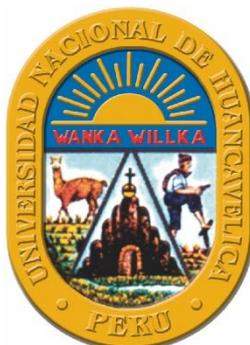


# UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCABELICA

(Creada por Ley N° 25265)



FACULTAD DE INGENIERIA MINAS CIVIL AMBIENTAL  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL - LIRCAY

**TESIS**

**EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD ESTRUCTURAL Y FUNCIONAL DEL PAVIMENTO  
SEGÚN LA NORMA PERUANA DE PAVIMENTOS, DURANTE EL PROCESO DE  
CONSTRUCCION CARRETERA HUANCABELICA - LIRCAY, PERIODO 2016**

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN**

TRANSPORTE

**PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:**

INGENIERO CIVIL

**PRESENTADO POR EL BACHILLER:**

SULLCA ESPLANA, Erick Ruben

FECHA DE INICIO: JULIO 2016

FECHA DE CULMINACION: NOVIEMBRE 2016

**HUANCABELICA – PERÚ**

**2016**

## Índice

Portada .....	9
Índice .....	10
RESUMEN.....	12
INTRODUCCIÓN.....	13
CAPÍTULO I.....	15
PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN .....	15
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	15
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA .....	16
1.2.1. PROBLEMA GENERAL.....	16
1.2.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS: .....	16
1.3. OBJETIVOS .....	17
1.3.1. OBJETIVO GENERAL .....	17
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS: .....	17
1.4. JUSTIFICACIÓN .....	17
CAPÍTULO II.....	18
MARCO TEÓRICO .....	18
2.1. ANTECEDENTES.....	18
2.1.1. Internacionales .....	18
2.1.2. Nacionales .....	19
2.1.3. Locales .....	19
2.2. BASES TEÓRICAS: .....	20
2.2.1. CALIDAD DE ACUERDO A LA NORMA PERUANA DE PAVIMENTOS. ....	20
2.2.2. CAPACIDAD ESTRUCTURAL Y FUNCIONAL DEL PAVIMENTO FLEXIBLE. ....	28
2.2.2.1. PAVIMENTOS .....	28
2.2.3. EVALUACION DE PAVIMENTOS .....	33
2.3. FORMULACIÓN DE LA HIPÓTESIS.....	55
2.3.1. Hipótesis General.....	55
2.3.2. Hipótesis Específicas .....	55
2.4. IDENTIFICACIÓN DE VARIABLE .....	55
CAPÍTULO III.....	56
METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....	56
3.1 ÁMBITO DE ESTUDIO .....	56
3.2. TIPO DE INVESTIGACIÓN .....	56
3.3. NIVELE DE INVESTIGACIÓN .....	56
3.4. MÉTODO DE INVESTIGACIÓN.....	56
3.5. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN .....	57

3.6.	POBLACIÓN Y MUESTRA .....	57
3.6.1.	Población .....	57
3.6.2.	Muestra .....	57
3.6.3.	Muestreo.....	57
3.7.	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.....	57
3.8.	PROCEDIMIENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS .....	57
3.9.	TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS.....	57
	CAPITULO IV .....	58
	RESULTADOS.....	58
4.1.	PRESENTACION DE RESULTADOS.....	58
4.1.1	Resultados de la evaluación estructural .....	58
4.1.2	Análisis y resultados de la evaluación funcional .....	62
4.2.	DISCUSION .....	0
	CONCLUSIONES .....	1
	RECOMENDACIONES .....	2
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	3
	ANEXOS .....	4

## RESUMEN

El presente estudio, se realizó durante la construcción de la carretera Huancavelica – Lircay, en el tramo que corresponde KM 15+000,00 – KM 20+000,00, con la finalidad de determinar en qué medida la capacidad estructural y funcional del pavimento flexible a nivel de carpeta asfáltica de la carretera reúne condiciones de calidad, de acuerdo al Manual de Carreteras “Especificaciones Técnicas Generales para la Construcción” (EG-2013). Los principales objetivos son: Identificar y encontrar los parámetros que establece la EG-2013 y determinar la capacidad estructural y funcional del pavimento flexible a nivel de carpeta asfáltica utilizando los equipos Viga Benkelman y el Merlin.

El método empleado fue descriptivo y de diseño transversal; Las mediciones se realizaron empleando una Viga Benkelman, se midieron deflexiones a varias distancias del eje de la carga (0; 25; 50; 100 y 500cm) con el fin de definir el cuenco de deflexiones, para determinar la rugosidad se efectuaron 200 observaciones de las irregularidades que presenta la carpeta de rodadura del pavimento flexible, cada una de las cuáles fueron detectadas por el patín móvil del Merlin.

Concluida la recolección de datos, se procedió a codificar, tabular y organizar la información mediante cuadros estadísticos. Al análisis de los resultados se encontró que la capacidad estructural y funcional del pavimento flexible a nivel de carpeta asfáltica utilizando los equipos Viga Benkelman y el Merlin indican que la estructura del pavimento flexible se encuentra en buen estado y en óptimas condiciones cumpliendo con las especificaciones de la EG-2013, concluyendo así en la afirmación de la hipótesis.

**PALABRAS CLAVES:** Carretera, capacidad estructural, capacidad funcional, pavimento flexible, deflexiones y rugosidad

## INTRODUCCIÓN

La evaluación de la capacidad estructural y funcional capa a capa durante la construcción de pavimentos flexible utilizando ensayos no destructivos, es una alternativa usada en otros países.

Durante la construcción de una estructura de pavimento se llevan a cabo un conjunto de ensayos (tradicionales) para determinar las características de las capas, de forma tal que cumplan con las especificaciones del proyecto y los requerimientos del diseño.

Actualmente, se están realizando una secuencia de mediciones como la Viga Benkelman y el Merlin (Machine for Evaluating Roughnes using low cost instrumentation) en tramos en construcción con diferentes características en las capas que conforman el pavimento y en diferentes condiciones climáticas.

Estas mediciones se efectúan en las diversas capas del pavimento con el propósito de definir indicadores para controlar la capacidad estructural exigida en cada una de ellas y evaluar la irregularidad superficial. Esto permitirá obtener una base de datos adecuada que ayudará a establecer recomendaciones y pautas para umbrales de medición que permitan asegurar la calidad de la construcción realizando las medidas correctivas in-situ.

Además es importante buscar indicadores que permitan complementariamente evaluar la estructura de pavimento como un conjunto y con sus propiedades en terreno, de esta manera podremos modelar adecuadamente la estructura de pavimento al momento de diseñarla y realizar correcciones durante la construcción para obtener una estructura homogénea a lo largo del proyecto.

También es necesario determinar características funcionales de las capas como su irregularidad y textura durante la construcción, permitiendo así, mejorar la serviciabilidad inicial al momento de la puesta en servicio. Con estos indicadores se podría tener control sobre la homogeneidad y calidad de la estructura y superficie de los pavimentos durante su construcción y con ello obtener un buen comportamiento y por consiguiente una mayor rentabilidad de la inversión en obras viales.

Así mediante este proyecto de tesis se pretende evaluar la capacidad estructural y funcional del pavimento flexible a nivel de carpeta asfáltica durante el proceso de construcción de la carretera teniendo en cuenta la utilización de la Viga Benkelman y el Merlin (Machine for Evaluating Roughnes using low cost instrumentation).

Cada año la construcción de carreteras en nuestro país van en aumento es por eso que se debe hacer hincapié en el comportamiento de la estructura y en la capacidad funcional del pavimento, de

tal manera que se cumplan con las especificaciones técnicas generales para la construcción EG-2013. En la revisión bibliográfica se encontró investigaciones relacionadas al tema de estudio, realizada en diferentes países y otras partes del Perú, pero ninguna realizada a nivel local y observando el avance del desarrollo de nuestra localidad en la construcción de carreteras, se formula la siguiente interrogante: ¿En qué medida la capacidad estructural y funcional del pavimento flexible de la carretera Huancavelica - Lircay, reúne condiciones de acuerdo a la norma Peruana de pavimentos en el proceso constructivo?

El presente estudio buscó solucionar los posibles deterioros y fallas en los pavimentos flexibles, del km 15+000 – km 20+000 correspondiente a la carretera Huancavelica – Lircay. Los equipos que se utilizaron para el proceso de evaluación son la Viga Benkelman y el Merlín, la evaluación estructural y funcional se realizó a nivel de carpeta asfáltica considerando la deflectometría y rugosidad del pavimento flexible en estudio.

El objetivo de la investigación consistió en Determinar en qué medida la capacidad estructural y funcional del pavimento flexible de la carretera Huancavelica - Lircay reúne condiciones de acuerdo a la norma Peruana de pavimentos, EG-2013; como objetivos específicos: Determinar en qué medida la capacidad estructural y funcional del pavimento flexible de la carretera Huancavelica - Lircay reúne condiciones de acuerdo a la norma Peruana de pavimentos, EG-2013 y Determinar la capacidad estructural y funcional del pavimento flexible en construcción utilizando la Viga Benkelman y el Merlín.

De acuerdo al problema planteado se formula la siguiente hipótesis en la cual se indica que La capacidad estructural y funcional del pavimento flexible de la carretera Huancavelica - Lircay reúne las condiciones favorables de acuerdo a la norma Peruana de pavimentos durante el proceso de construcción.

# **CAPÍTULO I**

## **PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN**

### **1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

La evaluación de la capacidad estructural y funcional capa a capa durante la construcción de pavimentos flexible utilizando ensayos no destructivos, es una alternativa usada en otros países.

Durante la construcción de una estructura de pavimento se llevan a cabo un conjunto de ensayos (tradicionales) para determinar las características de las capas, de forma tal que cumplan con las especificaciones del proyecto y los requerimientos del diseño.

Sin embargo, muchos de estos ensayos tienen por objetivo determinar las características constitutivas, mecánicas y de colocación para cada capa de forma individual y no consideran el comportamiento de la estructura como un conjunto. Además, la mayoría de los ensayos realizados para control de los materiales representan el comportamiento del material en laboratorio, y no necesariamente representa su comportamiento in situ. (shell, 1978)

Actualmente, se están realizando una secuencia de mediciones como la Viga Benkelman y el Merlin (Machine for Evaluating Roughnes using low cost instrumentation) en tramos en construcción con diferentes características en las capas que conforman el pavimento y en diferentes condiciones climáticas. Estos tramos en construcción forman parte del proyecto actualmente en ejecución.

Estas mediciones se efectúan en las diversas capas del pavimento con el propósito de definir indicadores para controlar la capacidad estructural exigida en cada una de ellas y evaluar la irregularidad superficial. Esto permitirá obtener una base de datos adecuada que ayudará a

establecer recomendaciones y pautas para umbrales de medición que permitan asegurar la calidad de la construcción realizando las medidas correctivas in-situ.

Además es importante buscar indicadores que permitan complementariamente evaluar la estructura de pavimento como un conjunto y con sus propiedades en terreno, de esta manera podremos modelar adecuadamente la estructura de pavimento al momento de diseñarla y realizar correcciones durante la construcción para obtener una estructura homogénea a lo largo del proyecto. (Collop et al, 2001).

También es necesario determinar características funcionales de las capas como su irregularidad y textura durante la construcción, permitiendo así, mejorar la serviciabilidad inicial al momento de la puesta en servicio. Con estos indicadores se podría tener control sobre la homogeneidad y calidad de la estructura y superficie de los pavimentos durante su construcción y con ello obtener un buen comportamiento y por consiguiente una mayor rentabilidad de la inversión en obras viales. (Livneh, 2001)

## **1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

### **1.2.1. PROBLEMA GENERAL**

¿En qué medida la capacidad estructural y funcional del pavimento flexible de la carretera Huancavelica - Lircay, reúne condiciones de acuerdo a la norma Peruana de pavimentos en el proceso constructivo?

### **1.2.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS:**

- ¿Qué parámetros establece la norma Peruana de pavimentos flexibles EG-2013?
- Determinar la capacidad estructural y funcional del pavimento flexible en construcción utilizando la Viga Benkelman y el Merlin.

### **1.3. OBJETIVOS**

#### **1.3.1. OBJETIVO GENERAL**

- Determinar en qué medida la capacidad estructural y funcional del pavimento flexible de la carretera Huancavelica - Lircay reúne condiciones de acuerdo a la norma Peruana de pavimentos, EG-2013.

#### **1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS:**

- Identificar los parámetros que establece la norma Peruana de pavimentos flexibles EG-2013.
- Determinar la capacidad estructural y funcional del pavimento flexible en construcción utilizando la Viga Benkelman y el Merlin.

### **1.4. JUSTIFICACIÓN**

Cada año la construcción de carreteras en nuestro país van en aumento es por eso que se debe hacer hincapié en el comportamiento de la estructura del pavimento, de tal manera que se cumplan con las especificaciones técnicas que rige la norma peruana de pavimentos.

La presente investigación busca encontrar la capacidad estructural y funcional del pavimento flexible.

El periodo de tiempo para la evaluación, debe ser de cuatro meses para culminar con el estudio.

Los ensayos que se realizaran para el proceso de evaluación son la Viga Benkelman y el Merlín, que solo cuenta con dichos equipos el Consorcio (JAYLLI).

La evaluación estructural y funcional se realizara a nivel de carpeta asfáltica considerando la deflectometría y rugosidad del pavimento flexible es estudio.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1. ANTECEDENTES**

##### **2.1.1. Internacionales**

Según Severich y Valenzuela, 2010 la rehabilitación de pavimentos asfálticos de la ciudad de Cochabamba mediante el fresado y reciclado en frío; en este estudio se realizó la comparación de alternativas de rehabilitación donde se concluye que el proceso de fresado y reciclado en frío es un método viable para la rehabilitación del pavimento asfáltico y es viable debido al amplio campo de aplicación, al corto tiempo de ejecución, a la minimización del impacto ambiental y el bajo costo por metro cuadrado comparado con los métodos no convencionales de rehabilitación. Según Onofre, Santiago y Sánchez, 2008 en su estudio determinación del índice de rugosidad internacional de pavimentos usando el perfilómetro romdas z-250, trata sobre el estudio de la regularidad superficial de los pavimentos, específicamente los de concreto asfáltico; además se profundiza en la nivelación, calibración y puesta en marcha del equipo ROMDAS Z-250, para la recolección de datos que se usarán en la obtención del Índice de Rugosidad Internacional (IRI), el cual se determinará con la ayuda de programas de análisis de perfiles de rodadura.

### **2.1.2. Nacionales**

Según Hoffman y Del Águila, 1985 los estudios de evaluación estructural de pavimentos basados en la interpretación de curvas de deflexiones (Ensayos No Destructivos) Este Estudio presenta una metodología simple para la evaluación estructural de pavimentos basada en la interpretación de curvas de deflexiones, la cual es ilustrada con datos obtenidos durante la Supervisión de la Carretera Talara-Cancas.

Esta metodología fue desarrollada e implementada en numerosos proyectos en diversos países por Louis Berger International.

Este informe presenta toda la información necesaria para medir, procesar, analizar e interpretar los resultados obtenidos de la metodología de evaluación estructural. Se incluyen, además, numerosos ejemplos de verificación y análisis de sensibilidad de las soluciones obtenidas que permiten apreciar el potencial y la utilidad de las metodologías propuestas.

Según Cárdenas, 2007 en su estudio Procesamiento de Datos, Diseño y Construcción de un Analizador Electrónico de Rugosidad de Pavimentos, el presente trabajo de investigación ha logrado implementar y probar el correcto funcionamiento de un sistema analizador de rugosidad de pavimentos, contando con diseños de hardware y software para la facilidad de adquisición de datos, fácil manejo del equipo, portatibilidad, bajo costo para su reproducción, y sobre todo que se adecua a los requerimientos de las empresas que analizan la rugosidad y transitabilidad de un pavimento.

### **2.1.3. Locales**

No se han encontrado antecedentes en la localidad.

## **2.2. BASES TEÓRICAS:**

### **2.2.1. CALIDAD DE ACUERDO A LA NORMA PERUANA DE PAVIMENTOS.**

Toda obra civil requiere de un adecuado control de calidad, para la finalización exitosa del proyecto y así asegurar el cumplimiento de las especificaciones, requisitos y propósitos de los planos. Para ello es indispensable mantener un control veraz y actual sobre la inspección, que no son solamente observaciones visuales y mediciones de campo sino también ensayos de laboratorio y recolección y evaluación de sus resultados, lo cual permite al proyecto realizar la obra de forma tal que cada actividad se mantenga dentro de sus requerimientos.

**(REGLAMENTO NACIONAL DE EDIFICACIONES (NORMA CE.010 PAVIMENTOS URBANOS)- LIMA – PERÚ 2010)**

#### **ÁMBITO DE APLICACIÓN, ALCANCES Y LIMITACIONES**

1.3.1 La presente Norma tiene su ámbito de aplicación circunscrito al límite urbano de todas las ciudades del Perú.

1.3.2 Esta Norma fija los requisitos y exigencias mínimas para el análisis, diseño, materiales, construcción, control de calidad e inspección de pavimentos urbanos en general, excepto donde ésta indique lo contrario.

#### **CONTROL Y TOLERANCIAS DE LA NORMA TECNICA**

##### **En la Carpeta Asfáltica Terminada:**

##### **Regularidad Superficial o Rugosidad**

- En el caso de Vías Expresas y donde lo indique el Profesional Responsable se medirá la Regularidad Superficial de la superficie de rodadura en unidades IRI. La rugosidad tendrá un valor máximo de 2,5 m/km. En el caso de no satisfacer este requerimiento, deberá revisarse los equipos y procedimientos de esparcido y compactación, a fin de tomar las medidas correctivas que conduzcan a un mejoramiento del acabado de la superficie de rodadura.

- Para la determinación de la rugosidad podrá utilizarse cinta métrica y nivel, rugosímetros, perfilómetros o cualquier otro método técnicamente aceptable y aprobado por la Supervisión.
- La medición de la rugosidad sobre la superficie de rodadura terminada, deberá efectuarse en toda su longitud y debe involucrar ambas huellas vehiculares, registrando mediciones parciales para cada kilómetro.
- La medición de la rugosidad sobre la carpeta asfáltica terminada, se efectuara al finalizar la obra como control final de calidad del pavimento terminado y para efectos de recepción de la obra.

### **Métodos no Destructivos**

Se denominan así, debido a que permiten estudiar la capacidad estructural existente de un pavimento sin necesidad de intervenir este en ningún punto. Entre los métodos no destructivos, se reconocen dos clases:

Medidas de Deflexión y Evaluaciones Empíricas

#### **a) Medidas de Deflexión:**

Estos métodos se basan en producir deformaciones elásticas o deflexiones en el pavimento mediante dispositivos especiales, los cuales actúan bajo una sollicitación estática o dinámica.

Estas deflexiones desaparecen una vez que deja de actuar el dispositivo de medición.

Existen varios equipos capaces de medir deflexiones, destacándose entre los más importantes los siguientes:

**i) Viga Benkelman:** Es el dispositivo más antiguo desarrollado, el cual ha sido tradicionalmente usado para medir deflexiones.

Consiste en una estructura con tres puntos de apoyo, de los cuales dos se apoyan en el pavimento en forma de viga simple y un tercero que pivotea en torno a esta bajo la acción de una carga normalizada (Eje simple de 80 kN), con lo cual se registra la deformación relativa entre estos puntos. Este dispositivo tiene la importancia de que es utilizado como el parámetro base para la evaluación estructural de varias metodologías, como ser la del

Asphalt Institute (USA) (3), el TRRL (Inglaterra) (4) y el modelo HDM-III (2).

**ii) Deflectómetro:** Consiste en utilizar una viga de deflexión similar a la Viga Benkelman, pero montada en el chasis de un vehículo especialmente adaptado para tales fines.

Los deflectómetros más conocidos, son el Lacroix del LCPC (Francia) y una versión modificada por el TRRL (Inglaterra), y el desarrollado en California.

La ventaja de este equipo respecto de la viga Benkelman, es que permite realizar las mediciones en forma continua, pudiendo auscultar un número mayor de kilómetros al día.

Además, esta correlacionado con la viga Benkelman, por lo cual los valores entregados son fácilmente convertibles a esta última, de acuerdo al método del TRRL (4).

- En el caso de Vías Expresas y en donde lo indique el Profesional Responsable, se efectuara mediciones de la deflexión en todos los carriles, en ambos sentidos cada 50 m y en forma alternada (tresbolillo). Se analizara la deformada o la curvatura de la deflexión obtenida de por lo menos tres valores por punto y se obtendrán indirectamente los módulos de elasticidad de la capa asfáltica. Además, la Deflexión Característica obtenida por sectores homogéneos se comparara con la deflexión admisible para el número de repeticiones de ejes equivalentes de diseño.
- Para efectos de la medición de las deflexiones podrá emplearse la **Viga Benkelman**(MTC E-1002, Medida de la Deflexión y Determinación del Radio de Curvatura de un Pavimento Flexible Empleando la Viga Benkelman), o cualquier otro método técnicamente aceptable y aprobado por la Supervisión. Los puntos de medición estarán referenciados con el estacado del Proyecto.
- La medición de deflexiones sobre la carpeta asfáltica terminada, se efectuara al finalizarla obra como control final de calidad del pavimento terminado y para efectos de recepción de la obra. (NORMA TECNICA DE PAVIMENTOS, 2013)

**b) Evaluaciones Empíricas (Vida Remanente):** Este método de evaluación no constituye en sí un ensayo, corresponde más bien a una evaluación la cual está basada en relacionar directamente la pérdida de capacidad estructural del pavimento con las solicitaciones de tránsito reales acumuladas. Para estimar esta vida remanente se deben determinar, el tránsito solicitante que ha soportado el pavimento desde la última puesta en servicio a la fecha, y el tránsito total que produce la falla total del pavimento (estimado según el método AASHTO para una serviciabilidad final de 1.5).

Este método de evaluación, no es recomendado por la incertidumbre de la predicción del tránsito acumulado, y por qué no considera el efecto del agrietamiento existente, lo cual puede significar una vida remanente bastante menor a la que indicaría este método.

### **Ensayos Destructivos**

La ejecución de estos ensayos, requiere alterar el pavimento existente en algún punto.

Entre los ensayos destructivos más utilizados para la evaluación de la capacidad de soporte de la estructura existente, se encuentran:

**a) Excavación de calicatas para determinar propiedades de los materiales de capas:** Este procedimiento corresponde al procedimiento tradicional de recolectar información de diseño y tiene como objetivo la determinación de distintas propiedades de los materiales de las capas que conforman el pavimento, para el diseño y/o evaluación estructural.

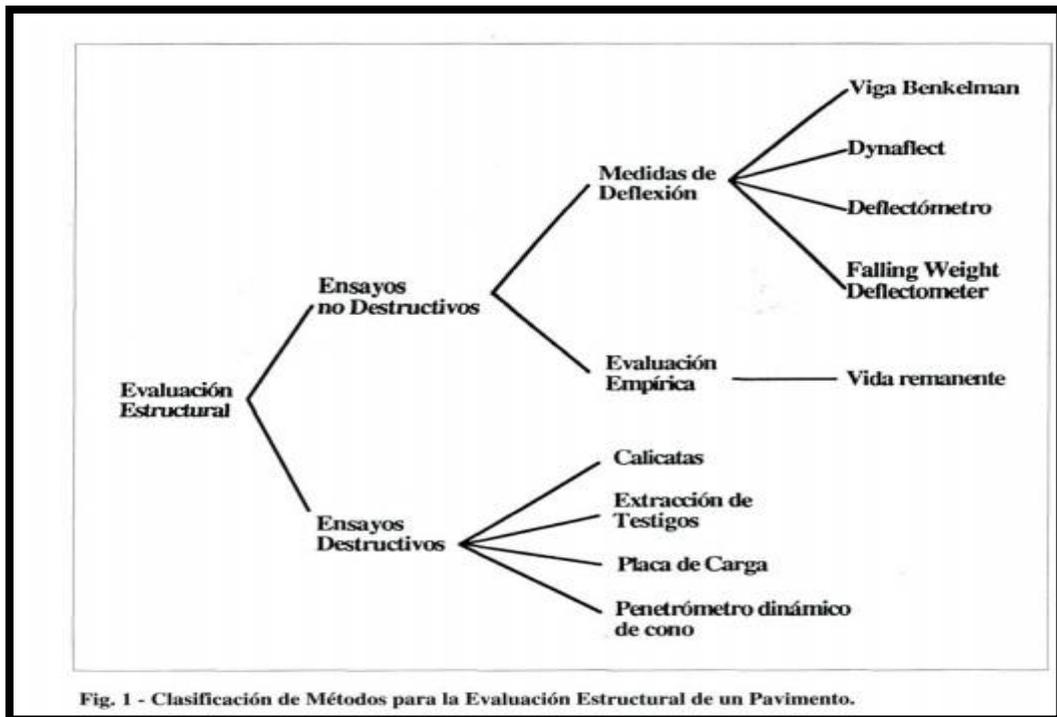
Entre los parámetros a considerar, se encuentran: espesores de capas, CBR de las capas granulares, clasificación, densidades y humedades. Como complemento de este procedimiento, se debe realizar una inspección visual de la superficie, de modo de detectar posibles fallas (en especial grietas) que puedan determinar un menor aporte estructural de las capas de rodado.

**b) Extracción de testigos:** Mediante una extractora de testigos, se obtiene una probeta cilíndrica de las capas superficiales del pavimento. En general solo es aplicable a la extracción de materiales de capas de asfalto y hormigón. Permite medir los espesores y propiedades mecánicas de resistencia de capas cementadas.

**c) Placa de carga:** El ensayo de placa de carga sirve para la evaluación de la capacidad portante del material de subrasante, bases, y en algunos casos, del pavimento completo utilizando placas de diámetros relativamente grandes.

De este ensayo se determina un módulo de reacción ( $k$ ). Para aplicar este método en pavimentos existentes, se requiere efectuar calicatas de gran superficie, lo cual resulta poco práctico y costoso. Este ensayo a quedado paulatinamente en desuso.

**c) Penetrómetro Dinámico de Cono:** El Penetrómetro Dinámico de Cono (DCP) es un dispositivo que permite realizar de un modo expedito, una auscultación in-situ de las capas de suelo de la subrasante y bases granulares. El principio se basa en la acción de una masa dinámica que cae desde una altura preestablecida, lo que produce la penetración de una sonda en forma de cono. Como resultado del ensayo, se encuentra la penetración de la sonda para un determinado número de golpes (PR), el cual está relacionado con las propiedades de CBR.



## PARÁMETROS PARA LA EVALUACIÓN DEL CONTROL DE CALIDAD

Es indispensable conocer algunos términos y conceptos importantes, que harán comprender por qué se hace necesario implementar un proceso y una metodología orientada a controlar y verificar la calidad, en cada una de las fases del Mantenimiento con Mezclas Asfálticas en Caliente y en todo trabajo de la construcción, en el que se busque obtener un producto de calidad. Es de nuestro interés utilizar definiciones puntuales y hasta cierto punto: simples, para no perder de vista los objetivos planteados en el presente documento. Los pavimentos pueden clasificarse en rígidos o flexibles. Generalmente el diseñador se decide por implementar el sistema Flexible debido a que presenta algunas ventajas sobre el sistema rígido como: Bajo costo inicial No requiere de juntas por lo que es más cómodo el tránsito por la carretera Puede ser reciclado, etc. Por lo que es el más utilizado en nuestro medio y como se ha mencionado anteriormente, por la naturaleza misma de éste, siempre ha sido objeto de estudio las

técnicas de mantenimiento para mejorar su estado físico, estructural y funcional a lo largo de toda su vida útil.

### **Calidad**

La Calidad es el conjunto de acciones que permiten mantener las características preestablecidas de un producto. La calidad de cualquier obra depende de muchos factores como:

- ✓ El cumplimiento de las especificaciones
- ✓ Elección correcta de los materiales
- ✓ Procedimientos constructivos adecuados
- ✓ Calidad de la mano de obra
- ✓ Utilización de maquinaria idónea
- ✓ Un plan de control de calidad adecuado

Si se evalúa oportunamente la calidad de todos los procesos, esto permite que al momento de ejecutar un proyecto, se pueda tomar acciones de corrección y dar soluciones precisas a problemas o errores cometidos durante el proceso de bacheo; o de cualquier otro proceso constructivo.

Pero no basta con sólo conocer el término de calidad, sino saber cómo es que se controlará, por lo que se necesita un proceso y una planeación de lo que será el Control de Calidad, y esto comprenderá todo el conjunto de procedimientos que permitan conseguir un producto con características uniformes y de acuerdo a un diseño preestablecido.

De acuerdo a lo anterior, es necesario saber que en el medio, ya se utilizan dos conceptos también utilizados internacionalmente, ya que son fundamentales para entender con un enfoque moderno el documento.

Estos son:

- ✓ Control de calidad (conocido por sus siglas inglesas Q.C. que significan Quality Control)
- ✓ Verificación ó aseguramiento de calidad (conocido por sus siglas inglesas Q. A. que significan Quality Assurance)

Obtener obras de calidad, requiere el empleo de técnicas apropiadas de Control de Calidad/Aseguramiento de la Calidad (QC/QA).

### **Control de Calidad y Aseguramiento de la Calidad.**

El Control de Calidad normalmente se refiere a los ensayos necesarios para controlar un producto y así determinar la calidad del producto que se está elaborando. Estos ensayos son usualmente llevados a cabo por el constructor, ya que este los requiere para asegurarse a sí mismo que el producto o sus partes cumplan con sus expectativas de acuerdo a la responsabilidad contractual que ha contraído con el propietario. El Aseguramiento de calidad por otra parte, se refiere normalmente a aquellos ensayos requeridos para tomar una decisión sobre la aceptación de un producto, y por lo tanto asegurarse que el mismo está siendo evaluado efectivamente de acuerdo a lo que el propietario ha requerido. En El Salvador, esta actividad ha sido ejecutada tradicionalmente por la empresa supervisora. Para que el control de calidad del contratista y el aseguramiento del control de calidad del supervisor del propietario, puedan interactuar adecuadamente, deben existir una serie de elementos que fijen las reglas del juego, que definan de manera coherente los límites de acción de cada uno de los actores involucrados, a esta serie de elementos se les define en la práctica como: Sistema de Control de Calidad, el cual se explica a continuación.

### **Sistema del Control de Calidad**

Consiste en aplicar una serie de procesos, responsabilidades, autoridades, procedimientos y recursos relacionados internamente, completamente definidos y desplegados en forma coherente para lograr cumplir con las exigencias de calidad de obra, especificadas en los términos contractuales. El sistema de Control de Calidad, lo conforman todos los documentos contractuales, como son: Adjudicación de la licitación Especificaciones técnicas Documentos de Aprobación de Requisitos Contractuales Plan de control de Calidad,

etc. También se habla del sistema de control de calidad del contratista, que se refiere a toda la logística y capacidad administrativa y técnica del contratista, para llevar a cabo un autocontrol de calidad adecuado. Este sistema de control del contratista, es respaldado por un Plan de Control de Calidad como requisito obligatorio, a ser presentado al contratante (propietario) y su supervisión, el cual como tal, pasa a ser un elemento más del sistema de control de calidad. A continuación se explica más sobre el dicho Plan de Control.

#### **Plan de Control de Calidad.**

Es una descripción detallada propuesta por el contratista, del tipo y frecuencia de la inspección, muestreos y ensayo, considerada como necesaria para medir y auto controlar las diferentes características establecidas en las especificaciones de un contrato para cada ítem de trabajo. Prácticamente es un manual de operaciones del contratista.

## **2.2.2. CAPACIDAD ESTRUCTURAL Y FUNCIONAL DEL PAVIMENTO FLEXIBLE.**

### **2.2.2.1. PAVIMENTOS**

Un pavimento está constituido por un conjunto de capas superpuestas, relativamente horizontales, que se diseñan y constituyen técnicamente con materiales apropiados y adecuadamente compactados. Estas estructuras estratificadas se apoyan sobre la subrasante de una vía obtenida por el movimiento de tierras en el proceso de exploración y que han de resistir adecuadamente los esfuerzos que las cargas repetidas del tránsito le transmiten durante el periodo para el cual fue diseñada la estructura del pavimento. Un pavimento debe cumplir adecuadamente sus funciones deben reunir los siguientes parámetros:

- Ser resistente a la acción de las cargas impuestas por el tránsito.
- Ser resistente ante los agentes de intemperismo.
- Presentar una textura superficial adaptada a las velocidades previstas de circulación de los vehículos, por cuanto ella tiene una decisiva influencia en la seguridad vial. Además debe ser resistente

al desgaste producido por el efecto abrasivo de las llantas de los vehículos.

- Debe presentar una regularidad superficial, tanto transversal como longitudinal, que permitan una adecuada comodidad a los usuarios en función de las longitudes de onda de las deformaciones y de la velocidad de circulación.
- Debe ser durable.
- Debe ser económico.
- El ruido de rodadura, en el interior de los vehículos que afectan al usuario, así como en el exterior, que influyen en el entorno, deber ser adecuadamente moderado.
- Debe poseer el color adecuado para evitar reflejos y deslumbramiento y ofrecer una adecuada seguridad al tránsito.

## **CLASIFICACIÓN DE LOS PAVIMENTOS**

En nuestro medios los pavimentos se clasifican en: pavimentos flexibles, semirrígido, rígidos y articulados.

**PAVIMENTOS FLEXIBLES:** Este tipo de pavimentos están formados por una carpeta bituminosa apoyada generalmente sobre dos capas no rígidas, la base y la sub base. No obstante puede prescindirse de cualquiera de estas dependencias de las necesidades particulares de cada obra.

Entre las características principales que debe cumplir un pavimento flexible se encuentran las siguientes:

### **Resistencia Estructural**

Debe soportar las cargas impuestas por el tránsito que producen esfuerzos normales y cortantes en la estructura. En los pavimentos flexibles se consideran los esfuerzos cortantes como la principal causa de falla desde el punto de vista estructural. Además de los esfuerzos cortantes también se tienen los producidos por la aceleración, frenaje

de los vehículos y esfuerzos de tensión en los niveles superiores de la estructura.

### **Durabilidad**

La durabilidad está ligada a factores económicos y sociales. La durabilidad que se le desee dar al camino, depende de la importancia de este. Hay veces que es más fácil hacer reconstrucciones para no tener que gastar tanto en el costo inicial de un pavimento.

### **Requerimientos de Conservación**

Los factores climáticos influyen de gran manera en la vida de un pavimento. Otro factor es la intensidad del tránsito, ya que se tiene que prever el crecimiento futuro. Se debe de tomar en cuenta el comportamiento futuro de las terracerías, deformaciones y derrumbes. La degradación estructural de los materiales por carga repetida es otro aspecto que no se puede dejar de lado. La falta de conservación sistemática hace que la vida de un pavimento se acorte.

### **Comodidad**

Para grandes autopistas y caminos, los métodos de diseño se ven afectados por la comodidad que el usuario requiere para transitar a la velocidad de proyecto. La seguridad es muy importante al igual que la estética.

### **Base y Sub - base**

Aunque las bases y las sub - bases tienen características semejantes, las sub - bases son de menor calidad. La sub - base es la capa de material que se construye directamente sobre la terracería y su función es:

- Reducir el costo de pavimento disminuyendo el espesor de la base.
- Proteger a la base aislándola de la terracería, ya que, si el material de la terracería se introduce en la base, puede sufrir cambios volumétricos generados al cambiar las condiciones de humedad dando como resultado una disminución en la resistencia de la base.

- Proteger a la base impidiendo que el agua suba por capilaridad.

- Transmitir y distribuir las cargas a las terracerías.

Las características de calidad que se buscan en los materiales de sub – base, se muestran en la tabla (Olivera (1994).)

La base es la capa de material que se construye sobre la sub - base.

Los materiales con los que se construye deben de ser de mejor calidad que los de la sub – base, la función de la base es:

- Tener la resistencia estructural para soportar las presiones transmitidas por los vehículos.

- Tener el espesor suficiente para que pueda resistir las presiones transmitidas a la sub - base.

- Aunque exista humedad la base no debe de presentar cambios volumétricos perjudiciales.

**PAVIMENTO SEMIRRÍGIDO:** Aunque este tipo de pavimentos guarda básicamente la misma estructura de un pavimento flexible, una de sus capas se encuentra rigidizada artificialmente con un aditivo que puede ser: asfalto, emulsión, cemento, cal y químicos. El empleo de estos aditivos tiene la finalidad básica de corregir o modificar las propiedades mecánicas de los materiales locales que no son aptos para la construcción de las capas del pavimento, teniendo en cuenta que los adecuados se encuentran a distancias tales que encarecerían notablemente los costos de construcción.

**PAVIMENTO RÍGIDO:** Son aquellos que fundamentalmente están constituidos por una losa de concreto hidráulico, apoyada sobre la subrasante o sobre una capa, de material seleccionado, la cual se denomina sub base del pavimento rígido. Debido a la alta rigidez del concreto hidráulico así como de su elevado coeficiente de elasticidad, la distribución

de los esfuerzos se produce en una zona muy amplia. Además como el concreto es capaz de resistir, en ciertos grados, esfuerzos a la tensión, el comportamiento de un pavimento rígido es suficientemente satisfactorio aun cuando existan zonas débiles en la subrasante. La capacidad estructural de un pavimento rígido depende de la resistencia de las losas y por lo tanto, el apoyo de las capas subyacentes ejerce poca influencia en el diseño del espesor del pavimento.

**PAVIMENTO ARTICULADO:** Los pavimentos articulados están compuestos por una capa de rodadura que está elaborada con bloques de concreto prefabricado, llamados adoquines, de espesor uniforme e iguales entre sí. Esta puede ir sobre una capa delgada de arena la cual, a su vez, se apoya sobre la capa de base granular o directamente sobre la subrasante, dependiendo de la calidad de esta y de la magnitud y frecuencia de las cargas por dicho pavimento.

## **FUNCIONES DE LAS CAPAS DE UN PAVIMENTO FLEXIBLE**

### **Sub base granular**

- **Capa de transición:** la sub base bien diseñada impide la penetración de los materiales que constituyen la base con los de la subrasante y por otra parte, actúa como filtro de la base impidiendo que los finos de la subrasante la contaminen menoscabando su calidad.
- **Disminución de la deformación:** algunos cambios volumétricos de la capa subrasante, generalmente asociados a cambios en su contenido de agua (expansiones), o a cambios externos de temperatura, pueden absorberse con la capa sub base, impidiendo que dichas deformaciones se reflejen en la superficie de rodamiento.

- **Resistencia:** la sub base debe soportar los esfuerzos transmitidos por las cargas de los vehículos a través de las capas superiores y transmitidas a un nivel adecuado de la subrasante.

#### **Base granular**

- **Resistencia:** la función fundamental de la base granular de un pavimento consiste en proporcionar un elemento resistente que transmita a la sub base y a la subrasante los esfuerzos producidos por el tránsito en una intensidad apropiada.

#### **Carpeta Asfáltica**

- **Superficie de rodadura:** la carpeta debe proporcionar una superficie uniforme y estable al tránsito, de textura y color conveniente y resistir los efectos abrasivos del tránsito.
- **Resistencia:** su resistencia a la tensión complementa la capacidad estructural del pavimento.
- **Impermeabilidad:** hasta donde sea posible, debe impedir el paso del agua al interior del pavimento. (MONSALVE, GIRALDO, 2012)

### **2.2.3. EVALUACION DE PAVIMENTOS**

La evaluación técnica del estado del pavimento, desde el punto de vista del nivel de servicio que otorga al usuario, como de la capacidad de resistir las solicitaciones de cargas durante un periodo de su vida útil, es el paso fundamental para asignar las acciones de conservación más adecuadas que deben ser aplicadas en el pavimento a evaluar.

El diagnóstico de las condiciones del pavimento comprende básicamente una evaluación del estado funcional del pavimento y una evaluación de las condiciones estructurales de este. (Orozco, 2004)

#### **A. Evaluación Funcional**

La evaluación funcional del pavimento, tiene por objeto el reconocimiento de aquellas deficiencias que se relacionan principalmente con la calidad de la superficie y el estado general de las condiciones del pavimento, considerando todos

aquellos factores que afectan negativamente a la serviciabilidad, seguridad y costos del usuario. Entre este tipo de deficiencias se encuentran: Rugosidad, Fallas Superficiales y Pérdidas de fricción. (Thenoux, Gaete, 2010).

#### Serviciabilidad – Regularidad Superficial

La satisfacción de los usuarios se manifiesta, fundamentalmente, por la calidad en que se encuentra la superficie de rodadura y los elementos que constituyen la seguridad vial. AASHTO (American Association of State Highways and Transportation Officials), fue la primera en sistematizar un procedimiento objetivo para establecer el nivel de deterioro de los pavimentos, procurando relacionar la condición funcional con la estructural. Para el efecto introdujo el concepto de Present Serviciability Index (PSI), que fue derivado de una encuesta efectuada en la década del 60 entre usuarios de carreteras en los Estados Unidos. El Present Serviciability Index o la serviciabilidad fue definida como la capacidad de un pavimento para servir al tránsito para el cual fue diseñado. Los pavimentos fueron calificados con notas cuyos valores extremos variaban desde 0, para un camino intransitable, hasta 5 para una superficie en perfectas condiciones (situación ideal). (Manual de Carreteras, 2013).

La ecuación específica para calcular el PSI de la guía AASHTO se calcula por medio de la siguiente expresión:

$$IRI = 5.5 \times \ln\left(\frac{5}{PSI}\right) \quad \text{Para } IRI < 12 \dots \dots \dots (1)$$

Ordenando términos tenemos:

$$PSI = \frac{5}{e^{\frac{IRI}{5.5}}} \dots \dots \dots (2)$$

Dónde:

- I.R.I. = Rugosidad en escala I.R.I.
- P.S.I. = Índice de Serviciabilidad Presente

Tabla 1. Escala de Índice de Serviciabilidad

Índice de Serviciabilidad (PSI)	Calidad
5	Muy Buena
4	Buena
3	Buena
2	Regular
1	Mala
0	Pésima

(Fuente: Guía AASHTO)

La calificación del estado de un pavimento a través del PSI o el Índice de Serviciabilidad es el resultado de una apreciación visual de la condición superficial de un pavimento. A partir del estudio Brasil (GEIPOT, 1982; Paterson, 1987), se evaluaron y modelaron los efectos físicos de deterioro y mantenimiento del pavimento, definiéndose un nuevo indicador, que se denominó Índice de Rugosidad Internacional o IRI, que representa la regularidad superficial de un pavimento y afecta la operación vehicular, en cuanto a seguridad, confort, velocidad de viaje y desgaste de partes del vehículo. Los estudios del Banco Mundial permiten determinar la rugosidad tanto con equipos debidamente calibrados, como a partir de evaluaciones visuales que relacionan el tipo y estado general del pavimento con la velocidad de operación de los vehículos. A continuación se presenta un gráfico (traducido y adaptado de "Guidelines for conducting and calibrating road roughness measurements", Sayers M.W., Gillespie T.D., Paterson W.D; World Bank Technical Paper Number No 46, 1986), donde se muestra escalas de rugosidad para distintos tipos de pavimento y condición. (Manual de Carreteras, 2013)

Para la rugosidad inicial de un pavimento nuevo y de un pavimento existente reforzado, asimismo para la rugosidad durante el periodo de servicio, se recomienda los siguientes valores:

Tabla 2. Rugosidad Inicial IRI, Según Tipo de Carretera con Carpeta Asfáltica en Caliente

Tipo de Carretera	Rugosidad Característica Inicial Pavimento Nuevo IRI (m/km)	Rugosidad Característica Inicial Pavimento Reforzado IRI (m/km)	Rugosidad Característica Durante el Periodo de Servicio IRI (m/km)	Observación
Autopistas: carreteras de IMDA mayor de 6000 veh/día, de calzadas separadas, cada una con dos o más carriles	2.00	2.50	3.50	Rugosidad característica, para una Confiabilidad de 95%
Carreteras Duales o Multicarril: carreteras de IMDA entre 6000 y 4001 veh/día, de calzadas separadas, cada una con dos o más carriles	2.00	2.50	3.50	Rugosidad característica, para una Confiabilidad de 95%
Carreteras de Primera Clase: carreteras con un IMDA entre 4000-2001 veh/día, de una calzada de dos carriles.	2.50	3.00	4.00	Rugosidad característica, para una Confiabilidad de 95%
Carreteras de Segunda Clase: carreteras con un IMDA entre 2000-401 veh/día, de una calzada de dos carriles.	2.50	3.00	4.00	Rugosidad característica, para una Confiabilidad de 90%
Carreteras de Tercera Clase: carreteras con un IMDA entre 400-201 veh/día, de una calzada de dos carriles.	3.00	3.50	4.50	Rugosidad característica, para una Confiabilidad de 90%
Carreteras de Bajo Volumen de Tránsito: carreteras con un IMDA $\leq$ 200 veh/día, de una calzada.	3.00	3.50	4.50	Rugosidad característica, para una Confiabilidad de 85%

(Fuente: Manual de Carreteras, 2013)

## Metodología para la determinación de la rugosidad mediante equipo

### Merlin:

#### Fundamentos Teóricos:

La determinación de la rugosidad de un pavimento se basa en el concepto de usar la distribución de las desviaciones de la superficie respecto de una cuerda promedio. La fig.2 ilustra como el MERLIN mide el desplazamiento vertical entre la superficie del camino y el punto medio de una línea imaginaria de longitud constante. El desplazamiento es conocido como "la desviación respecto a la cuerda promedio". (Del Águila, 1998)

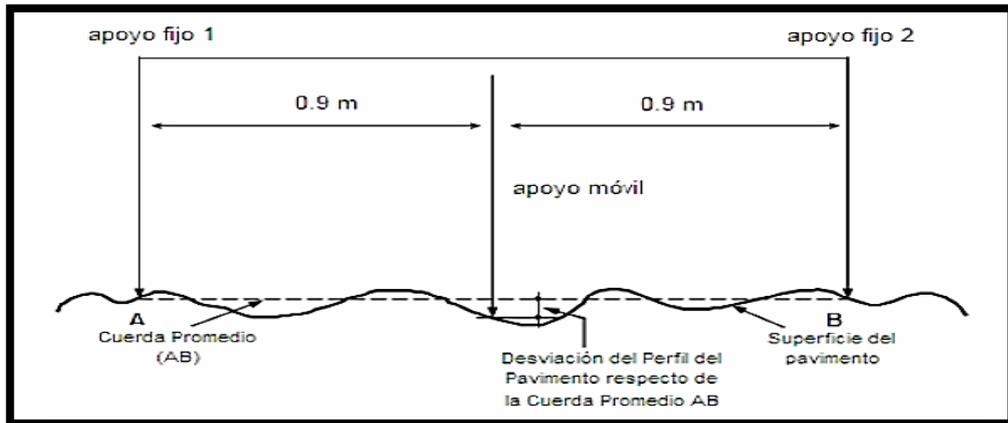
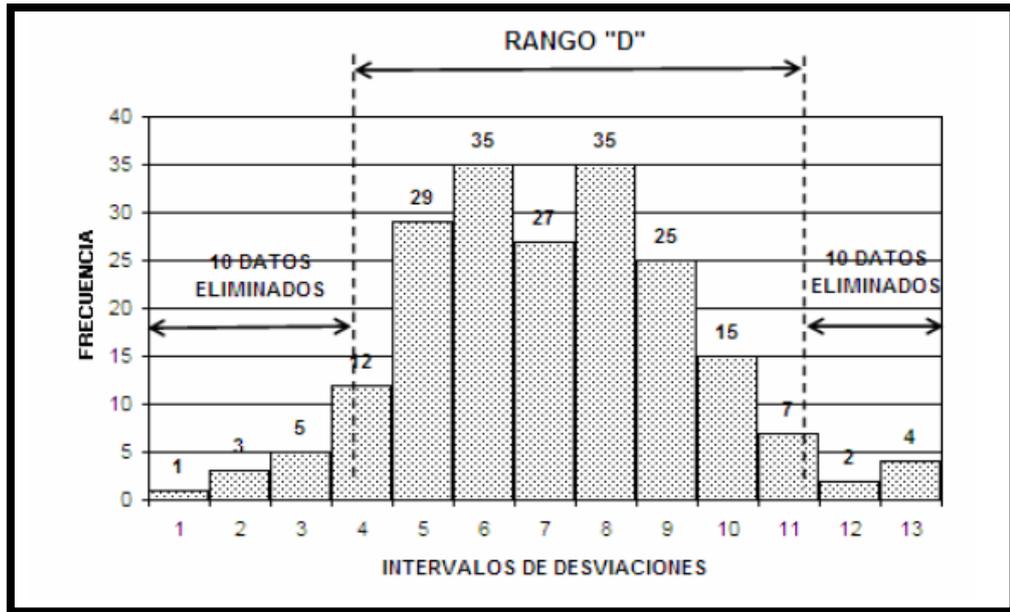


Figura 2. Medición de las desviaciones de la superficie del pavimento respecto de la cuerda promedio.

La longitud de la cuerda promedio es 1,80m, por ser la distancia que proporciona los mejores resultados en las correlaciones. Asimismo, se ha definido que es necesario medir 200 desviaciones respecto de la cuerda promedio, en forma consecutiva a lo largo de la vía y considerar un intervalo constante entre cada medición. (Del Águila, 1998)

Para dichas condiciones se tiene que, a mayor rugosidad de la superficie mayor es la variabilidad de los desplazamientos. Si se define el histograma de la distribución de frecuencias de las 200 mediciones, es posible medir la dispersión de las desviaciones y correlacionarla con la escala estándar de la rugosidad (fig.3). (Del Águila, 1998)

El parámetro estadístico que establece la magnitud de la dispersión es el Rango de la muestra (D), determinado luego de efectuar una depuración del 10% de observaciones (10 datos en cada cola del histograma). El valor D es la rugosidad del pavimento en "unidades MERLIN". (Del Águila, 1998)



(Fuente: Manual de Carreteras, 2013)

Figura 3. Histograma de la distribución de frecuencias de una muestra de 200 desviaciones medidas en forma consecutiva.

El concepto de usar la dispersión de las desviaciones de la superficie respecto de una cuerda promedio, como una forma para evaluar la rugosidad de un pavimento no es nuevo ni original del Laboratorio Británico de Investigación de Transportes y Caminos (TRRL). Varios parámetros de rugosidad precedentes, tal como el conocido Quarter-car Index (QI), han sido propuestos por otros investigadores basándose en el mismo concepto. (Del Águila, 1998)

**Correlaciones Rugosidad (D) versus Índice de Rugosidad Internacional (IRI):**

Para relacionar la rugosidad determinada con el MERLIN con el Índice de Rugosidad Internacional (IRI), que es el parámetro utilizado para uniformizar los resultados provenientes de la gran diversidad de equipos que existen en la actualidad, se utilizan las siguientes expresiones:

$$\text{Cuando } 2,4 < \text{IRI} < 15,9, \text{ entonces } \text{IRI} = 0,593 + 0,0471D \dots (3)$$

$$\text{Cuando } \text{IRI} < 2,4, \text{ entonces } \text{IRI} = 0,0485D \dots (4)$$

La expresión 3 es la ecuación original establecida por el TRRL mediante simulaciones computarizadas, utilizando una base de datos proveniente del Ensayo Internacional sobre Rugosidad realizado en Brasil en 1982. La ecuación de correlación establecida es empleada para la evaluación de pavimentos en servicio, con superficie de rodadura asfáltica, granular o de tierra, siempre y cuando su rugosidad se encuentre comprendida en el intervalo indicado. (Del Águila, 1998)

La expresión 4 es la ecuación de correlación establecida de acuerdo a la experiencia peruana y luego de comprobarse, después de ser evaluados más de 3,000 km de pavimentos, que la ecuación original del TRRL no era aplicable para el caso de pavimentos asfálticos nuevos o poco deformados. Se desarrolló entonces, siguiendo la misma metodología que la utilizada por el laboratorio británico, una ecuación que se emplea para el control de calidad de pavimentos recién construidos. (Del Águila, 1998)

Existen otras expresiones que han sido estudiadas para el caso de superficies que presentan cierto patrón de deformación que incide, de una manera particular, en las medidas que proporciona en Merlin. M.A. Cundill del TRRL estableció en 1996, para el caso de superficies con macadam de penetración de extendido manual, la siguiente expresión:

$$IRI= 1,913+0,0490D..... (5)$$

Método de Medición: El rugosímetro Merlin

Es un instrumento versátil, sencillo y económico, pensado especialmente para uso en países en vías de desarrollo. Fue introducido en el Perú en 1993.

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). (Del Águila, 1998)

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.

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. La correlación de los resultados obtenidos con el MERLIN, con la escala del IRI, tiene un coeficiente de determinación prácticamente igual a la unidad ( $R^2=0,98$ ). Por su gran exactitud, sólo superado por el método topográfico (mira y nivel), algunos fabricantes de equipos tipo respuesta (Bump Integrator, Mays Meter, etc.) lo recomiendan para la calibración de sus rugosímetros. (Del Águila, 1998)

El MERLIN es un equipo de diseño simple. La fig.4 presenta un esquema ilustrativo del instrumento. Consta de un marco formado por dos elementos verticales y uno horizontal.

Para facilidad de desplazamiento y operación el elemento vertical delantero es una rueda, mientras que el trasero tiene adosados lateralmente dos soportes inclinados, uno en el lado derecho para fijar el equipo sobre el suelo durante los ensayos y otro en el lado izquierdo para descansar el equipo.

El elemento horizontal se proyecta, hacia la parte trasera, con 2 manijas que permiten levantar y movilizar el equipo, haciéndolo rodar sobre la rueda en forma similar a una carretilla. (Del Águila, 1998)

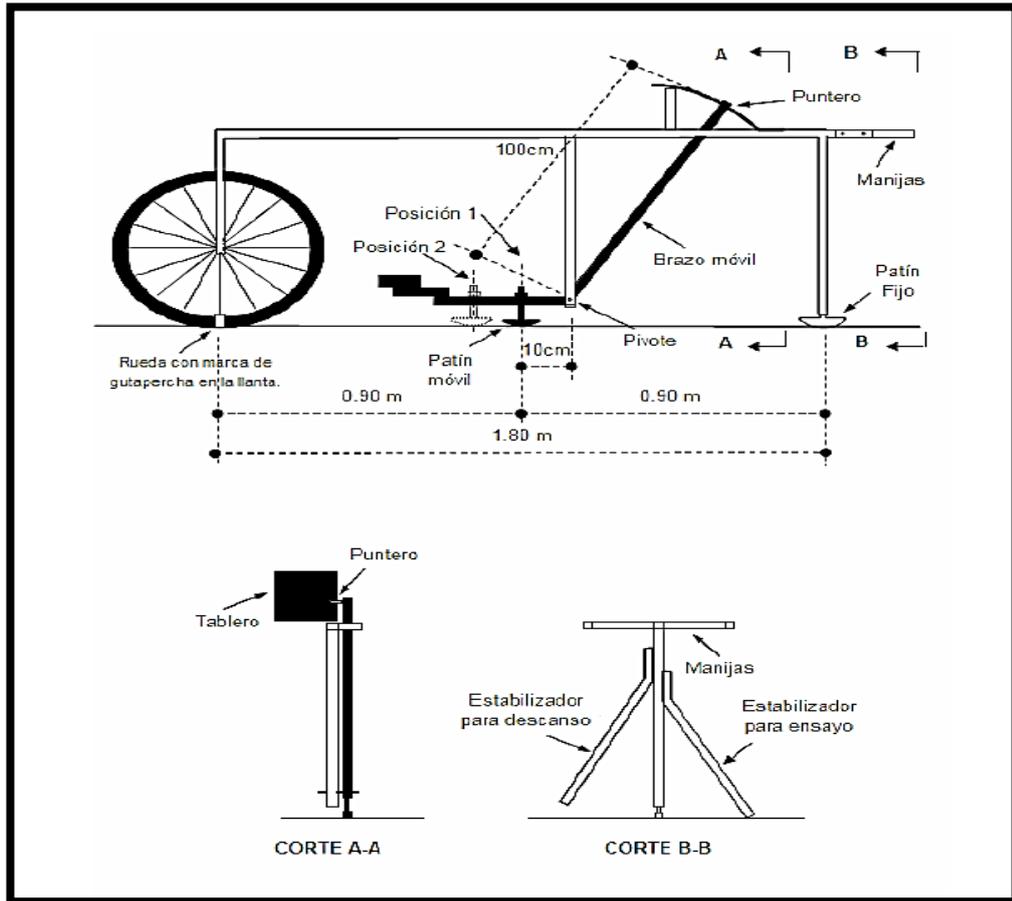


Figura 4. Esquema del Rugosímetro Merlin.

Aproximadamente en la parte central del elemento horizontal, se proyecta hacia abajo una barra vertical que no llega al piso, en cuyo extremo inferior pivotea un brazo móvil.

El extremo inferior del brazo móvil está en contacto directo con el piso, mediante un patín emperrado y ajustable, el cuál se adecua a las imperfecciones del terreno, mientras que el extremo superior termina en un puntero o indicador que se desliza sobre el borde de un tablero, de acuerdo a la posición que adopta el extremo inferior del patín móvil al entrar en contacto con el pavimento.

La relación de brazos entre los segmentos extremo inferior del patín móvil-pivote y pivote-puntero es 1 a 10, de manera tal que un movimiento vertical de 1mm, en el extremo inferior del patín móvil, produce un desplazamiento de 1 cm del puntero. (Del Águila, 1998)

Para registrar los movimientos del puntero, se utiliza una escala gráfica con 50 divisiones, de 5 mm de espesor cada una, que va adherida en el borde del tablero sobre el cuál se desliza el puntero (fig.5).

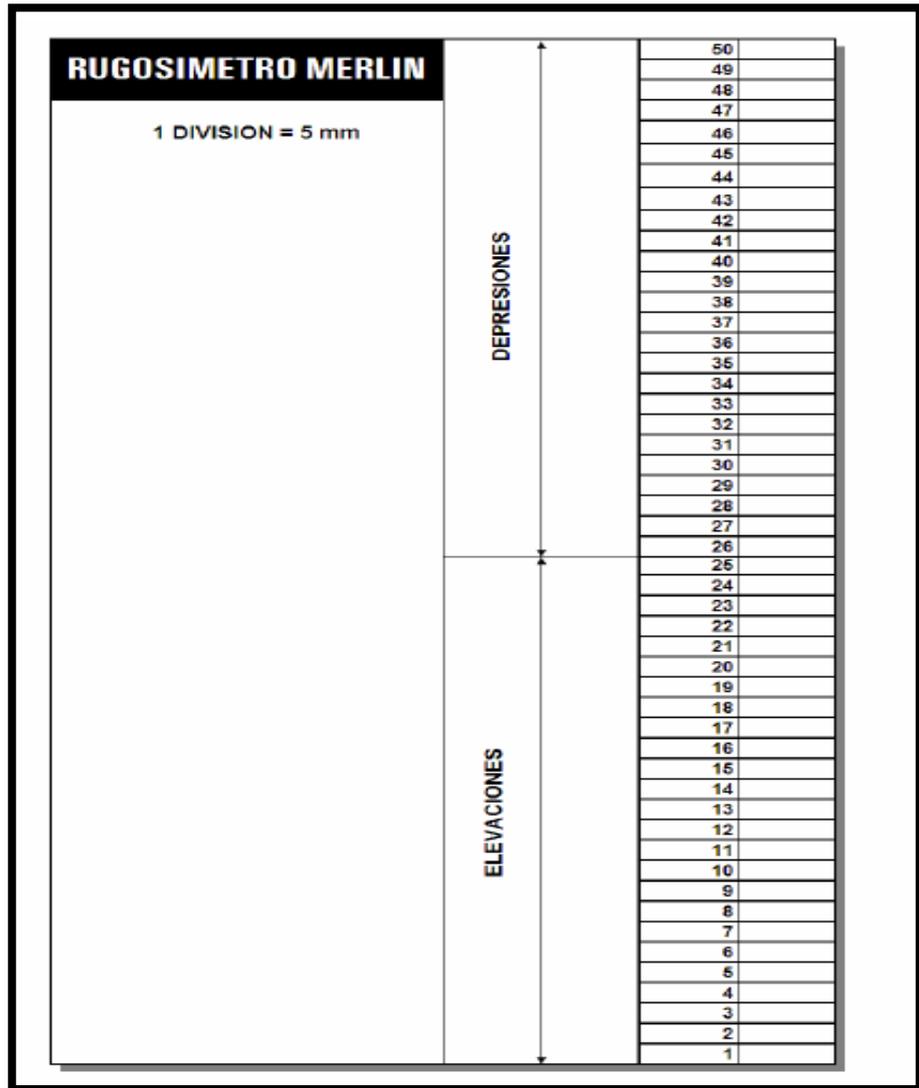


Figura 5. Escala para determinar la dispersión de las divisiones de la superficie de pavimento respecto del nivel de referencia o cuerda promedio.

**Método para el cálculo de la rugosidad:**

Cálculo del Rango "D": Como se ha explicado, para la generación de los 200 datos que se requieren para determinar un valor de rugosidad, se emplea una escala arbitraria de 50 unidades colocada sobre el tablero del rugosímetro, la que sirve para registrar las doscientas posiciones que adopta el puntero del brazo móvil. La división número 25 debe ser tal que corresponda a la posición central del puntero sobre el tablero cuando el perfil del terreno coincide con la línea o cuerda promedio. En la medida que las diversas posiciones que adopte el puntero coincidan con la división 25 o con alguna cercana (dispersión baja), el ensayo demostrará que el pavimento tiene un perfil igual o cercano a

una línea recta (baja rugosidad). Por el contrario, si el puntero adopta repetitivamente posiciones alejadas a la división número 25 (dispersión alta), se demostrará que el pavimento tiene un perfil con múltiples inflexiones (rugosidad elevada). (Del Águila, 1998)

La dispersión de los datos obtenidos con el MERLIN se analiza calculando la distribución de frecuencias de las lecturas o posiciones adoptadas por el puntero, la cual puede expresarse, para fines didácticos, en forma de histograma.

Posteriormente se establece el rango de los valores agrupados en intervalos de frecuencia (D), luego de descartarse el 10% de datos que correspondan a posiciones del puntero poco representativas o erráticas. En la práctica se elimina 5% (10 datos) del extremo inferior del histograma y 5% (10 datos) del extremo superior. (Del Águila, 1998)

Efectuado el descarte de datos, se calcula el “ancho del histograma” en unidades de la escala, considerando las fracciones que pudiesen resultar como consecuencia de la eliminación de los datos.

El Rango D determinado se debe expresar en milímetros, para lo cual se multiplica el número de unidades calculado por el valor que tiene cada unidad en milímetros. (Del Águila, 1998)

### **Factor de corrección para el ajuste de “D”:**

Las ecuaciones 3 y 4 representan correlaciones entre el valor D y la rugosidad en unidades IRI, las cuales han sido desarrolladas para una condición de relación de brazos del rugosímetro de 1 a 10. Esta relación en la práctica suele variar, y depende del desgaste que experimenta el patín del brazo móvil del instrumento. En consecuencia, para corregir los resultados se verifica la relación de brazos actual del instrumento, y se determina un factor de corrección que permita llevar los valores a condiciones estándar.

Para determinar el factor de corrección se hace uso de un disco circular de bronce de aproximadamente 5 cm de diámetro y 6 mm de espesor, y se procede de la siguiente manera:

- a. Se determina el espesor de la pastilla, en milímetros, utilizando un calibrador que permita una aproximación al décimo de milímetro. El espesor se calculará como el valor promedio considerando 4 medidas diametralmente opuestas.
- b. Se coloca el rugosímetro sobre una superficie plana y se efectúa la lectura que corresponde a la posición que adopta el puntero cuando el patín móvil se encuentra sobre el piso. Se levanta el patín y se coloca la pastilla de calibración debajo de él, apoyándola sobre el piso.

Esta acción hará que el puntero sobre el tablero se desplace, asumiendo una relación de brazos estándar de 1 a 10, una distancia igual al espesor de la pastilla multiplicado por 10, lo que significa, considerando que cada casillero mide 5 mm, que el puntero se ubicará aproximadamente en el casillero 12, siempre y cuando la relación de brazos actual del equipo sea igual a la asumida. (Del Águila, 1998)

Si no sucede eso, se deberá encontrar un factor de corrección (F.C.) usando la siguiente expresión:

$$F.C. = (EP \times 10) / [(LI - LF) \times 5] \dots\dots\dots (6)$$

Donde,

EP: Espesor de la pastilla

LI: Posición inicial del puntero

LF: Posición final del puntero

Variación de relación de brazos:

Para facilidad del trabajo, el rugosímetro admite dos posiciones para el patín del brazo pivotante:

- a. Una posición ubicada a 10 cm del punto de pivote, posición standard que se utiliza en el caso de pavimentos nuevos o superficies muy lisas (baja rugosidad). En ese caso la relación de brazos utilizada será 1 a 10.

- b. Una posición ubicada a 20 cm del punto de pivote, posición alterna que se utiliza en el caso de pavimentos afirmados muy deformados o pavimentos muy deteriorados. En ese caso la relación de brazos será 1 a 5. De usar esta posición, el valor D determinado deberá multiplicarse por un factor de 2. (Del Águila, 1998)

### **Cálculo del Rango “D” corregido:**

El valor D calculado, deberá modificarse considerando el Factor de Corrección y la Relación de Brazos empleada en los ensayos.

Este valor llevado a condiciones estándar es la rugosidad en “unidades MERLIN”.

Determinación de la rugosidad en la escala del IRI:

Para transformar la rugosidad de unidades MERLIN a la escala del IRI, se usa las expresiones (3) y (4).

Límites de la rugosidad para el control de calidad de pavimentos:

Para el caso de pavimentos asfálticos nuevos o rehabilitados, la rugosidad o regularidad superficial se deberá controlar calculando el parámetro denominado IRI Característico, el cual es definido por la siguiente expresión: (Del Águila, 1998)

$$IRI_c = IRI_p + 1.645\sigma \dots\dots\dots (7)$$

Donde,

IRI<sub>c</sub>: IRI característico

IRI<sub>p</sub>: IRI promedio

σ : Desviación Estándar

De acuerdo al factor de correlación empleado (K=1,645), se cumplirá que el 95% del pavimento experimentará una rugosidad igual o menor al IRI característico.

Calculado el IRI característico, el sector o tramo será aceptado si cumple con las siguientes condiciones:

- a. Para pavimentos asfálticos nuevos, el IRIc deberá ser menor o igual a 2,0 m/km.
- b. Para pavimentos con recapado asfáltico, el IRIc deberá ser menor o igual a 2,5 m/km.
- c. Para pavimentos con sellado asfáltico, el IRIc deberá ser menor o igual a 3,0 m/km.

En caso de no cumplirse con estos límites, el sector o tramo deberá subdividirse en secciones de rugosidad homogénea, y se calculará el IRI característico para cada una de ellas, los que deberán cumplir los límites indicados. (Del Águila, 1998)

## **B. Evaluación Estructural**

La Evaluación Estructural permite determinar la capacidad del pavimento actual para soportar las solicitaciones consideradas en el diseño. Para determinar esta capacidad, existen una serie de ensayos, siendo los más tradicionales los de tipos destructivos (requieren extraer una muestra del pavimento y/o de los suelos de fundación). Existen tecnologías alternativas que permiten efectuar mediciones de la capacidad estructural de manera no destructiva, con el cual se obtienen las mediciones de deflexión de los pavimentos. (Manual de carreteras, 2013)

Esta alternativa de evaluación se fundamenta en el estudio de las deformaciones verticales en la superficie del pavimento a consecuencia de la aplicación de una determinada carga móvil y/o estática. La deflexión es una medida de respuesta global del sistema "Pavimento-Subrasante" frente a una solicitud.

El campo de aplicación de la deflectometría es muy amplio empleándose principalmente para:

Determinar la vida remanente de un pavimento y la condición de un pavimento con miras a su mantenimiento.

Evaluar estructuralmente al pavimento con miras a su rehabilitación.

Existe una gran variedad de equipos destinados a medir las deflexiones del pavimento, encontrándose de los más simples y versátiles (Viga Benkelman) hasta los más sofisticados y costosos, pero de gran rendimiento operacional (FallingWeight Deflectometer, FWD). (Manual de carreteras, 2013)

La evaluación estructural del pavimento, tiene por objeto la cuantificación de la capacidad estructural remanente del pavimento. La falta de capacidad estructural de un pavimento genera en este un deterioro progresivo que se manifiesta en niveles excesivos de agrietamientos y deformaciones, no recuperables a través de la simple aplicación de acciones de conservación preventivas. (Thenoux, Gaete 2010)

La evaluación superficial se complementa con la evaluación estructural mediante la medición de deflexiones con equipos.

Asimismo, en muchos casos es necesario recurrir también a la realización de calicatas, sondeos, toma de muestras y ensayos de laboratorio para verificar las hipótesis deducidas de la evaluación superficial.

La deflectometría es el estudio de las deformaciones verticales de la superficie de una calzada, a consecuencia de la acción de una determinada carga o sollicitación.

La deflexión es una medida de la respuesta del conjunto “pavimento – subrasante” frente a una determinada sollicitación, indicando la adecuabilidad del pavimento desde el punto de vista estructural.

La medición deflexiones se efectuará según lo especificado en el Manual de Ensayos de Materiales del MTC. Una vez efectuadas las mediciones se elaborará un deflectograma, que permite analizar la variabilidad de la capacidad estructural del pavimento existente, para finalmente determinar los sectores de características o comportamiento homogéneo, definiendo para cada sector homogéneo la correspondiente deflexión característica, que es el valor que mejor representa un determinado sector. (Manual de carreteras, 2013)

Tabla 3. Definición de Deflexión Característica según tipo de carretera

Tipo de Carretera	Deflexión Característica Dc	Observación
Autopistas: carreteras de IMDA mayor de 6000 veh/día, de calzadas separadas, cada una con dos o más carriles	$D_c = D_m + 1.645 \times d_s$	Deflexión característica, para una Confabilidad de 95%
Carreteras Duales o Multicamión: carreteras de IMDA entre 6000 y 4001 veh/día, de calzadas separadas, cada una con dos o más carriles	$D_c = D_m + 1.645 \times d_s$	Deflexión característica, para una Confabilidad de 95%
Carreteras de Primera Clase: carreteras con un IMDA entre 4000-2001 veh/día, de una calzada de dos carriles.	$D_c = D_m + 1.645 \times d_s$	Deflexión característica, para una Confabilidad de 95%
Carreteras de Segunda Clase: carreteras con un IMDA entre 2000-401 veh/día, de una calzada de dos carriles.	$D_c = D_m + 1.282 \times d_s$	Deflexión característica, para una Confabilidad de 90%
Carreteras de Tercera Clase: carreteras con un IMDA entre 400-201 veh/día, de una calzada de dos carriles.	$D_c = D_m + 1.282 \times d_s$	Deflexión característica, para una Confabilidad de 90%
Carreteras de Bajo Volumen de Tránsito: carreteras con un IMDA $\leq$ 200 veh/día, de una calzada.	$D_c = D_m + 1.036 \times d_s$	Deflexión característica, para una Confabilidad de 85%

Nota: Dc = Deflexión característica, Dm= Deflexión media, ds= desviación estándar

(Fuente: Manual de Carreteras, 2013)

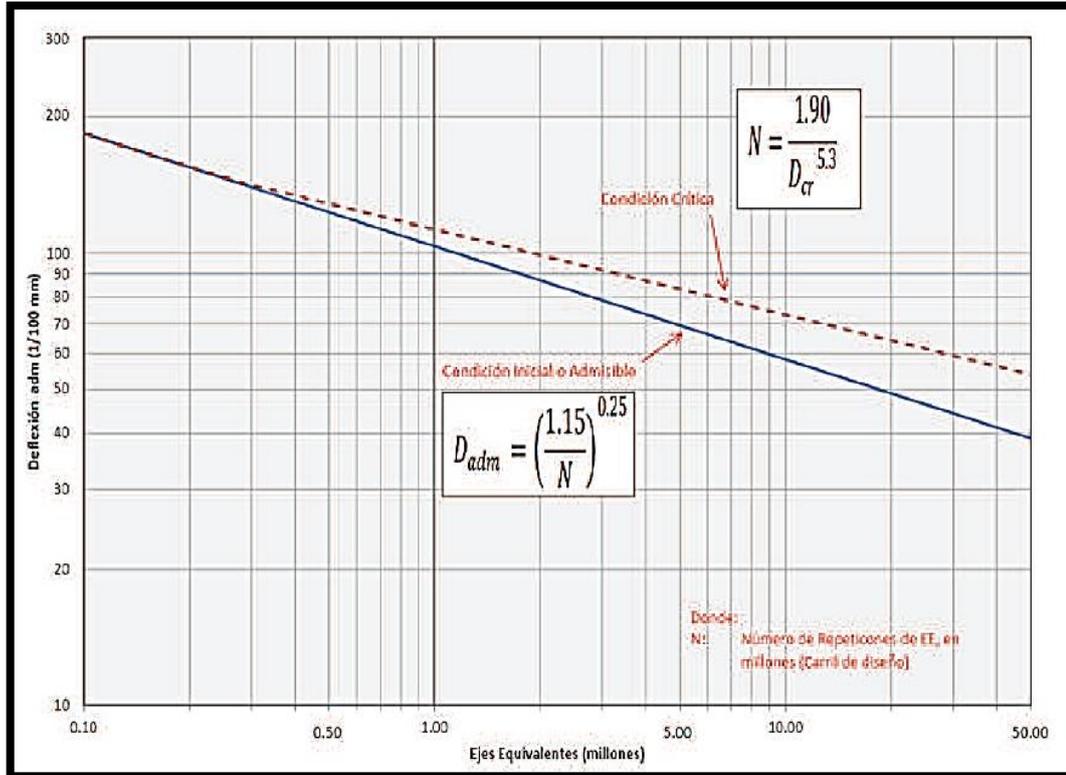
Las deflexiones se comparan con el valor límite admisible, que es la deflexión tolerable que garantiza un comportamiento satisfactorio del pavimento en relación con el tráfico que debe soportar. Para el presente estudio se ha adoptado la relación propuesta para el paquete estructural del pavimento, por CONREVIAl (Estudio de Rehabilitación de Carreteras del País. MTC-Perú):

$$D_{adm} = \left(\frac{1.15}{N}\right)^{0.25} \dots\dots\dots (8)$$

Dónde:

Dadm = Deflexión admisible en mm (a comparar con deflexiones viga Benkelman)

N = Número de repeticiones de ejes equivalentes en millones



Fuente: Manual de Carreteras 2013

Figura 6. Gráfico de Deflexiones Admisibles

Las deflexiones características y admisible, se comparan mediante un análisis combinado de los resultados de la evaluación, presentándose una serie posibilidades que merecen ser analizadas para finalmente establecer la capacidad estructural del pavimento existente en relación al tráfico y cargas circulantes, definiendo si la estructura del pavimento es adecuada y sólo requiere de una renovación superficial; o, se encuentra fatigada y requiere un refuerzo estructural; o, es una estructura deficiente y requiere una reconstrucción parcial o total. (Manual de carreteras, 2013)

Para la diferenciación de casos que podrían presentarse en el análisis de la evaluación se presenta el siguiente cuadro, el mismo que compara la deflexión característica con la admisible, en función del tráfico futuro:

Tabla N° 4. Análisis Combinado de los Resultados de la Evaluación.

PRIMER PASO	SEGUNDO PASO	TERCER PASO	CUARTO PASO	CASOS
1° La deflexión característica resulta:	SUPERIOR	NO: Estructura infradiseñada para el tráfico previsto		PRIMER CASO Pavimento necesita con urgencia un refuerzo estructural para resistir el tráfico previsto
	2° Hay fallas de origen estructural?	SI: 3° Existe una capa débil inmediata debajo de las capas asfálticas?	NO: Las fallas se deben a otra causas	SEGUNDO CASO Este es el paso avanzado del primer caso, cuando no se han tomado a tiempo las medidas necesarias
			SI: Radio de curvatura pequeño (menor ó igual a 80m)	TERCER CASO Está caracterizado por la presencia de una capa débil subyacente a la asfáltica, que determina que la deformación de esta última bajo cargas no encuentra apoyo suficiente y sea mayor a la que le correspondería en ausencia del espesor débil.
	IGUAL O INFERIOR	NO: Corregir fallas de origen superficial		
2° Hay fallas de origen estructural?	SI: 3° De que tipo?	Fallas por fatiga (piel de cocodrilo) Radio de curvatura pequeño (menor o igual a 80 m) Capa débil inmediatamente debajo de las asfálticas	TERCER CASO En este caso los radios de curvatura de la línea de deflexión son reducidos y el desarrollo del fisuramiento en forma de piel de cocodrilo es posible aún con deflexiones admisibles	

PRIMER PASO	SEGUNDO PASO	TERCER PASO	CUARTO PASO	CASOS
			Fallas por deformación permanente de la fundación que se traducen en depresiones, ahuellamiento marcado (mayor a 12 mm), ondulaciones, etc	<p><b>CUARTO CASO</b></p> <p>Se caracteriza por el desarrollo de deformaciones permanentes, en particular ahuellamiento en la zona de canalización del tráfico, no atribuibles a desplazamientos plásticos de las capas asfálticas por deficiente estabilidad o compactación, es decir que afectan a toda la estructura. Se trata por lo general de pavimentos antiguos que han sido reforzados con capas asfálticas de espesor suficiente para evitar las fallas por fatiga pero insuficientes para compensar la debilidad de la fundación original.</p> <p>En estos casos las medidas de deflexión pueden no ser significativas, aquí lo más importantes es apreciar el valor portante de la fundación y el aporte estructural que aún puede prestar el pavimento original y las capas asfálticas de refuerzo existentes.</p>

Fuente: Estudio de Rehabilitación de Carreteras en el País - CONREVIAl

Como resultado de estos estudios y del análisis de la magnitud, severidad y frecuencia de las degradaciones superficiales, se determinarán los sectores que requieren de trabajos de renovación superficial, refuerzo estructural o reconstrucción parcial o total. (Manual de Carreteras, 2013)

Medición de deflexiones mediante el equipo - Viga Benkelman:

Las deflexiones producidas en la superficie de un pavimento flexible, por acción de cargas vehiculares, pueden ser determinadas haciendo uso de deflectómetros tales como el denominado "Viga Benkelman". Llamado así en honor al Ing. A.C. Benkelman, quién la desarrollo en 1953 como parte del programa de ensayos viales de la ASSHO Road Test.

Desde entonces su uso se ha difundido ampliamente en proyectos de evaluación estructural de pavimentos flexibles, tanto por su practicidad como por la naturaleza directa y objetiva de los resultados que proporciona. (Hoffman y Del Águila, 1985)

Esquema y operación de la Viga Benkelman:

El deflectómetro Benkelman funciona según el principio de la palanca. Es un instrumento completamente mecánico y de diseño simple. Según se esquematiza en la fig. 7-a, la viga consta esencialmente de dos partes: (1) Un cuerpo de sostén que se sitúa directamente sobre el terreno mediante tres apoyos (dos delanteros fijos "A" y uno trasero regulable "B") y (2) Un brazo móvil acoplado al cuerpo fijo mediante una articulación de giro o pivote "C", uno de cuyos extremos apoya sobre el terreno (punto "D") y el otro se encuentra en contacto sensible con el vástago de un extensómetro de movimiento vertical (punto "E").

Adicionalmente el equipo posee un vibrador incorporado que al ser accionado, durante la realización de los ensayos, evita que el indicador del dial se trabe y/o que cualquier interferencia exterior afecte las lecturas, como se verá más adelante. (Hoffman y Del Águila, 1985)

El extremo "D" o "punta de la viga" es de espesor tal que puede ser colocado entre una de las llantas dobles del eje trasero de un camión cargado. Por el peso aplicado se produce una deformación del pavimento, consecuencia de lo cual la punta baja una cierta cantidad, con respecto al nivel descargado de la superficie. Como efecto de dicha acción el brazo DE gira en torno al punto fijo "C", con respecto al cuerpo AB, determinando que el extremo "E" produzca un movimiento vertical en el vástago del extensómetro apoyado en él, generando así una lectura en el dial indicador. Si se retiran luego las llantas cargadas, el punto "D" se recupera en lo que a deformación elástica se refiere y por el mismo mecanismo anterior se genera otra lectura en el dial del extensómetro.

La operación expuesta representa el "principio de medición" con la Viga Benkelman. Lo que se hace después son sólo cálculos en base a los datos recogidos. Así, con las dos lecturas obtenidas es posible determinar cuánto deflectó el pavimento en el lugar subyacente al punto "D" de la viga, durante el procedimiento descrito. Es de anotar que en realidad lo que se mide es la recuperación del punto "D" al remover la carga (rebote elástico) y no la deformación al colocar ésta.

Para calcular la deflexión deberá considerarse la geometría de la viga, toda vez que los valores dados por el extensómetro (EE') no están en escala real sino que dependen de la relación de brazos existentes (ver fig. 7-b). (Hoffman y Del Águila, 1985)

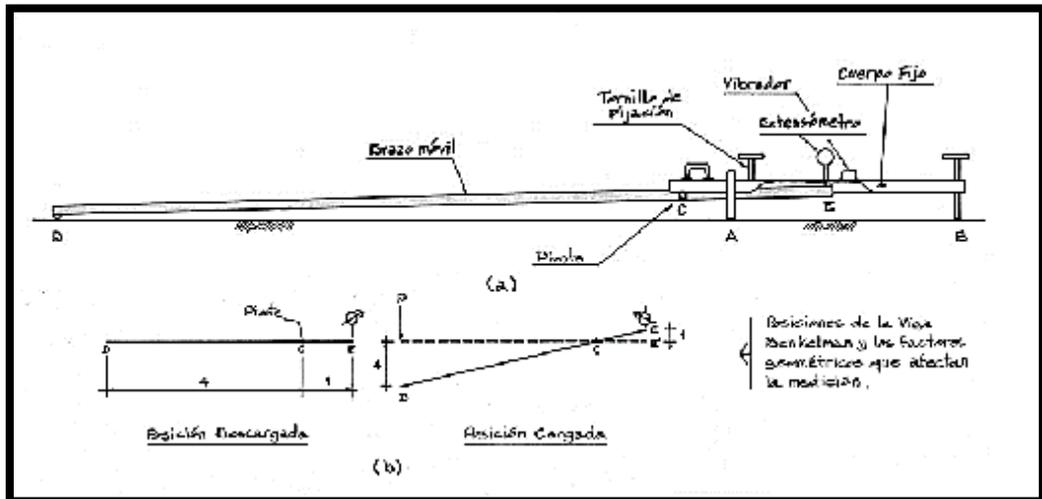


Figura 7. Esquema y principio de operación de la Viga Benkelman  
Cálculo de las deflexiones

El procedimiento para el cálculo de las deflexiones es simple. Para el caso de la deflexión máxima, se debe calcular la diferencia entre la lectura inicial y la lectura final. Para el caso de la deflexión a 25cm, se debe encontrar la diferencia entre la lectura a 25cm y la lectura final.

Las diferencias se multiplican por 2 ó 4, debido a la relación de brazos de la Viga Benkelman empleada. (Hoffman y Del Águila, 1985)

#### Corrección por Temperatura

Partiendo de la premisa que la temperatura de la capa asfáltica de rodadura influencia en el valor de la deflexión, las deflexiones medias sobre la superficie de un pavimento asfáltico deben ser corregidas en función a la temperatura media que la capa experimenta durante la ejecución del ensayo, la cual varía durante el transcurso del día.

A fin de referir todas las deflexiones a una temperatura estándar de 20°C, se emplea la siguiente expresión: (Hoffman y Del Águila, 1985)

$$D_{20} = \frac{D_t}{K*(t-20^\circ C)^*e+1} \dots\dots\dots (9)$$

Dónde:

- $D_{20}$  : Deflexión a la temperatura estándar 20°C  
 $D_t$  : Deflexión a la temperatura t (0.01mm)  
K : Coeficiente igual a  $1 \cdot 10^{-3}$  (1/cm°C°)  
t : Temperatura del asfalto medida para cada ensayo  
e : Espesor de la carpeta asfáltica en cm

#### Corrección por Estacionalidad

La capacidad de deformación de los suelos está influenciada por el grado de saturación que experimentan, por lo tanto, es deseable que la medición de deflexiones se realice durante la estación de lluvias, durante la cual los suelos se encuentran en la situación más crítica. De no ser así, se debe efectuar la corrección de las medidas a fin de tomar en cuenta dicho aspecto. Para fines prácticos se propone el uso de los siguientes factores de corrección, considerando el tipo de suelo subrasante y la época en que se realizaron los ensayos. (Hoffman y Del Águila, 1985)

Tabla 5. Factor de corrección por estacionalidad

TIPO DE SUELO DE SUBRASANTE	ESTACION LLUVIOSA	ESTACION SECA
Arenosa-permeable	1,0	1,1 a 1,3
Arcillosa-sensible al agua	1,0	1,2 a 1,4

#### Cálculo del radio de curvatura

El método asume que la curvatura que experimenta la superficie del pavimento, durante la aplicación de la carga, es de forma parabólica, en un segmento de aproximadamente 25cm, a partir del punto de máxima deflexión. (Hoffman y Del Águila, 1985)

El comportamiento actual del pavimento se podrá calificar como satisfactorio, si cumple que:

Los valores de radio de curvatura calculados son mayores de 100m

El radio de curvatura promedio está comprendido entre 300-500m

Para la determinación del radio de dicha curvatura, se ha establecido la siguiente expresión:

$$R = \frac{6250}{2(D_0 - D_{25})} \dots\dots\dots (10)$$

Dónde:

R : Radio de Curvatura (m)

$D_0$  : Deflexión máxima corregida por temperatura (0.01mm)

$D_{25}$  : Deflexión a 25cm corregida por temperatura (0.01mm)

## **2.3. FORMULACIÓN DE LA HIPÓTESIS**

### **2.3.1. Hipótesis General**

La capacidad estructural y funcional del pavimento flexible de la carretera Huancavelica - Lircay reúne las condiciones favorables de acuerdo a la norma Peruana de pavimentos durante el proceso de construcción.

### **2.3.2. Hipótesis Específicas**

- Se encontró los parámetros que establece la norma Peruana de pavimentos flexibles.
- La capacidad estructural y funcional del pavimento flexible en construcción utilizando la Viga Benkelman y el Merlin, reúne las condiciones según EG-2013.

## **2.4. IDENTIFICACIÓN DE VARIABLE**

### **2.5.1.1. Variable dependiente**

La norma Peruana de pavimentos EG-2013.

### **2.5.1.2. Variable independiente**

Capacidad estructural y funcional del pavimento flexible.

## **CAPÍTULO III**

### **METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **3.1 ÁMBITO DE ESTUDIO**

La presente investigación se desarrolló en la Región de Huancavelica, específicamente en la carretera Huancavelica – Lircay

#### **3.2. TIPO DE INVESTIGACIÓN**

El presente trabajo es una investigación aplicada

#### **3.3. NIVELE DE INVESTIGACIÓN**

El presente trabajo de investigación se desarrolla en el nivel descriptivo

#### **3.4. MÉTODO DE INVESTIGACIÓN**

Para el desarrollo de toda la investigación, como método universal se utilizara el Método científico en cuanto a cada uno de los procesos a seguir.

Como método general, se utilizó inductivo

### **3.5. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN**

El diseño que se utilizara en la presente investigación es descriptivo correlacional simple

### **3.6. POBLACIÓN Y MUESTRA**

#### **3.6.1. Población**

Representa toda la carretera Huancavelica – Lircay que tiene una longitud aproximada de 71,955 m.

#### **3.6.2. Muestra**

Este estudio se realizara en el Tramo de La Huancavelica – Lircay que corresponde KM 15+000.00-KM 20+000.00.

#### **3.6.3. Muestreo**

No probabilístico, intencional.

### **3.7. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS**

Para esta investigación se utilizó la técnica siguiente:

- Los datos se obtendrán en el campo mediante los ensayos con los equipos Viga Benkelman y el Merlin.

### **3.8. PROCEDIMIENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS**

- Se elaborará un cuadro para la recolección de datos por kilómetro, utilizando como guía la norma peruana y las características de la capacidad estructural y funcional de pavimentos.

### **3.9. TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS**

- Para el procesamiento de la información utilizaremos cuadros estadísticos.
- Se realizarán la evaluación según la norma peruana, y características del pavimento flexible, de manera tal que reúna las condiciones de calidad.

## CAPITULO IV

### RESULTADOS

#### 4.1. PRESENTACION DE RESULTADOS

##### 4.1.1 Resultados de la evaluación estructural

Las investigaciones realizadas por entidades internacionales competentes en evaluación de pavimentos (AASHTO, TRL) demuestran que las Deflexiones medidas en una sección de pavimento presentan una distribución de frecuencias que se puede aproximar a una distribución normal. Por lo tanto, asumiendo que la medición de deflexiones se distribuye de acuerdo a la Ley de Gauss, se ha determinado la Deflexión Promedio ( $D_o$ ), la Desviación Estándar ( $\sigma$ ) y el Coeficiente de Variación (C.V.) a partir de las deflexiones individuales.

Mediciones corregidas por temperatura en la carpeta asfáltica para ( $D_o$ ) se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 9. Estadística Descriptiva de Mediciones con Viga Benkelman.

Sentido	Deflexión Promedio $10^{-2}$ mm	Deflexión Máxima $10^{-2}$ mm	Deflexión Característica $10^{-2}$ mm	Deflexión Admisible $10^{-2}$ mm	Radio de Curvatura m	Desv. Est. $10^{-2}$ mm
Hacia Ircay	36,70	51,40	51,60	55,00	367,20	9,00
Hacia huancavelica	37,90	51,40	50,30	55,00	346,40	7,60

Considerando que las mediciones utilizando la Viga Benkelman se han realizado a nivel de carpeta asfáltica, en lado derecho (hacia Lircay) y en lado izquierdo (hacia Huancavelica), los resultados obtenidos para cada carril se muestran en la (tabla 9) determinando que la deflexión característica es menor que la deflexión admisible indicando que cumple con las especificaciones dadas en la EG-2013, los valores del Coeficiente de Variación tanto para el carril derecho como izquierdo son 3.59 y 4.31, los cuales son consistentes con la definición de un sector homogéneo.

Los resultados para el tramo de manera global (Km 15+000-Km 20+000) se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 10. Estadística Descriptiva de Mediciones con Viga Benkelman – tramo total.

Sentido	Deflexión Promedio $10^{-2}$ mm	Deflexión Máxima $10^{-2}$ mm	Deflexión Característica $10^{-2}$ mm	Deflexión Admisible $10^{-2}$ mm	Radio de Curvatura M	Desviación Estándar $10^{-2}$ mm
Tramo Total	37,30	51,40	51,00	55,00	356,80	8,30

Los resultados para el tramo total (tabla 10) indican que la ( $D_{car}=51,00\text{mm}/100$ ), que representa la magnitud de deformación del pavimento flexible es menor que la ( $D_{adm}=55,00\text{mm}/100$ ) por lo tanto se considera que la capacidad estructural del pavimento flexible es adecuada. Respecto del comportamiento actual de la estructura, se observa que el radio de curvatura ( $R_c=356,80$ ) está cumpliendo con los criterios indicadores de un buen comportamiento estructural.

Los siguientes gráficos muestran los valores de las deflexiones corregidas por temperatura y los límites considerando una confiabilidad de 95%.

Observamos en los gráficos, que los valores de las deflexiones son menores que la deflexión admisible en ambos carriles a nivel de asfalto donde determinamos que el tramo en estudio presenta homogeneidad.

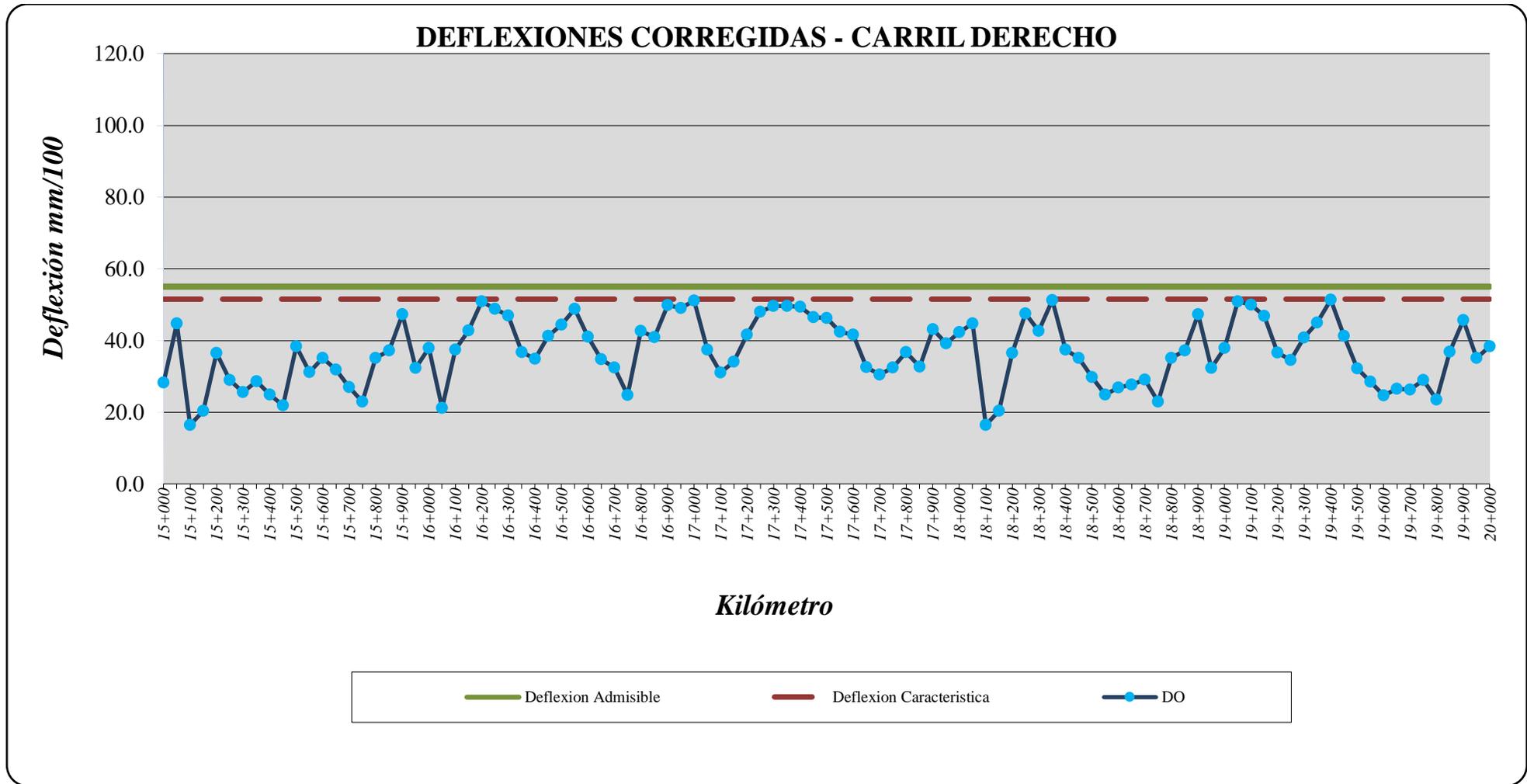


Figura 19. Deflexiones corregidas carril derecho

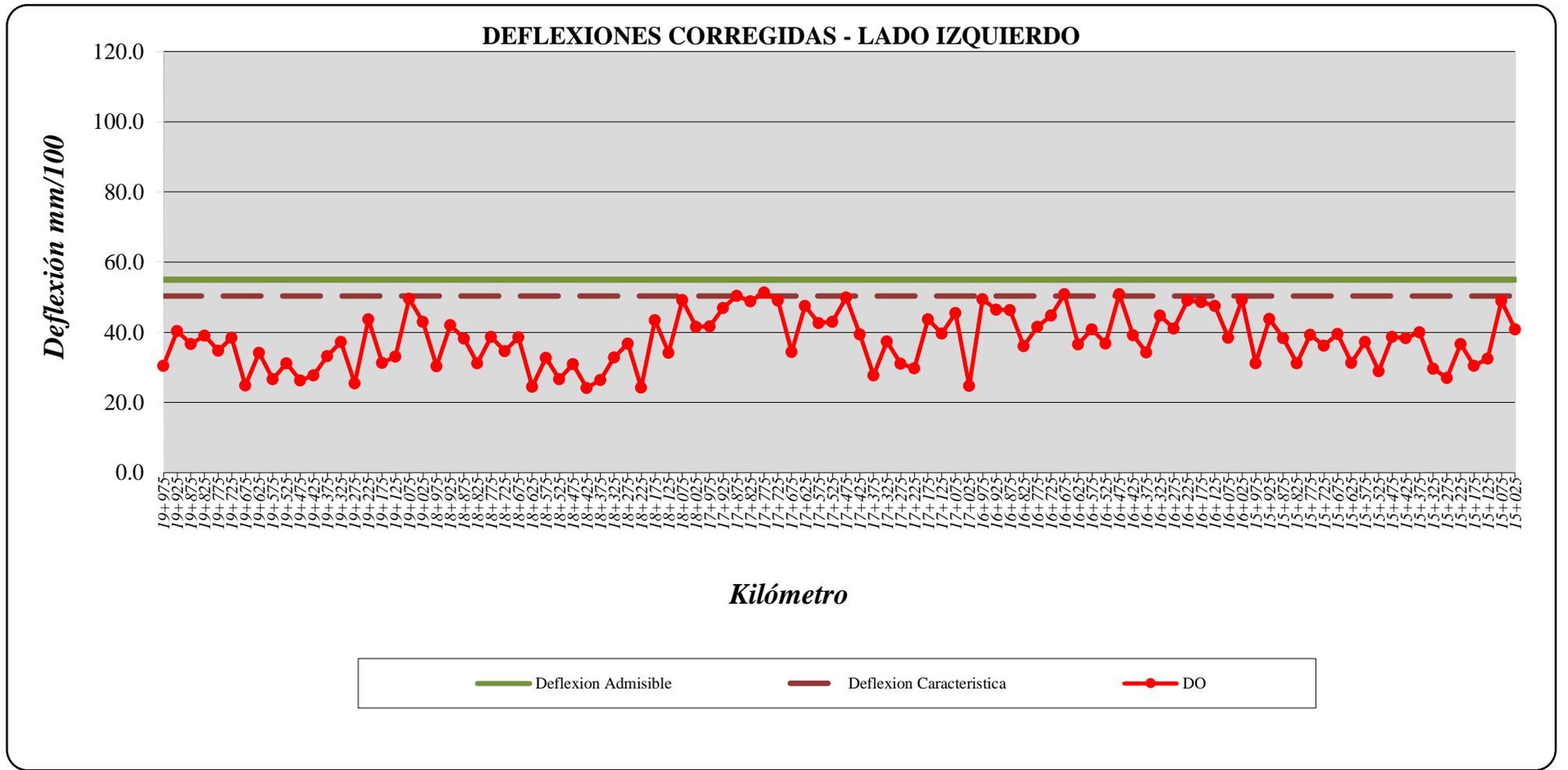


Figura 20. Deflexiones corregidas carril izquierdo

#### 4.1.2 Análisis y resultados de la evaluación funcional

Los resultados de rugosidad obtenidos en el tramo en estudio se presentaron inferiores a los límites establecidos por las especificaciones técnicas generales para construcción EG-2013 ( $IRI_{adm} = 2,00m/km$ ), como se aprecia a continuación:

Tabla 11. Resultados de la rugosidad para carril derecho-carril izquierdo.

Sentido	Progresiva		IRI Promedio (m/km)	Desviación Estándar	IRI Característico (m/km)
	Inicio	Fin			
Hacia Lircay	15+000	20+000	1,14	0,08	1,31
Hacia Huancavelica	20+000	15+000	1,16	0,18	1,46

Los resultados de rugosidad IRI obtenidos para toda la longitud del tramo, de manera global, fueron analizados en forma estadística con una confiabilidad del 95%, obteniéndose valores característicos que no superan el valor del ( $IRI_{adm} = 2,00m/km$ ), que es el valor límite establecido por la EG-2013.

A continuación, en el siguiente cuadro se puede apreciar una síntesis de los resultados obtenidos:

Tabla 12. Resultados de la rugosidad para el tramo total.

Estadística	IRI (c. der.) (m/km)	IRI (c. izq.) (m/km)	IRI (ambos) (m/km)	Serviciabilidad PSI
Promedio	1,14	1,16	1,15	
Desv. Estándar	0,08	0,18	0,13	
Coef. Variación (%)	14,5	6,4	8,85	
IRI característico	1,31	1,46	1,39	4,19

De acuerdo a los resultados presentados en la tabla anterior, se obtiene valores de rugosidad promedio para el carril derecho de 1,14 IRI y para el carril izquierdo 1,16 IRI

respectivamente, así como valores de rugosidad característica para el carril derecho de 1,31 IRI y para el carril izquierdo de 1,46 IRI respectivamente

El análisis estadístico para el tramo total, concordantemente con los resultados parciales por carril, indica que el IRI promedio es igual a 1,15 m/km, con una desviación estándar de 0,13 m/km, un coeficiente de variación de 8,85%. El IRI característico calculado para la totalidad de la carpeta asfáltica en servicio evaluada es igual a 1,39 m/km, que resulta menor al valor máximo especificado de 2,00 m/km para el caso de pavimentos nuevos y un valor de Índice de Serviciabilidad (PSI) de 4,19 correspondiendo a una transitabilidad considerada como muy buena (tabla 1), por lo cual podemos señalar que desde el punto de vista funcional

Los valores de la rugosidad se han graficado con relación al kilometraje del tramo, obteniéndose los gráficos (Rugograma) fig.21 y fig.22, apreciando que en general la magnitud de los valores es bastante baja, respecto a la rugosidad máxima especificada observando que el tramo en estudio cumple con los rangos permisibles.

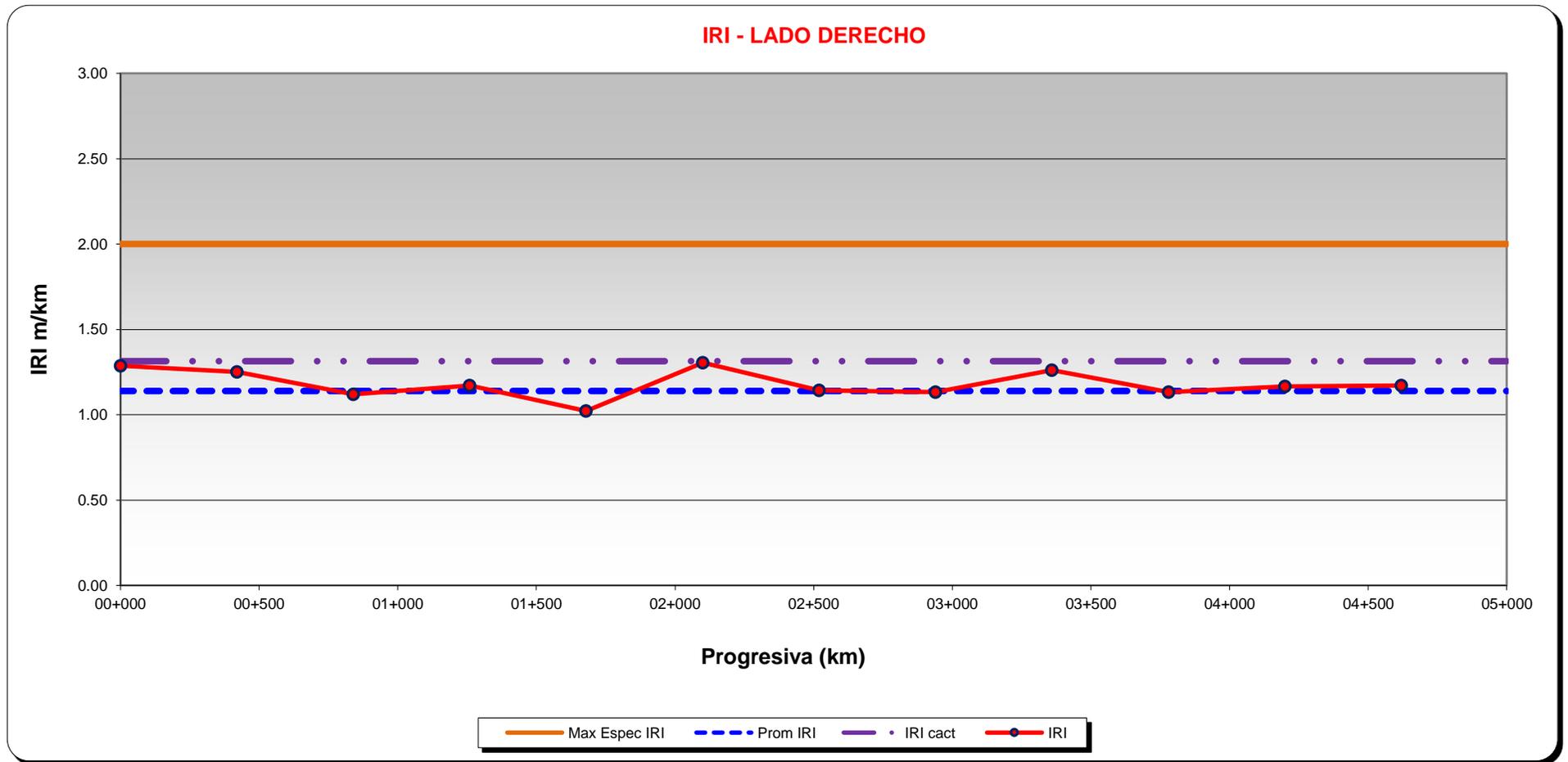


Figura 21. Rugosidad lado derecho - IRI (m/km.) – carpeta asfáltica.

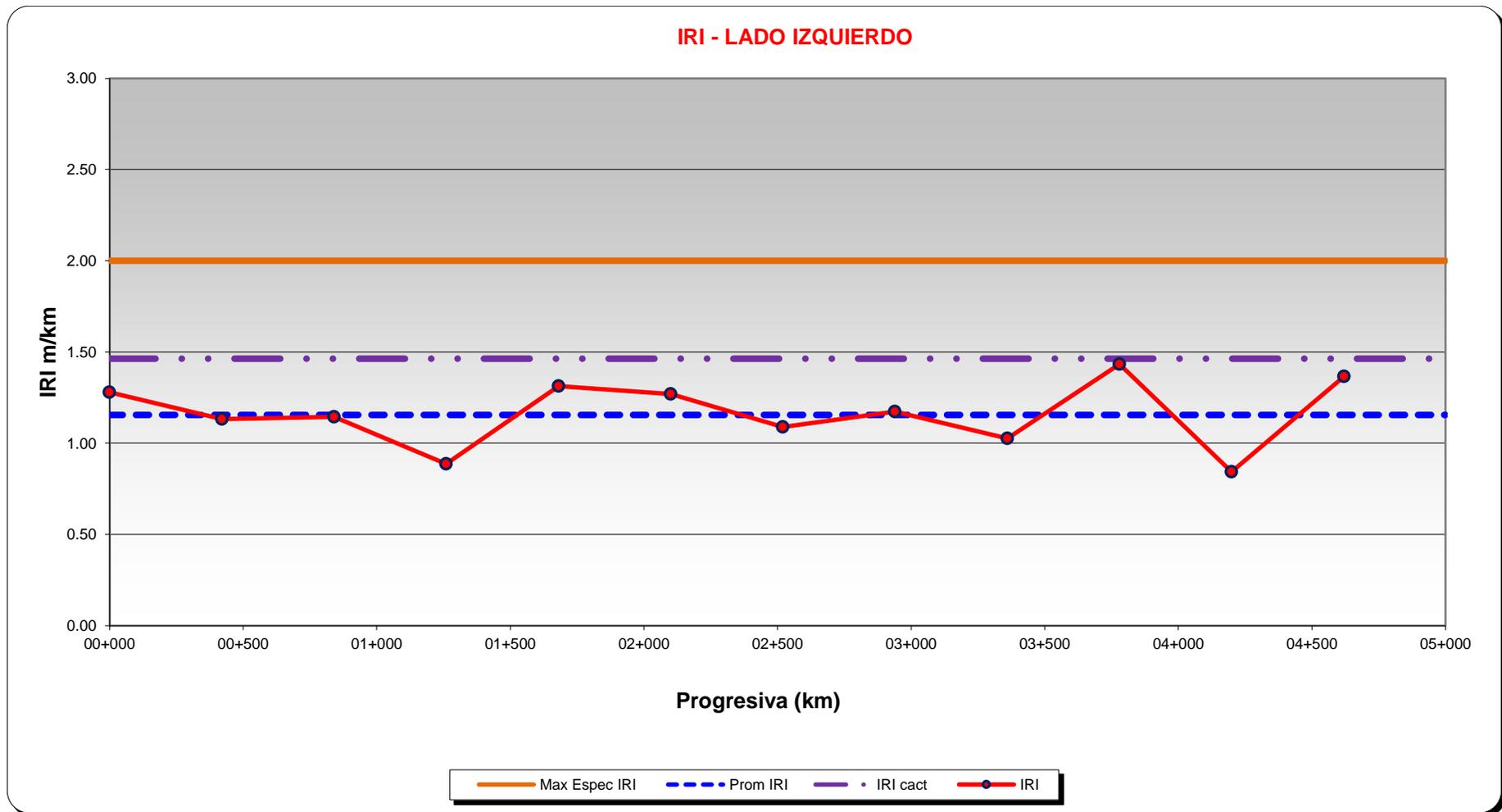


Figura 22. Rugosidad lado izquierdo - IRI (m/km.) – carpeta asfáltica

## 4.2. DISCUSION

De la hipótesis planteada: La capacidad estructural y funcional del pavimento flexible a nivel de carpeta asfáltica de la carretera Huancavelica – Lircay reúne condiciones de calidad, comparando los resultados promedios del estudio de deflexiones y rugosidad obtenemos 51.0m/100 y 1.39mm/km con los valores admisibles de la EG-2013.

Se concluye que los resultados promedios están dentro de los valores establecidos en el manual de carreteras especificaciones técnicas generales para construcción EG-2013 cuyos valores son  $D_{adm} = 55mm/100$  e  $IRI_{adm} = 2.00m/km$  por tanto se acepta la hipótesis planteada.

## CONCLUSIONES

La capacidad estructural y funcional del pavimento flexible a nivel de carpeta asfáltica, utilizando los equipos Viga Benkelman y el Merlin son: deflexión característica promedio ( $D_{car} = 51,00mm/100$ ) e IRI característico promedio ( $IRI_{car} = 1,39m/km$ ) con un PSI de 4,19 para ambos carriles, lo que indica que la estructura del pavimento flexible se encuentra en buen estado y óptimas condiciones, cumpliendo con las especificaciones técnicas generales para construcción EG-2013 ( $D_{car} < D_{adm.}$ ) y ( $IRI_{car} < IRI_{adm.}$ ), además el índice de serviciabilidad indica que el pavimento de la carretera presentará una circulación suave, confortable y segura para el tráfico para el cual ha sido construido.

## RECOMENDACIONES

Se recomienda para futuros estudios que la recolección de datos en campo utilizar equipos más sofisticados como por ejemplo el Falling Weight Deflectometer (DFW) para medir las deflexiones y el Perfilometro Laser para medir la rugosidad del pavimento flexible en estudio y así recolectar los datos más exactos y confiables en un menor tiempo.

Se recomienda realizar un seguimiento del comportamiento de la vía construida después de la puesta en marcha, iniciando un programa de medición de rugosidad periódico – se sugiere cada 6 meses – que permita planificar un futuro mantenimiento preventivo con la debida anticipación, este seguimiento puede complementarse con un estudio de tráfico que cuantifique la variación del flujo vehicular a largo de la vida útil de la vía.

Para estudios posteriores se recomienda que los ensayos de auscultación de pavimentos sean realizados en el mismo tiempo para garantizar que las condiciones a las que este expuesto el pavimento sean las mismas y completar el ensayo como lo dicta la norma AASHTO T256-01.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ESTUDIOS DE EVALUACION ESTRUCTURAL DE PAVIMENTOS BASADOS EN LA INTERPRETACION DE CURVAS DE DEFLEXIONES (ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS)  
MARIO S. HOFFMAN, Ph.D. Y PABLO M. DEL AGUILA, B.Sc. Octubre, 1985
- DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE Y RÍGIDO, LINA MERCEDES MONSALVE ESCOBAR, LAURA CRISTINA GIRALDO VASQUEZ Y JESSYCA MAYA GAVIRIA 2012
- MANUAL DE CARRETERAS: SUELOS, GEOLOGÍA, GEOTECNIA Y PAVIMENTOS, Ministerio de Transportes y Comunicaciones 2013.

# **ANEXOS**



ANEXO B

**ENSAYOS PARA MEDICION DE LA RUGOSIDAD CON MERLIN  
HOJA DE CAMPO**

**PROYECTO:** \_\_\_\_\_

**SECTOR:** \_\_\_\_\_ **OPERADOR:** \_\_\_\_\_

**TRAMO:** \_\_\_\_\_ **FECHA:** \_\_\_\_\_

**CARRIL:** \_\_\_\_\_ **CAPA:** \_\_\_\_\_

**ENSAYO N°:**

**KM**

**HORA**

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1										
2										
3										
4										
5										
6										
7										
8										
9										
10										
11										
12										
13										
14										
15										
16										
17										
18										
19										
20										

ANEXO C



