesis, el proceso de sistematización permite **“pensar en lo que se hace”** por lo tanto ayuda a hacer las “cosas pensadas”.

En conclusión, puede definirse a la sistematización como un proceso de adquisición del conocimiento que hace posible rescatar, descubrir, ordenar, jerarquizar, interpretar y reflexionar sobre las experiencias, conociéndolas no como experiencias aisladas sino en contextos y en procesos dinámicos y que nos permite modificar, mejorar o adecuar prácticas entre todos los agentes y actores sociales involucrados en ellas.

El proceso de sistematización puede graficarse de la siguiente manera (Figura 3.1):

Figura 3.1 Proceso de sistematización.



Fuente: Elaboración propia

¿Para qué sistematizar?

Luz Dary Ruiz Botero en el libro: “La sistematización de las prácticas” afirma que la sistematización surge por la necesidad de CONOCERNOS, DARNOS A CONOCER Y CUALIFICAR LAS PRÁCTICAS.

Según esta investigadora la sistematización como un proceso de producción de conocimiento a partir de la práctica tiene utilidad porque:

- ✓ Cualifica el conocimiento que se tiene de la práctica, es decir que se genera conocimiento a partir del proceso de sistematización.
- ✓ Cualifica la propia práctica, ya que permite la retroalimentación que ayuda a vivenciar mejor la práctica y mejorar sus resultados.
- ✓ Convierte en líderes a los sujetos que realizan la sistematización, al ser ellos los propios actores de la práctica y quienes realizan el proceso de sistematización.

Para Oscar Jara la sistematización permite:

- ✓ Tener una comprensión más profunda de las experiencias que realizamos, con el fin de mejorar la propia práctica.
- ✓ Compartir con otras prácticas similares las enseñanzas surgidas de la experiencia.
- ✓ Aportar a la reflexión teórica (y en general a la construcción de teoría) conocimientos surgidos de prácticas sociales concretas.

Ampliando estos aportes podemos decir que la sistematización como proceso ordenador y esclarecedor de las experiencias aporta al desarrollo de la intervención profesional en tanto:

- ✓ Permite reflexionar y comprender cómo se desarrolla la experiencia, nos permite responder a preguntas centrales como por ejemplo ¿por qué la experiencia se dio de esa manera? ¿cuál fue la secuencia de trabajo? ¿qué criterios orientaron la toma de decisiones teóricas, metodológicas, técnicas?
- ✓ Permite confrontar la propia intervención con otras experiencias ya sistematizadas, siempre con el sustento teórico pertinente. De este modo

es posible comprender la lógica y el sentido de la intervención profesional, advirtiendo la articulación entre las intenciones y las realizaciones, identificando el estilo de interacción entre los profesionales y los sujetos participantes en el proceso.

- ✓ Posibilita superar el activismo, es decir la práctica rutinaria donde el agente que la ejecuta pierde toda perspectiva y está sumido por los acontecimientos cotidianos, sin la proyección del para qué y el hacia dónde se apunta. La sistematización nos permite advertir que el hacer por sí mismo no tiene sentido, la reflexión mecánica de actividades y procedimientos, es decir, la pérdida de perspectiva de la práctica.
- ✓ Permite una comunicación más fluida entre los procesos y los resultados de intervención, facilitando confrontar experiencias particulares con otras quizá de mayor trayectoria.
- ✓ La sistematización al relacionar el núcleo de la experiencia con el proceso social en que está inserto, permite contribuir a la construcción de una nueva sociedad, desde nuestras experiencias. En tanto la sistematización permite recuperar el protagonismo central a las personas y grupos que participan de la experiencia, hace posible que puedan ver sus esfuerzos, logros y limitaciones, siendo un buen referente para avanzar en sus propuestas de desarrollo.
- ✓ Los conocimientos que se producen mediante el proceso reflexivo y analítico de la sistematización aportan un entendimiento conceptual de los fenómenos y procesos que se vinculan a la intervención profesional.
- ✓ El acopio de resultados de sistematizaciones sucesivas en una misma línea de intervención frente a problemáticas similares, que pueden ser comparables y acumulables, constituye un buen recurso para la producción teórica.

¿Quiénes sistematizan las prácticas?

Luz Dary Ruiz Botero señala que en términos generales pueden considerarse tres modalidades de sistematización según los sujetos que la realizan:

- ✓ Personas que participan o participaron de la práctica, quienes se formulan preguntas y están interesadas en comprender y mejorar la práctica.

- ✓ Un equipo de personas que participaron de la práctica apoyados por personas externas que asesoran, apoyan o facilitan el proceso.
- ✓ Unas personas externas contratadas o interesadas en sistematizar una práctica concreta, en este caso quienes vivenciaron la práctica actúan como informantes y pueden apoyar los contactos con personas claves para la reconstrucción de la práctica.

Para esta investigadora, la segunda propuesta es la más adecuada ya que les permite repensar y tener además el aporte de la mirada de fuera de los externos que pueden aportar a la rigurosidad metodológica y a la producción teórica.

¿Cómo sistematizar?: Propuesta en cinco tiempos

Reconocer las ventajas de la sistematización, nos lleva a pensar cómo hacerla para aprovecharla en el campo profesional.

No existe una respuesta única a esta interrogante, ni una secuencia exacta de pasos a modo de receta. En lo que muchos coinciden es que se necesita un método, una ruta que nos señale el camino a seguir.

Oscar Jara en "Para sistematizar experiencias" nos propone cinco tiempos, que al ponerse en práctica en un sentido dinámico, pueden ser cuestionados, modificados, enriquecidos y adaptados a situaciones particulares.

Estos cinco tiempos consisten en:

PRIMER TIEMPO: EL PUNTO DE PARTIDA

- ✓ Partir de la propia práctica significa que hay que partir de lo que hacemos, sentimos y lo que pensamos. No se puede sistematizar algo no vivido. Puede sistematizar quien ha formado parte de la experiencia. Es decir que para que la sistematización sea real y efectiva debe efectuarse poniendo en movimiento a los propios actores.
- ✓ Toda experiencia que se piense sistematizar es un proceso que ha transcurrido en el tiempo y es preciso tomar en cuenta que en ese trayecto se han realizado muchas y diferentes cosas.

- ✓ Esto implica que al realizarse la experiencia es útil determinar, de inicio, para qué queremos sistematizar, forma y medios para hacer registros y reflexionar, organizar y determinar conclusiones sobre cada etapa para retroalimentar el proceso.
- ✓ Tener un diagnóstico de inicio (Diagnóstico de necesidades de Capacitación, prueba de entrada), contar con una propuesta estratégica (Plan de Formación), tener claridad en lo que se pretende hacer, es decir contar con objetivos, metas, estrategias (Programa de Formación en Servicio) ayuda al proceso de la sistematización.
- ✓ Un aspecto primordial, a tomar en cuenta es el de contar con registros de todas las acciones realizadas a lo largo del proceso.
- ✓ Los registros no sólo son escritos, que pueden ser muchos y diversos, sino también grabaciones, fotografías, videos, etc. Los registros nos permiten reconstruir los momentos tal como sucedieron.

SEGUNDO TIEMPO: LAS PREGUNTAS INICIALES

En este segundo tiempo se inicia propiamente la sistematización respondiendo a tres interrogantes, que no tienen secuencia, pero que precisan ser respondidas:

- ✓ **¿Para qué queremos sistematizar? (Definir el objetivo de la sistematización)**

Permite definir de manera clara y concreta el sentido, la utilidad, el producto o el resultado que esperamos obtener de la sistematización. Podemos tomar como referencia tres grandes parámetros para comprender y mejorar nuestra propia práctica", "para extraer sus enseñanzas y compartirlas", "para que sirva de base a la teorización y generalización", etc.

- ✓ **¿Qué experiencia(s) queremos sistematizar (Delimitar el objeto a sistematizar)**

Es necesario escoger la o las experiencias concretas que se van a sistematizar, claramente determinadas en lugar y tiempo.

Los criterios para escogerlas y delimitarlas dependerán del objetivo de la sistematización, de la consistencia de las experiencias, de los participantes en el proceso, del contexto en que se dieron las experiencias, etc.

- ✓ **¿Qué aspectos centrales de esa(s) experiencia(s) nos interesa sistematizar? (Precisar un eje de sistematización)**

Aun teniendo un objetivo y un objeto a sistematizar, es necesario precisar más el enfoque de la sistematización para no dispersarse. Un eje de sistematización es como un hilo conductor que atraviesa la experiencia y está referido a los aspectos centrales de ella. Es como una columna vertebral que nos comunica con toda la experiencia con una óptica específica.

TERCER TIEMPO: RECUPERACIÓN DEL PROCESO VIVIDO

En este tercer tiempo se identifican dos momentos:

- ✓ Reconstruir la historia.
- ✓ Ordenar y clasificar la información
- **Reconstruir la historia:** Se trata de tener una visión global y cronológica de los principales acontecimientos que sucedieron durante la experiencia. Aquí es indispensable recurrir a los registros. La reconstrucción puede hacerse elaborando una cronología, un gráfico, un cuento, una narración u otro.

Los hechos o acontecimientos que se reconstruyan no sólo son descriptivos, sino que deben dejar constancia de las diferentes interpretaciones que dan sus protagonistas.

Es importante incorporar en esta reconstrucción los acontecimientos del contexto relacionados con la experiencia.

- ✓ **Ordenar y clasificar la información:** Teniendo como base la visión general del proceso vivido, se ubican los distintos componentes de este

proceso. El eje de sistematización nos da pautas respecto a qué componentes tomar en cuenta.

Para esta tarea es útil tener una guía de ordenamiento, un cuadro o una lista de preguntas que permita articular el trabajo.

El ordenamiento y la clasificación de la información deben permitir reconstruir en forma precisa los diferentes aspectos de la experiencia, vista como un proceso. Se deben tomar en cuenta las acciones, los resultados, las intenciones y las opiniones, tanto de quienes promueven la experiencia como de quienes participan en ella.

CUARTO TIEMPO: LA REFLEXIÓN DE FONDO ¿POR QUÉ PASÓ LO QUE PASÓ?

Este tiempo se refiere a la interpretación crítica del proceso vivido. Va más allá de lo descriptivo. Se trata de encontrar la razón de ser de lo que sucedió en el proceso de la experiencia, por eso la pregunta clave es ¿por qué pasó lo que pasó?

✓ Análisis, síntesis e interpretación crítica del proceso:

Para realizar esta reflexión de fondo es necesario hacer un ejercicio analítico, ubicar las tensiones o contradicciones que marcaron el proceso y con estos elementos volver a ver el conjunto del proceso, es decir, realizar una síntesis que permita elaborar una conceptualización a partir de la práctica sistematizada.

Este momento tiene una duración indeterminada; puede durar un día o un año entero.

Aquí se puede utilizar una guía de preguntas críticas que interroguen el proceso de la experiencia y permitan identificar los factores esenciales que han intervenido en él y explicitar la lógica y el sentido de la experiencia.

QUINTO TIEMPO: LOS PUNTOS DE LLEGADA

Es el último tiempo de esta propuesta metodológica. Toda la reflexión debe dar por resultado la formulación de conclusiones tanto teóricas como prácticas.

Formular las conclusiones y comunicar los aprendizajes es de suma importancia porque de ello dependerá que realmente puedan cumplirse los objetivos de la sistematización.

✓ **Formular conclusiones**

Las conclusiones deben dar respuesta a las preguntas formuladas en la guía de interpretación crítica, teniendo como referencia principal el eje de la sistematización.

También deben estar dirigidas a dar respuesta a los objetivos planteados.

Las conclusiones teóricas pueden ser formulaciones conceptuales surgidas de la reflexión a partir de la experiencia y relacionadas con las formulaciones teóricas del saber. Las conclusiones prácticas serán aquellas enseñanzas que se desprenden de la experiencia y que deben tomarse en cuenta para mejorar o enriquecer la propia práctica o la ajena.

✓ **Comunicar los aprendizajes**

Será necesario producir algún (os) material (es) que permitan compartir con otras personas lo aprendido. Así atendemos la dimensión comunicativa de la sistematización.

Producir el material enriquecerá más el proceso de pensar y transformar nuestra propia práctica. Tendrá que ser un documento creativo, que dé cuenta fiel de la vitalidad de la experiencia, teniendo en cuenta a quién va dirigido y para qué.

Reiteramos que no existe una respuesta única para la interrogante ¿cómo sistematizar?, ni una secuencia exacta de pasos a modo de receta, pero sí,

que es necesario conocer una propuesta que ayude a iniciar el proceso, desarrollarlo y concluirlo.

Figura 3.2 Rutas o tiempos para la sistematización de un Procedimiento.

RUTA PROPUESTA PARA LA SISTEMATIZACIÓN (*)				
EL PUNTO DE PARTIDA	LAS PREGUNTAS INICIALES	RECUPERACIÓN DEL PROCESO VIVIDO	LA REFLEXIÓN DE FONDO	LOS PUNTOS DE LLEGADA
Haber participado en la experiencia	Definir el objetivo: ¿Para qué queremos sistematizar?	Reconstruir la historia	¿Por qué pasó lo que pasó?	Formular conclusiones.
Tener registros de la experiencia	Delimitar el objeto a sistematizar: ¿qué experiencias queremos sistematizar?	Ordenar y clasificar la información	Analizar, sintetizar e interpretar críticamente el proceso.	Comunicar los aprendizajes
	Precisar un eje de sistematización: ¿Qué aspectos centrales de esas experiencias nos interesa			

Fuente: Elaboración propia

3.2. APLICACIÓN EN EL PROCEDIMIENTO DE ESTUDIO

3.2.1 Primer tiempo: El punto de partida

¿Quién sistematiza y cuál es el objetivo principal?

La Universidad Nacional de Ingeniería por medio del curso de Titulación Profesional (FIC-UNI), tiene como objetivo la sistematización del procedimiento de evaluación de rugosidad con el Bump Integrator y generación de un manual.

Observación:

La evaluación de la rugosidad será medida con el equipo Bump Integrator, en carreteras pavimentadas de bajo volumen de tránsito, tomando como modelo la carretera Cañete – Chupaca, por lo que las características típicas del equipo deben estar presentes en el manual.

3.2.2 Segundo tiempo: las preguntas iniciales

¿Para qué queremos sistematizar?

Para construir a partir de la experiencia, una propuesta de trabajo que responda y garantice una mejora en el proceso de evaluación de la rugosidad, finalmente elaborar una propuesta de manual.

Delimitación del objeto a ser sistematizado

Se tomará la evaluación de la rugosidad con el equipo Bump Integrator en carreteras pavimentadas de bajo volumen de tránsito, teniendo como modelo de estudio la carretera Cañete - Huancayo.

Eje de Sistematización

Nuestro trabajo, permitirá la integración en la toma y tratamiento de datos en la evaluación de la rugosidad, con la cual generaremos un manual de trabajo.

Procedimiento a llevar a cabo

- ✓ Recopilar información de procedimientos y medidas con el Bump Integrator y sus estándares en el Perú (MTC, PROVIAS, etc.).
- ✓ Recopilar información de procedimientos de toma de datos en el tipo de carreteras en estudio, los más usados y las recomendaciones propuestas.
- ✓ Recopilar información acerca de los tipos de errores más comunes que ocurren en este procedimiento (Sistemáticos y Aleatorios), ya que en nuestro manual debemos explicar estos tipos de errores y plantear algunas soluciones para que no afecten nuestros resultados o para disminuir su efecto en nuestras mediciones.
- ✓ Coordinar con un profesional estadístico, para el tratamiento de datos y generación de posibles criterios estadísticos, generando criterios fáciles de usar para el usuario común.
- ✓ Coordinar con un profesional Informático para generar lineamientos de un posible software futuro.

- ✓ Recopilar manuales de conservación de carreteras, existentes a nivel mundial, para elaborar un manual peruano en base a estos, con exigencias acorde a nuestra realidad y propia experiencia.

3.2.3 Tercer tiempo: recuperación del proceso vivido

En esta parte se identifica las partes del proceso en detalle. Para el informe se recopiló el método más usado por los profesionales de la Universidad Nacional de Ingeniería y otras entidades dedicado a este tipo de ensayos.

Reconstrucción Histórica

Se reconstruye con mucho detalle, conjuntamente con las actividades principales, las características de la determinación de errores y omisiones durante todo el proceso, vale decir toma de datos o en el procesamiento de ellos, dicho procedimiento fue recopilado bajo la experiencia de los técnicos y profesionales que ejecutan dicha actividad.

- ✓ Instalación correcta del equipo en la camioneta.
- ✓ Recopilación de datos de rugosidad mediante el equipo Bump Integrator
- ✓ Discriminación de datos:
- ✓ Calibración de resultados mediante el equipo Merlin u otro de primer orden IRI en función al BI.
- ✓ Determinación del IRI de la vía
- ✓ Determinación del PSI de la vía
- ✓ Determinación de la curva de deterioro.
- ✓ Generación de políticas de mantenimiento.

Ordenar y clasificar la información

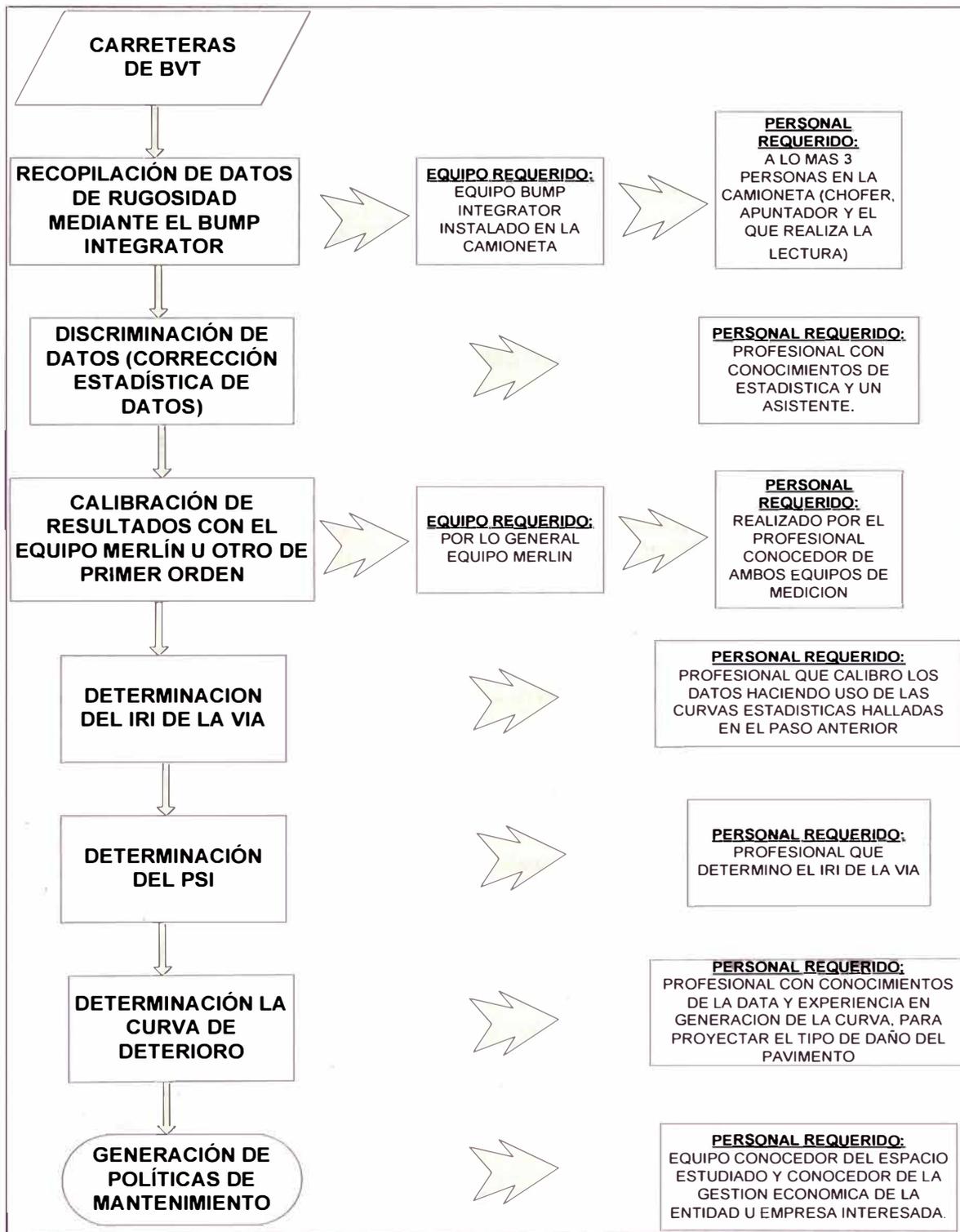
En esta parte (Ver figura 3.3), se construye en forma precisa los diferentes aspectos de la experiencia, vista como un proceso e identificamos los actores en cada una de las partes.

- ✓ Instalación correcta del equipo en la camioneta.
- ✓ Recopilación de datos de rugosidad mediante el equipo Bump Integrator:
Realizado por el cuerpo técnico con máximo de 3 personas (Chofer,

apuntador y el que realiza la lectura), bajo supervisión del Ing. Civil realizan la recopilación de datos, con el equipo Bump Integrator, los datos obtenidos son en unidades Bump (BI).

- ✓ Discriminación de datos: Realizado por el profesional con conocimientos de estadística, y conocimiento preciso del tipo de data a clasificar eliminando estadísticamente los errores siendo su entregable los datos para la calibración.
- ✓ Calibración de resultados mediante el equipo Merlín u otro de primer orden IRI en función al BI: Realizado por el profesional conocedor de ambos equipos de medición y con conocimiento para determinar la calidad de datos, realizará la calibración mediante curvas estadísticas.
- ✓ Determinación del IRI de la vía: Realizado por la persona quien calibró los datos haciendo uso de las curvas estadísticas halladas en el paso anterior
- ✓ Determinación del PSI de la vía: Realizado por el profesional quien calibró los datos mediante la fórmula matemática adecuada determinará el PSI, teniendo los IRI de dato.
- ✓ Determinación de la curva de deterioro: Realizado por el profesional con conocimientos de la data y experiencia en generación de la curva de deterioro, con el que se proyecta un tipo de daño.
- ✓ Generación de políticas de mantenimiento: El equipo conocedor del espacio estudiado y conocedor de la gestión económica de la entidad u empresa.

Figura 3.3 Procedimiento para la evaluación de la rugosidad con el Bump Integrator y los actores que intervienen (Tercer tiempo).



Fuente: Elaboración propia

3.2.4 Cuarto tiempo: la reflexión de fondo

En esta parte se interpreta críticamente el proceso vivido. Para el caso de la propuesta del manual se generan los siguientes lineamientos.

- ✓ El equipo Bump Integrator es un equipo estándar por lo que el futuro manual **se debe incluir las características y su modo de manejo, estandarizado en el Perú.**
- ✓ La recopilación de datos es muchas veces realizado por personal con poca experiencia, los cuales generan algunos errores u omisiones, en el futuro manual se debe **especificar una experiencia mínima de persona para la optimización de los resultados.**
- ✓ Recopilación de datos de rugosidad mediante el equipo Bump Integrator: Observar la generación de errores sistemáticos los cuales a la larga nos generan errores en los resultados. En el manual **se debe definir este error**
- ✓ Discriminación de datos: Observar la generación de errores aleatorios los cuales a la larga nos generan errores en los resultados, en el manual **se debe definir este error.**
- ✓ Calibración de resultados mediante el equipo Merlin u otro de primer orden: Durante el desarrollo de la investigación se ha notado diferentes tipos de **formatos, por lo que se debe tomar el más práctico y de fácil uso en el trabajo.**
- ✓ Los métodos estadísticos a usar en la homogenización de tramos son muy complicados por lo que se **generarán lineamientos para un futuro software.**
- ✓ Determinación del PSI de la vía: **La fórmula a usar debe ser la correcta.** Se debe tener en cuenta el tipo de pavimento y factores externos que nos afectan
- ✓ Determinación de la curva de deterioro: Se debe tener los lineamientos claros para evitar y reconocer errores, adicionalmente **entregar criterios de (IEP).**
- ✓ Generación de políticas de mantenimiento: Se debe **definir partidas para su fácil uso.**

3.2.5 Quinto tiempo: los puntos de llegada

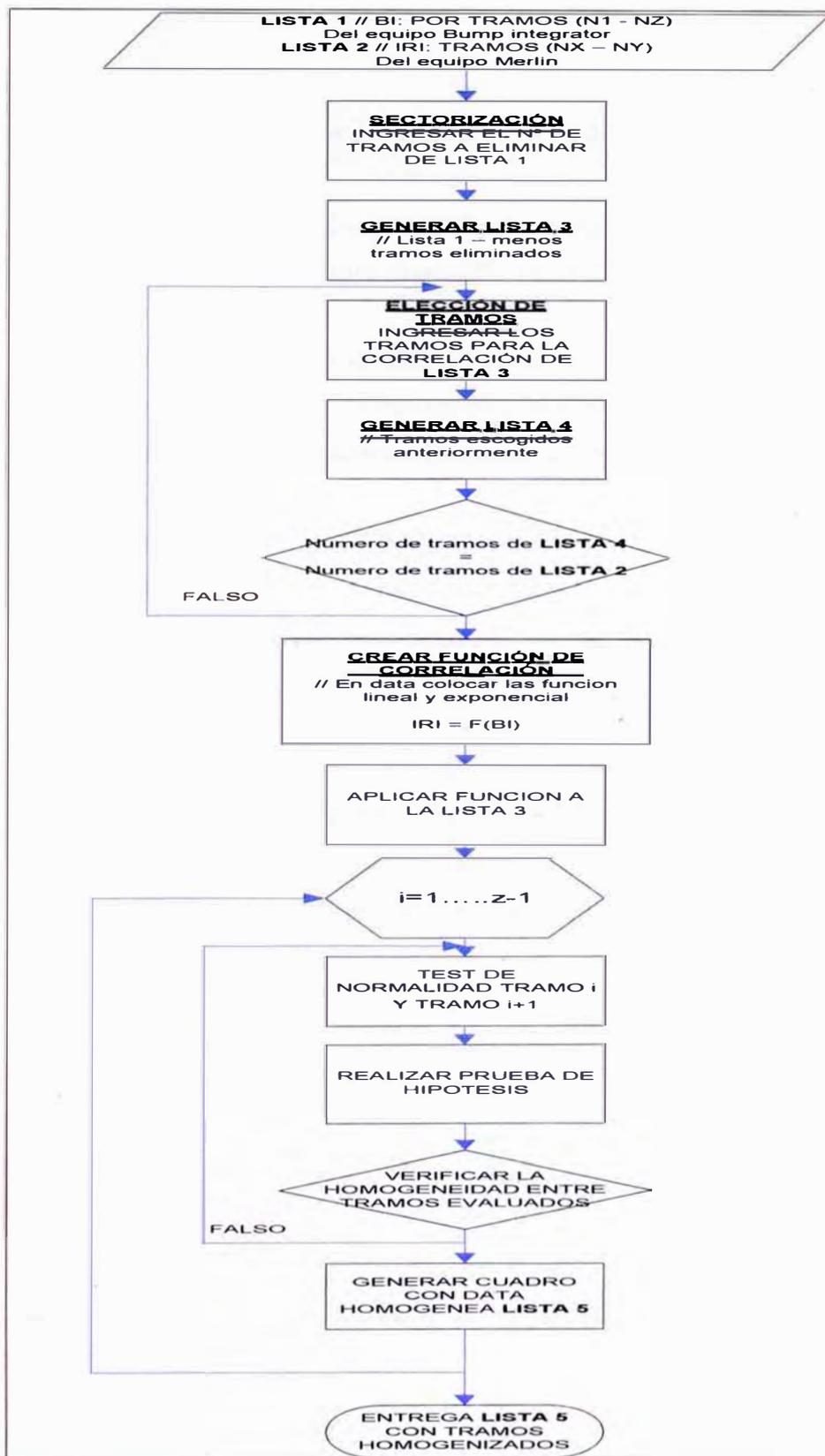
Formulación de conclusiones

En esta parte se generan los lineamientos necesarios para que dichas respuestas y recomendaciones formen parte del final del trabajo (manual de trabajo) o formen parte de la retroalimentación del proceso.

- ✓ Indicar la instalación correcta del equipo Bump Integrator en la camioneta, el cual debe estar especificado en el manual.
- ✓ Definir los tipos de errores para el usuario y proponer como eliminar dichos errores (aleatorios y sistemáticos)
- ✓ Plantear el procedimiento de evaluación de rugosidad con el Equipo Bump Integrator (Según fuentes del MTC para el presente informe)
- ✓ Formular conclusiones teóricas del método de discriminación de datos y su tratamiento estadístico (Generar lineamientos estadísticos y métodos de evaluación) y entregar un primer bosquejo de un software.
- ✓ Las necesidades se obtener la rugosidad en la carretera obliga a estandarizar los formatos para el futuro manual
- ✓ Entregar las fórmulas de trabajo generados en cuestiones del PSI

Siendo el primer entregable, el diagrama de proceso, se podría transformar en el flujo para la elaboración de un software futuro, para tal fin se muestra una estructura tentativa.

Figura 3.4 Diagrama de proceso para la discriminación de datos.



Fuente: Elaboración propia

El segundo entregable es el manual de uso, en el cual se muestra una estructura tentativa

- ✓ **GENERALIDADES:** Primera parte del manual, en el cual se muestra al usuario los alcances del manual, el equipo de medición, sus características y la forma correcta de instalar el equipo en la camioneta, adicionalmente criterios de rugosidad en carreteras pavimentadas de bajo volumen de tránsito, para que el usuario reconozca el tema en estudio.
- ✓ **IDENTIFICACION DE ERRORES:** El usuario podrá distinguir los tipos de errores que va tener en su medición y en algunos casos como poder evadirlos o minimizarlos para la obtención de mejores resultados.
- ✓ **PROCESAMIENTO Y DISCRIMINACION DE DATOS:** Se mencionarán la manera estadística del tratamiento de datos, así como la eliminación de errores netamente estadísticos (Aplicación de la figura 3.4), así como entregaremos formatos para la toma de datos y entrega de resultados.
- ✓ **LINEAMIENTOS PARA LA GENERACION DE CURVAS DE DETERIORO Y POLITICAS DE MANTENIMIENTOS:** Se explica detalladamente la generación de la curva de deterioro, y como poder generar políticas de mantenimiento en base a ellas.

CAPÍTULO 4. PROPUESTA DE MANUAL

4.1. GENERALIDADES

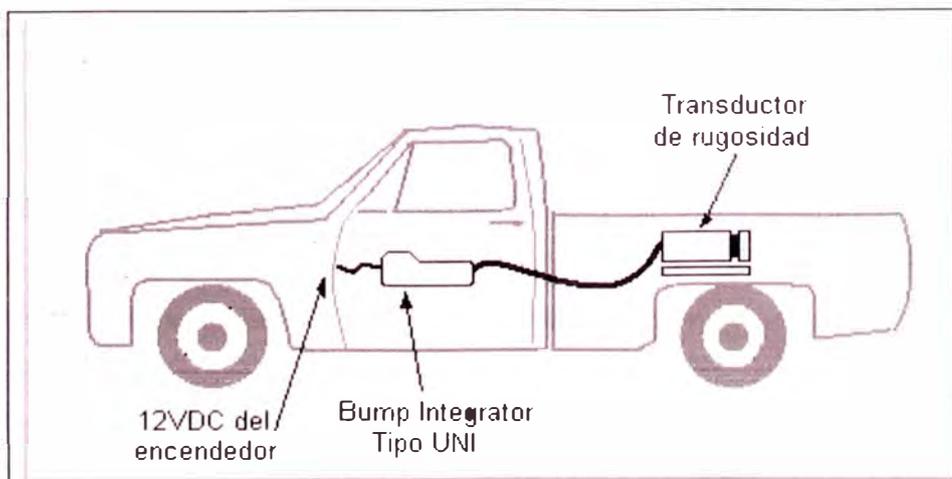
El usuario de esta guía estará en capacidad de identificar con plena comprensión el uso del equipo, realizar la calibración y la generación de lineamientos para la interpretación de los resultados y eliminar posibles errores.

La metodología es de fácil implementación. Se debe tener en consideración que el Equipo Bump Integrator, es de tercer orden por lo que se requiere su calibración con equipos de mayor precisión.

Instalación del equipo Bump Integrator

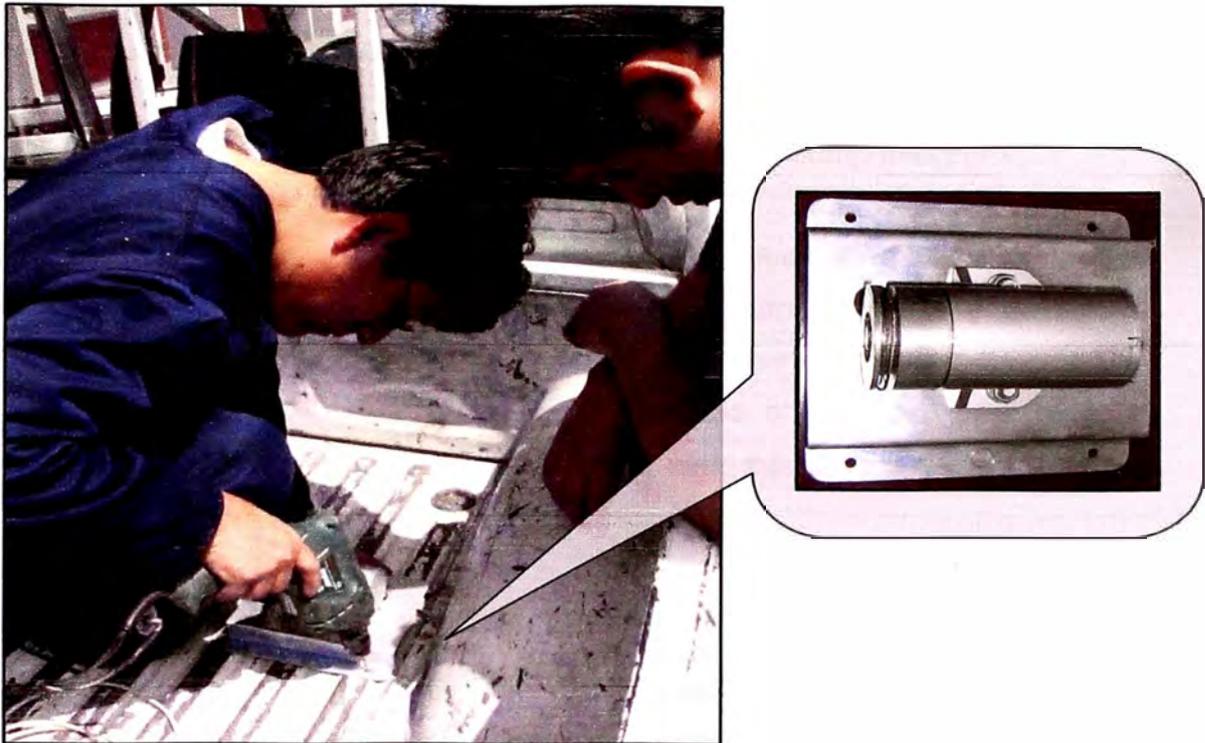
El equipo Bump Integrator va instalado en el eje posterior transversal de un vehículo. El desplazamiento del vehículo sobre la carretera produce desplazamientos en el eje posterior del vehículo debido a la irregularidad del asfalto, el equipo registra y acumula estos desplazamientos verticales, la velocidad debe ser de 40 KM/h y la toma de datos se realiza en tramos que pueden ser desde las 100 m hasta los 900 m, en la Figura 4.1 se detalla un esquema de cómo se deberá de instalar el equipo para su utilización.

Figura 4.1 Modelo de conexión del Rugosímetro electrónico



Fuente: Internet

Figura 4.2 Instalación del Instrumento



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

Medición de la Rugosidad

Para medir la rugosidad con el “BUMP INTEGRATOR”, el equipo va montado en la tolva de la camioneta móvil, conectado directamente con el diferencial del eje trasero mediante un cable flexible adecuadamente tensado. Conforme el vehículo recorre la superficie a una velocidad uniforme, el “BUMP INTEGRATOR” mide los movimientos relativos entre el chasis y el eje trasero registrando los datos con la unidad contadora instalada en el panel de control de la cabina.

Para la calibración del rugosímetro BUMP INTEGRATOR en unidades BI en las mismas zonas se debe efectuar las mediciones con el equipo MERLIN u otro de Tipo I o II en la misma zona programada para la evaluación.

Los resultados de rugosidad del Bump Integrator se calibrarán en secciones de 400 metros; el registro del inventario se efectuará en un formulario adecuado, a la longitud de las secciones, obteniéndose en el cuadro de los valores IRI y BI:

Las lecturas del Bump Integrator se obtienen en unidades "BI" adecuadamente procesadas y transformadas a Unidades de Rugosidad Internacional (IRI) mediante una ecuación de calibración, la cual se explicará más adelante.

Procedimiento recomendado para la toma de datos con el Bump Integrator:

- ✓ Se realiza un reconocimiento previo del tramo a evaluar en forma integral, anotando en una libreta de campo algunas características y detalles resaltantes, debe considerarse la presencia de singularidades (puentes, intersecciones, parches, etc.). Cualquiera sea el intervalo elegido, se eliminan los primeros 50 mts. dado que esta medición es alterada por efecto de la aceleración inicial
- ✓ Las mediciones serán tomadas cada 400 o 100 metros según corresponda, en ambos carriles de la vía a una velocidad constante de 40 Km/h.
- ✓ Para el proceso de Medición en campo se efectúan como mínimo 04 mediciones por carril.
- ✓ El rugosímetro a ser utilizado deberá ser previamente calibrado utilizando nivel y mira o el Merlín en secciones de longitud similar a los que se utilice el rugosímetro Bump Integrator (Tipo respuesta).
- ✓ Los datos de campo se procesan en gabinete para obtener los respectivos gráficos de rugosidad y serviciabilidad.

4.2. IDENTIFICACIÓN DE ERRORES

4.2.1. Errores sistemáticos

Error sistemático es aquél que se produce de igual modo en todas las mediciones que se realizan de una magnitud. Puede estar originado en un defecto del instrumento, en una particularidad del operador o del proceso de

medición, etc., en la medición con el Bump Integrator tenemos entre muchos factores los errores en:

- Errores en la camioneta : Para evitar este error habrá que revisar el equipo y verificar las tensiones entre el equipo y la camioneta
- Error en el equipo Bump Integrator: La revisión previa del equipo antes de la colocación en la camioneta, eliminaría este defecto

Estos errores no tienden a cero al aumentar el tamaño de la muestra. Está implícito en el diseño del estudio, y resulta en el estudio no se va corregir en la fase analítica.

4.2.2. Errores aleatorios

El error aleatorio es aquel error inevitable que se produce por eventos únicos imposibles de controlar durante el proceso de medición. Se contrapone al concepto de error sistemático.

El error aleatorio viene determinado por el hecho de tomar sólo una muestra de una población para realizar inferencias, puede disminuirse aumentando el tamaño de la muestra.

Cuantificación:

1. Prueba de hipótesis: Se deberá realizar por un personal especialista en estadística, para la obtención de resultados más confiables.
2. Cálculo de intervalo de confianza: Se deberá realizar por un personal especialista en estadística, para la obtención de resultados más confiables, se recomienda un 95% para el intervalo de confianza.

Las fuentes de los errores aleatorios son difíciles de identificar o sus efectos no pueden corregirse del todo. Son numerosos y pequeños pero su acumulación hace que las medidas fluctúen alrededor del promedio.

Para la determinación de las unidades de muestreo para evaluación, para evitar los tipos de errores aleatorios, podemos usar un número mínimo de datos según el tipo de análisis:

En la “Evaluación De Una Red” vial puede tenerse un número muy grande de unidades de muestreo cuya inspección demandará tiempo y recursos considerables; por lo tanto, es necesario aplicar un proceso de muestreo.

En la “Evaluación de un Proyecto” se deben inspeccionar todas las unidades; sin embargo, de no ser posible, el número mínimo de unidades de muestreo que deben evaluarse se obtiene mediante la Ecuación 1, la cual produce un estimado del PCI ± 5 del promedio verdadero con una confiabilidad del 95%.

$$n = \frac{N \times \sigma^2}{\frac{e^2}{4} \times (N - 1) + \sigma^2}$$

Dónde:

n: Número mínimo de unidades de muestreo a evaluar.

N: Número total de unidades de muestreo en la sección del pavimento.

e: Error admisible en el estimativo del PCI de la sección (e = 5%)

δ : Desviación estándar del PCI entre las unidades.

Cuando el número mínimo de unidades a evaluar es menor que cinco (n < 5), todas las unidades deberán evaluarse.

4.3. PROCESAMIENTO Y DISCRIMINACIÓN DE DATOS

El Bump Integrator se calibra para obtener los datos de rugosidad en secciones de 400 metros o 100 metros (en lugares donde se observe las gibas o algunas imperfecciones insubsanables en la carretera, eliminándose ese subtramo en el procesamiento de datos); el registro del inventario se efectuará en un formulario adecuado a la longitud de las secciones (Cuadro 4.1), obteniéndose el siguiente cuadro de los valores IRI y BI, según el formato (modelo propuesto).

Cuadro 4.1 Modelo propuesto para la recolección de datos.

TRAMO		IRI (m/km)						LONGITUD (Km)	Variación	
		LADO IZQUIERDO			LADO DERECHO				BUMP INTEGRATOR	B.I (mm/km)
P. INICIAL	P. FINAL	1ra	2da	PROM	1ra	2da	PROM			

Fuente: Elaboración propia

Además:

$$\text{Unidades BI} = (\text{Bump Integrator} \times 0.8 \times 1000) / \text{Distancia medida}$$

Dónde:

0.8 es el valor en milímetros equivalente a 1 cuenta del Bump Integrator

Distancia Medida es la distancia donde se midió con el Bump Integrator, en este caso 400 m y 100 m

El número de mediciones por lado debe ser los mayores posibles para realizar una buena aproximación estadística.

Calibración del Equipo:

Para este proceso, lo ideal es contar con un mínimo de 3 secciones que reflejen los estados bueno, regular y malo. Se recomienda elegir 5 tramos representativos para la calibración que cuenten con la característica de ser lo más lineales posibles sin ningún tipo de irregularidad y con los datos de rugosidad IRI obtenidos por el grupo encargado de evaluar con el equipo MERLIN, se presenta un formato para cuadro de calibración.

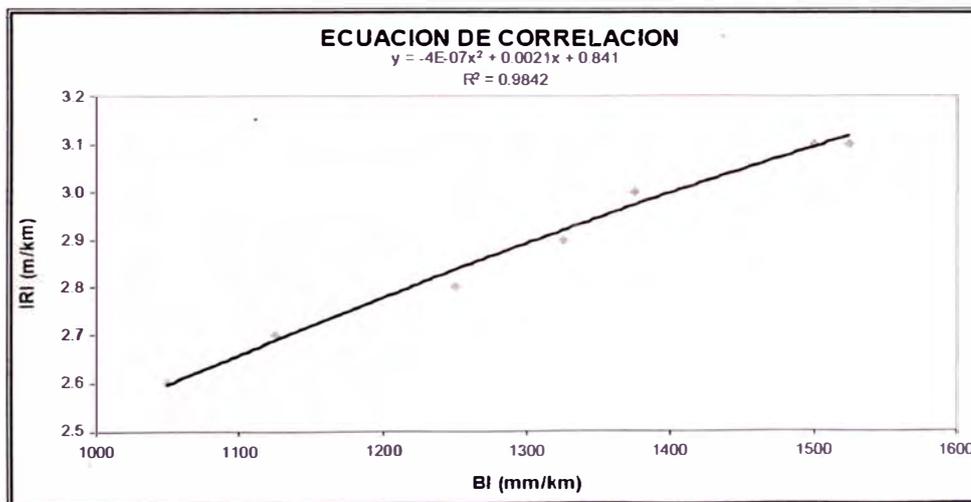
Cuadro 4.2 Cuadro para la calibración.

Ecuación de Calibración			
		IRI	BI PROM
PISTA 1	DERECHO		
	IZQUIERDO		
PISTA 2	DERECHO		
	IZQUIERDO		
PISTA 3	DERECHO		
	IZQUIERDO		

Fuente: Elaboración propia

Las lecturas del Bump Integrator en unidades "BI" adecuadamente procesadas se transforman a Unidades de Rugosidad Internacional (IRI) mediante una ecuación de correlación hallada estadísticamente, siguiendo el modelo adjunto:

Figura 4.3 Modelo de una ecuación de correlación.



Fuente: Elaboración propia

OBS:

- ✓ La fórmula hallada será válida sólo para el vehículo empleado y para una velocidad de 40 Km. /h.

Se recomienda que la primera aproximación se realice a un modelo lineal teniendo las siguientes consideraciones:

Los modelos podrán ser de regresión como un modelo lineal y un modelo exponencial, de la siguiente manera:

Modelo Lineal $Y = a + bX$

Modelo exponencial $Y = a \cdot b^X$

En cada caso, el IRI debe ser la variable dependiente (Y) y la rugosidad de la correspondiente variable independiente (X).

4.3.1. Tratamiento estadístico de datos

Por tanto se usufructuará todas las herramientas estadísticas para la homogenización, de tramos (Ver anexo B), recomendando realizar los siguientes pasos, para la obtención de dicho fin:

- a. En primer término, una vez agrupada la data en términos de IRI por kilómetro, se procede a realizar otra discriminación de datos que consiste en suprimir los valores de rugosidad de cada sub-tramo que notoriamente son datos alejados de la tendencia natural de toda los demás datos como los máximos y mínimos valores que por algún motivo y/o alteración fueron afectados en el proceso de medición.
- b. A continuación, toda la data se considera que presenta un comportamiento de una distribución normal, para esto se realiza el test de normalidad a cada grupo de datos, en el programa Minitab o similar el cual utiliza la prueba de normalidad Anderson – Darling entonces si el parámetro P-valor resulta mayor a 0.05 se consideran de comportamiento normal caso contrario se concluye lo contrario.
- c. Luego viene la prueba de homogeneidad de varianzas la cual se aplica a tramos tomados de dos en dos, con lo cual si resulta P-valor mayor a 0.05 entonces se consideran varianzas homogéneas y el procedimiento consiste en configurar esto en la aplicación de la posterior prueba de hipótesis en el programa Minitab o similar en caso contrario si resulta menor a 0.05 se considera varianzas diferentes entonces de la misma

forma esto se debe configurar en el momento de la aplicación de esta prueba en el programa Minitab o similar.

- d. Finalmente, después de haber realizado los pasos a y b se procede a la aplicación del test de hipótesis T – student para todos los tramos tomados de 2 en 2, con lo cual se realizara finalmente la homogenización de los tramos después de haber procesado absolutamente todos ellos. De la misma forma que las anteriores pruebas, si el parámetro P – valor es mayor a 0.05 se considera al conjunto de datos que se comporta estadísticamente igual de modo contrario se concluye que no son homogéneos.

Para la determinación de la Homogeneidad de tramos en cuestión de rugosidad, se recomienda realizar las pruebas mencionadas anteriormente, para así agrupar sectores de la carretera y la generación de lineamientos de conservación se realice por sectores más amplios.

Cuadro 4.3 Cuadro para la Homogenización de tramos

vs Km	HOMOGENIZACION DE TRAMOS					
	A-B	B-C	C-D	D-E	E-F	G-H
A-B		SI/NO	SI/NO	SI/NO	SI/NO	SI/NO
B-C			SI/NO	SI/NO	SI/NO	SI/NO
C-D				SI/NO	SI/NO	SI/NO
D-E					SI/NO	SI/NO
E-F						SI/NO
G-H						

Fuente: Elaboración propia

Luego de haberse realizado el cuadro de homogenización de tramos según los métodos estadísticos planteados en el anexo B, se procederá a realizar el cuadro resumen de tramos homogenizados, dicho cuadro muestra el resumen de todo el sector medido en subtramos hallados según el criterio de agrupar tramos homogéneos estadísticamente adicionalmente el criterio del profesional responsable y de acuerdo a lógica geométrica del área evaluada.

Cuadro 4.4 Cuadro resumen de tramos homogenizados

GRUPOS	SUBTRAMOS A HOMOGENIZAR					
I						
II						
III						

Fuente: Elaboración propia

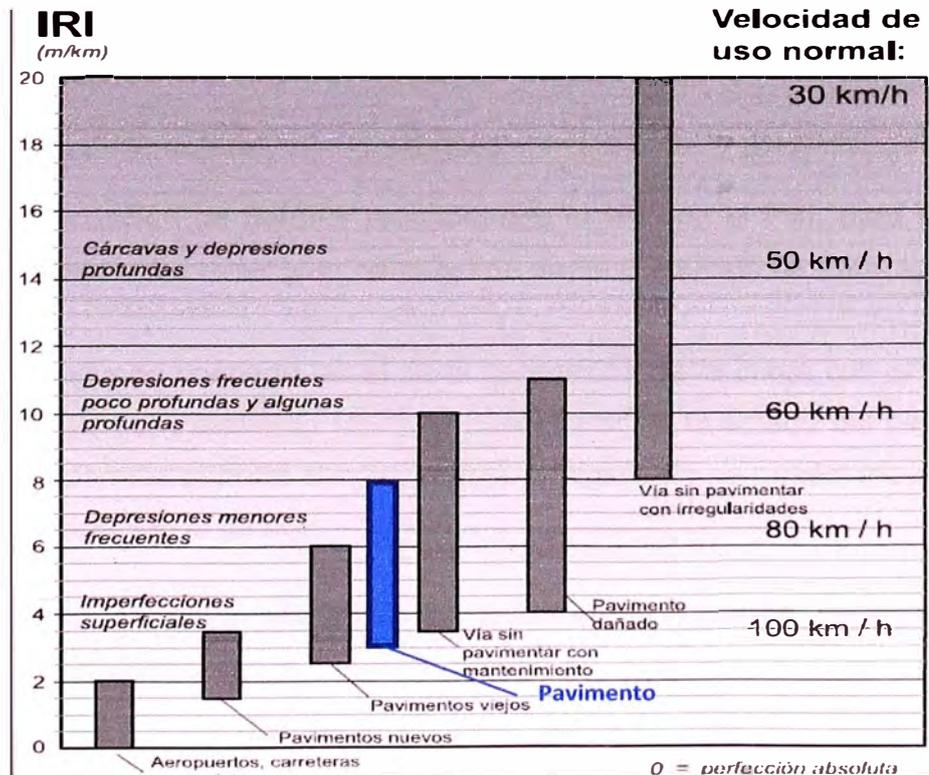
Finalmente se verificará el estado de los subtramos, con respecto al siguiente cuadro:

Cuadro 4.5 Cuadro para verificación del estado de pavimento

ESTADO	Pavimento tratamiento superficial (IRI)
Muy Bueno	3
Muy Bueno-Bueno	4
Bueno-Regular	5
Regular - Malo	6
Malo - Muy Malo	7

Fuente: Elaboración propia

Figura 4.4 Escala de IRI para los diferentes tipos de pavimentos.



Fuente: Elaboración propia

4.4. LINEAMIENTOS PARA LA GENERACIÓN DE CURVAS DE DETERIORO Y POLÍTICAS DE MANTENIMIENTO.

Adaptando un enfoque empírico estructurado, el cual consiste en identificar la forma funcional y las principales variables a partir de fuentes externas, y en evaluar sus impactos utilizando diversas técnicas estadísticas. De esta manera, se logra combinar en las relaciones obtenidas las bases teóricas y experimentales de los modelos mecanicistas con los comportamientos observados en estudios empíricos, para la proyección del estado de la carretera.

4.4.1 Curva de deterioro.

Predice el deterioro de la carretera y cuantifica los costos de los trabajos de mantenimiento, en términos de la condición del pavimento existente, estándares de mantenimiento, cargas de tráfico y condiciones ambientales. El modelo predice cada año el deterioro de la superficie a causa del tráfico, clima; calcula las cantidades que cubren el trabajo de mantenimiento y aplica los costos unitarios para determinar el costo total de mantenimiento en cada año, lo cual es recomendable en casos el usuario tenga una buena cantidad de información histórica.

Para lo cual se puede optar por dos métodos para la generación de curvas de deterioro:

- ✓ La ecuación de deterioro relacionando el IRI con el PSI, para lo cual es usuario debe tener gran cantidad de datos (Ecuación de Paterson 1987)
- ✓ El segundo concepto es el de la generación de la curva con el Índice del Estado del Pavimento (IEP), el cual cuantifica el estado del pavimento y nos permite generar curvas, optima en casos de no poseer muchos datos con relación al tiempo.

Para el primer método planteado se presenta la ecuación para pavimentos asfálticos la siguiente según Paterson 1987:

$$PSI = 5.03 - 1.91 \log(1 + SV) - 1.38 (RD)^2 - 0.01(C + P)^{0.5}$$

- SV: Varianza de la pendiente longitudinal x 10^2 (pulg./ pie), representa la rugosidad del pavimento medida con perfilómetro
- RD: Ahuellamiento promedio (pulg)
- C: Superficie agrietada ($\text{pie}^2 / 1000 \text{ pie}^2$)
- P: Area bacheada ($\text{pie} / 1000 \text{ pie}^2$)
- PSI: Índice de Serviciabilidad Presente

La correlación entre el IRI y el PSI para pavimentos asfálticos:

$$\text{PSI} = 5.85 - 1.68 (\text{IRI})^{0.5}$$

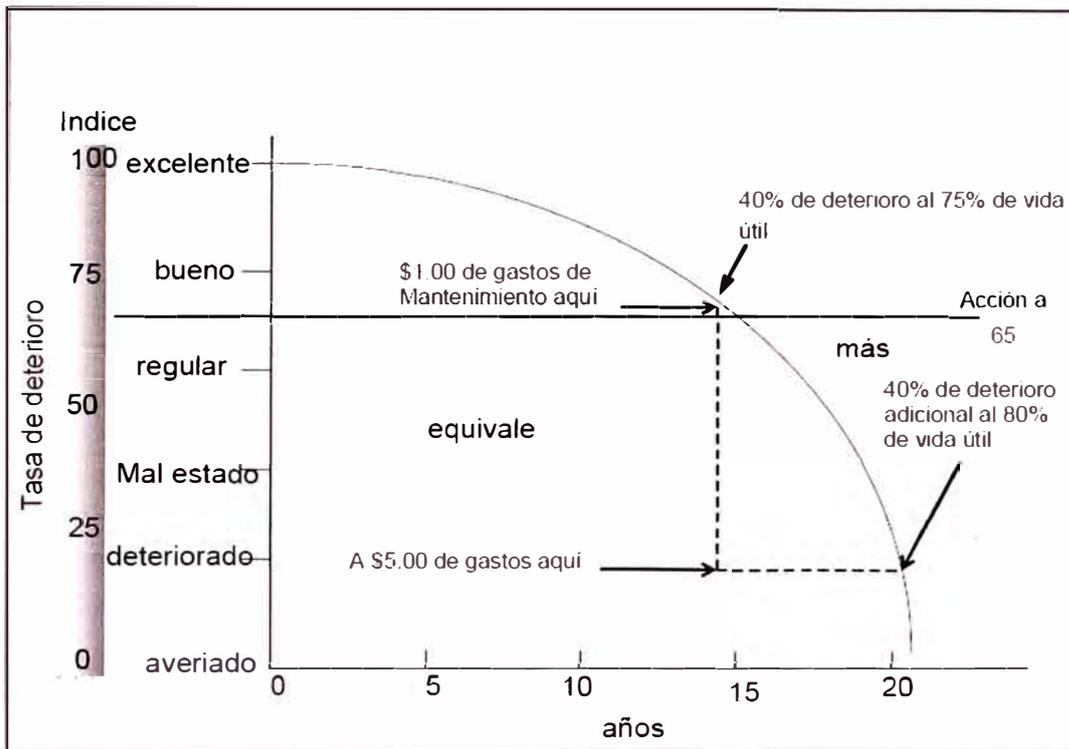
i) Deterioro e índice del estado del pavimento (IEP)

El estado del pavimento puede cuantificarse por medio del Índice del Estado del Pavimento (IEP) que clasifica al pavimento de acuerdo con el grado y la severidad de los tipos de daños presentes (agrietamientos, surcos, desplazamientos, etc.). El IEP fluctúa de 100 a 0 (mejor a peor). La Figura 4.5 muestra una curva típica del ciclo de la vida útil del estado del pavimento. La gráfica muestra que el estado empeora aceleradamente a medida que el pavimento envejece.

La Figura 4.5 muestra que un pavimento típico sin rehabilitación experimentará una disminución del 40% de su IEP durante el primer 75% de su vida útil y una disminución adicional del 40% en el siguiente 12% de su vida útil.

Para restaurar el estado del pavimento casi al final de su vida útil tendrá que incurrirse típicamente en un gasto 4 a 5 veces mayor que el que se tendría durante el 75% de su vida útil, debido a la falla más completa que se experimenta. Uno de los principales objetivos es mantener el estado del pavimento en el rango superior del IEP (60-90) limitando la degradación estructural de la sub-base, para mantener bajos los costos de rehabilitación.

Figura 4.5 Curva de deterioro del pavimento.



Fuente: Internet

4.4.2. Política de mantenimiento

En la generación de políticas de mantenimiento se debe tener en cuenta la curva de deterioro generadas con el IEP:

Actividades para pavimentos en diferentes condiciones.

Los pavimentos en diferentes condiciones requieren diferentes tipos de actividades de mantenimiento y rehabilitación. El cuadro 4.6 muestra los procedimientos típicos aplicables a pavimentos cuyo estado fluctúa desde muy bueno a muy malo. Los procedimientos aplicables varían desde el mantenimiento menor de rutina a la reconstrucción total, dependiendo de las condiciones en que se encuentre el pavimento. Cada procedimiento empleado en los SMP tiene un costo asociado, así como un nivel de mejora del IEP y un ciclo de vida útil.

Cuadro 4.6. Alternativas y procedimientos del SMP para varias condiciones

Rango IEP	Condiciones del Pavimento	Clasificación de Alternativas del SMP	Objetivo	Procedimientos
75-95	Muy Buenas	Rutina	Corregir Deficiencias Menores	Sellado de Agrietamientos menores, Sellado con capa final muy liquida, parchado menor
60-75	Buenas	Mantenimiento Preventivo	Restaurar Superficie, Aumentar Vida Útil	Sellado con Slurry, Sellado con Gravilla, Ruteado y Sellado de Agrietamientos. Parchado
50-60	Regulares	Acción Diferida	Sin Mejoramiento, Mantener Condiciones Actuales	Sellado y Parchado de agrietamientos para mantener la superficie
25-50	Malas	Rehabilitación	Mejoramiento Principal Superficie/Reposición	Capas Superpuestas, Rectificado
00-25	Muy Malas	Reconstrucción	Construir Nuevo Pavimento	Eliminación de Superficie, Nuevas Bases y Subbase

Fuente: elaboración propia

Características del pavimento según su IEP:

- Mantenimiento de Rutina (IEP 75-95) Pavimento en Muy Buen Estado**

Este es el rango normal del IEP en el cual se considera que el sellado de los agrietamientos es el método más aplicable. Los pavimentos en esta categoría se encuentran en un estado bueno a excelente y han desarrollado generalmente sólo cantidades mínimas de agrietamientos.
- Mantenimiento Preventivo (IEP 60-75) Pavimento en Buen Estado**

Los tratamientos de mantenimiento se realizan para ampliar la vida útil del pavimento. Estos procedimientos pueden planearse y programarse anticipadamente.
- Acción Diferida (50-60 IEP) Pavimento en Estado Regular**

Los pavimentos en este estado tienen generalmente superficies que se han deteriorado significativamente y que están empezando a experimentar deterioro de la sub-base. Estos tipos de pavimentos no pueden mejorarse usando estrategias de mantenimiento preventivo para la superficie, pero simplemente se mantienen en condiciones de uso hasta que se disponga de fondos para rehabilitarlos mayormente.

- **Rehabilitación (25-50 IEP) Pavimento en Mal Estado**
Los pavimentos en esta categoría van a recibir generalmente una capa estructural superpuesta principal.

Adicionalmente a lo mencionado anteriormente las políticas de mantenimiento para la conservación de la carretera, se pueden clasificar en:

- Conservación Rutinaria
- Conservación Periódica
- Obras de conservación puntual
- Trabajos de emergencia

i) Conservación Rutinaria.

Es el conjunto de actividades que se ejecutan dentro del Presupuesto Anual para conservar la calzada, el sistema de drenaje, área lateral, la señalización y las obras de arte en general. Estos trabajos tienen el carácter de preventivo y se ejecutan, según sea el caso en diversa magnitud, durante todo el año para conservar la adecuada transitabilidad y evitar el deterioro prematuro de la carretera, de acuerdo a una programación elaborada en función de prioridades, estacionalidad y características de la carretera.

Entre las actividades de conservación rutinarias se puede describir las siguientes:

a) Parchado Superficial

Esta actividad consiste en la reparación de pequeños baches superficiales en el pavimento producto de la caída de rocas y/o concentración de fisuras, eliminando una capa delgada (1.5 pulg.) y reponiéndola con carpeta asfáltica en frío.

Esta actividad debe realizarse en donde se identifiquen deterioros superficiales concentrados en áreas pequeñas y donde los baches dificulten el normal tránsito de los vehículos por la vía pudiendo ocasionar accidentes.

b) Tratamiento de Fisuras

Esta actividad consiste en el sellado de las fisuras y grietas de la carpeta asfáltica generadas por fatiga del pavimento por efecto de las cargas u otro origen.

Esta actividad debe realizarse cuando se presenten fisuras notoriamente abiertas y/o ramificadas que superen los 3mm de espesor.

c) Roce y Eliminación de desmonte manual.

Consiste en la eliminación de la vegetación que crece en las bermas y taludes a ambos lados de la carretera dentro del derecho de vía y en las zonas que no son accesibles por máquinas. No se considera el corte de vegetación en cunetas y zanjas de drenaje y de coronación, porque está contemplado en la actividad limpieza de cuneta y limpieza de zanjas de drenaje y de coronación.

d) Poda, Corte y retiro de árboles.

Se refiere a la eliminación de los árboles que presentan un peligro para los usuarios o aquellos que por la extensión de sus raíces pueden dañar la estructura vial. La operación se refiere al corte del tronco y eventualmente a la extracción y evacuación de la raíz. El diámetro de los árboles medidos a 50 cm del terreno natural es mayor que 10 cm.

e) Limpieza de Obras de Arte (alcantarillas, drenajes, tuberías, pontones, puentes vehiculares y peatonales, viaductos, túneles, etc.).

Consiste en la eliminación de piedras, bloques sueltos y cualquier otro obstáculo sobre la carretera a fin de mantener su superficie libre de obstáculos, para un tránsito vehicular normal.

f) Limpieza de la Calzada y Bermas.

Se refiere a la remoción y eliminación de la arena natural u otro material depositado sobre la calzada y las bermas. El objetivo de la operación es mantener la carretera libre y segura para el tránsito vehicular. Además al mantener la calzada libre de materiales extraños evitamos el deterioro de ésta,

producto de la interacción entre la calzada, el material extraño y los neumáticos de los vehículos.

g) Limpieza de Cunetas, Rápidas y Zanjas de Coronación.

Se refiere a todo tipo de cunetas, cualquiera sea la forma de su sección transversal y el tipo de material de revestimiento (su lo hubiera). El objetivo de la operación consiste en dejar la cuneta sin piedras, basura, vegetación, material sedimentado y todo objeto que podría impedir el paso del agua.

Es importante resaltar que este tipo de trabajos tienen que ejecutarse por lo menos un mes antes del inicio de las temporadas de lluvias y en épocas de lluvias el trabajo debe realizarse en forma permanente.

h) Limpieza de Señales Verticales

Esta actividad está referida a la limpieza general de señales, letreros y rótulos que pertenecen al Ministerio de Transportes y Comunicaciones con el fin de proveer a la carretera de señales que guíen al usuario en forma segura. Las señales son de tipo preventivo, informativo y reglamentario. La señal o el rótulo pueden ser hechos de acero, acero galvanizado y fibra de vidrio o madera, aunque poco usual.

i) Pintura, Renovación de los Hitos Kilométricos.

Se refiere a la reparación y repintado de señales, letreros y rótulos que no se hayan caído al suelo y que pertenecen al Ministerio de Transportes y Comunicaciones, a fin de proveer a la carretera de señales que guíen al usuario en forma segura.

j) Remoción de Derrumbes Localizados (de hasta 200 m³ por evento)

La presente actividad consiste en remover de la calzada y bermas las piedras (derrumbes) y materiales fangosos (huaicos) que frecuentemente caen del talud de corte, con el fin de mantener la vía libre y sin peligro para los usuarios. El volumen total de los materiales por evacuar no debe exceder los 200 m³.

k) Reposición de Señales, Hitos y Elementos de Seguridad Vial.

Consiste en la reposición o reemplazo de señales verticales: preventivas, informativas y reglamentarias, debido a su deterioro o pérdida o la instalación de nuevas señales en sitios que las requieran.

ii) Conservación Periódica.

En la conservación periódica no se incluyen las correspondientes a la conservación del derecho de vía, explanaciones, drenaje, cauces, estructuras y señalización, las mismas que están cubiertas absolutamente por la conservación rutinaria y/o las obras de conservación puntual complementaria.

Se entiende que anualmente las actividades de conservación rutinaria y las obras de conservación puntual deberán evitar el deterioro de la carretera.

La conservación periódica es la actividad que se ejecuta sólo para reconformar y restablecer las características técnicas de la superficie de rodadura. La actividad se repite en periodos de más de un año, según el efecto del tránsito.

Entre las actividades de conservación periódica podemos listar las siguientes:

a) Sello de Fisuras

El sello de fisuras (aberturas iguales o menores a 3 mm) y de grietas (aberturas mayores a 3 mm) consiste en la colocación de materiales especiales sobre o dentro de las fisuras o en realizar el relleno con materiales especiales dentro de las grietas.

Requiere de inspecciones permanentes de la calzada con el fin de identificar su presencia prontamente después de su aparición. Especial atención se debe tener antes de las estaciones o periodos de lluvia.

b) Bacheo Superficial

El Bacheo Superficial consiste en la reparación de baches, entendidos éstos como las desintegraciones parciales del pavimento en forma de hueco, cuya reparación se conoce como bacheo. Generalmente tienen su origen en mezclas

mal dosificadas o con compactación insuficiente. El Bacheo Superficial comprende la reparación de baches y el reemplazo de áreas del pavimento que se encuentren deterioradas, siempre que afecten exclusivamente a la carpeta de rodadura, encontrándose en buenas condiciones la base granular y demás capas de suelos.

c) Bacheo Profundo

El Bacheo Profundo consiste en la reparación, bacheo o reemplazo de una parte severamente deteriorada de la estructura de un pavimento, cuando el daño afecte a la base del pavimento.

El procedimiento se debe aplicar para reparar áreas que presenten fallas originadas por agrietamientos en la carpeta de rodadura o por debilitamiento de la base estabilizada, o de la subrasante.

El objetivo del Bacheo Profundo es recuperar las condiciones estructurales y superficiales para una adecuada circulación vehicular con seguridad, comodidad, rapidez y economía. Además, para minimizar o retardar la formación de daños más severos en el pavimento.

d) Sello Asfáltico

Esta actividad consiste en el tratamiento de la capa de rodadura reponiendo el agregado fino perdido por desgaste a causa del tráfico.

Tiene como propósito dotar al pavimento de mejores condiciones de impermeabilidad, control del proceso de figuración y prolongar la vida útil del paquete estructural.

Esta actividad se debe realizar cuando la superficie de rodadura esta agrietada y/o fisurada arriba del 10% del área, si las fisuras permiten el ingreso del agua en la estructura del pavimento, cuando la textura sea inadecuada o se haya reducido la resistencia al deslizamiento, siempre que la capa de rodamiento esté desgastada pero su estructura esté en condiciones de recibir cargas.

e) Tratamiento Superficial

Esta actividad consiste en la colocación de una capa de revestimiento asfáltico de poco espesor, formada por riegos sucesivos y alternados de material bituminoso y agregados pétreos, la que no da un refuerzo a la estructura sino simplemente la protege de la acción del tiempo y del desgaste con una capa superficial impermeable.

Esta actividad se debe realizar para tratar una superficie amplia de carretera en donde gran parte de la capa de rodamiento esté desgastada pero su estructura está en condiciones de recibir cargas.

También debe realizarse cuando la superficie de la carretera esta agrietada y permite la entrada de agua en la estructura del pavimento, la textura es inadecuada y se ha reducido la resistencia al deslizamiento.

f) Recapeo (sobrecapa delgada)

Esta actividad consiste en el suministro, colocación, extendido y compactación de una mezcla de concreto asfáltico en caliente sobre la superficie de rodadura existente; a la cual previamente se le debe aplicar un riego asfáltico de liga.

Es empleada para corregir pequeñas deformaciones, desgaste excesivo de la superficie de la vía y reforzar la estructura de pavimento existente.

Esta actividad se debe realizar en sectores en los que el IRI haya superado 3.5, para rellenar deformaciones superficiales pequeñas que son incómodas y peligrosas para el tráfico, para mejorar la textura superficial y como refuerzo de zonas debilitadas del pavimento.

iii) Obra de Conservación Puntual

Es un trabajo aislado de construcción, necesario para cubrir una necesidad de conservación para corregir una omisión funcional o estructural, o para eliminar un riesgo previsible o para recuperar una obra existente dañada total o parcialmente. Requiere estudio o diseño específico justificatorio de la correspondiente asignación presupuestal y el expediente técnico.

iv) Trabajos de emergencia

Es el conjunto de actividades que se ejecutan para recuperar la inmediata transitabilidad de la carretera afectada por varios sectores por un evento extraordinario o de fuerza mayor.

Figura N°4.6 Caída de Huayco



Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones – Supervisión Proyecto Perú

CONCLUSIONES

- El presente trabajo propone una primera versión del manual de procedimiento para la evaluación de la rugosidad con el equipo Bump Integrator, cabe mencionar que los cálculos estadísticos son un primer bosquejo, ya que queda para la investigación si el comportamiento de los datos se comporta tal y como se proyecta estadísticamente.
- Se puede inducir que hay distintas maneras de elaborar un manual de procedimientos, pero se debe distinguir la característica del proceso para la elección de un adecuado procedimiento para la sistematización.
- El equipo Bump Integrator es un método de evaluación de la rugosidad del pavimento rápido, pero se tiene que realizar su calibración con el Equipo Merlin, este debe realizarse en tramos rectos, donde previamente se ha seleccionado y analizado, para obtener una mejor calibración.
- Se ha cumplido con efectuar el estudio para la evaluación de la rugosidad del tramo Km 74+000-Km 84+000, considerando tramos de evaluación en un total de 10 Kilómetros de longitud, detallando la ubicación de Puentes y Gibas, cuyas medidas no se han considerado por presentar una rugosidad acumulada muy superior.
- A consecuencia de las muchas obras de construcción y mantenimiento de carreteras el equipo Bump Integrator es de difícil acceso para su uso en una obra determinada.
- Para la elaboración de un software para la discriminación de datos, se necesitara conocimientos avanzados de programación, ya que por las complejas funciones a realizar, se hace casi imposible su elaboración en una hoja de cálculo en un software conocido.

RECOMENDACIONES

- El cuidado de las vías en el país es importante porque es una forma de poder integrar los pueblos y por lo mismo crear condiciones para un mayor desarrollo económico. Es así que se hace imprescindible que el plan de monitoreo sea constante para mejorarla curva de deterioro planteada.
- Se recomienda realizar ensayos para la determinación del lugar donde colocar el equipo en la camioneta (Lado o Central), para realizar una mejor correlación con el equipo Merlín.
- Debe a su vez, necesariamente realizarse la calibración del Merlín con el equipo mira y nivel para asegurarse la precisión o certeza del modelo de deterioro, dentro del plazo de 15 días antes o después de haber realizado la medición con el equipo Bump Integrator.
- Se recomienda medir con el equipo Merlín adicionalmente con la mira y nivel a mayor cantidad de sectores de la carretera, para una mejor correlación con el Bump Integrator, para asegurar la confiabilidad del modelo de deterioro planteado.
- Se puede elaborar un software para los procesos estadísticos de la metodología de discriminación de datos, tomando como punto de inicio de la programación el diagrama descrito en el Fig. 3.4, del presente informe.
- La Universidad Nacional de Ingeniería debe fomentar este tipo de monitoreo en sus alumnos o directamente como entidad pública, aprovechando para lo mismo los equipos que tiene a disposición para generar tesis de investigación relacionadas en este tema.
- Se recomienda generar centros de estudio para técnicos en el uso del Bump Integrator y sus fundamentos teóricos que esto conlleva.

BIBLIOGRAFÍA

- ARRIAGA PATIÑO, MARIO C Y GARNICA ANGUAS, PAUL; Índice Internacional de Rugosidad en la Red Carretera de México, Instituto Mexicano del Transporte Secretaria de Comunicaciones y Transportes, México 1998.
- MCGHEE, KEVIN; Comfort and Safety of Traveled Surfaces; Spring Technical Conference, Virginia USA, 2008.
- MELIS, JUAN J.; El IRI y el Modelo de Coche Entero. Calculo por el Método de la Ecuación de Estado; Revista de Obras Publicas N° 3.324 Año 140, 1993.
- ROMDAS; Providers of innovative technology for measuring and managing roads - Bump Integrator, 2003.
- SAYERS, MICHAEL W, GILLESPIE, THOMAS D, PATERSON, WILLIAM Guidelines for Conducting and Calibrating Road Roughness Measurements; World Bank Technical Paper Number 46, 1986.
- VENTURA ESPÍNAL, JOSE ANTONIO Y ALVARENGA, EDWIN RICARDO; Determinación del Índice de Regularidad Internacional (IRI); Viceministerio de Obras Publicas Unidad de Investigación y Desarrollo Vial; El Salvador, 2005.
- WIDAYAT. A J ADHITYA AND T TOOL.; Roughness calibration studies different measuring systems; Institute of Road Engineering Agency for Reserch and Development Ministry of Public Works, Jakarta, 1990.
- www.proviasnac.gob.pe
- www.mtc.gob.pe
- www.camineros.com
- <http://www.iific.edu.pe>

ANEXO A

APLICACIÓN DE LA METODOLOGIA SISTEMATIZADA DE LA PROPUESTA DE MANUAL AL TRAMO DE ESTUDIO

1.0 GENERALIDADES

La metodología de discriminación de datos será aplicada al tramo de estudio correspondiente desde el KM 74+000 al KM 84+000 de la carretera Cañete Chupaca.

Para el presente ejemplo se usara el programa Minitab, para la realización de cálculos estadísticos, no siendo este el único para este fin.

Se recopiló datos de rugosidad medidas con el Bump Integrator de los años 2009 y 2010 del tramo en estudio.

2.0 PROCESAMIENTO Y DISCRIMINACION DE DATOS

2.1. RECOPIACIÓN DE DATOS.

2.1.1. Recopilación de Datos del BI/IRI 2009.

A continuación se muestra el detalle de estos resultados tanto en unidades BI y luego en unidades IRI.

Cuadro A.1 Valores BI recopilados del 2009 del tramo 74-79 Km

SUBTRAMO Km	SENTIDO DE MEDICION			
	IDA		RETORNO	
	1º	2ª	1º	2ª
74-75	2589	2601	2595	2693
75-76	2212	2239	2073	1978
76-77	2361	2539	2073	2198
77-78	2242	2348	2225	2424
78-79	1833	1807	1861	1989

Fuente: Álvarez Pedro, Informe de suficiencia UNI-FIC 2009

En el cuadro A.1 se observa los valores en unidades BI dadas por el equipo Bump integrator los cuales con la ecuación de calibración

$IRI = 0.0018 \times BI - 0.491$ se obtiene finalmente los valores IRI relativos para cada kilómetro del tramo en estudio.

Cuadro A.2 Valores IRI recopilados del 2009 del tramo 76-84 Km

SUBTRAMO Km	SENTIDO DE MEDICION				IRI promedio
	IDA		RETORNO		
	1º	2ª	1º	2ª	
74-75	4.17	4.19	4.18	4.36	4.22
75-76	3.49	3.54	3.24	3.07	3.33
76-77	3.76	4.08	3.24	3.47	3.64
77-78	3.54	3.74	3.51	3.87	3.67
78-79	2.81	2.76	2.86	3.09	2.88

Fuente: Álvarez Pedro, Informe de suficiencia UNI-FIC 2009

Cuadro A.3 Valores BI recopilados del 2009 del tramo 79 al 84 Km.

SUBTRAMO Km	SENTIDO DE MEDICION			
	IDA		RETORNO	
	1º	2ª	1º	2ª
79-80	3276	3336	3470	3358
80-81	3115	2961	2964	2948
81-82	3162	3113	2790	3072
82-83	2157	--	1995	--
83-84	2035	--	1954	--

Fuente: Quillas Jorge, Informe de suficiencia UNI-FIC 2009.

En el cuadro A.3 se observa los valores en unidades BI dadas por el equipo Bump Integrator los cuales con la ecuación de calibración $IRI = 0.0005 \times BI + 3.1848$ se obtiene finalmente los valores IRI relativos para cada kilómetro del tramo en estudio.

Cuadro A.4 Valores IRI recopilados del 2009 del tramo 79 al 84 Km.

SUBTRAMO Km	SENTIDO DE MEDICION				IRI promedio
	IDA		RETORNO		
	1º	2ª	1º	2ª	
79-80	4.82	4.85	4.92	4.86	4.86
80-81	4.74	4.67	4.67	4.66	4.68
81-82	4.76	4.74	4.58	4.72	4.7
82-83	4.26		4.18		4.22
83-84	4.2		4.16		4.18

Fuente: Quillas Jorge, Informe de suficiencia UNI-FIC 2009.

2.1.2. Recopilación de Datos del BI/IRI 2010.

Con la salida de campo al tramo de la carretera en estudio se procedió a la evaluación de la rugosidad mediante la siguiente metodología.

- Ubicación y Trazos.
- Instalación de Equipo.
- Medición.

Donde la leyenda para los cuadros es:



Valor erróneo no tomar en consideración



Medidas en puntos como Giba, Puentes, rompemuelles, etc.

P PUENTE

G GIBA

C CURVA

B BADEN

Las marcas rojas indican el inicio el primer dato del archivo del Bump

Las marcas verdes indican que el dato no se usa para calcular el promedio

Cuadro A.5 BI Recolectados en sub – tramo Progresiva km. 74 - 79

		BUMP UNIDADES										BUMP UNIDADES									
DERECHA	OBS	OSCAR	OSCAR	HUBER	HUBER	MIGUEL	MIGUEL	INTEGRATOR	BI	IZQUIERDA	OSCAR	OSCAR	HUBER	HUBER	MIGUEL	MIGUEL	INTEGRATOR	BI			
74+000	74+000	967	1041	1054	969	1110	957	1008	2016	74+100	74+000	294	231	357		238	280	2240			
74+400	74+800	845	1001	934	715	843	849	813	1626	74+200	74+100	237	266	220		290	253	2026			
74+800	75+200	852	839	944	838	895	907	879	1758	74+900	74+200	937	990	936		890	938	1877			
75+200	75+600	725	710	739	680	765	928	758	1516	75+000	74+600	885	1001	755		987	907	1814			
75+600	76+000	916	904	897	884	926		905	1811	75+800	75+000	768	746	400	703		712	666	1332		
76+000	76+400	841	951	869	946			855	1710	75+800	75+400	840	799	898	798		846	836	1672		
76+400	76+800	876	839		808	811		834	1667	76+200	75+800	895	1045	958	694		882	895	1790		
76+800	76+900	249	182		229			220	1780	76+600	76+200	849	829	854	1017	746	815	852	1703		
76+900	77+000	239	210		207			219	1749	77+000	76+900	849	889	782	854	862	750	831	1662		
77+000	77+100	173	175	139	138	348		195	1557	77+100	77+000		174	199	189			187	1499		
77+100	77+200	G 337	422	463	437	132		358	2866	77+200	77+100	G 341	390	356	357	171		323	2584		
77+200	77+300	G 260	343	428	390	230		330	2642	77+300	77+200	G 333	400	307	324	458		364	2915		
77+300	77+400	390	355	276	239	222	269	292	2335	77+400	77+300	231	200	233	207	241		222	1779		
77+400	77+500	191	193	205	178	207	206	197	1573	77+500	77+400	247	210	247	212	240		231	1850		
77+500	77+600	298	213	238	204	245	201	233	1865	77+600	77+500	234	228	212	217	262		233	1845		
77+600	77+700	P 441	467	396	173	410	329	369	2955	77+700	77+600	P 429	397	445	380	405		411	3290		
77+700	77+800	268	266	255	322	267	312	282	2253	77+800	77+700	203	234	242	267	204		230	1840		
77+800	77+900	225	232	239	236	177	220	222	1772	77+900	77+800	162	185	191	191	114		169	1349		
77+900	78+000	281	286	226	287	269	280	272	2172	78+000	77+900	199	212	221	222	194		210	1677		
78+000	78+100	G 385		349	415	295	319	353	2821	78+100	78+000	G 322	363	344	405	359		359	2869		
78+100	78+200	194	203	185	202	303		217	1739	78+200	78+100	176	218	206	219	217		207	1658		
78+200	78+300	188	224	218	217	219	209	213	1700	78+300	78+200	322	315	467	297	329		346	2768		
78+300	78+400	178	192	176	177	176	200	183	1465	78+400	78+300	200	194	215	188			199	1594		
78+400	78+500	G 399	352	428	438	315		386	3091	78+500	78+400	G 413	396		392			400	3203		
78+500	78+600		773	207	228	192	231	215	1716	78+600	78+500	190	239	405	126			240	1920		
78+600	78+700			248	265	238	235	247	1972	78+700	78+600	177	107	356		221		215	1722		
78+700	78+800				575	339		457	3656	78+800	78+700					399		399	3192		
78+800	78+900				266	257		262	2092	78+900	78+800					463		463	3704		
78+900	79+000																				

Fuente: Elaboración propia

Cuadro A.6 BI Recolectados en sub – tramo Progresiva km. 79 - 84

DERECHA	BUMP UNIDADES								BUMP UNIDADES							
	HUBER	JIMMY	JAVIER	JAVIER	MIGUEL	INTEGRATOR	BI	HUBER	JIMMY	JAVIER	JAVIER	MIGUEL	INTEGRATOR	BI		
79+000 79+400	731	895	579	931	912	810	1619		1033	1102	1033	955	1031	2062		
79+400 79+800	848	805	852	864	849	844	1687		904	867	911	898	895	1790		
79+800 80+200	976	1115	1168	1006	983	988	1977		1015	993	1175	999	1002	2005		
80+200 80+600	945	919	961	999	956	956	1912	792	798	699	781	805	775	1550		
80+600 81+000		1028	1051	1078	1027	1046	2092	961	996	921	921	975	955	1910		
81+000 81+400	996	1102	913	921	1028	992	1984		819	888	881	921	877	1755		
81+400 81+800	912	871	955	882	927	909	1819		928	983	928	933	943	1886		
81+800 82+200	927	899	1158	1017	943	989	1978		837	723	757	727	761	1522		
82+200 82+600	1077	1021	777	890	823	918	1835	741	912	680	850	765	790	1579		
82+600 82+700	247	162	144	154	333	177	1414	226	157	158	157	272	194	1552		
82+700 82+800	318	288	296	318		305	2440		292	308	307	230	284	2274		
82+800 82+900	724	244	240	232		360	2880	552	262	236	274	136	227	1816		
82+900 83+000	B 415	821	896	792		716	5728	B	798	794	807	714	835	790	6317	
83+000 83+100	B	484	514	514		504	4032	B	901	910	397	345		323	2586	
83+100 83+200	269	250	258	176	269	244	1955		144	165	166	180		164	1310	
83+200 83+300		308	302	320	284	304	2428		288	277	292	290		287	2294	
83+300 83+400	G	393	379	354	206	333	2664	G	376	374	397	377		381	3048	
83+400 83+500		212	218	232	219	230	222	1778		228	219	185	240		218	1744
83+500 83+600		254	254	239	247	249	1988		304	285	241	257		272	2174	
83+600 83+700			254	258		256	2048			261	333	259		260	2080	
83+700 83+800	G		387	406		397	3172	G		432	330	409		390	3123	
83+800 83+900			200	199		200	1596			195	202	193		197	1573	
83+900 84+000			96	90		93	744	180	93	97	111		100	803		

Fuente: Elaboración propia

2.2. ANÁLISIS DE DATOS.

Calibración del Equipo. Se realizara según el Subcapítulo 4.3 del manual propuesto.

Cuadro A.7 1ra discriminación de datos para el sub – tramo km. 74-79

DERECHA	OBS	HUBER								IZQUIERDA							
		OSCAR	OSCAR	HUBER	HUBER	MIGUEL	MIGUEL	OSCAR	OSCAR	HUBER	HUBER	MIGUEL	MIGUEL				
74+000 74+400		967	1041	1054	969			74+100 74+200	294	231	357		238				
74+400 74+800		845			715	843	849	74+200 74+300		266	220		290				
74+800 75+200		852	839	944	838	895	907	74+300 74+400	937	990	936		890				
								75+000 74+600		1001	755		987				
								75+400 75+000	768	746		703	712				
75+200 75+600		725	710	739	680	765	928	75+800 75+400			898	798	846				
75+600 76+000		916	904	897	884	926		76+200 75+800	895	1045	958		882				
		841		869				76+600 76+200	849	829	854		746	815			
76+400 76+800		876	839		808	811		77+000 76+600	849	889	782	854	862	750			
76+800 76+900		249	182		229												
76+900 77+000		239	210		207												
77+000 77+100		173	175	139	138	348		77+100 77+000		174	199	189					
77+100 77+200	G							77+200 77+100									
77+200 77+300	G							77+300 77+200									
77+300 77+400	G	390	355	276	239	222	269	77+400 77+300	231	200	233		241				
77+400 77+500		191	193	205	178	207	206	77+500 77+400	247	210	247	212	240				
77+500 77+600		298	213	238	204	245	201	77+600 77+500	234	228	212	217	262				
77+600 77+700	P							77+700 77+600									
77+700 77+800	P	268	266	255	322	267	312	77+800 77+700	203	234	242		204				
77+800 77+900		225	232	239	236	177	220	77+900 77+800	162	185	191	191	114				
77+900 78+000		281	286	226	287	269	280	78+000 77+900	199	212	221	222	194				
78+000 78+100	G							78+100 78+000									
78+100 78+200		194	203	185	202	303		78+200 78+100	176	218		219	217				
78+200 78+300		188	224	218	217	219	209	78+300 78+200	322	315		297	329				
78+300 78+400		178	192	176	177	176	200	78+400 78+300		200	194	215	188				
78+400 78+500	G							78+500 78+400									
78+500 78+600				207	228	192	231	78+600 78+500		190			126				
78+600 78+700				248	265	238	235	78+700 78+600		177	107		221				
78+700 78+800	P							78+800 78+700					399				
78+800 78+900	C							78+900 78+800					463				
78+900 79+000	G																

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro A.8 1ra discriminación de datos para el sub – tramo km. 79 - 84

DERECHA	HUBER	JIMMY	JAVIER	JAVIER	MIGUEL	HUBER	JIMMY	JAVIER	JAVIER	MIGUEL
79+000 79+400	731	895	579	931	912		1033	1102	1033	955
79+400 79+800	848	805	852	864	849		904	867	911	898
79+800 80+200	976			1006	983		1015	993		999
80+200 80+600	945	919	961	999	956	792	798	699	781	805
80+600 81+000		1028	1051	1078	1027	961	996	921	921	975
81+000 81+400	996	1102	913	921	1028		819	888	881	921
81+400 81+800	912	871	955	882	927		928	983	928	933
81+800 82+200	927	899	1158	1017	943		837	723	757	727
82+200 82+600	1077	1021	777	890	823	741	912	680	850	765
82+600 82+700	247	162	144	154		226	157	158	157	272
82+700 82+800	318	288	296	318			292	308	307	230
82+800 82+900	724	244	240	232			262	236	274	136
82+900 83+000	B				B					835
83+000 83+100	B				B					
83+100 83+200	269	250	258	176	269	144	165	166	180	
83+200 83+300		308	302	320	284	288	277	292	290	
83+300 83+400	G				G					
83+400 83+500	212	218	232	219	230	228	219	185	240	
83+500 83+600	254	254	239	247		304	285	241	257	
83+600 83+700			254	258			261		259	
83+700 83+800	G				G					
83+800 83+900			200	199			195	202	193	
83+900 84+000			96	90			93	97	111	

Fuente: Elaboración propia.

Luego procedemos a la calibración según el **Subcapítulo 4.3 del manual**

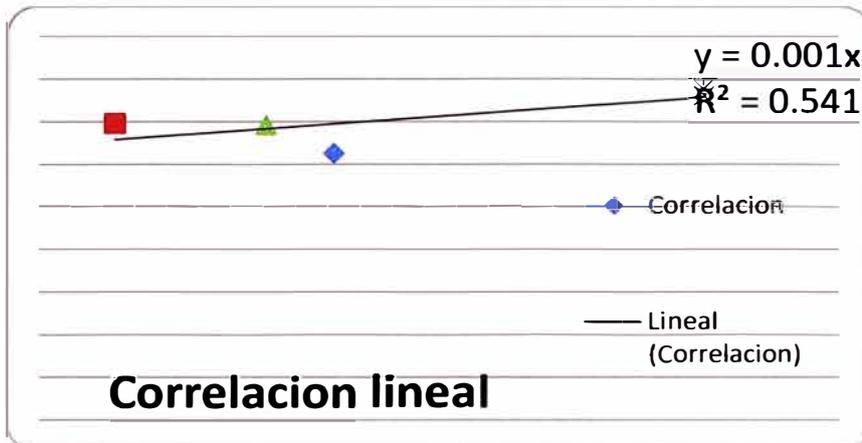
Cuadro A.9 Calibración de los datos para la obtención de la ecuación de calibración.

TRAMO	BI prom.	IRI prom.
77+200-77+600	1829	3.13
79+400-79+800	1733	3.48
77+600-78+000	1799	3.46
79+800-80+200	1991	3.8
80+600-81+000	1991	3.88

Fuente: Elaboración propia

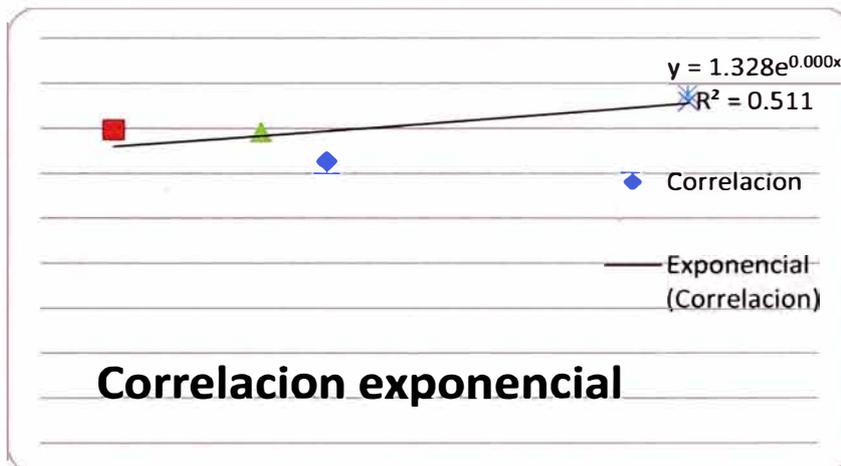
A continuación se procede a obtener las regresiones para las diversos tipos de graficas escogiendo la de mejor tendencia y mayor coeficiente de variación.

Fig A.1 Regresion lineal



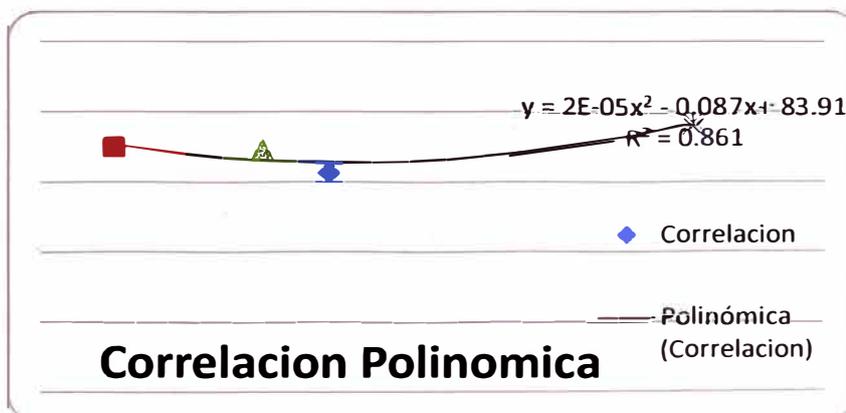
Fuente: Elaboracion propia.

Fig A.2 Regresion exponencial



Fuente: Elaboracion propia.

Fig A.3 Regresión polinómica



Fuente: Elaboracion propia.

De las figuras A.1, A.2, A.3 se considera a la curva de tendencia lineal para evaluar los datos obtenidos y como se observa el R^2 es muy aceptable por lo tanto es aceptable utilizar la curva como apropiada.

Cuadro A.10 Ecuación de calibración.

ECUACION DE CALIBRACION		
ECUACION	FORMULA	R^2
LINEAL	$IRI = 0.0019 \times BI$	0.5412

Fuente: Elaboración propia.

2.3. PROCESAMIENTO DE DATOS.

Ya con la ecuación de correlación pasamos toda la data a valores IRI y lo agrupamos por kilómetros como se observa en los cuadros A.11 y A.12.

La Homogenización de la data de cada sub-tramo juega un papel relevante al momento de la toma de decisiones en cuanto a políticas de mantenimiento para este procedimiento se utilizara el programa Minitab o similar especializado en estadística. Básicamente el proceso de homogenización consistirá en lo siguiente:

Cuadro A.11 Transformación de BI a IRI sub – tramo km. 74 - 79

		DERECHA	OBS	OSCAR	OSCAR	OSCAR	HUBER	HUBER	MIGUEL	MIGUEL	IZQUIERDA	OSCAR	OSCAR	HUBER	HUBER	MIGUEL	MIGUEL		
74+000	74+400			3.67	3.96	4.01	3.68				74+100	74+000	4.47	3.51	5.43		3.62	74-75	
74+400	74+800			3.21			2.72	3.20	3.23	74+200	74+100		4.04	3.34			4.41		
74+800	75+200			3.24	3.19	3.59	3.18	3.40	3.45	74+600	74+200		3.56	3.76	3.56		3.38		
										75+000	74+600			3.80	2.87		3.75		
75+200	75+600			2.76	2.70	2.81	2.58	2.91	3.53		75+400	75+000	2.92	2.83		2.67	2.71	75-76	
75+600	76+000			3.48	3.44	3.41	3.36	3.52		75+800	75+400			3.41	3.03		3.21		
76+000	76+400			3.20		3.30				76+600	76+200	3.23	3.15	3.25		2.83	3.10	76-77	
76+400	76+800			3.33	3.19		3.07	3.08		77+000	76+600	3.23	3.38	2.97	3.25	3.28	2.85		
76+800	76+900			3.78	2.77		3.48												
76+900	77+000			3.63	3.19		3.15												
77+000	77+100		2.63	2.66	2.11		2.10	5.29		77+100	77+500			2.64	3.02	2.87		77-78	
77+100	77+200	G								77+200	77+100	G							
77+200	77+300	G								77+300	77+200	G							
77+300	77+400		5.93	5.40	4.20	3.63	3.37	4.09		77+400	77+300		3.51	3.04	3.54		3.66		
77+400	77+500		2.90	2.93	3.12	2.71	3.15	3.13		77+500	77+400		3.75	3.19	3.75	3.22	3.65		
77+500	77+600		4.53	3.24	3.62	3.10	3.72	3.06		77+600	77+500		3.56	3.47	3.22	3.30	3.98		
77+600	77+700	P								77+700	77+600	P							
77+700	77+800		4.07	4.04	3.88	4.89	4.06	4.74		77+800	77+700		3.09	3.56	3.68		3.10		
77+800	77+900		3.42	3.53	3.63	3.59	2.69	3.34		77+900	77+800		2.46	2.81	2.90	2.90	1.73		
77+900	78+000		4.27	4.35	3.44	4.36	4.09	4.26		78+000	77+900		3.02	3.22	3.36	3.37	2.95		
78+000	78+100	G								78+100	78+000	G						78-79	
78+100	78+200		2.95	3.09	2.81	3.07	4.61			78+200	78+100		2.68	3.31		3.33	3.30		
78+200	78+300		2.86	3.40	3.31	3.30	3.33	3.18		78+300	78+200		4.89	4.79		4.51	5.00		
78+300	78+400		2.71	2.92	2.68	2.69	2.68	3.04		78+400	78+300			3.04	2.95	3.27	2.86		
78+400	78+500	G								78+500	78+400	G							
78+500	78+600				3.15	3.47	2.92	3.51		78+600	78+500								1.92
78+600	78+700				3.77	4.03	3.62	3.57		78+700	78+600			2.89					3.36
78+700	78+800	P								78+800	78+700	P							6.06
78+800	78+900	C								78+900	78+800	C							7.04
78+900	79+000	G																	

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro A.12 Transformación de BI a IRI sub – tramo km. 79- 84

		HUBER	JIMMY	JAVIER	JAVIER	MIGUEL	HUBER	JIMMY	JAVIER	JAVIER	MIGUEL		
79+000	79+400	2.63	3.22	2.08	3.35	3.28			3.72	3.97	3.72	3.44	79-80
79+400	79+800	3.05	2.90	3.07	3.11	3.06			1.25	3.12	3.28	3.23	
79+800	80+200	3.51			3.62	3.54			3.65	3.57		3.60	
80+200	80+600	3.40	3.31	3.46	3.60	3.44	2.85	2.87	2.52	2.81	2.90		80-81
80+600	81+000	0.00	3.70	3.78	3.88	3.70	3.46	3.59	3.32	3.32	3.51		
81+000	81+400	3.59	3.97	3.29	3.32	3.70			2.95	3.20	3.17	3.32	81-82
81+400	81+800	3.28	3.14	3.44	3.18	3.34			3.34	3.54	3.34	3.36	
81+800	82+200	3.34	3.24	4.17	3.66	3.39			3.01	2.60	2.73	2.62	
82+200	82+600	3.88	3.68	2.80	3.20	2.96	2.67	3.28	2.45	3.06	2.75		82-83
82+600	82+700	3.56	2.33	2.07	2.22		3.25	2.26	2.28	2.26	3.92		
82+700	82+800	4.58	4.15	4.26	4.58			4.20	4.44	4.42	3.31		
82+800	82+900	10.43	3.51	3.46	3.34			3.77	3.40	3.95	1.96		
82+900	83+000	B										12.02	83-84
83+000	83+100	B											
83+100	83+200		3.87	3.60	3.72	2.53	3.87	2.07	2.38	2.39	2.59		
83+200	83+300			4.44	4.35	4.61	4.09	4.15	3.99	4.20	4.18		
83+300	83+400	G											
83+400	83+500		3.05	3.14	3.34	3.15	3.31	3.28	3.15	2.66	3.46		
83+500	83+600		3.66	3.66	3.44	3.56		4.38	4.10	3.47	3.70		
83+600	83+700				3.66	3.72			3.76		3.73		
83+700	83+800	G											
83+800	83+900				2.88	2.87			2.81	2.91	2.78		
83+900	84+000				1.38	1.30			1.34	1.40	1.60		

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro A.13 Datos organizados en kilómetros para homogenización

IRI 2010									
74-75	75-76	76-77	77-78	78-79	79-80	80-81	81-82	82-83	83-84
3.67	2.76	3.20	2.63	2.95	2.78	3.71	3.78	3.52	4.09
3.21	3.48	3.33	5.93	2.86	3.22	3.59	3.47	4.09	3.22
3.24	2.70	3.78	2.90	2.71	3.40	3.49	3.91	3.75	3.86
3.96	3.44	3.63	4.53	3.09	3.06	3.65	4.19	4.83	3.80
3.19	2.81	3.19	4.07	3.40	2.20	3.82	3.31	3.42	4.68
3.68	3.41	2.77	3.42	2.92	3.24	3.80	3.99	3.88	3.31
2.72	2.58	3.19	4.27	2.81	3.54	3.74	3.47	2.46	3.86
3.18	3.36	3.30	2.66	3.31	3.28	3.63	3.63	4.38	3.92
4.01	2.91	3.07	5.40	2.68	3.47	3.01	4.10	4.40	4.59
3.59	3.52	3.48	2.93	3.15	3.23	3.86	3.50	2.95	3.53
3.20	3.53	3.15	3.24	3.77	3.93	3.03	3.35	2.19	3.63
3.40	2.92	3.08	4.04	3.07	3.44	3.77	3.90	4.50	3.86
3.23	3.40	3.23	3.53	3.30	4.19	2.66	3.91	3.86	3.04
3.45	2.83	3.23	4.35	2.69	3.29	2.97	3.52	3.38	1.46
3.51	3.97	3.15	2.11	3.47	3.93	3.80	3.65	2.34	2.68
4.04	3.41	3.38	4.20	4.03	3.46	3.06	3.78	4.83	4.86
3.76	3.64	3.25	3.12	4.61	3.63		3.11	3.58	3.33
3.80	2.67	2.97	3.62	3.33	3.41		3.53	3.13	3.75
5.43	3.03	3.25	3.88	2.68			3.50	2.82	3.92
3.34	2.71	2.83	3.63	2.92			3.37	3.44	3.02
3.56	3.21	3.28	3.44	3.62			3.74	3.18	1.37
2.87	3.35	3.10	3.59	3.18			3.50	3.47	4.09
4.47		2.85	4.36	3.04			3.35	2.39	4.32
3.56			3.63	3.51			3.53	4.44	3.50
3.62			2.71	3.57			3.71	2.75	2.19
4.41			3.10	2.68			3.50	2.58	4.38
3.38			4.89	4.89			3.55	2.40	3.47
3.75			2.69	3.31				4.68	4.62
			4.09	4.79				2.88	2.51
			3.37	3.04				3.23	4.21
			3.15	2.89				2.39	3.33
			3.72	2.69				4.67	4.33
			4.06	2.95				2.76	3.97
			3.34	1.63				2.91	2.96
			4.26	3.33				4.13	1.41
			2.10	4.51				3.50	2.52
			5.29	3.27				2.07	4.44
			4.09	3.30					2.81
			3.13	5.00					3.66
			3.06	2.86					3.07
			4.74	1.92					1.47
			3.51	3.36					3.65
			3.75	6.06					3.91
			3.56	7.04					3.94
			3.09						2.93
			2.46						1.69
			3.02						2.74
			2.64						4.41
			3.04						
			3.19						
			3.47						
			3.56						
			2.81						
			3.22						
			3.02						
			3.54						
			3.75						
			3.22						
			3.68						
			2.90						
			3.36						
			2.87						
			3.22						
			3.30						
			2.90						
			3.37						
			3.10						
			1.73						
			2.95						
			3.66						
			3.65						
			3.98						

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro A.14 Discriminación de datos alterados

		IRI 2010							
74-75	75-76	76-77	77-78	78-79	79-80	80-81	81-82	82-83	83-84
3.67	2.76	3.20	2.63	2.95	2.78	3.71	3.78	3.52	4.09
3.21	3.48	3.33	5.93	2.86	3.22	3.59	3.47	4.09	3.22
3.24	2.70	3.78	2.90	2.71	3.40	3.49	3.91	3.75	3.86
3.96	3.44	3.63	4.53	3.09	3.06	3.65	4.19	4.83	3.80
3.19	2.81	3.19	4.07	3.40	2.20	3.82	3.31	3.42	4.68
3.68	3.41	2.77	3.42	2.92	3.24	3.80	3.99	3.88	3.31
2.72	2.58	3.19	4.27	2.81	3.54	3.74	3.47	2.46	3.86
3.18	3.36	3.30	2.66	3.31	3.28	3.63	3.63	4.38	3.92
4.01	2.91	3.07	5.40	2.68	3.47	3.01	4.10	4.40	4.59
3.59	3.52	3.48	2.93	3.15	3.23	3.86	3.50	2.95	3.53
3.20	3.53	3.15	3.24	3.77	3.93	3.03	3.35	2.19	3.63
3.40	2.92	3.08	4.04	3.07	3.44	3.77	3.90	4.50	3.86
3.23	3.40	3.23	3.53	3.30	4.19	2.66	3.91	3.86	3.04
3.45	2.83	3.23	4.35	2.69	3.29	2.97	3.52	3.38	1.46
3.51	3.97	3.15	2.11	3.47	3.93	3.80	3.65	2.34	2.68
4.04	3.41	3.38	4.20	4.03	3.46	3.06	3.78	4.83	4.86
3.76	3.64	3.25	3.12	4.61	3.63		3.11	3.58	3.33
3.80	2.67	2.97	3.62	3.33	3.41		3.53	3.13	3.75
5.43	3.03	3.25	3.88	2.68			3.50	2.82	3.92
3.34	2.71	2.83	3.63	2.92			3.37	3.44	3.02
3.56	3.21	3.28	3.44	3.62			3.74	3.18	1.37
2.87	3.35	3.10	3.59	3.18			3.50	3.47	4.09
4.47		2.85	4.36	3.04			3.35	2.39	4.32
3.56			3.63	3.51			3.53	4.44	3.50
3.62			2.71	3.57			3.71	2.75	2.19
4.41			3.10	2.68			3.50	2.58	4.38
3.38			4.89	4.89			3.55	2.40	3.47
3.75			2.69	3.31				4.68	4.62
			4.09	4.79				2.88	2.51
			3.37	3.04				3.23	4.21
			3.15	2.89				2.39	3.33
			3.72	2.69				4.67	4.33
			4.06	2.95				2.76	3.97
			3.34	1.63				2.91	2.96
			4.26	3.33				4.13	1.41
			2.10	4.51				3.50	2.52
			5.29	3.27				2.07	4.44
			4.09	3.30					2.81
			3.13	5.00					3.66
			3.06	2.86					3.07
			4.74	1.92					1.47
			3.51	3.36					3.65
			3.75	6.06					3.91
			3.56	7.04					3.94
			3.09						2.93
			2.46						1.69
			3.02						2.74
			2.64						4.41
			3.04						
			3.19						
			3.47						
			3.56						
			2.81						
			3.22						
			3.02						
			3.54						
			3.75						
			3.22						
			3.68						
			2.90						
			3.36						
			2.87						
			3.22						
			3.30						
			2.90						
			3.37						
			3.10						
			1.73						
			2.95						
			3.66						
			3.65						
			3.98						

Fuente: Elaboración propia.

Homogenización de Sub- tramos:

Pasamos a realizar la homogenización siguiendo los pasos a, b, c, d del manual (Ver Subcapítulo 4.3.1)

A. Test de normalidad.

Ahora se procede aplicar el primer paso el cual consiste en corroborar el comportamiento como distribución normal de todo el conjunto de datos, como vemos a continuación en las figuras siguientes.

Fig. A.4 Test de normalidad tramos 74-75.

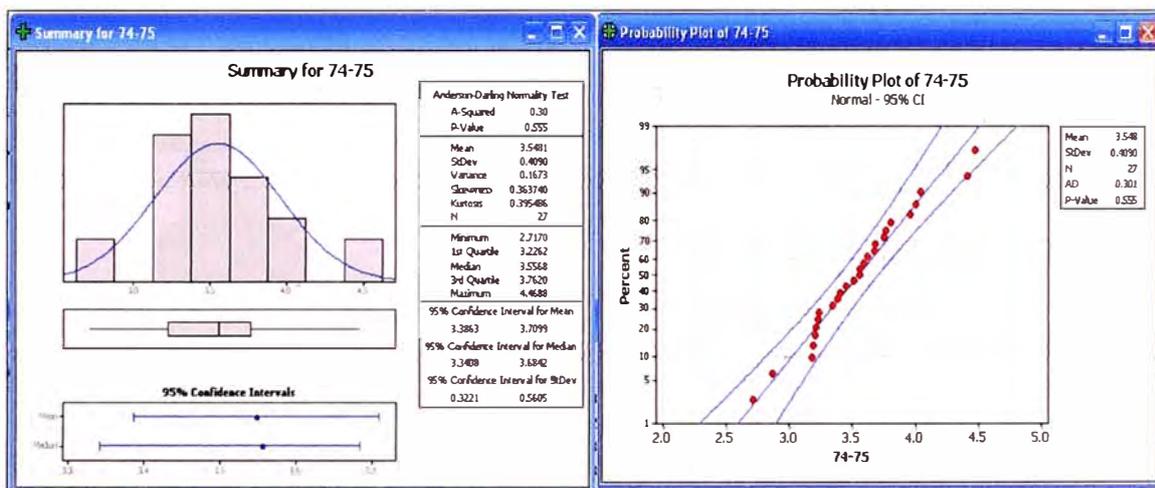


Fig. A.5 Test de normalidad tramos 75-76.

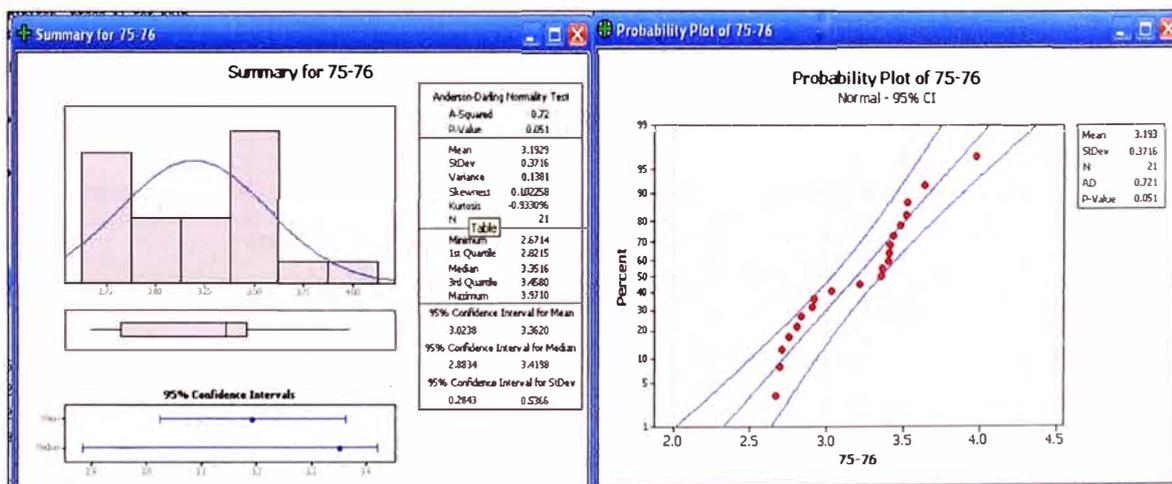


Fig. A.6 Test de normalidad tramos 76-77.

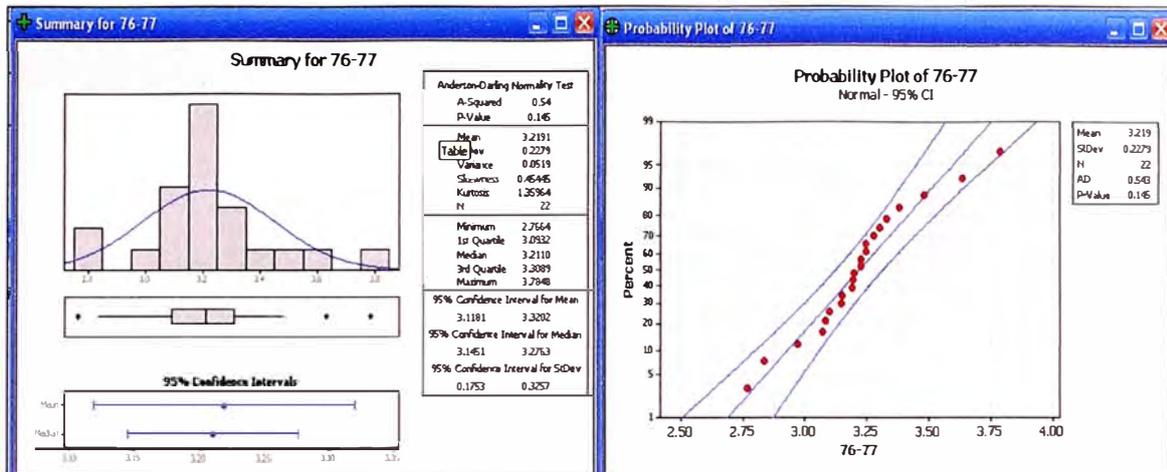


Fig. A.7 Test de normalidad tramos 77-78.

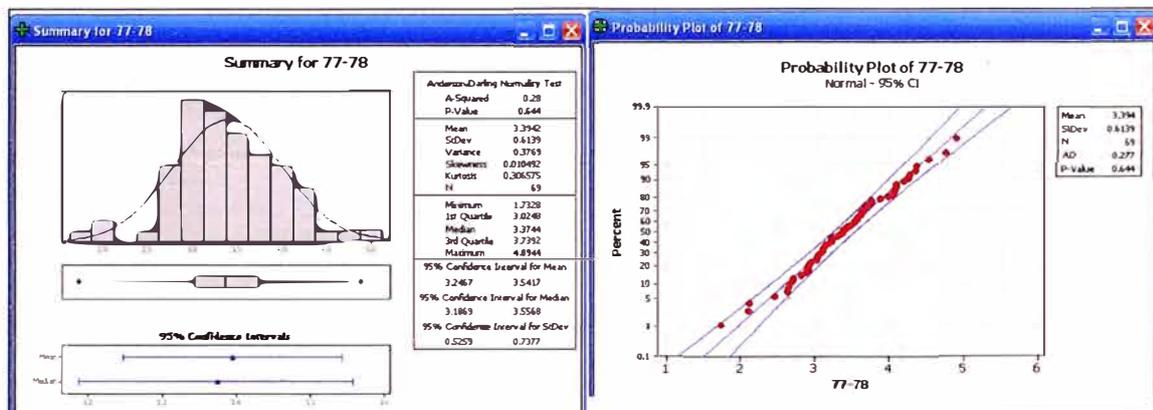


Fig. A.8 Test de normalidad tramos 78-79.

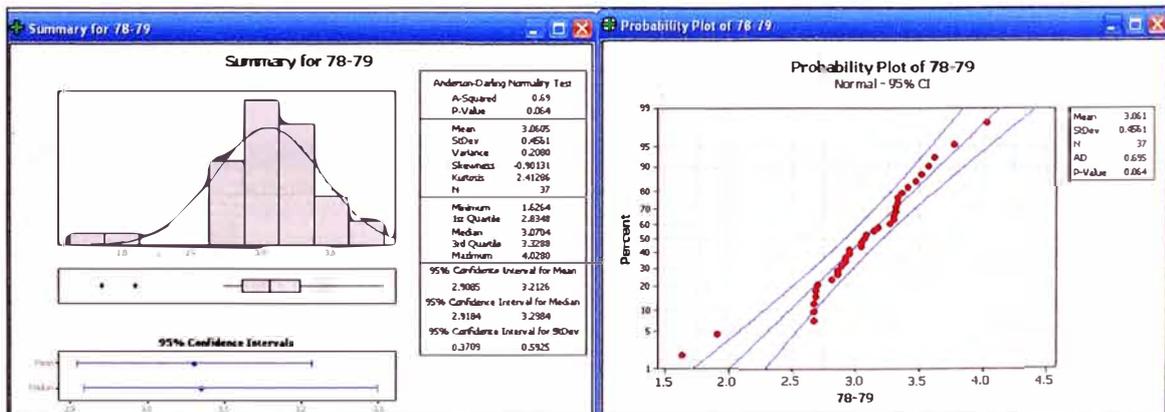


Fig. A.9 Test de normalidad tramos 79-80.

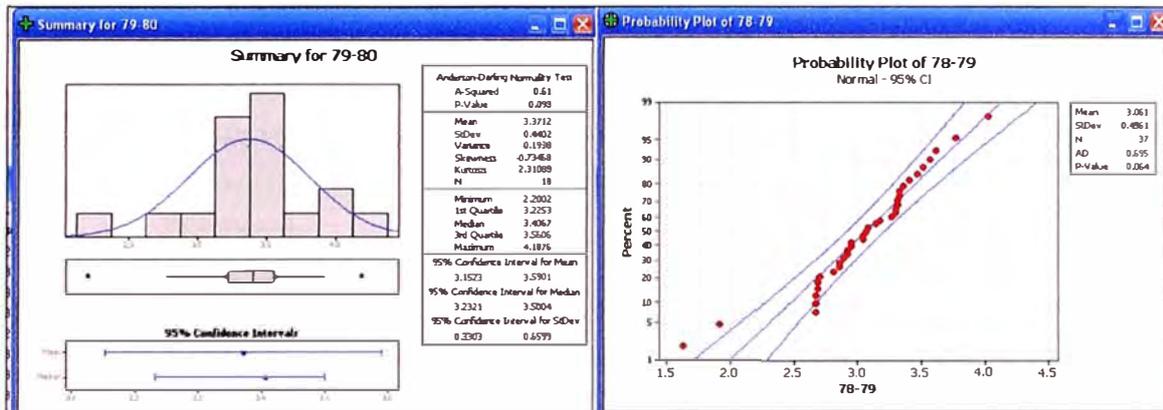


Fig. A.10 Test de normalidad tramos 80-81.

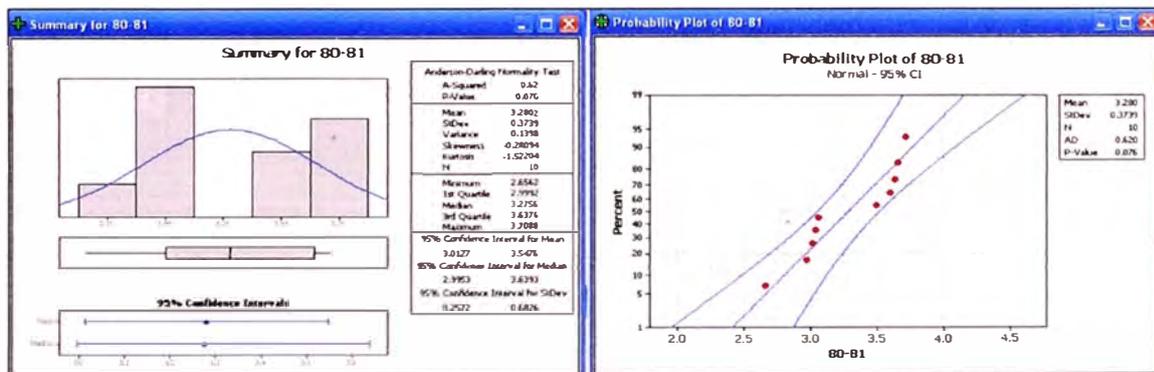


Fig. A.11 Test de normalidad tramos 81-82.

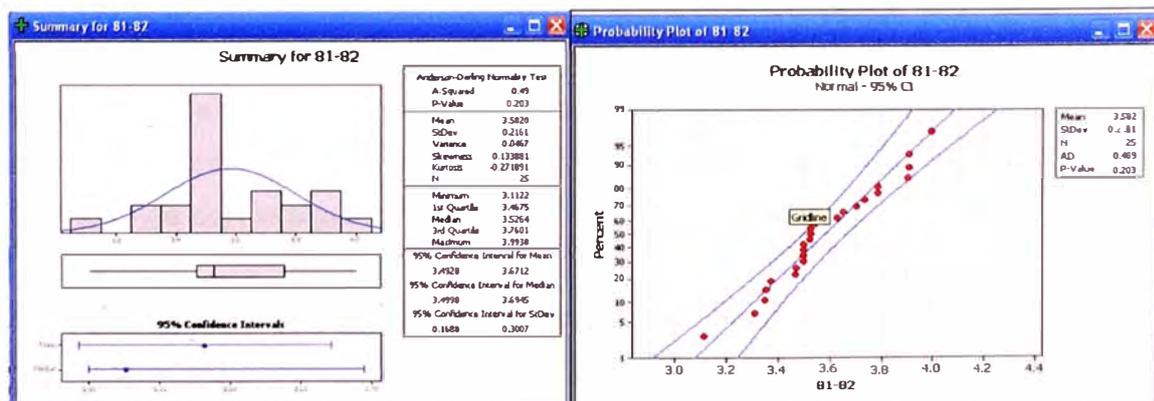
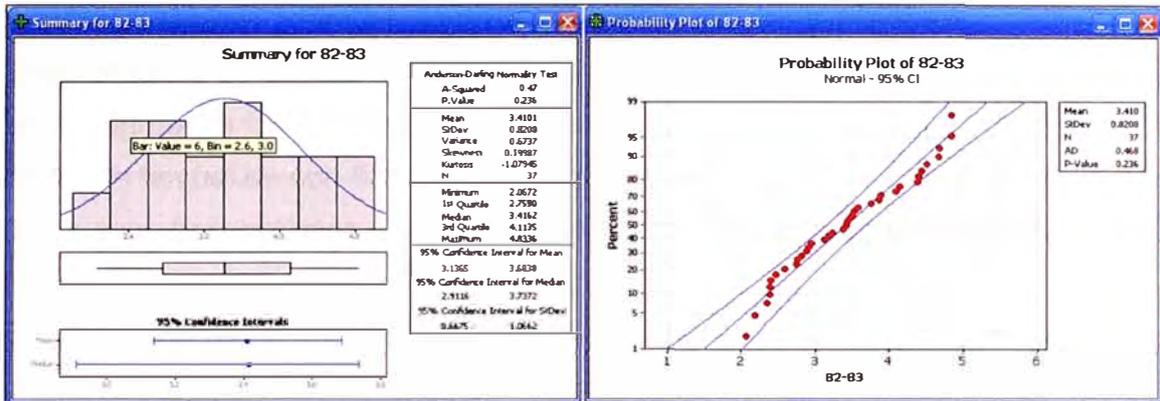
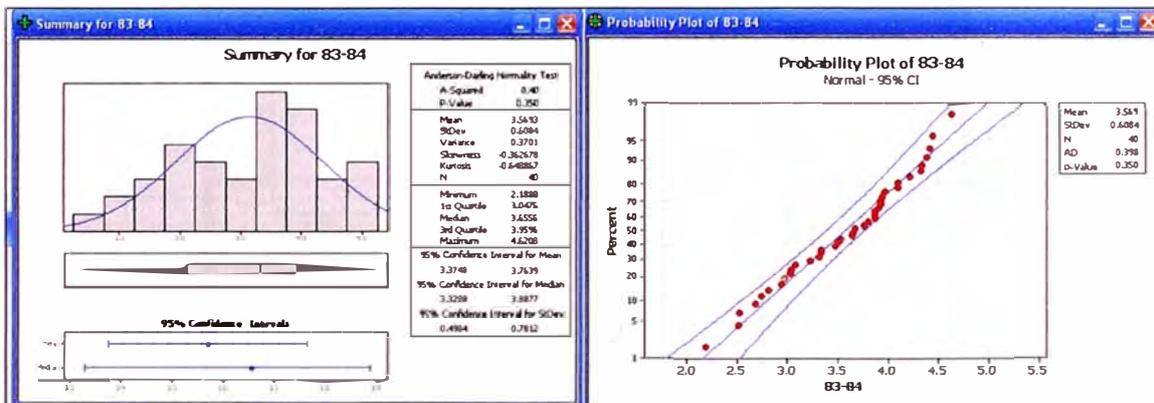


Fig. A.12 Test de normalidad tramos 82-83.



Fuente: Aplicación en el programa Minitab.

Fig. A.13 Test de normalidad tramos 83-84.



Fuente: Aplicación en el programa Minitab.

Como se ve en las Fig.A.4 a la Fig. A.13 correspondientes a los 10 sub-tramos notamos que en los test de normalidad en todos los casos el P-valor resulta mayor a 0.05 por lo tanto inferimos que todos los valores se comportan aproximadamente como una distribución normal, cumpliéndose así la primera condición para la posterior aplicación de la prueba de hipótesis. Ahora continuamos con la siguiente prueba.

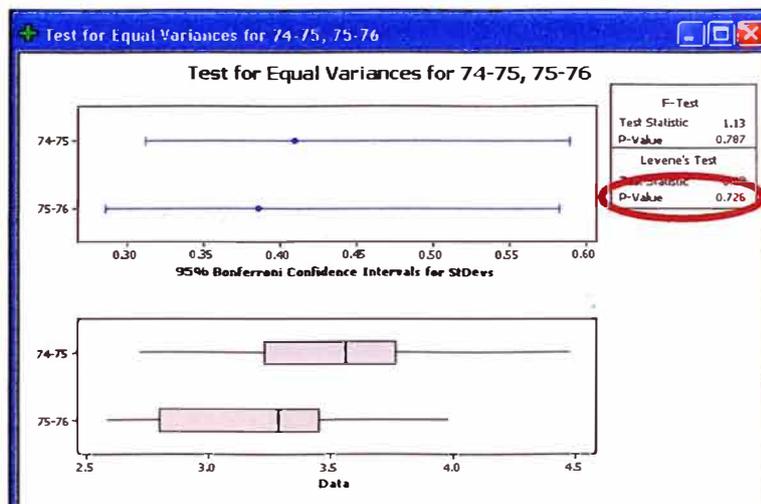
B. Homogeneidad de varianzas y prueba de hipótesis.

Ahora bien se procede a someter a los datos primero a la prueba de homogeneidad de varianzas y después al test de hipótesis T – student, tramo por tramo para ver cuales tramos podemos agrupar y considerar como homogéneos.

A continuación en las figuras ulteriores se muestra los resultados que mostro el programa Minitab o similar para los diferentes tramos y como se ve más líneas abajo algunos de ellos presentan varianzas homogéneas y algunos otro no, esto se configura en las opciones del programa Minitab o similar para la prueba de hipótesis la cual es con 95% de confiabilidad, siendo la hipótesis nula H_0 que los datos sean homogéneos y la hipótesis alternativa H_a que no son iguales.

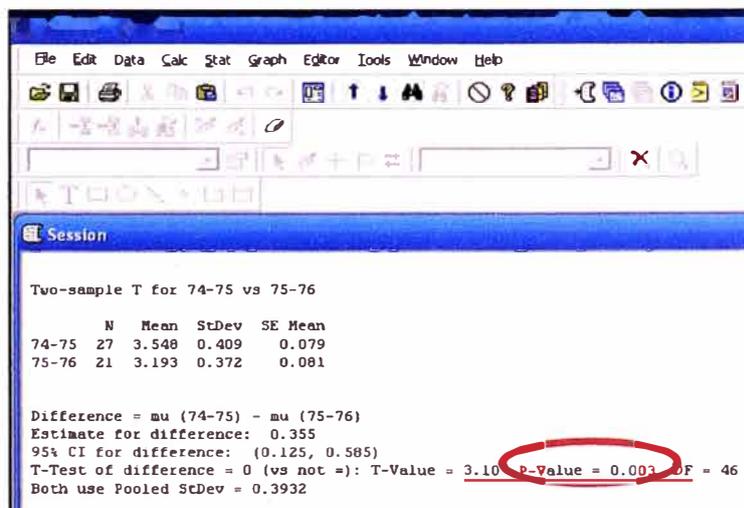
Se procede a evaluar tramo por tramo tanto la homogeneidad de varianzas como la prueba de hipótesis resultando lo siguiente:

Fig. A.14 Homogeneidad de varianzas para tramos 74-75 y 75-76



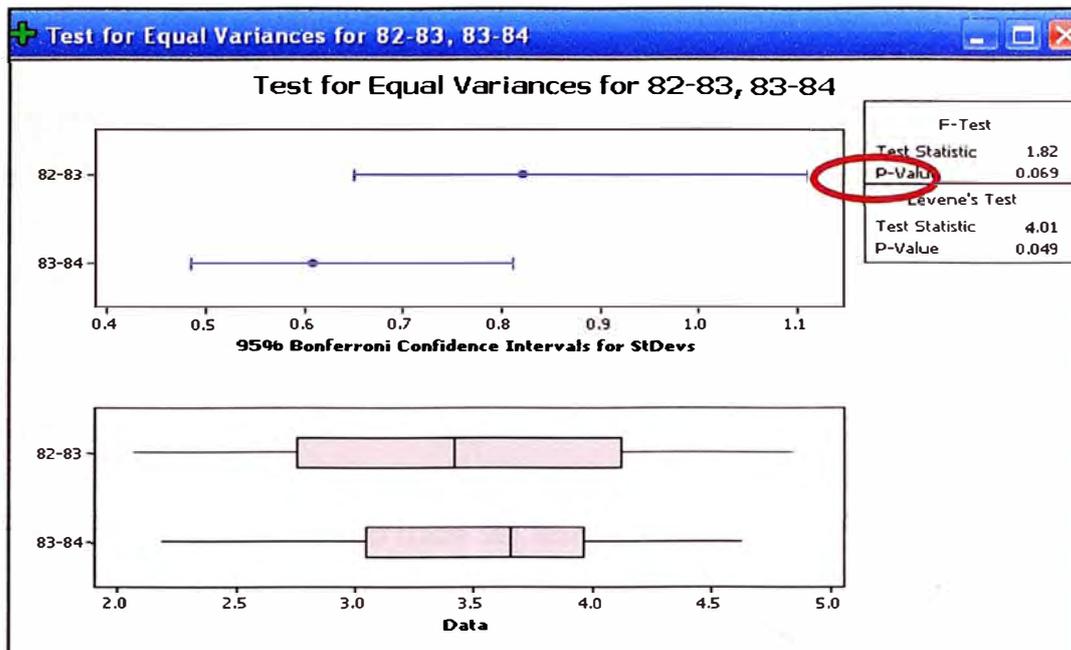
Fuente: Aplicación en el programa Minitab.

Fig. A.15 Prueba de hipótesis para tramos 74-75 y 75-76



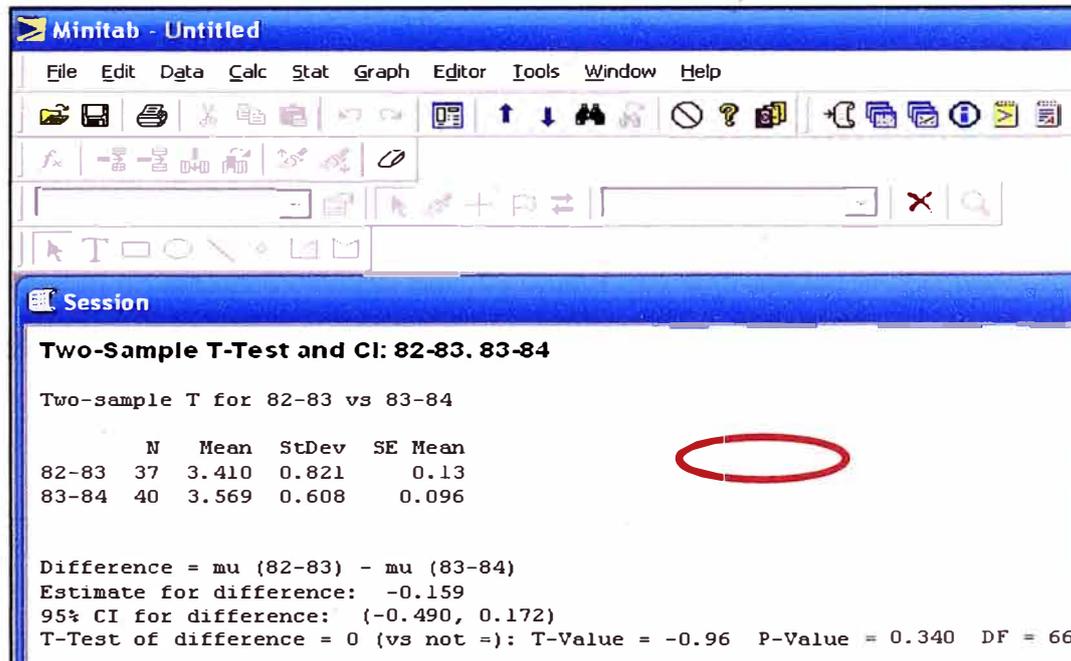
Fuente: Aplicación en el programa Minitab.

Fig. A.16 Homogeneidad de varianzas para tramos 82-83 y 83-84



Fuente: Aplicación en el programa Minitab.

Fig. A.17 Prueba de hipótesis para tramos 82-83 y 83-84



Fuente: Aplicación en el programa Minitab.

De la Fig. A.14 el P-valor es mayor a 0.05 por tanto se acepta la Hipótesis Nula con un nivel de significancia del 95%. Es decir, existe evidencia que las

varianzas de los tramos 74-75 y 75-76 deben ser considerados como homogéneos, esta consideración debe ser tomada para la prueba de hipótesis.

Ahora bien, de la Fig. A.15 para la prueba de hipótesis el P-valor es menor a 0.05 por tanto se rechaza la Hipótesis Nula con un nivel de significancia del 95%. Es decir, existe evidencia que los IRI de los tramos 74-75 y 75-76 deben ser clasificados de manera homogénea.

Del mismo modo de la Fig. A.16 el P-valor es menor a 0.05 por tanto se rechaza la Hipótesis Nula con un nivel de significancia del 95%. Es decir, existe evidencia que las varianzas de los tramos 82-83 y 83-84 deben ser considerados como diferentes, esta consideración debe ser tomada para su prueba de hipótesis.

Por tanto de la Fig. A.17 para la prueba de hipótesis el P-valor es mayor a 0.05 por tanto se acepta la Hipótesis Nula con un nivel de significancia del 95%. Es decir, existe evidencia que los IRI de los tramos 82-83 y 83-84 deben ser clasificados de manera homogénea.

El procedimiento descrito líneas arriba se lleva a cabo para todos los tramos existentes en la evaluación, tomados de dos en dos, para al final sacar las conclusiones de los resultados obtenidos de las pruebas estadísticas. Es notorio que dependiendo del caso ya sea si resultan las varianzas homogéneas o no, se configuran en las opciones del test T - student para proceder al agrupamiento de los mismos en el programa Minitab o similar.

Evolución de la rugosidad en el tramo en estudio.

De lo anterior, podemos obtener la evolución del IRI para el tramo en estudio, dado que contamos con la información de los años 2009 y 2010 para el mismo tramo, por tanto obtenemos el cuadro A.15.

Cuadro A.15 Evolución del IRI en el tramo en estudio para los años 2009 y 2010.

	IRI	IRI
	2009	2010
74-75	4.22	3.55
75-76	3.33	3.19
76-77	3.64	3.22
77-78	3.67	3.39
78-79	2.88	3.06
79-80	4.86	3.37
80-81	4.68	3.28
81-82	4.70	3.58
82-83	4.22	3.41
83-84	4.18	3.57
Prom	4.04	3.36

Fuente: Elaboración propia

Del test de normalidad aplicado se resumió lo referente a los intervalos de confianza con 95% de confiabilidad (Fig. A.1 a A.10) para el IRI representativo para cada kilómetro (Cuadro A.2).

Cuadro A.16 IRI 2010 con intervalos de confianza 95 % confiabilidad

	IRI	Intervalo de confianza	
	2010	95 % de confiabilidad	
74-75	3.55	3.39	3.71
75-76	3.19	3.02	3.36
76-77	3.22	3.12	3.32
77-78	3.39	3.25	3.54
78-79	3.06	2.91	3.21
79-80	3.37	3.15	3.59
80-81	3.28	3.01	3.55
81-82	3.58	3.49	3.67
82-83	3.41	3.14	3.68
83-84	3.57	3.37	3.76

Fuente: Elaboración propia

Según los IRIS obtenidos para el 2010, estos resultan menores a los obtenidos un año antes (2009) que evidentemente no era lo esperado ya que se supone que la carretera con el paso del tiempo tendería a deteriorarse por tanto a presentar un IRI mayor con el tiempo y no al contrario.

OBS:

Indagando al respecto se encontró que previo a la visita de campo realizada para la toma de datos en el tramo en estudio se había realizado un mantenimiento periódico lo cual justifica el hecho que el IRI haya resultado menor para este caso.

2.4. Homogenización de tramos.

Del contraste tramo por tramo evaluado en la parte de homogenización de tramos se obtiene el cuadro A.17 a manera resumen de los resultados obtenidos. Según **Subcapítulo 4.3.1 del manual** y utilizando el formato propuesto.

Cuadro A.17 Homogenización de tramos

Km vs Km	Homogenización de Tramos									
	74-75	75-76	76-77	77-78	78-79	79-80	80-81	81-82	82-83	83-84
74-75	No	No	Si	No	Si	Si	Si	Si	Si	Si
75-76	Si	Si	Si	No	Si	No	Si	No	Si	No
76-77	Si	Si	Si	Si	Si	Si	No	Si	No	Si
77-78	Si	Si	Si	No	Si	No	Si	No	Si	Si
78-79	Si	Si	Si	No	Si	No	No	No	No	No
79-80	Si	Si	Si	No	Si	No	Si	Si	Si	Si
80-81	Si	Si	Si	No	Si	No	Si	Si	Si	Si
81-82	Si	Si	Si	No	Si	No	Si	Si	Si	Si
82-83	Si	Si	Si	No	Si	No	Si	Si	Si	Si
83-84	Si	Si	Si	No	Si	No	Si	Si	Si	Si

Fuente: Elaboración propia.

Del cuadro A.17 por ejemplo si 74-75 con 77-78 es igual a Si, y Si 74-75 con 79-80 = si, y como 77-78 con 79-80 también es Si entonces agrupamos 74-75, 77-78 y 79-80 y así sucesivamente podemos obtener el agrupamiento final visto en el cuadro A.18, **Según Subcapítulo 4.3.1 del manual** y utilizando el formato propuesto.

Cuadro A.18 Agrupamiento de sub-tramos

GRUPOS	SUBTRAMOS A HOMOGENIZAR						IRI prom	Estado
	74-75	77-78	79-80	80-81	82-83	83-84		
I	74-75	77-78	79-80	80-81	82-83	83-84	3.43	Regular
II	75-76	76-77	78-79				3.16	Regular
III	81-82						3.28	Regular

Fuente: Elaboración propia.

Del cuadro A.18 vemos que el único tramo que no se ha podido agrupar con ninguno fue el correspondiente a los kilómetros del 81 al 82, esto se explica debido a que es el tramo con el que menos información se contaba, por tanto este se aproximaba menos al comportamiento como distribución normal.

Por otro lado vemos que en los tres grupos el estado resulta ser regular, lo cual se refleja con la realidad tomando en cuenta que al ser un tramo corto de 10 Km todas las condiciones tanto climáticas, estacionales, geográficas eran similares para todos los sub tramos, hecho tal que no necesariamente ocurre si se va a analizar una carretera completa la cual pasa por varias regiones naturales o si se analiza un tramo considerablemente más grande, lo cual sería lo más recomendable tratándose de carreteras, las cuales son de gran longitud.

3.0 LINEAMIENTOS PARA LA GENERACIÓN DE CURVAS DE DETERIORO Y POLÍTICAS DE MANTENIMIENTO

VALORES DE B.I. RECOLECTADOS EN TRAMO:

En esta parte se recolectara datos de rugosidad de varios tiempos, en el ejemplo se consiguió obtener los datos de los años 2009 y 2010 del tramo de la carretera usada para el ejemplo.

PROGRESIVA KM. 74+000 – KM. 84+000

Valores B.I. obtenidos con equipo Bump Integrator a 40 Km/h.

SUBTRAMO Km	SENTIDO DE MEDICION			
	IDA		RETORNO	
	1º	2ª	1º	2ª
74-75	2589	2601	2595	2693
75-76	2212	2239	2073	1978
76-77	2361	2539	2073	2198
77-78	2242	2348	2225	2424
78-79	1833	1807	1861	1989

SUBTRAMO Km	SENTIDO DE MEDICION			
	IDA		RETORNO	
	1º	2ª	1º	2ª
79-80	3276	3336	3470	3358
80-81	3115	2961	2964	2948
81-82	3162	3113	2790	3072
82-83	2157	--	1995	--
83-84	2035	--	1954	--

Cuadro A.19 Valores obtenidos de campo

La ecuación de correlación para el tramo:

Tramo Km 74+000 – Km 79+000 es $IRI=0.0018*BI-.491$

Tramo Km 79+000 – Km 84+000 es $IRI = 0.0005BI+3.1848$

SUBTRAMO Km	SENTIDO DE MEDICION				IRI promedio
	IDA		RETORNO		
	1º	2ª	1º	2ª	
74-75	4.17	4.19	4.18	4.36	4.22
75-76	3.49	3.54	3.24	3.07	3.33
76-77	3.76	4.08	3.24	3.47	3.64
77-78	3.54	3.74	3.51	3.87	3.67
78-79	2.81	2.76	2.86	3.09	2.88

SUBTRAMO Km	SENTIDO DE MEDICION				IRI
	IDA		RETORNO		promedio
	1º	2ª	1º	2ª	
79-80	4.8228	4.8528	4.9198	4.8638	4.86
80-81	4.7423	4.6653	4.6668	4.6588	4.68
81-82	4.7658	4.7413	4.5798	4.7208	4.70
82-83	4.2633		4.1823		4.22
83-84	4.2023		4.1618		4.18

Cuadro A.20 Datos de calibración

Datos de IRI		
Km	IRI	IRI
	2009	2010
74-75	4.22	3.49
75-76	3.33	3.31
76-77	3.64	3.17
77-78	3.67	3.60
78-79	2.88	3.50
79-80	4.86	3.56
80-81	4.68	3.52
81-82	4.70	3.49
82-83	4.22	3.56
83-84	4.18	3.17
Prom	4.04	3.44

Cuadro A.21 Cuadro resumen con valores de IRI del 2009 y 2010

DATOS DE IRI Y SU RELACIÓN CON EL PSI

El procedimiento inicial es relacionar los valores iniciales y finales de IRI con el PSI mediante la relación:

$$PSI = 5.85 - 1.68 (IRI)^{0.5}$$

Se obtiene el siguiente cuadro

IRI	TIEMPO	PSI
3	0	3.88
5	2	2.30
8	5	0.84

Cuadro A.22 Relación de IRI versus PSI

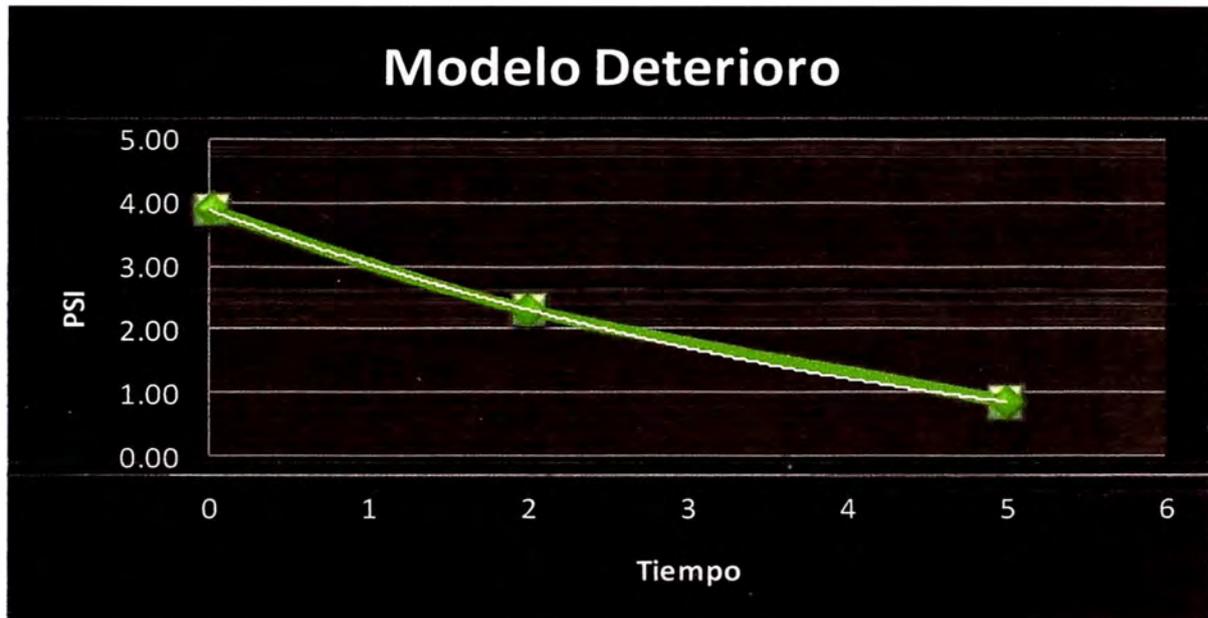


Figura A.18. Curva de deterioro según relación de IRI vs PSI

La figura A.22 no es de mucha ayuda para conocer cuándo se debe hacer el mantenimiento periódico y rutinario.

Se decide hacer uso del concepto de Índice de Estado del Pavimento (IEP), para lo cual se ha asumido el valor de IEP igual a 100 para un IRI igual a 3, también un IEP igual a 74.94 para un IRI igual a 5, del mismo modo tendremos un IEP igual a 24.94 para un IRI igual a 8.

IRI	TIEMPO	IEP
3	0	100.00
5	2	74.94
8	5	24.94

Cuadro A.23 Relación de IRI versus IEP

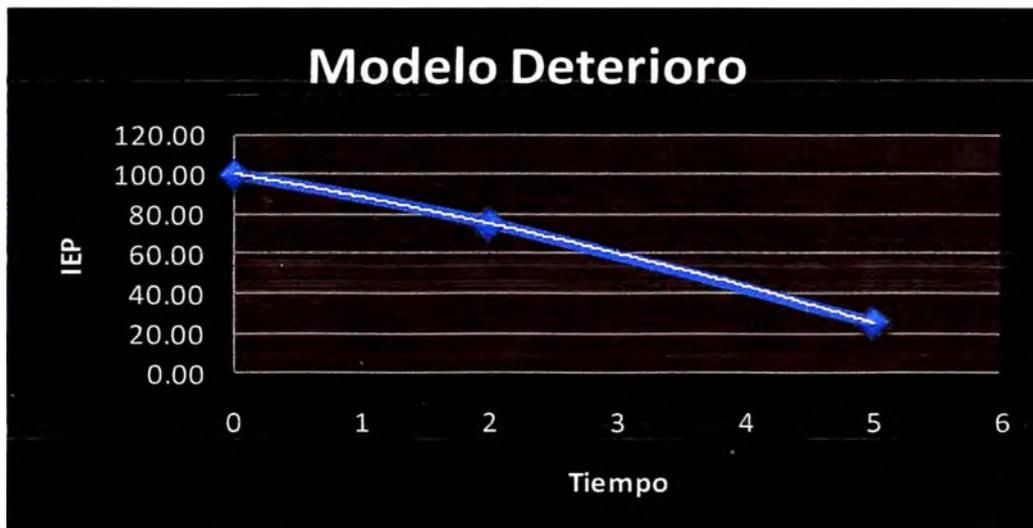


Figura A.19 Modelo de deterioro-Hipótesis

A partir del cuadro A.19 se tendrá la ecuación que relaciona el IEP con el Tiempo:

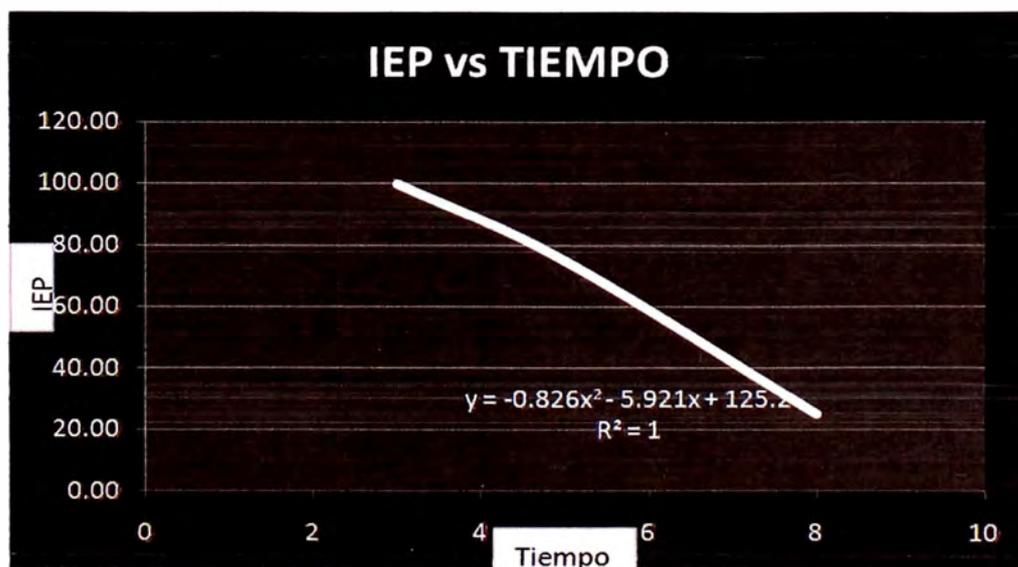


Figura A.20. Ecuación que relaciona el IEP vs PSI

Como se tiene la ecuación se conoce la relación que existe entre el IEP y el tiempo:

$$IEP = 0.826 * t^{25.912} * t \dots \dots \dots (1)$$

La intervención se desarrolla a 1.5 años de haber colocado el recubrimiento bituminoso y si reemplazamos para $t = 1.5$ en la ecuación (1) tendremos que el valor de EIP es igual a 81.84.

Para contrastar los valores tomados de campo se seguirá la siguiente secuencia
 Los datos de IRI inicial y final

IRI	TIEMPO	IEP Prac
3	1.5	100.00
3.44	1.8	95.06
8	5	43.13

Cuadro A.24 Relación de IRI de campo versus IEP

Como solo contamos con datos obtenidos en noviembre del 2010 acerca del IRI se procederá a validar la curva de deterioro.

Contrastando el estado de la carretera con el valor de IEP igual a 68.24.

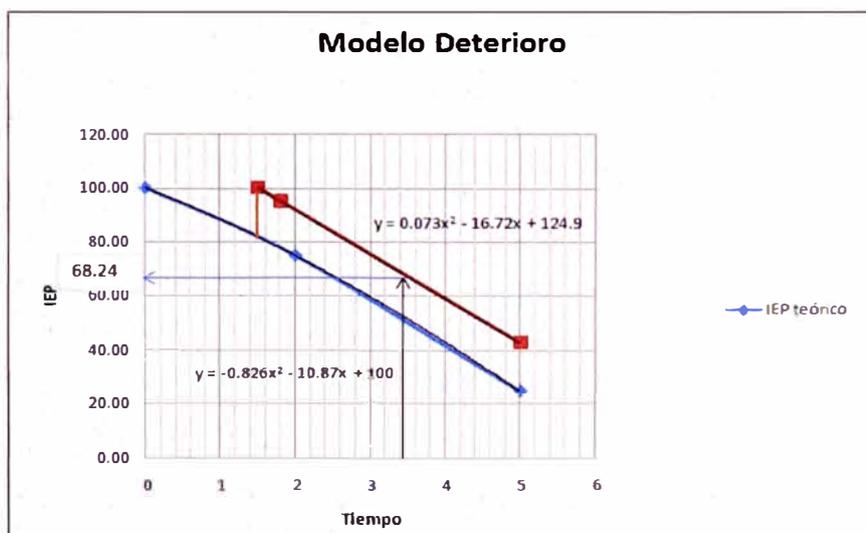


Figura A.21. Curva de deterioro

Por lo que llegamos a la conclusión según el cuadro 4.6 del **Subcapítulo 4.4.1.1 del manual**.

Cuadro A.25. Alternativas y procedimientos del SMP para varias condiciones

Rango IEP	Condiciones del Pavimento	Clasificación de Alternativas del SMP	Objetivo	Procedimientos
75-95	Muy Buenas	Rutina	Corregir Deficiencias Menores	Sellado de Agrietamientos menores, Sellado con capa final muy liquida, parchado menor
60-75	Buenas	Mantenimiento Preventivo	Restaurar Superficie, Aumentar Vida Útil	Sellado con Slurry, Sellado con Gravilla, Ruteado y Sellado de Agrietamientos. Parchado
50-60	Regulares	Acción Diferida	Sin Mejoramiento, Mantener Condiciones Actuales	Sellado y Parchado de agrietamientos para mantener la superficie
25-50	Malas	Rehabilitación	Mejoramiento Principal Superficie/Reposición	Capas Superpuestas, Rectificado
00-25	Muy Malas	Reconstrucción	Construir Nuevo Pavimento	Eliminación de Superficie, Nuevas Bases y Subbase

Fuente: elaboración propia

Según **Subcapítulo 4.4.1 del manual**, las acciones a tomar serán:

- **Mantenimiento Preventivo (IEP 60-75) Pavimento en Buen Estado**
Los tratamientos de mantenimiento se realizan para ampliar la vida útil del pavimento.

ANEXO B

HERRAMIENTAS ESTADÍSTICAS

Se hará uso de las Estadística y probabilidades como herramienta de procesamiento y discriminación de datos. A continuación algunos conceptos básicos.

1.0. TEORIA DE ERRORES:

En todo proceso de medición existen limitaciones dadas por los instrumentos usados, el método de medición, el observador (u observadores) que realizan la medición. Asimismo, el mismo proceso de medición introduce errores o incertezas. Tanto los instrumentos que usamos para medir como las magnitudes mismas son fuente de incertezas al momento de medir. Los instrumentos tienen una precisión finita, por lo que, para un dado instrumento, siempre existe una variación mínima de la magnitud que puede detectar. Esta mínima cantidad se denomina la apreciación nominal del instrumento. Por ejemplo, con una regla graduada en milímetros, no podemos detectar variaciones menores que una fracción del milímetro.

Existen varias formas de clasificar y expresar los errores de medición. Según su origen los errores pueden clasificarse del siguiente modo:

I. Errores introducidos por el instrumento:

- ✓ **Error de apreciación:** Si el instrumento está correctamente calibrado la incertidumbre que tendremos al realizar una medición estará asociada a la mínima división de su escala o a la mínima división que podemos resolver con algún método de medición. Nótese que no decimos que el error de apreciación es la mínima división del instrumento, sino la mínima división que es discernible por el observador. La mínima cantidad que puede medirse con un dado instrumento la denominamos apreciación nominal. El error de apreciación puede ser mayor o menor que la apreciación nominal, dependiendo de la habilidad (o falta de ella) del observador. Así, es posible

que un observador entrenado pueda apreciar con una regla común fracciones del milímetro mientras que otro observador, con la misma regla pero con dificultades de visión sólo pueda apreciar 2 mm.

- ✓ **Error de exactitud:** Representa el error absoluto con el que el instrumento en cuestión ha sido calibrado.
- ✓ **Error de interacción:** Esta incerteza proviene de la interacción del método de medición con el objeto a medir. Su determinación depende de la medición que se realiza y su valor se estima de un análisis cuidadoso del método usado.
- ✓ **Falta de definición en el objeto sujeto a medición:** Como se dijo antes, las magnitudes a medir no están definidas con infinita precisión.

Según su carácter los errores pueden clasificarse en sistemáticos y estadísticos.

a) Errores sistemáticos:

Se originan por las imperfecciones de los métodos de medición. Por ejemplo, pensemos en un reloj que atrasa o adelanta, o en una regla dilatada, el error de paralaje, etc. Los errores introducidos por estos instrumentos o métodos imperfectos afectarán nuestros resultados siempre en un mismo sentido. El valor de error de exactitud sería un ejemplo de error sistemático pero no son lo mismo, ni los errores de exactitud son los únicos responsables de los errores sistemáticos. Imaginemos por ejemplo el caso de una balanza bien calibrada que se usa para conocer el peso de las personas en los centros comerciales u otros negocios, como es usual que las personas (en público) se pesen vestidas, los valores registrados con estas balanzas tendrán un error sistemático por el peso de la vestimenta.

La única manera de detectarlos y corregirlos es comparar nuestras mediciones con otros métodos alternativos y realizar un análisis crítico y cuidadoso del procedimiento empleado. También es aconsejable intercalar en el proceso de

medición patrones confiables que permitan calibrar el instrumento durante la medición.

b) Errores estadísticos:

Son los que se producen al azar. En general son debidos a causas múltiples y fortuitas. Ocurren cuando, por ejemplo, nos equivocamos en contar el número de divisiones de una regla, o si estamos mal ubicados frente al fiel de una balanza. Estos errores pueden cometerse con igual probabilidad por defecto como por exceso. Por tanto, midiendo varias veces y promediando el resultado, es posible reducirlos considerablemente. Es a este tipo de errores a los que comúnmente hace referencia la teoría estadística de errores de medición que formularemos sucintamente en lo que sigue.

2.0. PRUEBA DE HIPÓTESIS.

A menudo, el problema al que se enfrenta el ingeniero no es tanto la estimación de un parámetro poblacional, sino más bien la formación de un procedimiento de decisión que se base en los datos que pueda producir una conclusión acerca de algún sistema científico. Probar una hipótesis implica tomar una decisión al comparar la muestra observada respecto de la conjetura para el parámetro poblacional, una prueba estadística consiste en verificar una hipótesis respecto a uno o más valores de los parámetros es decir, probar su validez indicando que grado de evidencia es necesario para no rechazar la conjetura.

Una hipótesis estadística es una aseveración o conjetura con respecto a una o más poblaciones. (Walpone Ronald, 1999).

En toda prueba estadística participan dos hipótesis o teorías, la hipótesis propuesta por el observador y una negación de esta hipótesis. La primera, se denomina hipótesis alternativa o hipótesis de investigación, denotada por H_a y la segunda, se denomina hipótesis nula y denota por H_0 ; el propósito del test de hipótesis es demostrar el fundamento de la hipótesis alternativa, si tal fundamento se justifica o decidir si los datos tienden a refutar la hipótesis nula.

2.1. Intervalos de Confianza.

En el contexto de estimar un parámetro poblacional, un intervalo de confianza es un rango de valores (calculado en una muestra) en el cual se encuentra el verdadero valor del parámetro, con una probabilidad determinada.

La probabilidad de que el verdadero valor del parámetro se encuentre en el intervalo construido se denomina nivel de confianza, y se denota $1 - \alpha$. La probabilidad de equivocarnos se llama nivel de significancia y se simboliza α . Generalmente se construyen intervalos con confianza $1 - \alpha = 95\%$ (o significancia $\alpha = 5\%$). Menos frecuentes son los intervalos con $\alpha = 10\%$ o $\alpha = 1\%$.

Para construir un intervalo de confianza, se puede comprobar que la distribución Normal Estándar cumple 1:

$$P(-1.96 < z < 1.96) = 0.95$$

Luego, si una variable X tiene distribución $N(\mu, \sigma^2)$, entonces el 95% de las veces se cumple:

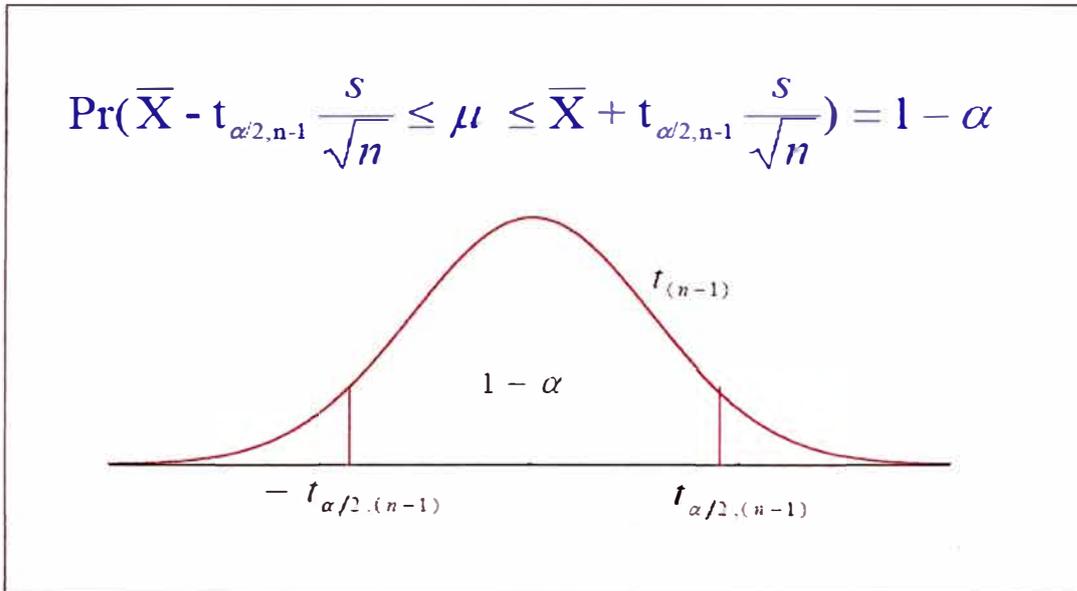
$$-1.96 \leq \frac{X - \mu}{\sigma} \sqrt{n} \leq 1.96$$

Despejando μ en la ecuación se tiene:

$$X - 1.96 \times \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \leq \mu \leq X + 1.96 \times \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

El resultado es un intervalo que incluye al μ el 95% de las veces. Es decir, es un intervalo de confianza al 95% para la media μ cuando la variable X es normal y σ^2 es conocido.

Figura B.1 Modelo de una Distribución Normal.



Fuente: Internet

2.2. Homogeneidad de varianzas.

En algunos casos, para comparar medias de dos poblaciones, se debe verificar que las varianzas poblacionales son iguales.

Fig. B.2 Homogeneidad de varianzas

<p>Hipótesis</p> <p>$H_0 : \sigma_1^2 = \sigma_2^2$</p> <p>$H_A : \sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$</p> <p>$H_A : \sigma_1^2 > \sigma_2^2$</p> <p>$H_A : \sigma_1^2 < \sigma_2^2$</p>	<p>Estadístico de prueba de H_0</p> $F_0 = \frac{S_1^2}{S_2^2}$
--	---

Fuente: Navarro Luis, clases de estadística Curso de titulación (2010).

2.3. Lineamientos para hacer un test de hipótesis.

Si se pone a prueba una hipótesis sobre el valor de un parámetro θ , la declaración de igualdad siempre se incluye en H_0 . Lo que se detecte o sustente es la hipótesis alternativa.

La hipótesis de investigación es H_a , de modo que se espera que los datos lleven a rechazar H_0 y en consecuencia aceptar H_a .

Los elementos esenciales de un test de hipótesis son:

- ✓ La hipótesis nula H_0 .
- ✓ La hipótesis alternativa H_a .
- ✓ El estadístico de la prueba de H_0 .
- ✓ La región de rechazo de H_0 .

Fig. B.3 Lineamientos para test de hipótesis.

Planteamiento de hipótesis	
Hipótesis nulas	
$H_0 : \theta = \theta_0$ (conocido)	$H_0 : \theta_1 = \theta_2$
Hipótesis alternativas	
$H_a : \theta \neq \theta_0$ (bilateral)	$H_a : \theta_1 \neq \theta_2$ (bilateral)
$H_a : \theta > \theta_0$ (unilateral)	$H_a : \theta_1 > \theta_2$ (unilateral)
$H_a : \theta < \theta_0$ (unilateral)	$H_a : \theta_1 < \theta_2$ (unilateral)
Comparar con un estándar	Comparar dos poblaciones

Fuente: Navarro Luis, clases de estadística Curso de titulación (2010).

2.4. Test de hipótesis sobre la hipótesis sobre la diferencia de dos medias poblacionales $\mu_1 - \mu_2$.

Para esto se realizan los siguientes supuestos:

- ✓ Muestras aleatorias independientes
- ✓ Comportamiento aproximadamente como distribución normal: Un test de normalidad es un método estadístico para determinar si la distribución de una muestra tiene las características de una distribución normal.
- ✓ Varianzas iguales (homogeneidad de varianzas).

Fig. B.4 Test de hipótesis sobre la diferencia de dos medias.

Hipótesis	
$H_0 : \mu_1 = \mu_2$	$H_0 : \mu_1 - \mu_2 = 0$
$H_A : \mu_1 \neq \mu_2$	$H_A : \mu_1 \neq \mu_2$
$H_{A_1} : \mu_1 > \mu_2$	$H_{A_1} : \mu_1 - \mu_2 > 0$
$H_{A_2} : \mu_1 < \mu_2$	$H_{A_2} : \mu_1 - \mu_2 < 0$

Estadístico de prueba de H_0
x_1, x_2, \dots, x_n m. a. s. de $N(\mu_1, \sigma^2)$
y_1, y_2, \dots, y_m m. a. s. de $N(\mu_2, \sigma^2)$
Independientes
$t_0 = \frac{\bar{X} - \bar{Y}}{\sqrt{\frac{(n-1)S_x^2 + (m-1)S_y^2}{(n+m-2)} \left(\frac{1}{n} + \frac{1}{m} \right)}}$

Fuente: Navarro Luis, clases de estadística Curso de titulación (2010).

Se prueba la hipótesis nula contra la hipótesis alternativa, Anderson Darling propone un método para probar la hipótesis H_0 .

Una medida cuantitativa para la calidad del ajuste de los datos a la distribución normal la proporciona un valor probabilístico p (p-valor del inglés p-value). Si P - valor es menor que 0.05 se rechaza la hipótesis nula.

ANEXO C

ARCHIVO FOTOGRAFICO



Fig. C.1 Hito de inicio de Tramo



Fig. C.2 La presencia de curvas interfiere con la medición de la rugosidad, sea cual fuere el equipo empleado

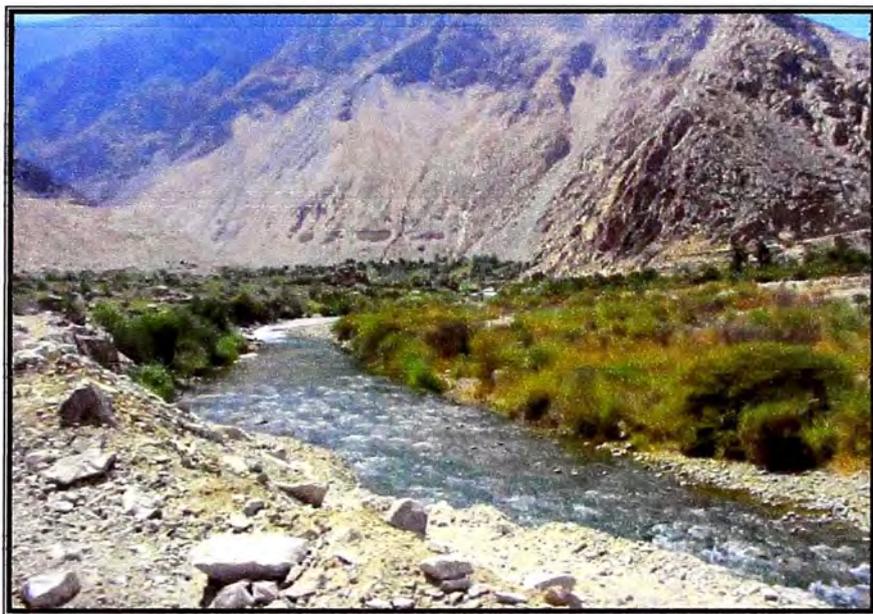


Fig. C.3 Vista del Rio Cañete



Fig. C.4 Deben seleccionarse tramos rectos para la medición de la rugosidad

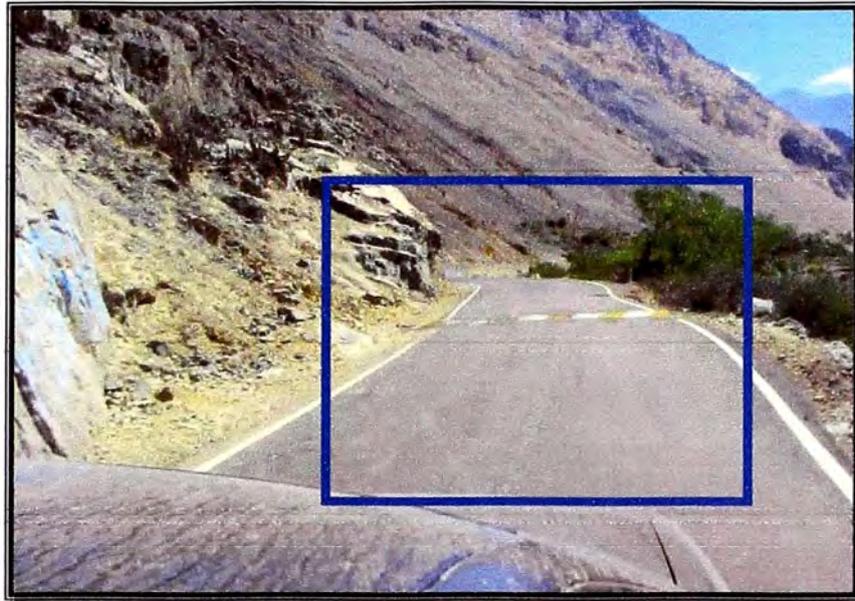


Fig. C.5 Presencia de Gibas en partes de las Vías, dificultan la medición.

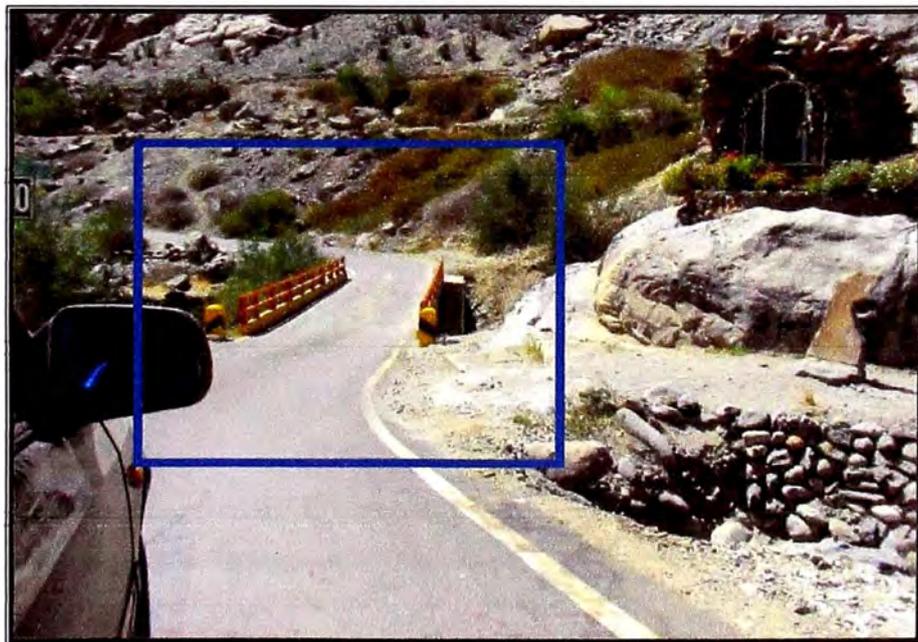


Fig. C.6 Presencia de Puentes en el Circuito exime al tramo para la evaluación de la rugosidad porque es de material diferente al resto de la carretera

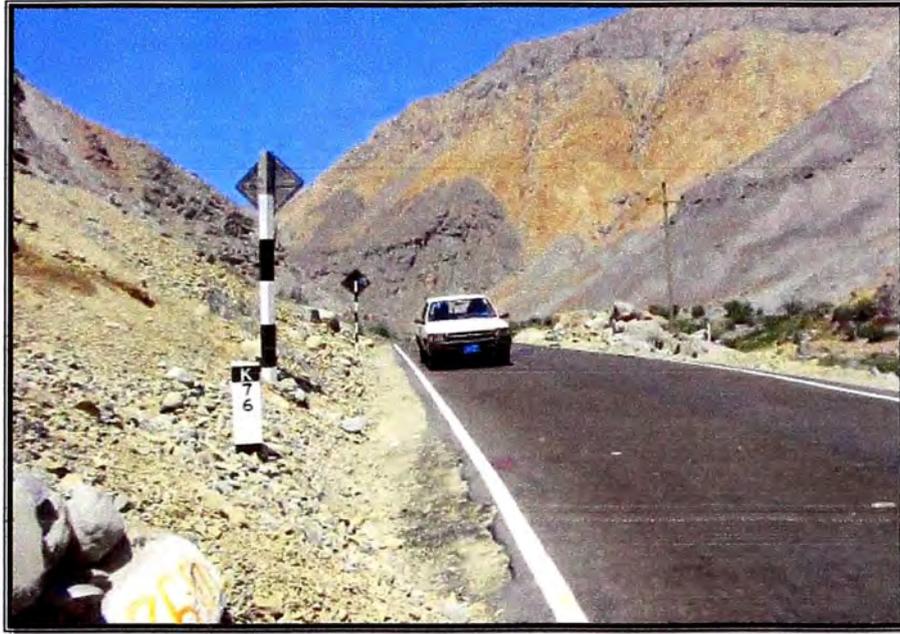


Fig. C.7 Medición a la altura del Km 76.00



Fig. C.8 Tramo recto seleccionado para la medición

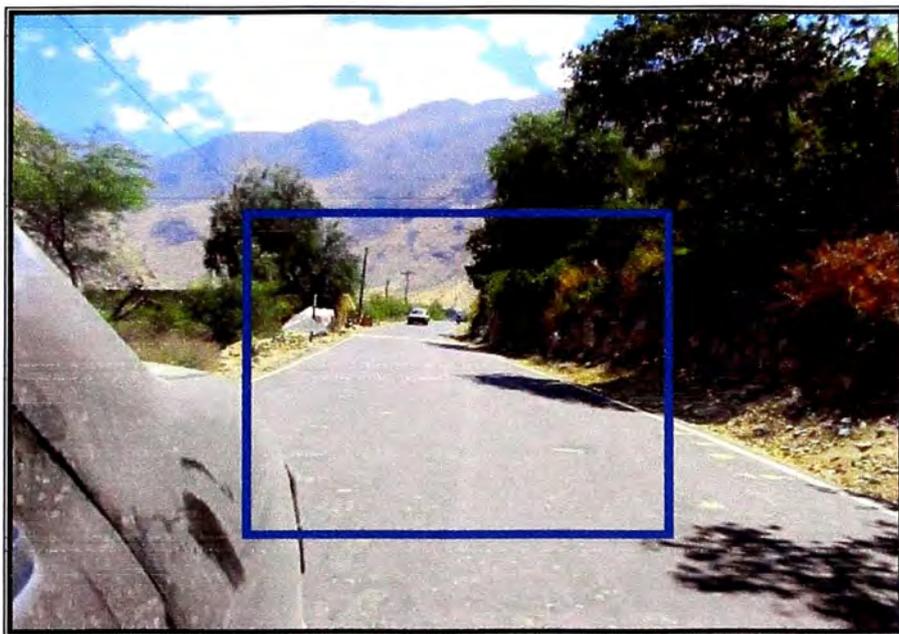


Fig. C.9 En el caso de gibas obliga a que se suspenda el proceso de medición de la rugosidad, ya que el equipo Bump Integrator obtiene valores de rugosidad altos por la diferencia de nivel existente en el tramo de la giba.



Fig. C.10 Sector recto analizado, óptimo para una buena recolección de datos

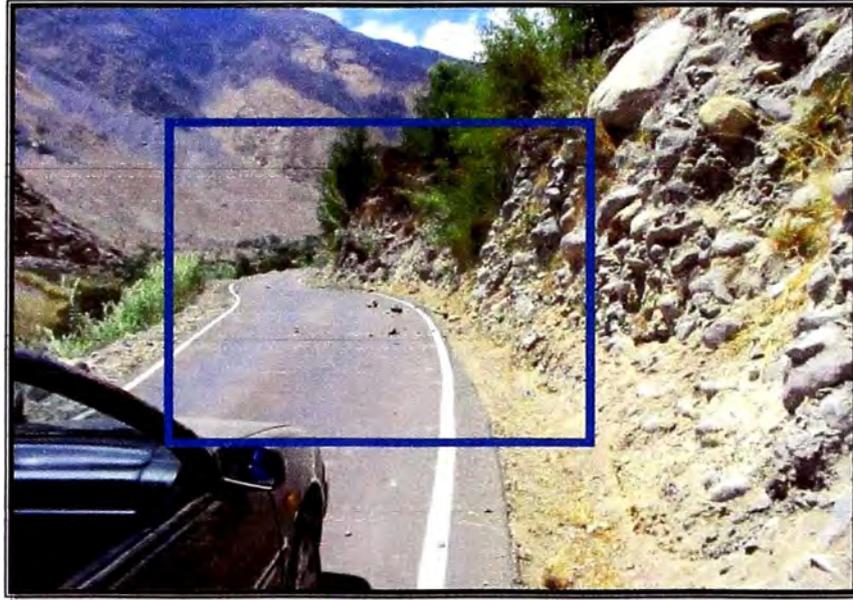


Fig. C.11 Desprendimiento de material de los cerros, por lo cual obliga a reducir la velocidad del vehículo por lo que el tramo no es considerado en la evaluación.



Fig. C.12 Llegada a la Zona de Catahuasi