

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



**EVALUACIÓN DE LA RUGOSIDAD CON EQUIPO BUMP
INTEGRATOR
CARRETERA CAÑETE-CHUPACA
MODELO DEL DETERIORO Y CONTRASTACIÓN EN CAMPO**

INFORME DE SUFICIENCIA

Para optar el Título Profesional de:

INGENIERO CIVIL

HUBER YANCE HUACHACA

Lima- Perú

2011

El presente trabajo va dedicado a mis padres,
que son el motor que me permite seguir
creciendo, a mis hermanos por su
apoyo y comprensión.

ÍNDICE

RESUMEN	03
LISTA DE CUADROS Y TABLAS	04
LISTA DE GRÁFICAS O FIGURAS	05
LISTA DE SÍMBOLOS Y DE SIGLAS	06
INTRODUCCIÓN	07
CAPÍTULO I: 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
1.4. TRAMO EVALUADO KM. 74+000 – KM. 84+000.	12
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	15
2.1. RUGOSIDAD.	15
2.1.1 Métodos para medir la rugosidad	15
2.2. EL ÍNDICE INTERNACIONAL DE RUGOSIDAD IRI.	16
2.3. NIVEL DE SERVICIABILIDAD (PSI)	29
2.3.1 Niveles de servicio	31
2.4 MÉTODO DE EVALUACIÓN DE LA RUGOSIDAD CON EQUIPO BUMP INTEGRATOR	33
2.4.1 Descripción del equipo Bump integrator	33
2.4.2 Instalación del Bump Integrator	35
2.4.3 Calibración del equipo Bump Integrator	36
CAPÍTULO III: MODELO DE DETERIORO	38
3.1. INTRODUCCIÓN	38
3.2. DETERIORO SUPERFICIAL Y ESTRUCTURAL	40
3.3. CURVA DE DETERIORO	43
3.3.1 Sistema de manejo del pavimento (SMP)	44

3.3.2 Deterioro e índice del estado del pavimento (IEP)	44
3.3.3 Actividades de los SMP para pavimentos en diferentes condiciones.	45
3.3.4 Aplicación de la curva de deterioro en tramo Km. 74+000 al Km. 84+000.	46
CONCLUSIONES	55
RECOMENDACIONES	56
BIBLIOGRAFÍA	57
ANEXOS	58

RESUMEN

En el presente informe se desarrolla el tema de la evaluación de la rugosidad con el equipo bump Integrator en la carretera Cañete – Chupaca, modelo de deterioro en el Tramo Km. 74+000 - Km. 84+000". Dicha carretera se encuentra ubicada en el departamento de Lima, en las provincias de Cañete y Yauyos.

La determinación de las condiciones superficiales para pavimentos de bajo volumen de tránsito con tratamiento superficial recién se viene implementando en el tema de políticas de mantenimiento de una vía; es así que existe poca información relacionado a la evaluación de pavimentos con las características antes mencionado. Además a la fecha no se conoce los valores de IRI para pavimentos con las características antes mencionado.

La única información válida para conocer el estado del pavimento, es a través de los resultados del índice de rugosidad obtenidos con el equipo bump integrator, permitiendo que cada intervalo de índice de rugosidad tenga una determinada condición superficial, a la que se ha denominado índice de estado del pavimento.

Se presenta la propuesta de valores de IRI para pavimentos de bajo volumen de tránsito con tratamiento superficial.

Se presenta un modelo de degradación alcanzada en la estructura del pavimento de acuerdo al tiempo de servicio.

LISTA DE CUADROS Y TABLAS

Cuadro 2.1	Estado vial, según la rugosidad	17
Cuadro 2.2	Clasificación del estado de la superficie de rodadura	18
Cuadro 2.3	Consideraciones de vía inaceptable	29
Cuadro 2.4	Relación de PSI - IRI	30
Cuadro 3.1	Valores de IRI respecto a tipo de vías	47
Cuadro 3.2	Valores de IRI para pavimento con tratamiento superficial	48
Cuadro 3.3	Valores obtenidos de campo	50
Cuadro 3.4	Datos de calibración	50
Cuadro 3.5	Cuadro resumen con valores de IRI del 2009 y 2010	51
Cuadro 3.6	Relación de IRI versus PSI	51
Cuadro 3.7	Relación de IRI versus IEP	52
Cuadro 3.8	Relación de IRI de campo versus IEP.	53
Tabla 2.1	Variación en el valor del IRI según la longitud de evaluación	28
Tabla 3.1	Alternativas y procedimiento del SMP para varias condiciones	45

LISTA DE GRÁFICAS O FIGURAS

Figura 1.1	Localización del tramo en estudio	10
Figura 1.2	Detalle de poblaciones que une la carretera	11
Figura 2.1	Evolución del IRI	19
Figura 2.2	Modelo de cuarto coche	20
Figura 2.3	Escala para cuantificación del IRI	22
Figura 2.4	Nivel y mira topográfica	22
Figura 2.5	Equipo MERLÍN	23
Figura 2.6	Perfilógrafo California	23
Figura 2.7	Componentes de equipos de respuesta	24
Figura 2.8	Componentes de equipos de referencia inercial	25
Figura 2.9	Variaciones perfiles longitudinales utilizando diferentes equipos	26
Figura 2.10	Los mismos perfiles de la figura anterior después del filtrado	27
Gráfico 2.1	Escala de valores del IRI	32
Gráfico 2.2	Sensor y contador del equipo bump integrator	32
Figura 3.1	Gráfica típica del avance del deterioro de un camino vs tiempo	39
Figura 3.2	Distribución de cargas en pavimentos rígidos	41
Figura 3.3	Distribución de cargas en pavimentos flexibles	41
Figura 3.4	Curva de deterioro del pavimento	29
Figura 3.5	Escala estándar empleada por el BM para cuantificar IRI	47
Figura 3.6	Valores de IRI según estado del pavimento	48
Figura 3.7	Valores de IRI según su estado para pavimento con tratamiento	49
Figura 3.8	Curva de deterioro según relación de IRI vs PSI	52
Figura 3.9	Modelo de deterioro-hipótesis	53
Figura 3.10	Curva IEP vs tiempo	53
Figura 3.11	Curva de deterioro	54

LISTA DE SÍMBOLOS Y DE SIGLAS

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

INTRODUCCIÓN

El presente Informe de Suficiencia se refiere a la medición de la rugosidad del Pavimento en la Carretera Cañete-Chupaca del Sector Km. 74+000 al Km. 84+000 con Equipo Bump Integrator. Con los resultados de índice de rugosidad obtenidos de la medición se construirá una curva típica de deterioro de pavimentos de bajo volumen de tránsito, que servirá como indicador para realizar las intervenciones pertinentes al pavimento antes que llegue a su deterioro crítico.

El informe consta de 3 capítulos, los cuales son los siguientes:

Capítulo I: Enfoca un resumen de los antecedentes de la Carretera Cañete – Chupaca, ubicación y características generales para concluir con un resumen más detallado del tramo que se ha escogido para la evaluación.

Capítulo II: Detalla los fundamentos y conceptos necesarios que son el sustento del porque se ha realizado las mediciones de la rugosidad, iniciando con una mirada general de los conceptos básicos de rugosidad y a que se refiere el índice internacional de rugosidad IRI, del mismo modo se detalla los fundamentos del nivel de serviciabilidad (PSI) que está ligado al confort del conductor.

Capítulo III: En este capítulo, se desarrolla los fundamentos para obtener la curva de deterioro de un pavimento de bajo volumen de tránsito con tratamiento superficial Slurry Seal, para la obtención de la curva de deterioro se subdivide en 3 etapas: Primera Etapa el detalle de la recopilación de los datos de campo, segunda etapa la calibración del equipo y finalmente la tercera etapa el procesamiento de los datos para la obtención de la curva de deterioro.

CAPÍTULO I: GENERALIDADES

1.1. ANTECEDENTES

1.1.1. Objetivo del Proyecto

Objetivo General.

Mediante los datos históricos de rugosidad obtenidos de la evaluación superficial con el equipo Bump Integrator, determinar la curva de deterioro del pavimento del tramo de la carretera Cañete – Chupaca y con ella conocer los inicios del mantenimiento rutinario y periódico de este tipo de carreteras de bajo volumen de tránsito.

Objetivos Específicos.

1. Determinar la relación entre los parámetros estadísticos y la degradación alcanzada en la estructura del pavimento de acuerdo al tiempo de servicio.
2. Asignar valores del índice de serviciabilidad presente (PSI) al tramo a evaluar.

1.1.2. Estado del Arte de la Carretera.

La carretera Cañete – 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 avanzan con los trabajos en la zona de la Costa desde Cañete hasta Yauyos, siendo inaugurada por el presi-

dente 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 Ushco. 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 próximos 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 Preinversión 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.

Proyecto Perú 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, no se deben realizar cambios en la geometría ni trazo de la vía existente.

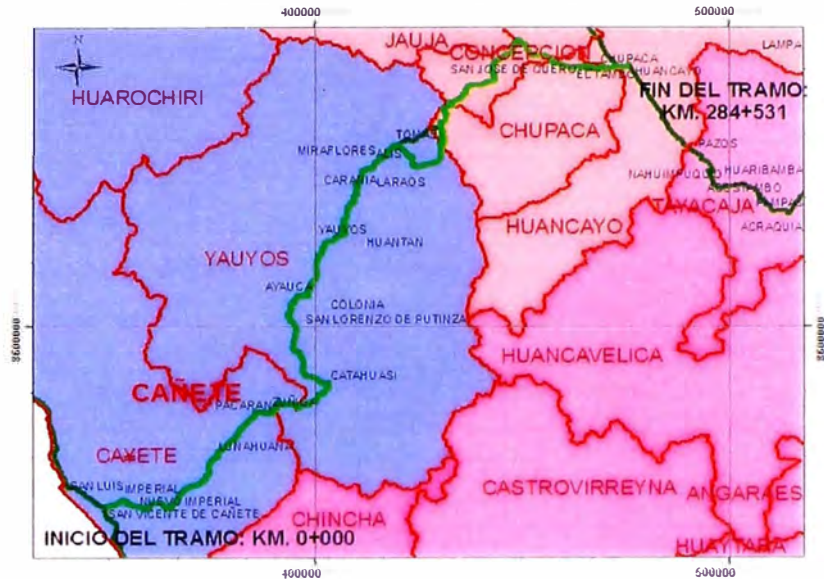
Con fecha 01 de febrero del 2008 se inicia el servicio. Como punto de partida se prepara un Inventario Vial, el cual se ha realizado con el objetivo de tener un registro de todas las estructuras y obras (Infraestructura Vial), condiciones estructurales y condiciones funcionales actuales, identificación de sectores críticos y las necesidades de la vía como fase Pre-operativa, ejecutado durante los meses de abril, mayo y junio de 2008.

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

1.2. UBICACIÓN

Está ubicada al sureste del departamento de Lima, entre los 165 y 4751 m.s.n.m. de altitud, conecta las regiones de Lima y Junín.

FIGURA 1.1.
LOCALIZACIÓN DEL TRAMO EN ESTUDIO.



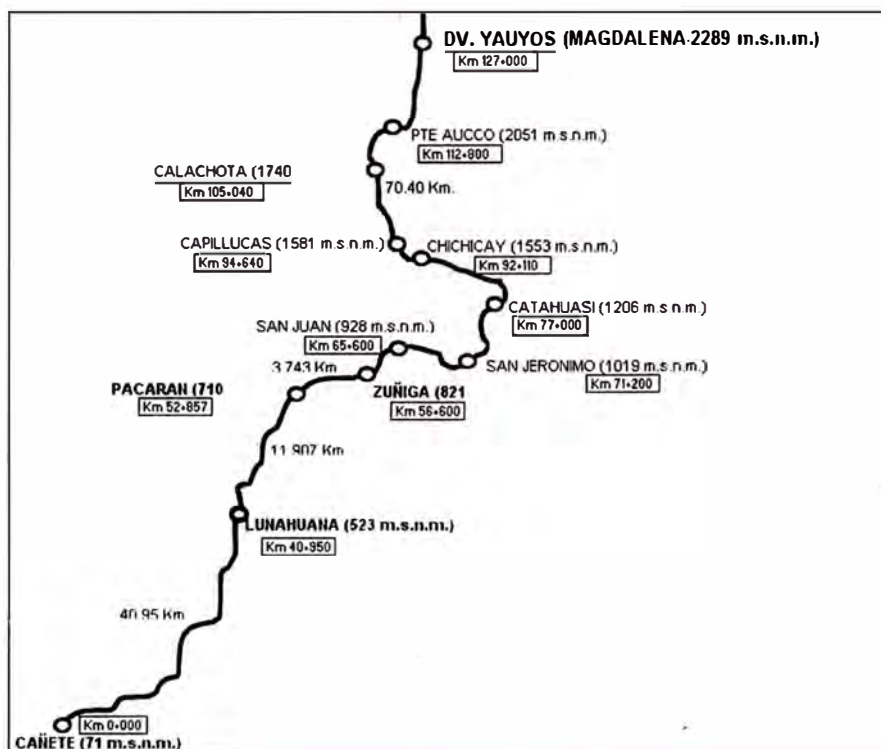
Fuente: De Zavala Robles, Magnolia Informe de Suficiencia *AMPLIACION Y MEJORAMIENTO DE LA CARRETERA CAÑETE-YAUYOS HUANCAYO DEL Km. 166+800 AL Km. 167+100 CONSERVACION, SEÑALIZACION Y SEGURIDAD VIAL*

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.
- Número de Carriles Variables y a su vez también los anchos (3.2 – 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

1.4. 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.

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 varia 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 boloneras 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 tn 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)

Modulo Resiliente Mr = 13.201psi.

Coefficiente de Drenaje CD = 1.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

3..1. RUGOSIDAD.

No hay una definición sencilla y estándar de la rugosidad pero se utilizará la que menciona la American Society of Testing and Materials (ASTM): E867 que dice: "Es la desviación de la superficie del pavimento respecto de una superficie plana verdadera con las dimensiones características que afectan la dinámica del vehículo y calidad de recorrido".

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.

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. En este informe se menciona a la Microtextura y Macrotextura, las cuales se define:

- 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.

2.1.1 Métodos para medir la rugosidad

El Banco Mundial agrupó en cuatro clases genéricas los diversos métodos que se emplea para medir la rugosidad, y estas son:

Métodos Clase 1.- Involucran el uso de perfilómetros de precisión. Se realizan medidas muy exactas del perfil longitudinal a distancias no mayores a 25 cm., a esta clase pertenecen los métodos basados en la medición del perfil del pavimento con el perfilómetro TRRL Beam con mira y nivel de precisión (Rod and Level).

Métodos Clase 2.- Comprende el uso de perfilómetros de alta velocidad. Se basan también en la medición del perfil longitudinal pero son menos precisos que los indicados en la clase 1. Entre los perfilómetros de alta velocidad se tienen: El APL Trailer y GMRtype Inertial Profilometer.

Métodos Clase 3.- Estos métodos involucran ecuaciones de correlación para convertir data de campo a las unidades internacionales de medición de rugosidad. Usualmente emplean rugosímetros dinámicos. La precisión depende de la calibración. Se emplean diversos tipos de equipos tipo respuesta, tales como: El Mays Meter (Norteamericano), Bump Integrator (Inglés), NAASRA Meter (Australiano), etc., todos ellos producidos comercialmente.

Métodos Clase 4.- Se basa en una evaluación subjetiva en la cual el IRI se estima con una inspección visual. Otra posibilidad es utilizar las medidas obtenidas con un equipo sin calibrar, tal como un RTRRMS. De hecho un equipo tipo respuesta que no está calibrado cae dentro la categoría de Clase 4.

2.2 EL ÍNDICE INTERNACIONAL DE RUGOSIDAD IRI

Es una medida estándar de la regularidad superficial de un camino, desarrollada por el Banco Mundial en 1986. El IRI está basado en la simulación de la respuesta de un sistema de cuarto de carro a una velocidad normalizada de 80 km/h. Está relacionado con el confort del usuario al transitar en el pavimento:

- Seguridad al manejar.
- Costos de operación del vehículo.

La escala que cuantifica el grado de confort de los pavimentos, depende de la superficie de rodadura:

- Vías pavimentadas, Escala de 0 – 12.
- Vías no pavimentadas, Escala de 0 – 20.

El IRI mide la influencia del perfil longitudinal en la calidad de rodadura, expresada por la respuesta dinámica de un vehículo en movimiento. Se determina mediante la acumulación de desplazamientos verticales, en un perfil longitudinal, dividido entre la distancia recorrida. Se expresa en mm/m, m/km ó in/mi.

Puede relacionarse a la longitud total de la vía o a tramos definidos dentro del mismo. De acuerdo a AASHTO PP37-99, Standar Practice for Determining Roughness of Pavements, se debe determinar a cada 100m.

Variación del Índice de Regularidad en el tiempo

El valor de IRI no es constante, su valor tiende a incrementarse en el tiempo por el deterioro del pavimento.

La tasa de incremento dependerá de:

- Valor inicial de IRI.
- Volumen y tipo de tráfico.
- Calidad de la superficie de rodadura.
- Mantenimiento de la vía.

Al respecto, es de mencionar que en algunos países se utiliza el Índice de Rugosidad Internacional IRI para definir cuando se deben implementar la intervención de mantenimiento periódico. Para el Perú se han fijado los valores de IRI que se muestran en el Cuadro siguiente:

CUADRO 2.1
ESTADO VIAL, SEGÚN LA RUGOSIDAD

ESTADO	PAVIMENTADA RUGOSIDAD	NO PAVIMENTADA RUGOSIDAD
BUENO	$0 < IRI \leq 2.8$	$IRI \leq 6$
REGULAR	$2.8 < IRI \leq 4.0$	$6 < IRI \leq 8$
MALO	$4.0 < IRI \leq 5.0$	$8 < IRI \leq 10$
MUY MALO	$5.0 < IRI$	$10 \leq IRI$

FUENTE: MTC. PROVIAS NACIONAL. LIMA, NOVIEMBRE DE 2005

Para la Red Vial Departamental No Pavimentada se ha establecido la clasificación del Estado de la Superficie de Rodadura en función de ciertos criterios sobre los elementos y condiciones del camino y un cierto valor referencial del IRI, los cuales se presentan en el siguiente cuadro:

CUADRO 2.2
CLASIFICACIÓN DEL ESTADO DE LA SUPERFICIE DE RODADURA

ESTADO DEL CAMINO		SUPERFICIE DE RODADURA IRI	CRITERIOS Y CONDICIONES DEL CAMINO
Muy mal estado	MM	> 18	<ul style="list-style-type: none"> * La superficie de rodadura presenta elevado deterioro, grandes deformaciones, hundimientos y baches. * De circulación muy restringida durante la mayor parte del año. * Obras de arte insuficientes y obras de drenaje insuficientes y colmatadas. * La velocidad de circulación es menor a 10 Km/Hr en tramos rectos.
Mal estado	MM	14 - 18	<ul style="list-style-type: none"> * La superficie de rodadura presenta deterioro, ciertas deformaciones apreciables, hundimientos y baches. * De circulación muy restringida durante ciertos periodos del año. * Obras de arte insuficientes y obras de drenaje insuficientes y colmatadas. * La velocidad de circulación es menor a 20 Km/Hr en tramos rectos.
Regular estado	R	10 - 14	<ul style="list-style-type: none"> * La superficie de rodadura presenta elevado deterioro superficial y presencia de baches y hundimientos puntuales. * De circulación sin restricciones durante el año. * Obras de arte con daños menores y obras de drenaje parcialmente colmatadas. * La velocidad de circulación es aproximadamente entre 20 y 40 Km/Hr en tramos rectos
Buen estado	B	6 - 10	<ul style="list-style-type: none"> * La superficie de rodadura no presenta deterioro apreciable. * De circulación sin restringida durante el año. * Obras de arte en buen estado y obras de drenaje limpias. * La velocidad de circulación es aproximadamente entre 40 y 60 Km/Hr en tramos rectos.
Muy buen estado	MB	4 - 6	<ul style="list-style-type: none"> * La superficie de rodadura sin defectos y con excelente regularidad superficial. * De circulación sin restringida durante el año. * todas las obras de arte y drenaje en muy estado y limpias. * La velocidad de circulación puede llegar, a ser mayor a 60 Km/Hr en tramos rectos.

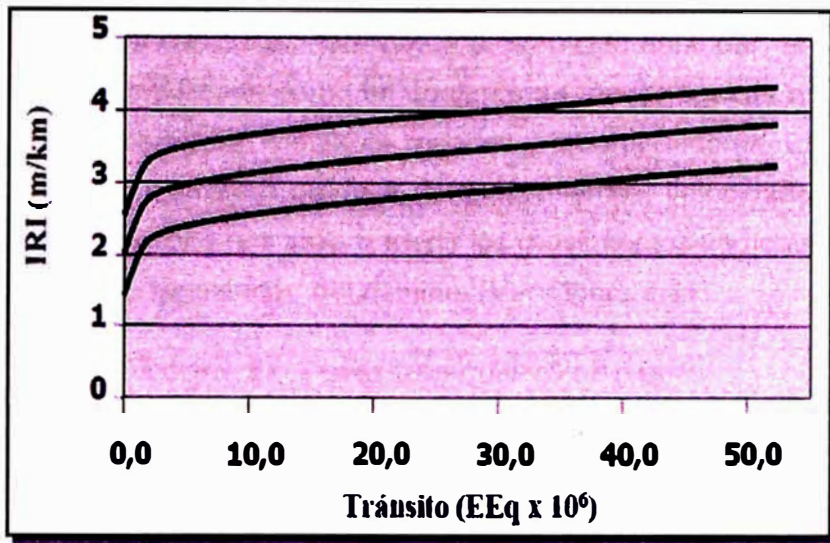
Nota: La velocidad de circulación se entiende como la velocidad que puede alcanzar un vehículo ligero (auto o camioneta) circulando en forma confortable.

La pertinencia de los valores anteriores para las condiciones de las redes viales en cuanto al tránsito y al territorio - Costa, Sierra, Selva – debe ser motivo de investigación rigurosa.

El Índice Internacional de Rugosidad IRI es una medida de referencia para la regularidad superficial de la carretera en cuanto a deformaciones. El IRI mide la influencia del perfil longitudinal en la calidad de rodadura, expresada por la respuesta dinámica de un vehículo en movimiento. El IRI se cuantifica en metros por kilómetro, que es la media de los desplazamientos verticales por unidad de distancia.

El gráfico 2.1 muestra la evolución del IRI conforme el tránsito aumenta, es decir a mayor número de ejes equivalentes el valor del IRI irá aumentando paulatinamente

GRÁFICO 2.1
EVOLUCIÓN DEL IRI



FUENTE: DISEÑO AVANZADO DE PAVIMENTOS, ING. RAFAEL MENENDEZ

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 a un desarrollo sistemático.

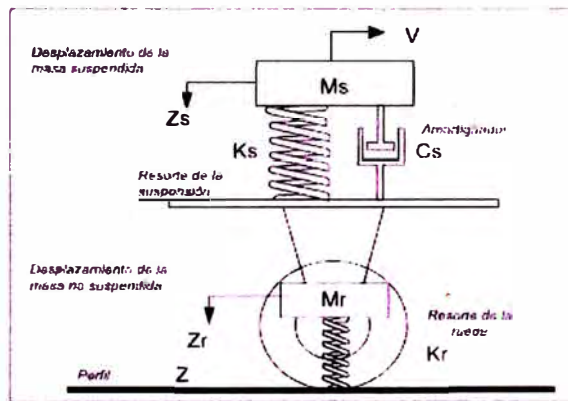
El primer paso del procedimiento para el cálculo del IRI, y el más importante de todos, consiste en medir las cotas o elevaciones de terreno que permiten representar el perfil real del camino. Esto significa que, el IRI es independiente de la técnica o equipo utilizado para obtener el perfil, y dependerá 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: a) para simular el comportamiento entre las llantas de los vehículos y la carretera, y b) 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 80

km/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. (Ver Figura 2.1)

FIGURA 2.1. MODELO DE CUARTO DE CARRO



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

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

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

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

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

donde:

k_s : constante del resorte de la suspensión

k_r : constante del resorte de la rueda

M_s : masa suspendida

M_r : masa no suspendida

c_s : amortiguador

k_1 : relación entre K_s y M_s

k_2 : relación entre K_r y M_r

u : relación entre M_r y M_s

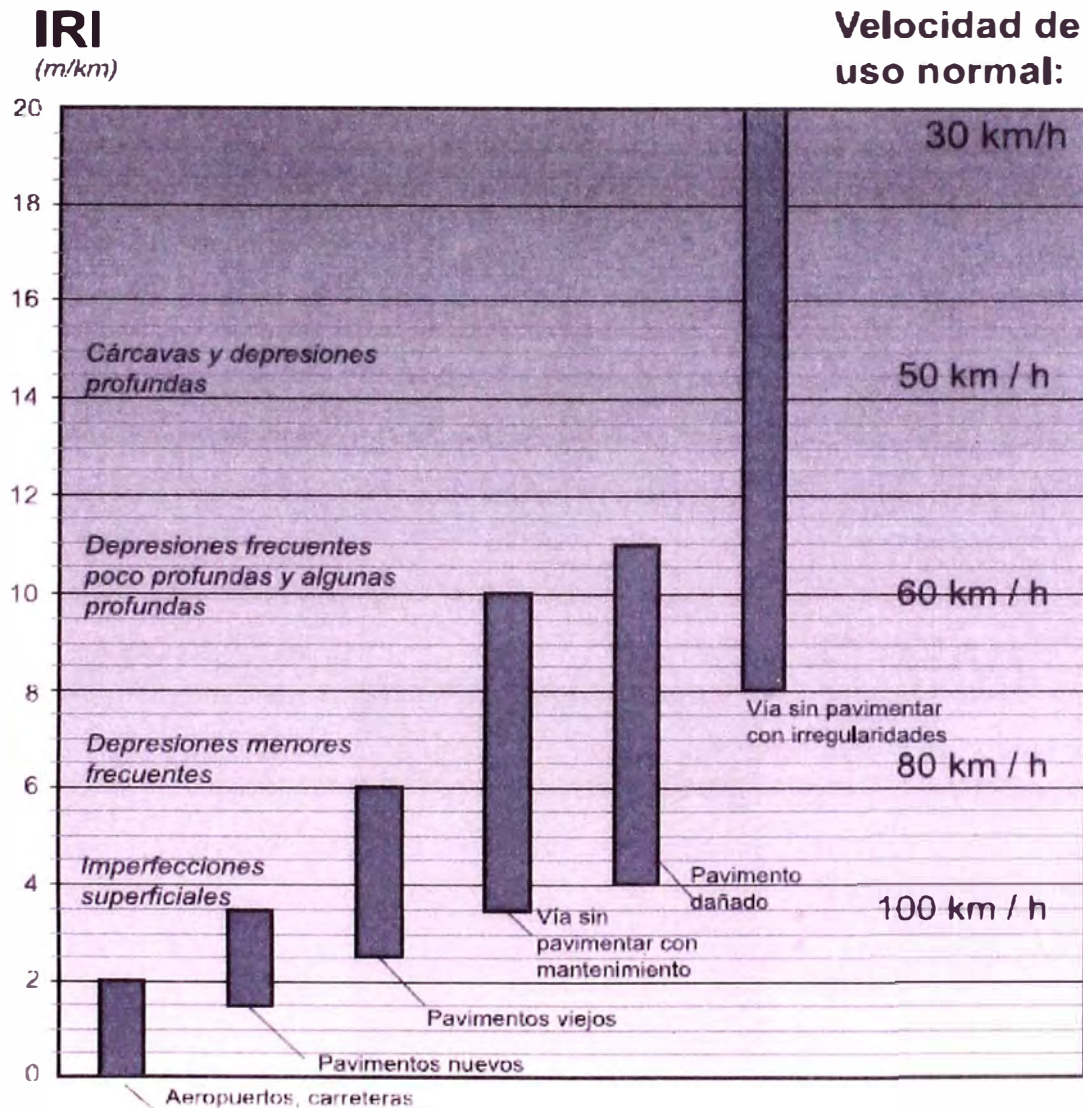
c : relación entre C_s y M_s

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 m antes del punto de inicio del tramo, e iniciar a partir de allí el cálculo del IRI.

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 RESEARCH REVIEW, 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). Los métodos Clase 4 permiten obtener resultados meramente referenciales y se emplean cuando se requieren únicamente estimaciones gruesas de la rugosidad..

Nivel y mira topográfica (ver Figura 2.3)

FIGURA 2.3. NIVEL Y MIRA TOPOGRÁFICA



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

Equipo Merlin (ver Figura 2.4)

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 MERLÍN



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

Perfilógrafos (ver Figura 2.5)

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

FIGURA 2.5. PERFILÓGRAFO CALIFORNIA

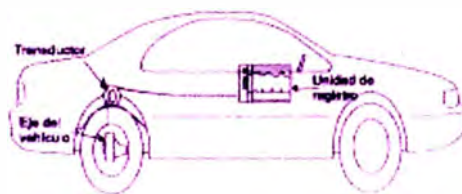


Fuente: Romaro Internacional, S.A. de C.V.

Equipos Tipo Respuesta (RTRRMS) (ver Figura 2.6)

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

FIGURA 2.6. COMPONENTES DE EQUIPOS DE RESPUESTA

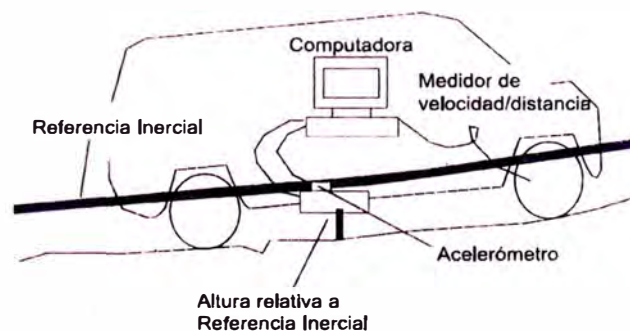


Fuente: Adaptado de "A synopsis on the current equipment used for measuring pavement smoothness"

Perfilómetro Inercial (ver Figura 2.7)

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

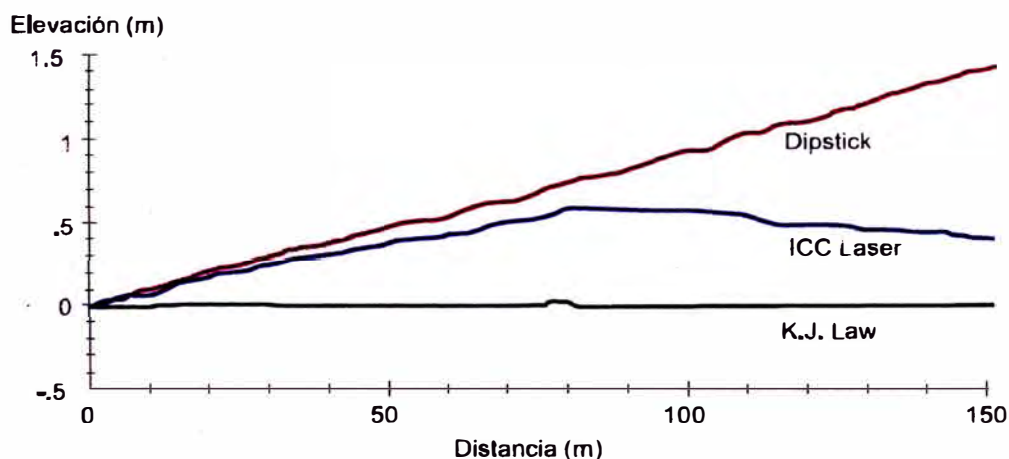


Fuente: Adaptado de "A synopsis on the current equipment used for measuring pavement smoothness"

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.

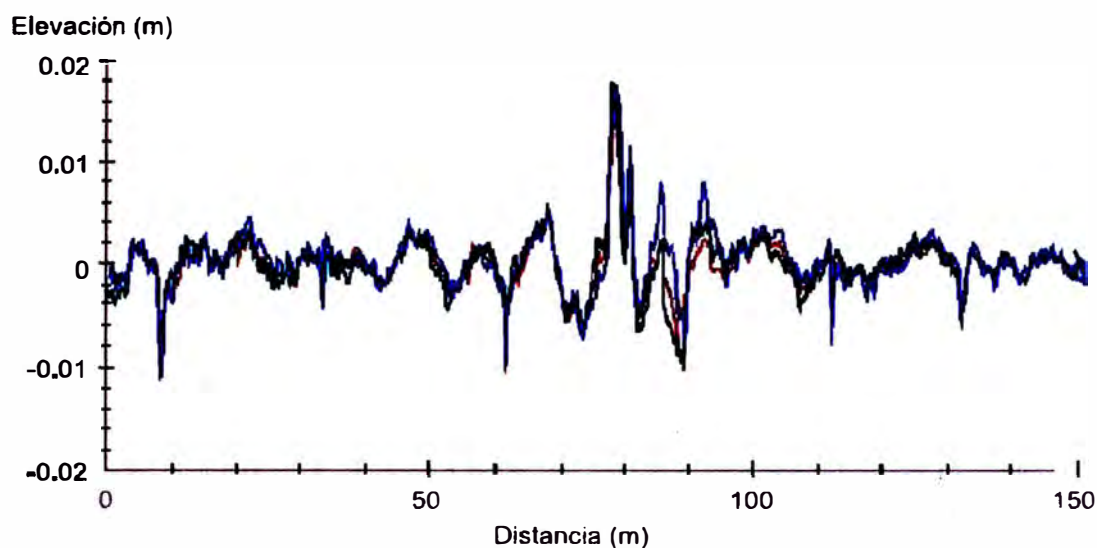
FIGURA 2.8. VARIACIONES APARENTES DE PERFILES LONGITUDINALES UTILIZANDO DIFERENTES EQUIPOS



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 3.9 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 80 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 carrino; 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 de la Tabla 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.

TABLA 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			
40	45	4.6	4.5		
45	50	4.8			
50	55	3.8			
55	60	4.8			
60	65	2.8	2.5	2.9	
65	70	1.7			
70	75	2.3			
75	80	3.1			
80	85	3.0	2.7		
85	90	3.6			
90	95	1.8			
95	100	2.8			

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

2.3 ÍNDICE DE SERVICIABILIDAD (PSI)

Las pruebas a vías que realizó la AASTHO de 1,962 permitió la creación del Índice de Serviabilidad (PSI) siendo una función de la "manejabilidad" de un pavimento, ligado al confort del conductor. El PSI se obtiene de las mediciones de la rugosidad y fatiga (rotura, grietas y ahuellamiento) de los pavimentos. La rugosidad es un factor dominante en la estimación del PSI del pavimento.

Posteriormente, utilizando métodos estadísticos se obtuvo ecuaciones para determinar el PSI actual.

Siendo 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 10² (pulg./ pie), representa la rugosidad del pavimento medida con perfilómetro

RD: Ahuellamiento promedio (pulg)

C: Superficie agrietada (pie² /1000 pie²)

P: Area bacheada (pie /1000 pie²)

El PSI tiene un escala del 0 al 5, donde 5 representa el mayor nivel de serviabilidad. Los nuevos pavimentos típicamente tienen un PSI entre 4.0 a 4.5. Los pavimentos usualmente requieren mantenimiento cuando el PSI baja de 2.0 a 2.5. A este nivel, hay un gran incremento del número de conductores y pasajeros que consideran la vía como inaceptable según el siguiente cuadro:

CUADRO 2.3
CONSIDERACIÓN DE VÍA INACEPTABLE

ÍNDICE DE SERVICIABILIDAD	% DE VÍA CONSIDERADA COMO INACEPTABLE
3.0	12%
2.5	55%
2.0	85%

FUENTE: GUÍA DE DISEÑO DE PAVIMENTOS ESTRUCTURALES AASTHO, 1991.

Siendo la rugosidad una de las variables más importantes para determinar la serviciabilidad, se han realizado estimaciones para determinar su relación. Según D. Dujisin y A. Arroyo (1995) determinaron la siguiente correlación entre el IRI y el PSI para pavimentos asfálticos:

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

A continuación se ha preparado una escala de Índices de Serviciabilidad para distintos valores de IRI. Como vemos para un pavimento con un IRI de 4.0 le corresponde un valor de PSI de 2.5, siendo este valor inaceptable para un 55% de los conductores y pasajeros.

CUADRO 2.4
RELACIÓN DE PSI – IRI

IRI	PSI	CONDICION
<0.5	4.7	Muy Buena
1.0	4.2	Muy Buena
1.2	4.0	Muy Buena
1.5	3.8	Buena
2.0	3.5	Buena
2.5	3.2	Buena
3.0	2.9	Regular
3.5	2.7	Regular
4.0	2.5	Regular
4.5	2.3	Regular
5.0	2.1	Regular

FUENTE: Relación PSI-IRI según Dujisin y Arroyo (1995)

Desde la década del 90' las Instituciones encargadas de especificar la construcción de carreteras en los EEUU y a nivel mundial están siendo muy riguroso con los Índices de Rugosidad.

El nivel de rugosidad de la superficie de un camino, refleja de forma adecuada el grado de comodidad del tránsito. Vías con mayores rugosidades, conllevan a que los usuarios incrementen sus costos en concepto de combustible, aceite, desgaste de neumáticos, mantenimiento y depreciación.

Por ejemplo el consumo de combustible se incrementa en 10% en autos y 15% en bus cuando el PSI cae de 4.5 a 2.5. Los costos de mantenimiento y neumáticos se triplican y el consumo de lubricante casi se duplica.

2.3.1 Niveles de servicio

En la Ingeniería Vial de carreteras de alta capacidad, se asocia los conceptos de clase de carretera, capacidad, velocidad operativa, saturación y seguridad, con el nivel de servicio. Pero, en el caso de las carreteras no pavimentadas de bajo volumen de tránsito en las que su nivel de saturación respecto de la capacidad no es un parámetro crítico, los niveles de servicio establecen las condiciones en que deben conservarse las carreteras.

Estas deben en todo momento presentar un estado igual o menor que el nivel especificado. En este sentido, los "niveles de servicio" deben referirse a conceptos de: a) transitabilidad garantizada la mayor parte del tiempo; b) seguridad; y c) comodidad operativa medida en términos de rugosidad de la carretera.

a) Transitabilidad

El concepto de "transitabilidad" en el Perú define una situación de "disponibilidad de uso". Demuestra que una carretera específica está disponible para su uso, es decir, que no ha sido cerrada al tránsito público por causas de "emergencias viales" que la hubieran cortado en algún o en algunos lugares del recorrido, como consecuencia de deterioros mayores causados por fuerzas de la naturaleza, tales como deslizamientos de materiales saturados de agua ("huaicos"), desprendimiento de rocas, pérdidas de la plataforma de la carretera, erosiones causadas por ríos, caída de puentes, etc. por ejemplo. Este tipo de problemas, es el que causa mayor impacto en la vida de las poblaciones del país y ocurre mayormente en periodos de lluvias.

b) Seguridad

El problema de la falta de seguridad en la conducción de vehículos en las carreteras del país es muy grave. Los parámetros de accidentalidad de carácter internacional establece índices anuales de muertes por 100 millones de veh-km, identificables fácilmente en tres rangos: a) los países desarrollados, en el rango de 1 a 5 muertes; b) países en un proceso intermedio de desarrollo, con un rango de 5 a 10 muertes. Y los países prácticamente en el subdesarrollo, entre los

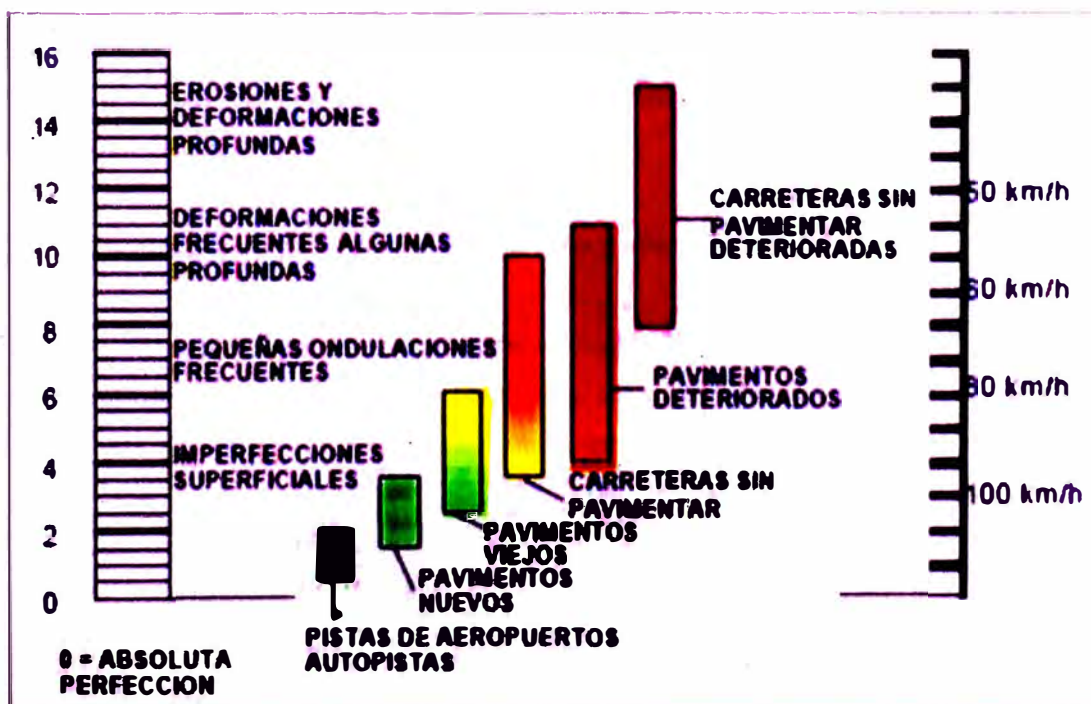
cuales está el Perú, con un rango mayor a 10 muertes por cada 100 millones de veh-km/año. (Estudio de Seguridad Vial en el Perú. MTC – BM)

Aunque en el Perú no se tienen estudios que establezcan por separado los índices de accidentalidad para las carreteras de alta demanda y baja demanda, se tiene la referencia internacional que indica mayor riesgo de ocurrencia de accidentes en carreteras de bajo volumen de tránsito donde el conductor está menos atento respecto de la aparición de otros vehículos.

c) Comodidad en la conducción

Si bien este concepto a simple vista podría parecer común, desde el punto de vista de la Ingeniería Vial resulta muy importante porque indica la apreciación de carácter operativo-económico que responde a la tecnología desarrollada por el Banco Mundial, sistematizada por el modelo de evaluación económica HDM de uso universal para el estudio de los proyectos y la gestión vial. Esto se fundamenta en el Modelo de Deterioro de las Carreteras, desarrollado mediante investigaciones de hace más de cuarenta años y que continúan vigente. En este contexto, la comodidad es medida en términos del Índice Internacional de Rugosidad o IRI.

GRÁFICO 2.2
ESCALA DE VALORES DEL IRI



FUENTE: BANCO MUNDIAL, PUBLICACIÓN TÉCNICA N° 45, 1986

El mal estado de las carreteras significa altos costos en los transportes y es identificable por las fallas y deterioros en la superficie de las carreteras. En las carreteras no pavimentadas con superficie de rodadura de grava, tierra y sus alternativas estabilizadas, los rangos de los IRI medidos arrojan valores entre 3.5 hasta 10.0 para carreteras calificadas por el Banco Mundial como Carreteras No Pavimentadas con Conservación. En los cuales se pueden conducir vehículos sin mayores problemas de seguridad.

Por encima del valor 10 del IRI, se tiene una serie de valores de rugosidad que corresponden a carreteras sin conservación que presentan deterioros; situación que se buscará superar con el mejoramiento de la conservación vial en el Perú, pero que para ser realistas no significa necesariamente que requieran restauración urgente, porque pudieran no estar en estado crítico.

Para estos casos son aceptables valores del IRI hasta en el rango de 16 a 22 para carreteras de muy poco tránsito, menor de 15 veh/día y baja velocidad de circulación. Ver gráfico 2.2

Estas cifras dan una buena idea de las posibilidades que se tiene de fijar niveles de servicio operativo económicamente adecuados a una economía bastante estrecha como la del Perú, en concordancia con una clasificación de carreteras en base a la demanda del tránsito en conjunción con un análisis de la fisiografía en la que se localizan.

2.4 MÉTODO DE EVALUACIÓN DE LA RUGOSIDAD CON EQUIPO BUMP INTEGRATOR

2.4.1 Descripción del equipo Bump Integrator

Un método para la determinación de la rugosidad del camino es aquel que se obtiene con un instrumento tipo respuesta el cual va montado en un vehículo, el instrumento ampliamente empleado en nuestro país es el Bump Integrator.

Los sistemas RTRRM (Sistema de medida de rugosidad tipo respuesta) registran los desplazamientos acumulativos del eje posterior del vehículo, inducido por la irregularidad del camino. El sistema está constituido por: un vehículo con eje posterior transversal sólido instalado con el equipo Bump Integrator, capaz de

registrar el movimiento del eje posterior mientras se desplaza por la carretera; así como un Contador que registra las cuentas en unidades de medida.

Este instrumento registra la dislocación del chasis del vehículo con respecto al eje trasero en una distancia determinada, expresada por lo general en términos counts / km o m/km.

Puesto que cada vehículo responde de modo diferente a la rugosidad debido a su propio sistema de suspensión y como es sabido éste cambia en un cierto plazo por el desgaste, es necesario calibrar el vehículo contra una medida estándar de la rugosidad.

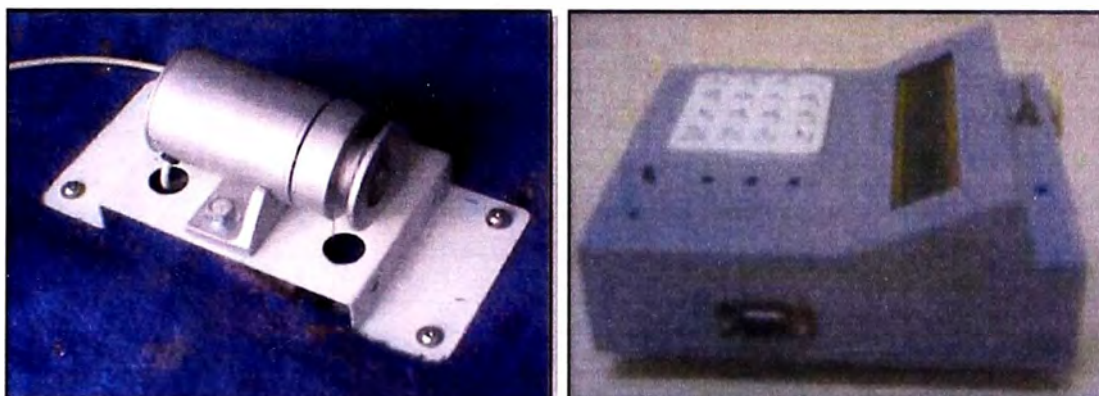
Es también necesario seguir ciertos principios para conducir el examen y así asegurarse de que los resultados sean válidos.

Un instrumento bien calibrado de la rugosidad que funciona correctamente dará datos exactos y reproductivos a un costo muy bajo. Sin embargo, un instrumento mal calibrado dará no solamente datos cuestionables, sino se puede conducir a decisiones incorrectas.

Equipo Bump Integrator

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

GRÁFICO 2.3
SENSOR Y CONTADOR DEL EQUIPO BUMP INTEGRATOR



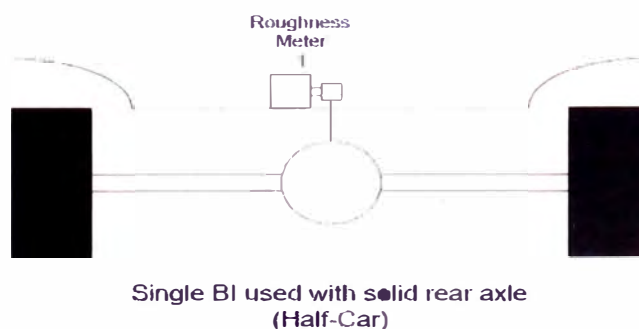
FUENTE: INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL-UNI

2.4.2 Instalación del Bump Integrator

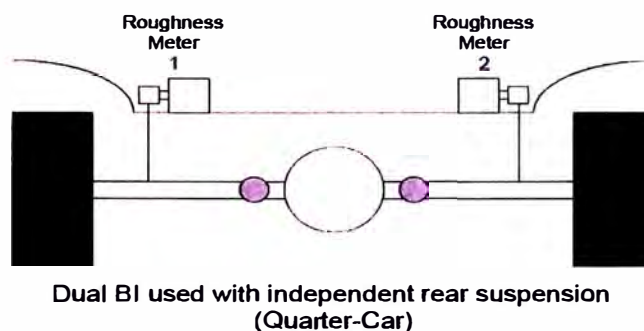
El Bump Integrator se instala en la parte trasera del vehículo por encima de la suspensión trasera. El instrumento está montado en el piso del vehículo y un cable se conecta a la suspensión.

Hay varias configuraciones diferentes para la instalación de la Bump Integrator en un vehículo:

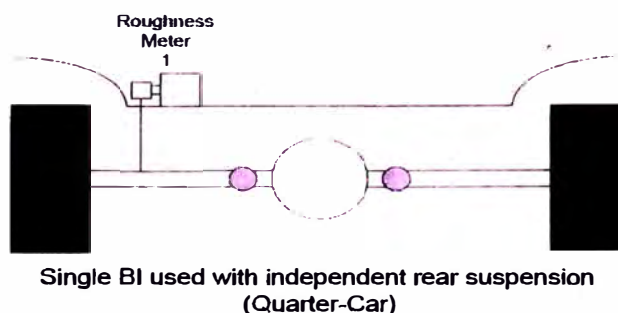
a.- Eje trasero sólido: Si el vehículo tiene un eje trasero sólido que debe ser instalado sobre el centro del eje. Esto medirá lo que se denomina una rugosidad de "medio carro".



b.- Suspensión trasera independiente (2 unidad): Si hay una suspensión trasera independiente, es recomendable que las dos unidades Bump Integrator sean instalados como: una para cada línea de rueda. Cada uno de estos medirá un "cuarto carro". El promedio de estos dos dará la rugosidad total.



c.- Suspensión trasera independiente (1 unidad): El uso de una unidad de Bump Integrator con una suspensión trasera independiente es posible, pero no se recomienda. Esto es porque el vehículo medirá un "cuarto carro", pero la medición de rugosidad estará dominado por la rugosidad de una línea de rueda mas no por el promedio. Resultará difícil tener una buena calibración de la medida, porque las rugosidades variará entre líneas de rueda y entre secciones de prueba.



Todos los accesorios de montaje suministrado para la facilidad de instalación. Las cuerda y cables de remplazo del Bump Integrator también están incluidos.

2.4.3 Calibración del equipo Bump Integrator

Una vez concluido el trabajo de campo se realiza el siguiente proceso:

1. Con los datos de la nivelación topográfica se efectúa una simulación matemática del perfil longitudinal para obtener el valor de IRI en cada huella. El promedio de los valores de IRI de la huella interna y la huella externa será el valor representativo de IRI de la sección. Para la simulación se ha seguido la metodología del ASTM.

2. Con los datos de IRI obtenidos de la nivelación topográfica mediante simulación matemática y los datos obtenidos del Bump Integrator (unidades BI) se desarrolla una ecuación de calibración la cual será utilizada para procesar la data de todo el tramo. La curva de mejor "ajuste" denominada ecuación de calibración será aceptada si el coeficiente de ajuste es mayor o igual a 0.8. De no cumplirse esta condición, se revisará la data, en particular la información correspondiente a las secciones de calibración.
3. Con la ecuación de calibración se procesa la data para todas las unidades de control que corresponden a una longitud de 400 m convirtiendo los valores de rugosidad unidades BI a IRI.

CAPÍTULO III: MODELO DE DETERIORO.

3.1. INTRODUCCIÓN.

El transporte por carretera en nuestro país es el de mayor contribución a la actividad nacional en sus aspectos comercial, industrial y de movimiento de pasajeros y de carga, por lo que la red nacional de carreteras se convierte en la columna vertebral en la vida económica, social y política de Perú.

El mantenimiento de esta red es uno de los problemas más relevantes y uno de los más importantes a resolver. En nuestro país, la expansión y mejora de la red nacional no se ha visto acompañada por un aumento proporcional de los presupuestos de mantenimiento. En cambio, el crecimiento del tránsito ha sido en muchos casos mayor que el esperado y las cargas de los vehículos pesados han excedido la capacidad de soporte de los pavimentos. La combinación de estos factores ha producido un aumento en el deterioro de las carreteras.

La superficie de un camino es la parte que ve y que siente el operador de un vehículo al circular y refleja de alguna manera las características estructurales de las capas que conforman el pavimento; esto originó que se buscará la forma de medir o calificar la condición superficial surgiendo así algunos equipos y métodos para realizar esta tarea. Cada uno de los equipos adoptó su escala propia, encontrando de esta manera diferentes escalas para una misma condición.

Se realizaron estudios para conocer cuáles eran los factores de un camino que influían de manera directa en los costos de operación de los vehículos, demostrando que uno de los principales es el estado superficial, por lo cual se procedió a buscar una escala que permitiera correlacionar un valor índice con la variedad de escalas que manejan los diversos equipos de medición de la rugosidad.

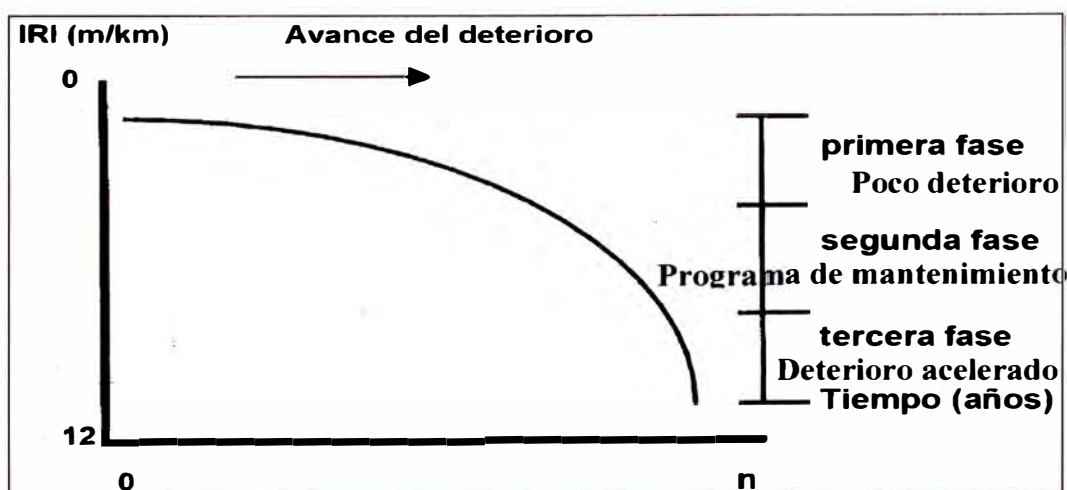
El Índice Internacional de Rugosidad mejor conocido por IRI, fue aceptado como estándar de medida de regularidad superficial de las carreteras por el Banco Mundial en 1986. Permite evaluar con cualquier equipo de medición de la rugosidad de un pavimento e indicarla en valores de IRI, permitiendo referirse a una sola escala de medición que puede identificar en que condiciones superficiales se encuentra la red nacional y detectar anomalías en algunos de sus tramos.

El Índice Internacional de Rugosidad permite especificar rangos o niveles de tolerancia para la aceptación de tramos nuevos de autopistas y carreteras, sirviendo como un parámetro de control de calidad superficial. Para carreteras ya en servicio, el Índice Internacional de Rugosidad es una herramienta para monitorear el comportamiento del camino a través del tiempo y permite fijar umbrales de alerta para proceder a un estudio de los daños o para realizar las labores de mantenimiento de acuerdo a la importancia del camino.

El comportamiento típico de la condición superficial respecto al tiempo se puede representar en la Figura 3.1, en la que se observa que a partir de un cierto nivel de rugosidad del camino, los factores que afectan al mismo son el tránsito, el medio ambiente, etc., que ocasionan la disminución de la calidad superficial. Esta disminución no es lineal sino que se puede dividir en tres etapas, donde la primera tiene un deterioro poco significativo en los primeros años; la segunda presenta un deterioro más significativo que en la primera, y requiere comenzar a programar un mantenimiento para no dejar avanzar el deterioro, la tercera significa una etapa de deterioro acelerado, ya que en pocos años el nivel de servicio cae de forma importante, con lo que va a llegar a un costo significativo de mantenimiento del camino y, como límite, puede ser necesaria una reconstrucción total del mismo.

FIGURA 3.1

CURVA TÍPICA DEL AVANCE DEL DETERIORO DE UN CAMINO RESPECTO AL TIEMPO



FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

3.2. DETERIORO DE SUPERFICIE Y ESTRUCTURAL.

Los pavimentos flexibles pueden deteriorarse por diversas causas, siendo las más importantes:

Causas del deterioro de pavimentos.

Entre los principales factores que determinan el deterioro de los pavimentos, pueden mencionarse:

- Aspectos climatológicos
- Solicitaciones del tránsito
- Historial de reparaciones del pavimento
- Diseño geométrico
- Diseño estructural
- Defectos constructivos

La presencia de deterioro en el pavimento por los efectos del tráfico sobre un pavimento flexible, se presentan a través de dos criterios básicos:

1.- La variación de la magnitud de los esfuerzos con la profundidad, estos esfuerzos a cualquier nivel deben ser inferiores a los que soportan los materiales que constituyen el pavimento, para que no ocurra la falla.

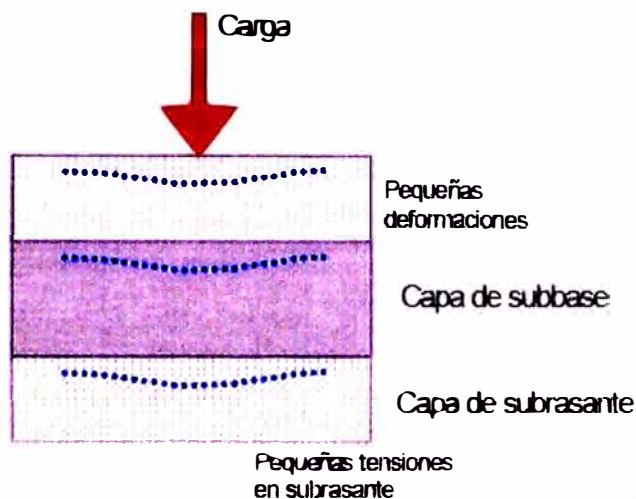
2.- Un pavimento al paso de una carga sufre deformaciones elásticas, produciéndose esfuerzos por tensión y compresión. Generalmente es esfuerzo mas crítico es el de tensión en la fibra inferior del pavimento directamente bajo la carga. Si las tensiones y sus repeticiones son mayores a las que soporta el pavimento asfáltico, se producirá la fatiga agrietándose el pavimento.

Comparación entre una estructura de pavimento flexible y una estructura de pavimento rígido.

En un pavimento rígido, debido a la consistencia de la superficie de rodadura, se produce una buena distribución de las cargas, dando como resultado tensiones muy bajas en la subrasante.

FIGURA 3.2
DISTRIBUCIÓN DE CARGAS EN PAVIMENTOS RÍGIDOS

Pavimentos Rígidos

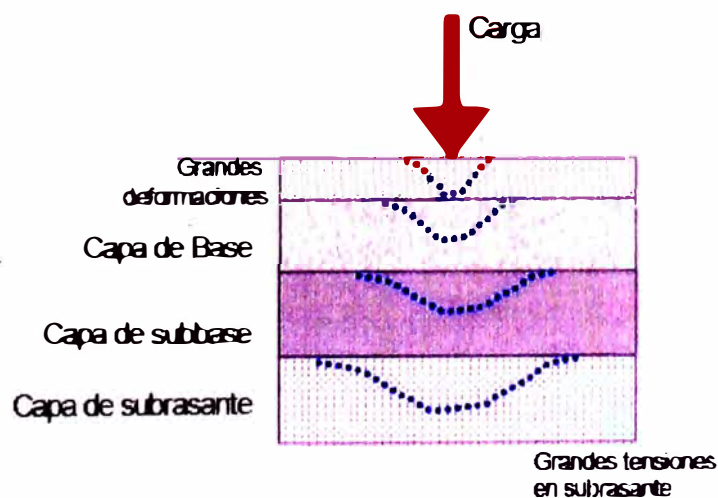


FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

Lo contrario sucede en un pavimento flexible, la superficie de rodadura al tener menos rigidez, se deforma más y se producen mayores tensiones en la subrasante.

FIGURA 3.3
DISTRIBUCIÓN DE CARGAS EN PAVIMENTOS FLEXIBLES

Pavimentos Flexibles

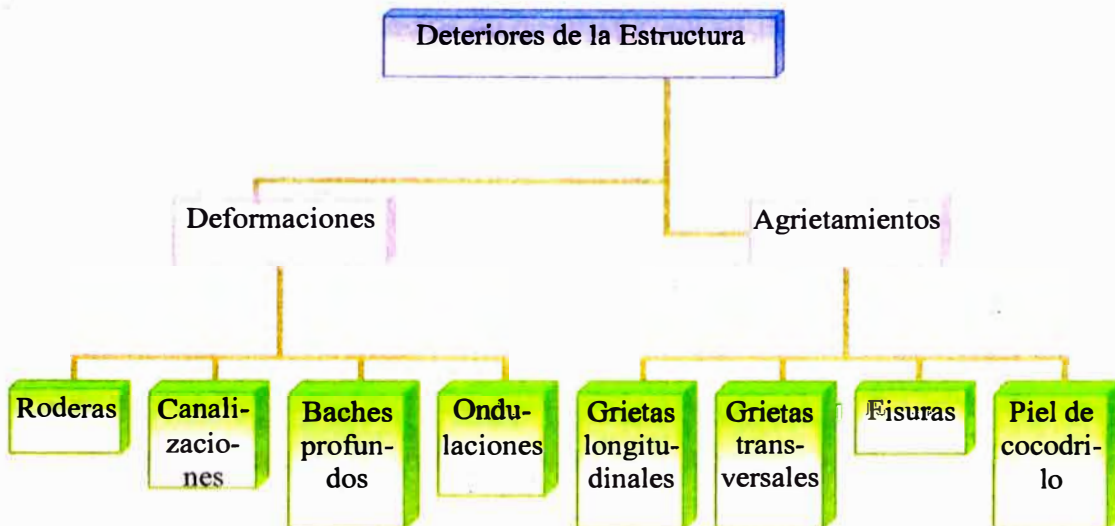


FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

Un pavimento siempre tenderá a deteriorarse. Estos deterioros pueden ser básicamente de dos tipos:

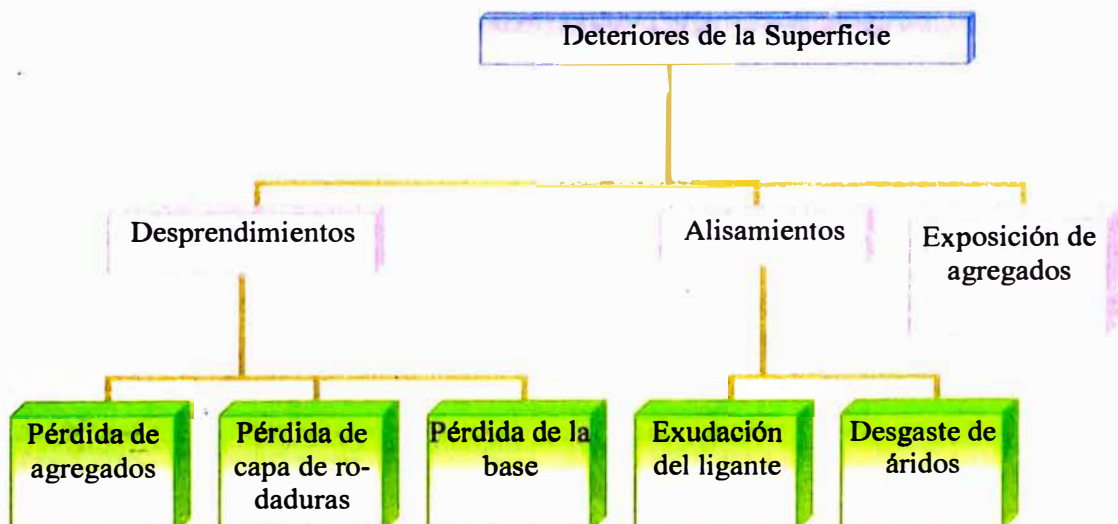
1.- Estructural:

Colapso, o rotura de uno o más de los componentes del pavimento, de una magnitud tal que lo hacen incapaz de soportar las cargas impuestas.



2.- Funcional:

Condición del pavimento que causa incomodidad e inseguridad al conductor, o grandes esfuerzos sobre el vehículo al transitar sobre el pavimento. La deterioro funcional puede venir o no acompañada de un deterioro estructural.



3.3. 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. Este modelo es la clave para analizar los efectos de diseño y políticas de mantenimiento para las condiciones de la carretera conjuntamente con el costo de operación vehicular como un componente del costo total. 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. Los efectos físicos de deterioro y mantenimiento son simulados en bases a relaciones empíricas derivados de estudio en el Brasil (Geipot, 1982; Paterson, 1987).

Siendo la ecuación para pavimentos asfálticos la siguiente según Paterson 1987:

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

- SV: Varianza de la pendiente longitudinal x 10² (pulg./ pie), representa la rugosidad del pavimento medida con perfilómetro
- RD: Ahuellamiento promedio (pulg)
- C: Superficie agrietada (pie² /1000 pie²)
- P: Area bacheada (pie /1000 pie²)

En el presente informe se viene trabajando con la variable rugosidad, cuyos valores obtenidos da el equipo Bump Integrator y siendo la rugosidad una de las variables más importantes para determinar la serviciabilidad, se han realizado estimaciones para determinar su relación. Según D. Dujisin y A. Arroyo (1995) determinaron la siguiente correlación entre el IRI y el PSI para pavimentos asfálticos:

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

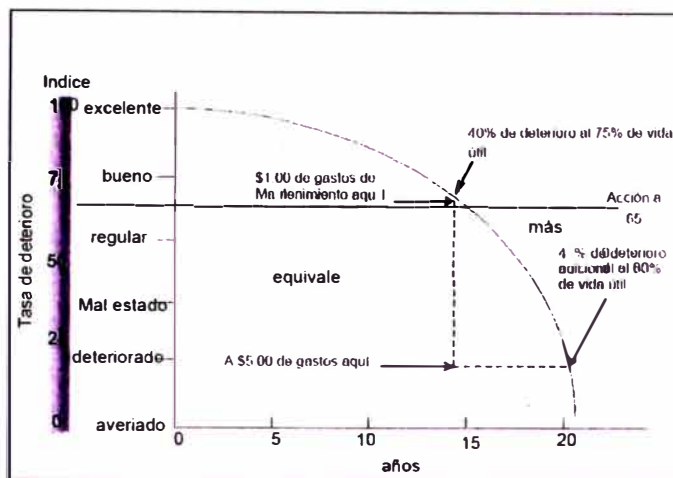
3.3.1 Sistema de manejo del pavimento (SMP)

Los sistemas de manejo del pavimento consisten en un enfoque planificado y sistematizado mediante el cual se optimizan las actividades de mantenimiento y rehabilitación del pavimento a fin de proporcionar el nivel deseado de condición y duración del pavimento. Los SMP consideran las condiciones actual y futura del pavimento, las alternativas de mantenimiento y rehabilitación, las prioridades y otros factores para desarrollar planes y programas de mantenimiento y rehabilitación para lograr los objetivos deseados.

3.3.2 Deterioro e índice del estado del pavimento (IEP)

El deterioro del pavimento se debe a factores ambientales y de aforo vehicular que empeoran el estado del pavimento y su calidad. 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 3.4 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. El motivo es que el deterioro se inicia generalmente en la superficie y luego avanza hacia las capas subyacentes a medida que se desarrollan los agrietamientos en la superficie. La Figura 3.4 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 de los SMP 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 3.4
CURVA DE DETERIORO DEL PAVIMENTO



FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

3.3.3 Actividades de los SMP para pavimentos en diferentes condiciones.

Los pavimentos en diferentes condiciones requieren diferentes tipos de actividades de mantenimiento y rehabilitación. La Tabla 3.1 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.

TABLA 3.1
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 líquida, 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

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.

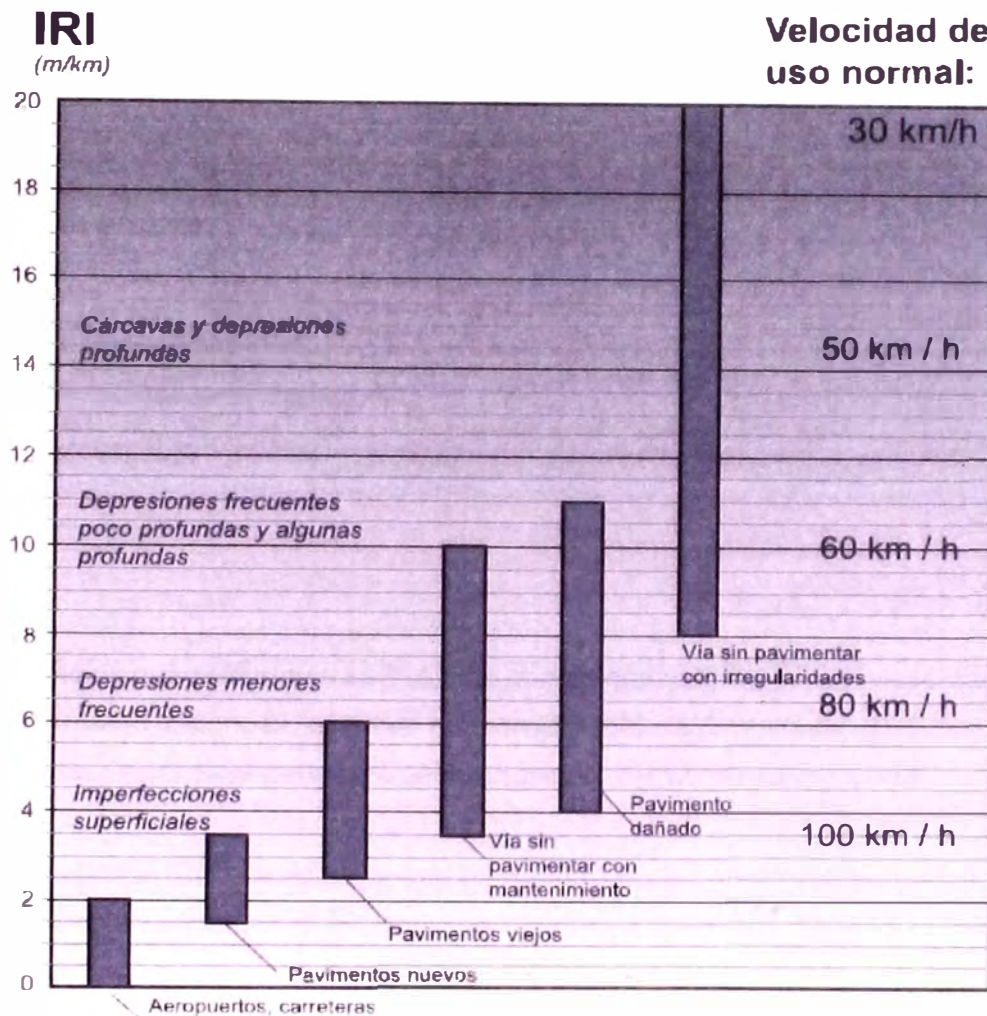
Rehabilitación (25-50 IEP) Pavimento en Mal Estado

Los pavimentos en esta categoría van a recibir generalmente una capa estructural superpuesta principal.

3.3.4 Aplicación de la curva de deterioro en tramo Km. 74+000 al Km. 84+000.

La primera parte es conocer los valores de IRI inicial y IRI final para pavimentos de bajo volumen de tráfico con aplicación de slurry seal, para ello tomaremos el estudio realizado por el Banco Mundial, que propuso una escala de medición de la regularidad superficial para diferentes tipos de vías (ver Figura 3.5).

FIGURA 3.5
ESCALA ESTÁNDAR EMPLEADA POR EL BANCO MUNDIAL PARA CUANTIFICAR EL IRI



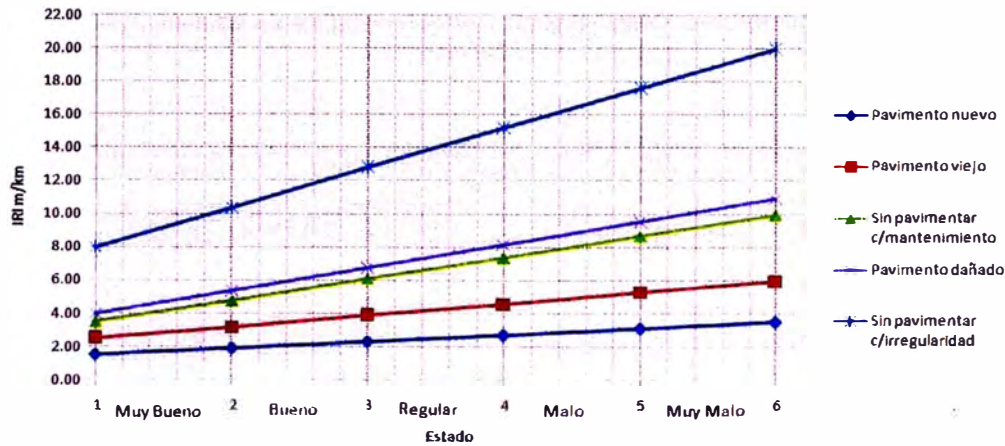
Haciendo correlaciones entre los valores de IRI con el tipo de pavimento se obtuvo el siguiente cuadro:

CUADRO 3.1
VALORES DE IRI RESPECTO A TIPOS DE VIAS

ESTADO	VALORES DE IRI RESPECTO A TIPO DE VIAS				
	Pavimento nuevo	Pavimento viejo	Sin pavimentar c/mantenimiento	Pavimento dañado	Sin pavimentar c/irregularidad
Muy Bueno	1.50	2.50	3.50	4.00	8.00
Muy Bueno-Bueno	1.90	3.20	4.80	5.40	10.40
Bueno-Regular	2.30	3.90	6.10	6.80	12.80
Regular - Malo	2.70	4.60	7.40	8.20	15.20
Malo - Muy Malo	3.10	5.30	8.70	9.60	17.60
Muy Malo	3.50	6.00	10.00	11.00	20.00

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

FIGURA 3.6
VALORES DE IRI SEGÚN SU ESTADO



FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

La hipótesis que se formula es si existe curvas con valores de IRI respecto al tipo de pavimento entonces la curva concerniente al pavimento de BVT con tratamiento de Slurry Seal debe también pertenecer dentro de estas curvas.

De los valores IRI obtenidos de campo cuando recién se colocó el recubrimiento bituminoso se sabe que el IRI inicial va desde 3 a 3.5 m/km, haciendo promedios se obtiene el cuadro 3.2 donde se indica valores de IRI para pavimentos con tratamiento superficial Slurry.

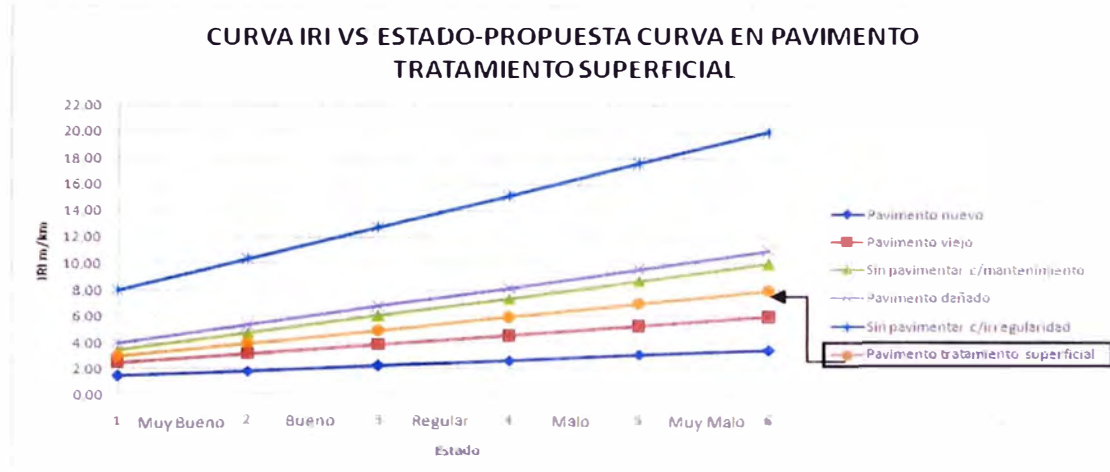
CUADRO 3.2
VALORES DE IRI PARA PAVIMENTO CON TRATAMIENTO SUPERFICIAL

ESTADO	VALORES DE IRI RESPECTO A TIPO DE VIAS					
	Pavimento nuevo	Pavimento viejo	Sin pavimentar c/mantenimiento	Pavimento dañado	Sin pavimentar c/irregularidad	Pavimento tratamiento superficial
Muy Bueno	1.50	2.50	3.50	4.00	8.00	3.00
Muy Bueno-Bueno	1.90	3.20	4.80	5.40	10.40	4.00
Bueno-Regular	2.30	3.90	6.10	6.80	12.80	5.00
Regular - Malo	2.70	4.60	7.40	8.20	15.20	6.00
Malo - Muy Malo	3.10	5.30	8.70	9.60	17.60	7.00
Muy Malo	3.50	6.00	10.00	11.00	20.00	8.00

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

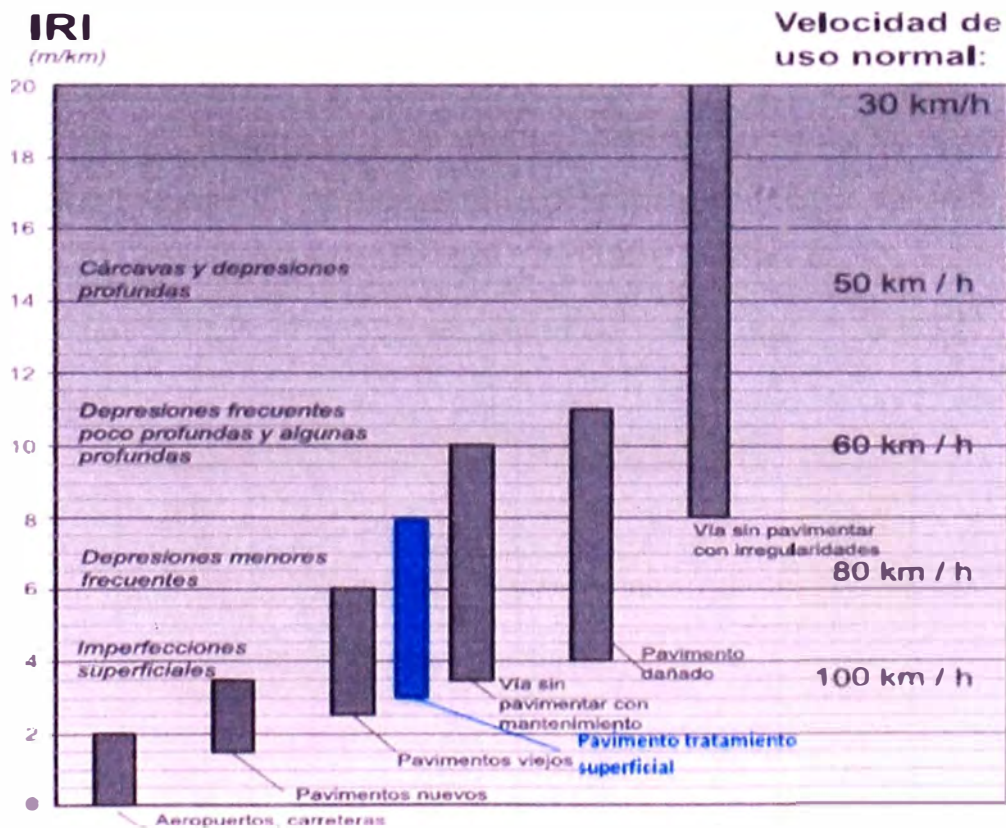
Nota: Los datos de IRI obtenidos resulto de promediar los IRI's de un pavimento viejo y uno sin pavimentar con mantenimiento.

FIGURA 3.7
VALORES DE IRI SEGÚN SU ESTADO, INCLUYE PARA PAVIMENTO CON TRATAMIENTO SUPERFICIAL



FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

De donde la fig 3.5 que se mostró anteriormente quedará de la siguiente manera.



FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

VALORES DE B.I. RECOLECTADOS EN TRAMO:
PROGRESIVA KM. 74+000 – KM. 84+000

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

CUADRO 3.3
VALORES DE B.I OBTENIDOS DE CAMPO

SUBTRAMO Km	SENTIDO DE MEDICION			
	IDA		RETORNO	
	1º	2º	1º	2º
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	2º	1º	2º
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: ELABORACIÓN PROPIA

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 $IRI = 0.0005BI+3.1848$

CUADRO 3.4
DATOS DE CALIBRACIÓN

SUBTRAMO Km	SENTIDO DE MEDICION				IRI promedio
	IDA		RETORNO		
	1º	2º	1º	2º	
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 promedio
	IDA		RETORNO		
	1º	2º	1º	2º	
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

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

CUADRO 3.5
CUADRO RESUMEN CON VALORES DE IRI DEL 2009 Y 2010

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

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

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 siguiente relación:

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

Se obtiene el siguiente cuadro:

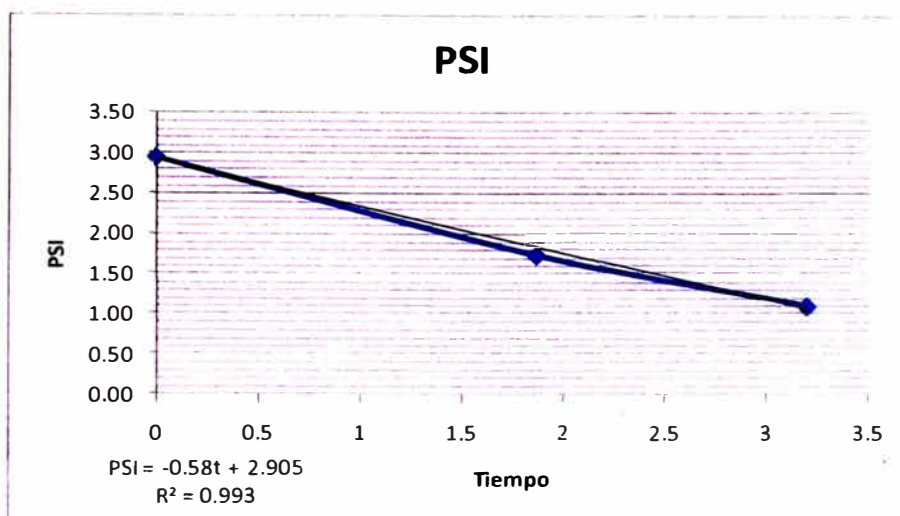
CUADRO 3.6
RELACIÓN DE IRI VERSUS PSI

IRI	TIEMPO	PSI	TRANSITABILIDAD
3	0	2.94	BUENA
5.997	1.87	1.74	MALA
8	3.2	1.10	MUY MALA

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

Nota: Se toma como IRI inicial igual a 3 en el tiempo de inicio

FIGURA 3.8
CURVA DE DETERIORO SEGÚN RELACIÓN DE IRI VERSUS PSI



FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

La figura 3.8 no es de mucha ayuda para conocer cuando se debe hacer el mantenimiento periódico y rutinario.

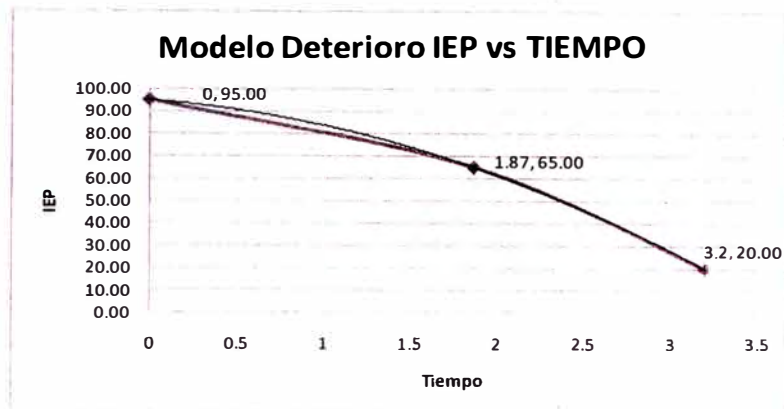
Se decide hacer uso del concepto de Índice de Estado del Pavimento (IEP), para lo cual se ha asumido el valor de IEP igual a 100 para un IRI igual a 3, también un IEP igual a 65 para un IRI igual a 5.997, del mismo modo el valor de IEP da igual a 20.00 para un IRI igual a 8.

CUADRO 3.7
RELACIÓN DE IRI VERSUS IEP

IRI	TIEMPO	IEP
3	0	95.00
5.997	1.87	65.00
8	3.2	20.00

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

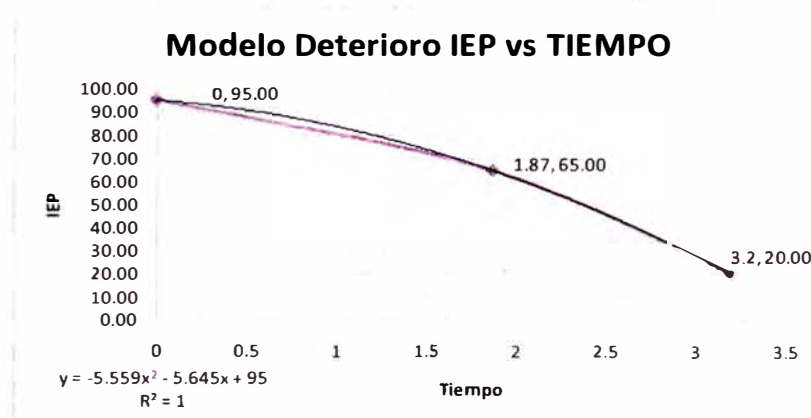
FIGURA 3.9
MODELO DE DETERIORO-HIPÓTESIS



FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

A partir del cuadro 3.7 se tendrá la ecuación que relaciona el IEP con el Tiempo:

FIGURA 3.10
CURVA IEP VS TIEMPO



FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

Como se tiene la ecuación se conoce la relación que existe entre el IEP y el tiempo: $IEP = -5.559 \cdot t^2 - 5.645 \cdot t + 95 \dots \dots \dots (1)$

La intervención se desarrolla a 1.87 años de haber colocado el recubrimiento bituminoso y si reemplazamos para $t = 1.87$ en la ecuación (1) el valor de EIP es igual a 65.

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

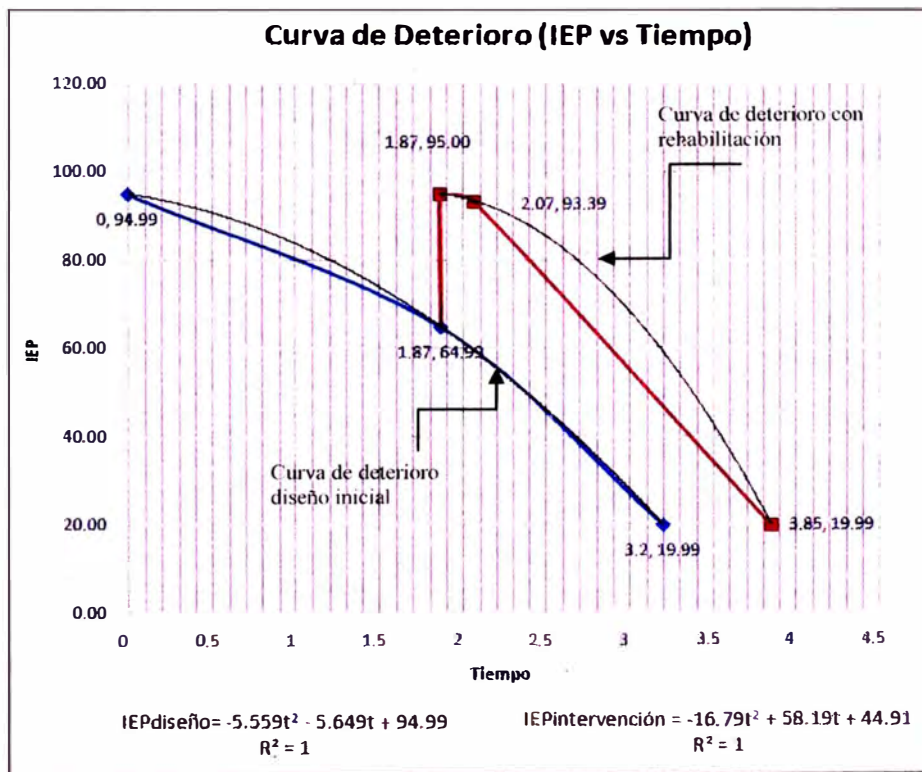
CUADRO 3.8
RELACIÓN DE IRI DE CAMPO VERSUS IEP

IRI	TIEMPO	IEP Inspección
3	1.87	95.00
3.44	2.07	93.39
8	3.85	19.99

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

Como solo se cuenta 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 93.39.

FIGURA 3.11
CURVA DE DETERIORO



FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

CONCLUSIONES

- El cuadro 3.2 nos da los valores de IRI para pavimentos con recubrimiento de bitumen-Slurry Seal.
- El valor del IRI inicial estimado de la modelación realizada para un pavimento con tratamiento superficial de slurry es 3.
- En el cuadro 3.5 se observa que el IRI(2009) es igual a 4.04 mientras el IRI (2010) es igual a 3.44 que indica que ha habido una intervención por parte del contratista a cargo de la ejecución del proyecto, esto se ratifica por lo visto en la salida de campo.
- La fig. 3.4 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 al deterioro acelerado que experimenta el pavimento pasado los 75% de su vida útil.

RECOMENDACIONES

- Para un buen desarrollo del sistema de manejo de pavimentos de bajo volumen de tráfico se debe de tomar datos del IRI según el cuadro siguiente:

Ordende monitoreo	Tiempo	Unidad
1º Monitoreo	3	meses
2º Monitoreo	1.5	años
3º Monitoreo	2.5	años
4º Monitoreo	3	años
5º Monitoreo	4.5	años

- Es recomendable que la calibración del equipo Bump Integrator se realice con el equipo Merlin y esto a su vez con el equipo de primera clase (mira y nivel topográfico), para asegurar la confiabilidad del modelo de deterioro.
- Para tener el IRI final como válido, se recomienda que se monitoree la carretera 1 mes antes de su intervención.
- Se debe continuar con la medición de IRI, con el fin de tener mayores puntos de control en la curva de deterioro.

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.
- Contrato de servicios MTC-CONSORCIO GESTIÓN DE CARRETERAS (2007).
- Del Águila, Pablo. Metodología para la determinación de la rugosidad de los pavimentos asfálticos con equipo de bajo costo, III Congreso Nacional de Asfalto, Lima, 1999.
- MCGHEE, KEVIN; Confort 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.
- Ministerio de Transporte y Comunicaciones, "Manual para el diseño de carreteras no pavimentadas de bajo volumen de tránsito", Tarea Asociación Gráfica Educativa, Lima 2008

www.proviasnac.gob.pe

www.mtc.gob.pe

www.camineros.com

<http://www.iific.edu.pe>

ANEXOS

RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN

	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

Evolución del IRI en el tramo en estudio para los años 2009 y 2010

	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

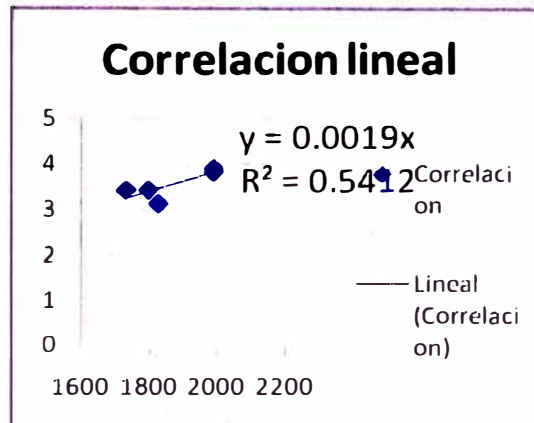
Valores de IRI 2010 con intervalos de confianza-95 % confiabilidad

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

Calibración de los datos para la obtención de la ecuación de calibración.

ECUACION DE CALIBRACION		
ECUACION	FORMULA	R ²
LINEAL	IRI= 0.0019 x BI	0.5412

Ecuación de calibración para obtención del IRI con datos de B.I



Regresión Lineal

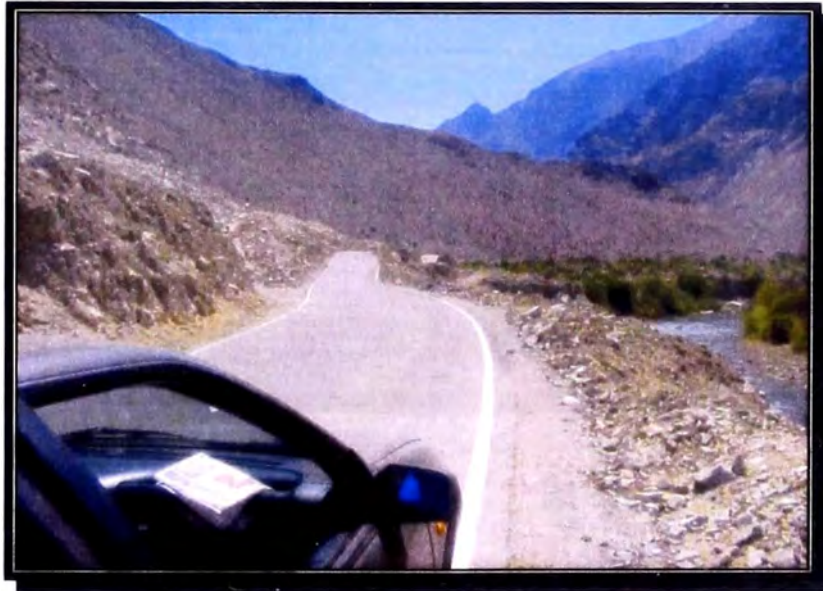
SUBTRAMO Km	SENTIDO DE MEDICION				IRI promedio
	IDA		RETORNO		
	1º	2ª	1º	2ª	
74-75	4.17	4.19	4.18	4.36	4.22
75-76	3.49	3.54	3.24	3.07	3.33
76-77	3.76	4.08	3.24	3.47	3.64
77-78	3.54	3.74	3.51	3.87	3.67
78-79	2.81	2.76	2.86	3.09	2.88

Valores IRI recopilados del 2009 del tramo 76-84 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

Valore IRI recopilados del 2009 del tramo 79 al 84 Km.

ARCHIVO FOTOGRÁFICO



Sinuosidad de la Vía en estudio



Quebrada de Cañete al fondo camioneta UNI realizando la medición



Presencia de Gibas en partes de las Vías



Presencia de Puentes en el Circuito a medir



Inicio de Tramo a medir



Vegetación al lado de la Vía



Singularidades en la Vía - Gibas



Carretera Media Ladera



Hito de inicio de Tramo



Señal preventiva que solicita baja de velocidad cerca a otra Giba



Llegada a la Zona de Catahuasi