

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



**EVALUACIÓN DE PAVIMENTOS
CON EL RUGOSÍMETRO MERLIN
MONITOREO DE CONSERVACIÓN CARRETERA
CAÑETE – HUANCAYO Km. 108+000 AL Km. 110+000**

INFORME DE SUFICIENCIA

Para optar el Título Profesional de:

INGENIERO CIVIL

CARLOS JOAQUÍN QUISPE ARIAS

Lima- Perú

2010

ÍNDICE

RESUMEN	4
LISTA DE CUADROS	5
LISTA DE FIGURAS	6
LISTA DE SIMBOLOS Y ABREVIATURAS	8
INTRODUCCIÓN	9
CAPÍTULO I: ANTECEDENTES	10
1.1. ANTECEDENTES	10
1.2. RESUMEN DEL PERFIL DEL PROYECTO	11
CAPITULO II: CONCEPTOS TEÓRICOS	18
2.1. EVALUACIÓN DE PAVIMENTOS	18
2.1.1. CONDICIÓN FUNCIONAL	19
2.1.2. CONDICIÓN ESTRUCTURAL	19
2.1.3. CALIDAD DE LOS MATERIALES	21
2.1.4. ACTUALIZACIÓN DE PARÁMETROS	21
2.1.5. OTROS ASPECTOS	21
2.2. FACTORES QUE AFECTAN EL COMPORTAMIENTO DE LOS PAVIMENTOS FLEXIBLES	22
2.3. RUGOSIDAD	24
2.4. ÍNDICE INTERNACIONAL DE RUGOSIDAD (IRI)	24
2.5. MÉTODOS PARA MEDIR LA RUGOSIDAD DEL PAVIMENTO	26
CAPITULO III: USO DEL RUGOSIMETRO MERLIN PARA MEDIR EL IRI DEL PAVIMENTO	30
3.1. FUNDAMENTO TEÓRICO	30
3.1.1. INTRODUCCIÓN	30
3.1.2. CORRELACIÓN D VERSUS IRI	33
3.1.3. LÍMITES DE LA RUGOSIDAD PARA EL CONTROL DE CALIDAD DE PAVIMENTOS	33
3.2. PROCEDIMIENTO DE CAMPO	34
3.2.1. DESCRIPCIÓN DEL RUGOSÍMETRO MERLIN	34

3.2.2.	EJECUCIÓN DEL ENSAYO	38
3.3.	PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO	40
3.3.1	CÁLCULO DEL RANGO "D"	40
3.3.2.	FACTOR DE CORRECCIÓN PARA EL AJUSTE DE "D"	41
3.3.3.	VARIACIÓN DE LA RELACIÓN DE BRAZOS	42
3.3.4.	CÁLCULO DEL RANGO "D" CORREGIDO	42
3.3.5.	DETERMINACIÓN DE LA RUGOSIDAD EN LA ESCALA DEL IRI	42
3.4.	APLICACIÓN EN CAMPO	43
3.4.1.	REALIZACIÓN DEL ENSAYO Y TOMA DE DATOS	43
3.4.2.	CÁLCULOS REALIZADOS	47
3.5.	INCONVENIENTES DEL ENSAYO Y SUGERENCIAS DE MEJORA	50
3.5.1.	BAJO RENDIMIENTO	50
3.5.2.	EXCESO DE MANO DE OBRA	52
3.5.3.	AUTOMATIZACIÓN DEL ENSAYO Y DE LA TOMA DE DATOS	54
	CONCLUSIONES	58
	RECOMENDACIONES	59
	BIBLIOGRAFIA	60
	ANEXOS	61

RESUMEN

La evaluación de pavimentos es un factor muy importante en la ingeniería de transportes ya que si se realiza correctamente se asegura que la vida útil del camino se acerque lo más posible a lo proyectado en el diseño inicial. Generalmente la vida útil del pavimento se ve reducida debido a factores que parten desde el diseño, en la etapa constructiva, el uso inadecuado y el incorrecto mantenimiento.

En el pavimento se pueden evaluar diferentes parámetros como son las condiciones funcional y estructural, materiales empleados en la construcción, los parámetros usados en el diseño entre otros. Conjugando estos parámetros se podrá emitir una opinión sobre el estado del pavimento.

Además el pavimento se ve afectado por varios factores a los que se ve expuesto tales como los climáticos, tránsito, condiciones geológicas que influyen en su desempeño a lo largo de su tiempo de servicio.

Uno de los parámetros a evaluar a fin de caracterizar el pavimento es la condición funcional, para esto podemos medir la rugosidad del pavimento mediante diferentes equipos de diversas clases, cada uno de estos presenta ventajas y desventajas respecto a los demás. En esta parte podemos considerar dentro de las alternativas a considerar al rugosímetro MERLIN, este presenta como ventaja principal respecto los demás equipos, la confiabilidad y precisión de los datos considerando su bajo costo, pero la principal desventaja es el bajo rendimiento del ensayo.

El objetivo del informe es identificar los factores que causan el bajo rendimiento y elevan el costo del ensayo, para posteriormente sugerir mejoras con respecto a estos factores a fin de que el ensayo tenga mayor aplicación en la evaluación de pavimentos.

LISTA DE CUADROS

1.	Cuadro 1.1	Tramos de la Carretera Cañete - Lunahuaná - Huancayo (Fuente: elaboración propia)	12
2.	Cuadro 1.2	Alternativas de solución planteadas por tramo (Fuente: Perfil Carretera Cañete - Huancayo, Grupo 5 - A)	16
3.	Cuadro 1.3	Matriz de Marco Lógico (Fuente: Perfil Carretera Cañete – Huancayo, Grupo 5 - A)	17
4.	Cuadro 2.1	Evaluación de Pavimentos (Fuente: elaboración propia)	18
5.	Cuadro 3.1	Análisis de precio del ensayo con rugosímetro MERLIN	51
6.	Cuadro 3.2	Evaluación de costo en función al rendimiento del ensayo	52
7.	Cuadro 3.3	Análisis de precio del ensayo con MERLIN (Reformulado 1)	54
8.	Cuadro 3.4	Comparación de ensayo Original con el ensayo Reformulado	54
9.	Cuadro A.1	Evaluación de costo en función al rendimiento del ensayo	61
10.	Cuadro A.2	Análisis de precio considerando rendimiento de 8 km/día	61
11.	Cuadro A.3	Análisis de precio considerando rendimiento de 9 km/día	62
12.	Cuadro A.4	Análisis de precio considerando rendimiento de 10 km/día	62
13.	Cuadro A.5	Análisis de precio considerando rendimiento de 11 km/día	63
14.	Cuadro A.6	Análisis de precio considerando rendimiento de 12 km/día	63

LISTA DE FIGURAS

1.	Figura 1.1	Ubicación de la Carretera Cañete - Huancayo (Fuente: elaboración propia)	11
2.	Figura 1.2	Alternativas a la Carretera Central (Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones)	13
3.	Figura 1.3	Árbol de Causas y Efectos (Fuente: Perfil Carretera Cañete – Huancayo, Grupo 5 - A)	14
4.	Figura 1.4	Árbol de Medios y Fines (Fuente: Perfil Carretera Cañete – Huancayo, Grupo 5 - A)	15
5.	Figura 2.1	Factores que afectan el comportamiento del pavimento (Fuente: elaboración propia)	22
6.	Figura 2.2	Representación de la rugosidad del pavimento (Fuente: elaboración propia)	24
7.	Figura 2.3	Escala de rugosidad IRI (m/km) (Fuente: elaboración propia)	25
8.	Figura 2.4	Perfilómetro Face Dipstick (Método Clase 1)	27
9.	Figura 2.5	Rugosímetro Bump Integrator (Método Clase 3)	28
10.	Figura 2.6	Rugosímetro MERLIN (Fuente: Curso de Titulación 2010)	29
11.	Figura 3.1	Esquema del funcionamiento del rugosímetro MERLIN (Fuente: elaboración propia)	31
12.	Figura 3.2	Histograma de la distribución de frecuencias de una muestra de 200 desviaciones (Fuente: elaboración propia)	32
13.	Figura 3.3	Esquema del rugosímetro MERLIN (Fuente: elaboración propia)	36
14.	Figura 3.4	Escala gráfica usada para registrar datos con el rugosímetro MERLIN	37
15.	Figura 3.5	Formato de campo para registrar lecturas del rugosímetro MERLIN	38
16.	Figura 3.6	Recorrido inicial a fin de establecer el tramo a evaluar	43

17.	Figura 3.7	Estacionamiento en el punto inicial del tramo a evaluar	43
18.	Figura 3.8	Colocación y ajuste del apoyo móvil	44
19.	Figura 3.9	Desarrollo del ensayo y toma de datos	44
20.	Figura 3.10	Cono de seguridad delante del equipo	45
21.	Figura 3.11	Transporte del equipo	45
22.	Figura 3.12a	Hoja de datos de campo - Ensayo 01 (110+000 - 109+600)	46
23.	Figura 3.12b	Hoja de datos de campo - Ensayo 02 (109+000 - 108+600)	47
24.	Figura 3.13a	Histograma de la distribución de frecuencias - Ensayo 01 (110+000 - 109+600)	48
25.	Figura 3.13b	Histograma de la distribución de frecuencias - Ensayo 02 (109+000 - 108+600)	48
26.	Figura 3.14	Grabador de voz portátil (costo aproximado S/. 100)	53
27.	Figura 3.15	Sensor de desplazamiento (Fuente: IIFIC-UNI)	55
28.	Figura 3.16	Sensor en la rueda para detectar el giro completo de la rueda (Fuente: IIFIC-UNI)	56
29.	Figura 3.17	Unidad de almacenamiento de datos (Fuente: IIFIC-UNI)	56

LISTA DE SÍMBOLOS Y ABREVIATURAS

IRI	: International Roughness Index
MERLIN	: Machine for Evaluating Roughness using Low-cost Instrumentation
TRRL	: Transport and Road Research Laboratory
IMD	: Índice Medio Diario
MTC	: Ministerio de Transportes y Comunicaciones
CONREVAL	: Consorcio de Rehabilitación Vial
D_c	: Deflexión Característica
D_m	: Deflexión Media
σ	: Desviación Estándar
N	: Número de Ejes equivalentes (8.2 tn)
D_{adm}	: Deflexión Admisible
ASTM	: American Society for Testing and Materials

INTRODUCCIÓN

El desarrollo de este informe tiene por objetivo dar a conocer y analizar el procedimiento de toma de datos realizados con el rugosímetro MERLIN con la finalidad de presentar sugerencias de mejora.

En el primer capítulo se revisan los antecedentes y los datos generales del proyecto donde se enmarca el presente estudio, así como un breve extracto del perfil elaborado como parte inicial del curso de Titulación del ciclo 2010-I.

En el segundo capítulo se da a conocer conceptos relacionados con la evaluación de pavimentos y los factores por los que se ve afectado, también se desarrollan conceptos referidos de la rugosidad y los métodos de medición.

En el tercer capítulo, como parte inicial, se desarrolla los conceptos teóricos en los que se basa el rugosímetro MERLIN, se describe el procedimiento del ensayo y se explica los cálculos a realizar para obtener el valor de la rugosidad. Como parte intermedia se describen los ensayos realizados en el viaje a la zona del proyecto y se desarrollan los cálculos de acuerdo a los procedimientos explicados en la primera parte de este capítulo. Como parte final se mencionan los problemas e inconvenientes observados en el ensayo, se realizan análisis sencillos y se presentan sugerencias de mejora.

Cabe mencionar que los ensayos realizados durante el viaje a la zona del proyecto simplemente son demostrativos ya que para realizar una correcta evaluación se requiere de una mayor cantidad de ensayos.

Finalmente se mencionan las conclusiones obtenidas luego de la elaboración y análisis del presente informe, y se presentan algunas recomendaciones con la intención de mejorar la realización del ensayo.

CAPÍTULO 1

ANTECEDENTES

1.1. ANTECEDENTES

Como parte inicial del curso de Titulación del presente ciclo académico 2010-I, se busca la formulación y evaluación de un proyecto a nivel de perfil. En tal sentido, se evaluará la vía que conecta la ciudad de Cañete - Lunahuaná - Chupaca de aproximadamente 284.531 km. Esta vía, denominada por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones como la Ruta Transversal N° 22, es una alternativa para evitar la congestión y los inconvenientes de la naturaleza que se presentan en la Carretera Central para las personas que se movilizan a las provincias de Jauja, Concepción, Huancayo y Chupaca del departamento de Junín y a su vez, es un medio de desarrollo de las actividades económicas de la zona.

Este proyecto se enmarca en un Programa Piloto de Provias Nacional denominado “Proyecto Perú”, el cual aspira a establecer un sistema de contratación de las actividades de conservación y desarrollo de la infraestructura vial en carreteras de IMD bajo, mediante contratos en los que las prestaciones se controlen por niveles de servicio y por plazos iguales o superiores a cinco (5) años, que implican el concepto de “transferencia de riesgo” al Contratista.

Bajo este sistema se desarrolla una cultura preventiva, que implementa, entre otros, los nuevos conceptos de conservación contenidos en las “Especificaciones Técnicas Generales para la Conservación de Carreteras”, la cual tiene la finalidad de evitar el deterioro prematuro de las vías mediante intervenciones rutinarias y periódicas de manera oportuna. Esto significa en la práctica, actuar permanentemente para mantener la carretera en óptimas condiciones de transitabilidad.

Es un cambio del concepto tradicional de trabajo, de actuar para reparar lo dañado por el concepto de actuar para evitar que se dañe, haciendo prevalecer

de esta manera en las instituciones las acciones preventivas frente a las acciones correctivas.

Como parte final del curso, se elabora el presente Informe de Suficiencia titulado “Evaluación de Pavimentos con el Rugosímetro MERLIN - Monitoreo de Conservación Carretera Cañete – Huancayo Km. 108+000 al Km. 110+000” donde se revisan los conceptos teóricos, se describe las características del ensayo realizado en campo y se brindan sugerencias de mejora a modo de aportes del alumno.

1.2. RESUMEN DEL PERFIL DEL PROYECTO

Con la finalidad de conocer un poco más acerca de la carretera donde se realizó la evaluación de pavimentos mediante el rugosímetro MERLIN, se presenta un resumen de los aspectos más relevantes del perfil del proyecto, donde realizó el trabajo de campo.



Figura 1.1: Ubicación de la Carretera Cañete - Huancayo (Fuente: elaboración propia)

El proyecto lleva por nombre “Estudio a nivel de Perfil para el Servicio de Conservación Vial de la Carretera Cañete – Lunahuaná – Pacarán – Chupaca del Km 00+000 al Km 284+531”.

El proyecto en estudio forma parte del Corredor Vial N°13 del programa de infraestructura vial Proyecto Perú y está ubicado al sureste centro del país que conecta las regiones de Lima y Junín. Se ha sub dividido la carretera para los fines del proyecto en los tramos mostrados en el cuadro 1.1.

NRO.	TRAMOS	LONGITUD (KM)	REGIÓN	TOPOGRAFÍA
1	Cañete - Lunahuaná	40.75	Costa	Ondulada
2	Lunahuaná – Pacarán	12.49	Costa	Ondulada
3	Pacarán – Zúñiga	4.15	Costa	Ondulada
4	Zúñiga – Dv. Yauyos	72.6	Sierra	Accidentada
5	Dv. Yauyos – Ronchas	135.13	Sierra	Accidentada
6	Ronchas – Chupaca	16.61	Sierra	Ondulada

Cuadro 1.1: Tramos de la Carretera Cañete - Lunahuaná - Huancayo (Fuente: elaboración propia)

A finales del año 2007 Provias Nacional firmo un contrato con el “Consortio Gestión de Carreteras”, compuestos por las empresas ICCGSA, Corporación Mayo y la Empresa de Mantenimiento Vial la Marginal, mediante el cual ganaron el proyecto de conservación de toda la vía y la rehabilitación y mejoramiento, de los tramos 4 y 5.

La Carretera Central es una vía de conexión entre los Corredores Económicos Costa, Sierra y Selva del país, mediante la cual se hace posible el intercambio comercial entre Lima, los valles interandinos y la selva peruana.

El mejoramiento de la carretera en estudio nace de la necesidad de optar por un desvío alternativo para la Carretera Central la cual actualmente no cuenta con un tránsito fluido y rápido debido a características propias de clima y topografía. Como alternativas actuales a la carretera central tenemos las siguientes vías, pertenecientes al programa “Proyecto Perú”:

Carretera Hualay - Acos - Huallay - Cerro de Pasco
 Carretera Lima - Canta - Huallay - Cerro de Pasco
 Carretera Cañete - Lunahuaná - Yauyos - Huancayo

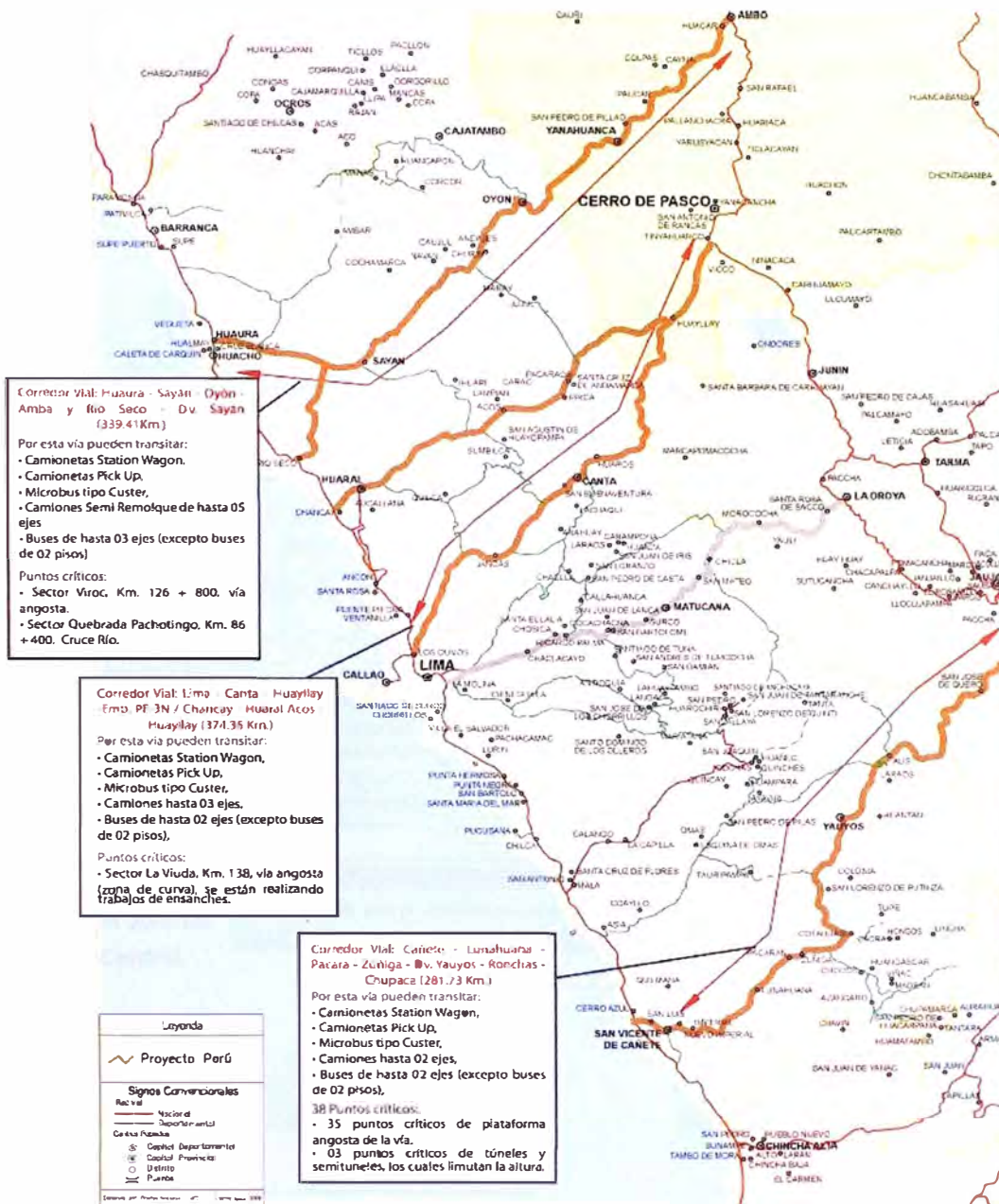


Figura 1.2: Alternativas a la Carretera Central (Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones)

En cuanto a los antecedentes a nivel de intervenciones, se ha podido determinar que la carretera fue construida en el año 1958. El 27 de diciembre de 2007, la empresa “Consortio Gestión de Carreteras”, asume las obligaciones de contratista conservador para realizar el Servicio de Conservación Vial por Niveles de Servicio de la Carretera Cañete -Lunahuaná – Pacarán - Ronchas - Chupaca y Rehabilitación del Tramo Zúñiga Dv. Yauyos Ronchas. Al

proyectarse la carretera Cañete - Yauyos - Huancayo como ruta alterna a la Carretera Central, se necesitaría lograr una mejor transitabilidad para atender la demanda futura debido a que con el mejoramiento, la vía se convertirá en un corredor económico de gran importancia, es por esta razón que es competencia del Estado realizar los trabajos ahí proyectados. Para entender el problema central que se busca solucionar con el proyecto se debe revisar el árbol de Causas y Efectos de la figura 1.3.

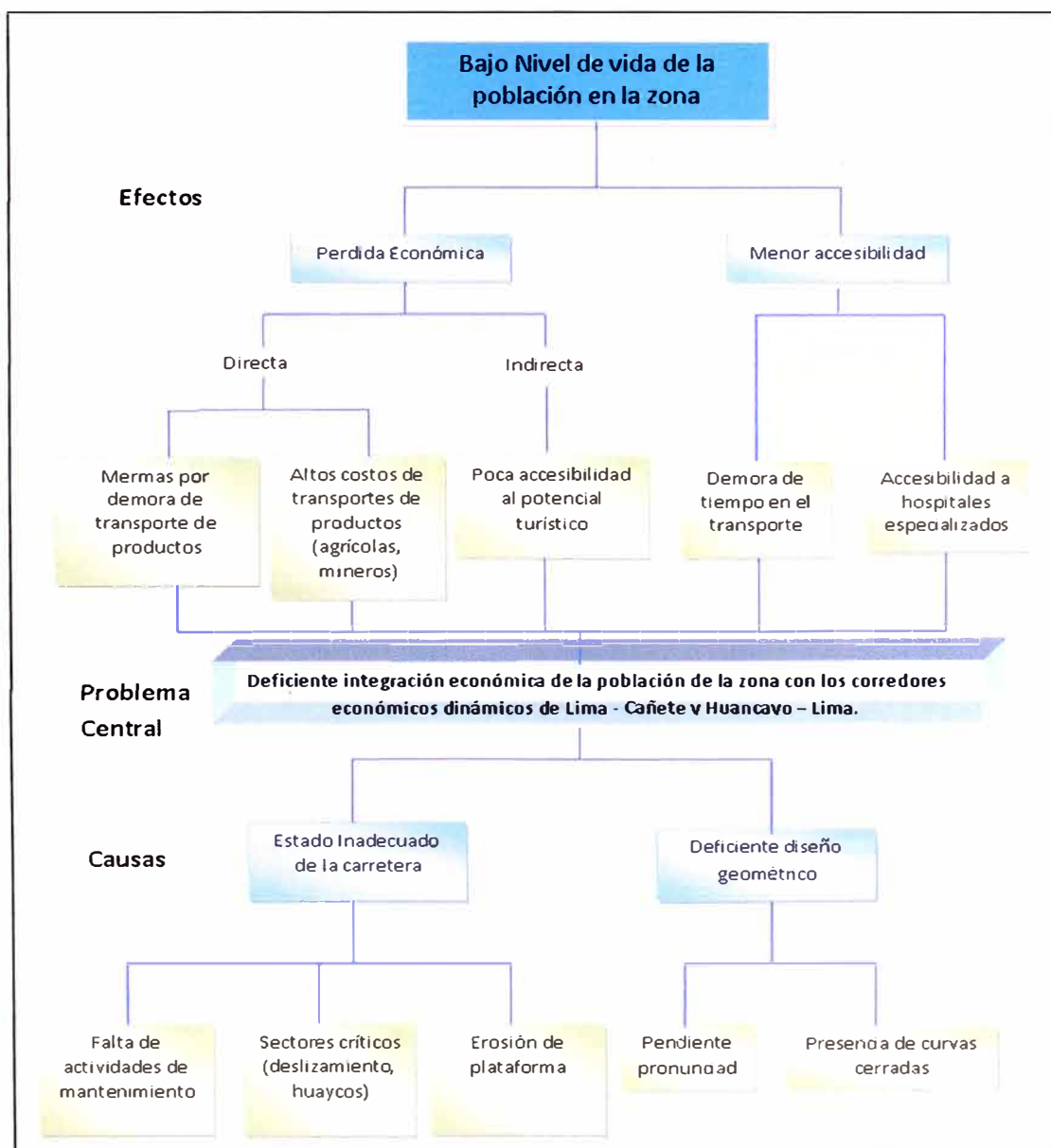


Figura 1.3: Árbol de Causas y Efectos (Fuente: Perfil Carretera Cañete – Huancayo, Grupo 5 - A)

Las condiciones actuales del sistema vial se limitan a caminos afirmados de tramos angostos y de regulares condiciones, en los cuales, al haberse mejorado

la transitabilidad, los vehículos recorren la vía a mayor velocidad, pero por las deficientes condiciones geométricas la vía es propensa a accidentes. La transitabilidad es difícil para camiones ligeros y casi imposible para vehículos mayores, por lo que no es capaz de atender la demanda actual ni la proyección de la demanda. Para conocer el objetivo central del proyecto se presenta el árbol de Medios y Fines mostrado en la figura 1.4.

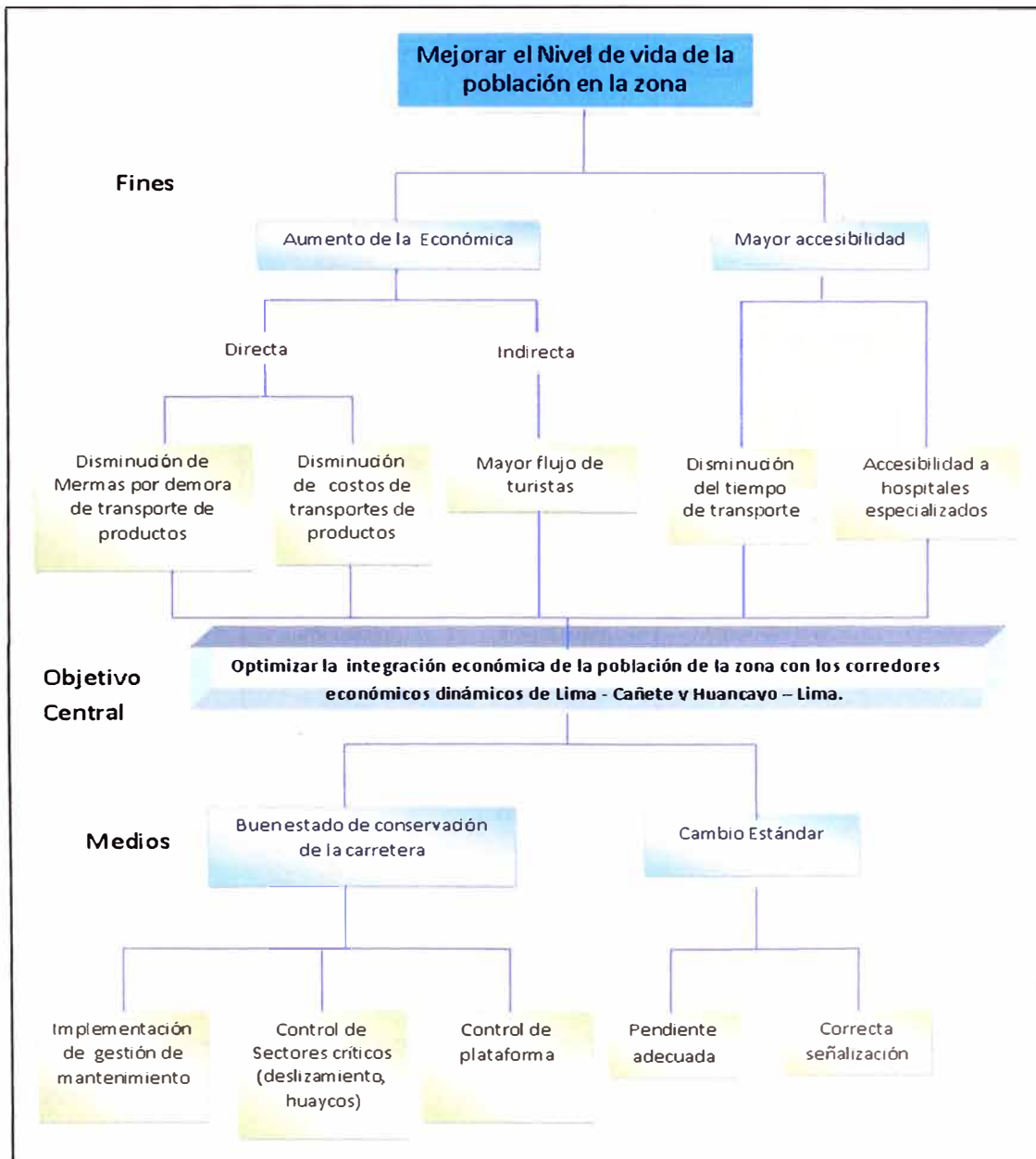


Figura 1.4: Árbol de Medios y Fines (Fuente: Perfil Carretera Cañete – Huancayo, Grupo 5 - A)

Para dar solución al problema planteado y cumplir con en el objetivo central se plantea la formulación de varias alternativas por tramo de carretera, cada una

con sus características técnicas y económicas. El resumen de las alternativas se presenta en el cuadro 1.2.

TRAMO	ALTERNATIVA 1	ALTERNATIVA 2	ALTERNATIVA 3	ALTERNATIVA 4
1. Cañete - Lunahuaná	Asfalto Reciclado con colocación superficial de Slurry	Adición de Slurry sobre Carpeta Asfáltica		
2. Lunahuaná - Pacarán	Adición de Slurry sobre bicapa / Adición de un Monocapa	Adición de Monocapa más Slurry	Reconformación de Bicapa / Adición de Slurry	Reconformación de Bicapa
3. Pacarán - Zúñiga	Reconformación de Bicapa	Adición de Monocapa	Conformación de Monocapa / Adición Slurry	
4. Zúñiga – Dv. Yauyos	Adición de Monocapa	Reconformación de Monocapa	Adición de Slurry	
5. Dv. Yauyos - Ronchas	Conformación de Monocapa	Monocapa sobre Afirmado / Monocapa sobre Slurry / Monocapa sobre Monocapa	Monocapa sobre Afirmado / Monocapa sobre Slurry / Slurry sobre Monocapa	
6. Ronchas - Chupaca	Monocapa sobre afirmado / Colocación de Slurry	Bicapa sobre afirmado	Monocapa más Slurry	

Cuadro 1.2: Alternativas de solución planteadas por tramo (Fuente: Perfil Carretera Cañete - Huancayo, Grupo 5 - A)

Luego de realizar la evaluación de cada una de las alternativas por tramo considerando la demanda futura y los beneficios que se obtendrían de aplicarse las posibles soluciones, se concluye que ninguna de las alternativas propuestas resulta rentable, por lo tanto la acción a tomar será continuar con el proyecto actual.

Como parte final del proyecto y con toda la información recopilada se elaboró la matriz de Marco Lógico, mostrada en el cuadro 1.3.

	Resumen de Objetivos	Indicadores	Medios de Verificación	Supuestos
Fin	Mayor generación de actividades económicas, mayor acceso de servicios públicos.	Ingreso Per-cápita, Reducción de costos de tarifas/fletes, Disminución de las necesidades básicas insatisfechas	Censos nacionales, Encuestas a hogares, PBI,PEA Estudio de velocidades, Reportes de emergencias	
Propósito	Adecuadas condiciones de transitabilidad de la carretera	Empresa de trasportes de carga y pasajeros, Ahorro COV, Verificación IRI	Conteo de tráfico, Estudio de tiempos de viajes, Encuesta de pasajeros y usuarios	Se continua con las actividades de mejoramiento de la carretera: Cañete - Lunahuaná - Pacarán - Zúñiga - Yauyos - Chupaca
Componentes	Mantenimiento rutinario y periódico	230.78 Km. de vía mejorada, 230.78 Km. De vía mantenida por año	Inventario vial, Informes de Mantenimiento, Costo de mantenimiento por kilometro	Mantenimiento adecuado
Acciones	Ejecución de un programa de mantenimiento.	01 Perfil, 01 Expediente técnico, Horizonte de proyecto.	Informe de supervisión, Monitoreo de la unidad ejecutora, Liquidación de obra	Desempeño apropiado de los contratistas privados.

Cuadro 1.3: Matriz de Marco Lógico (Fuente: Perfil Carretera Cañete – Huancayo, Grupo 5 - A)

CAPITULO 2

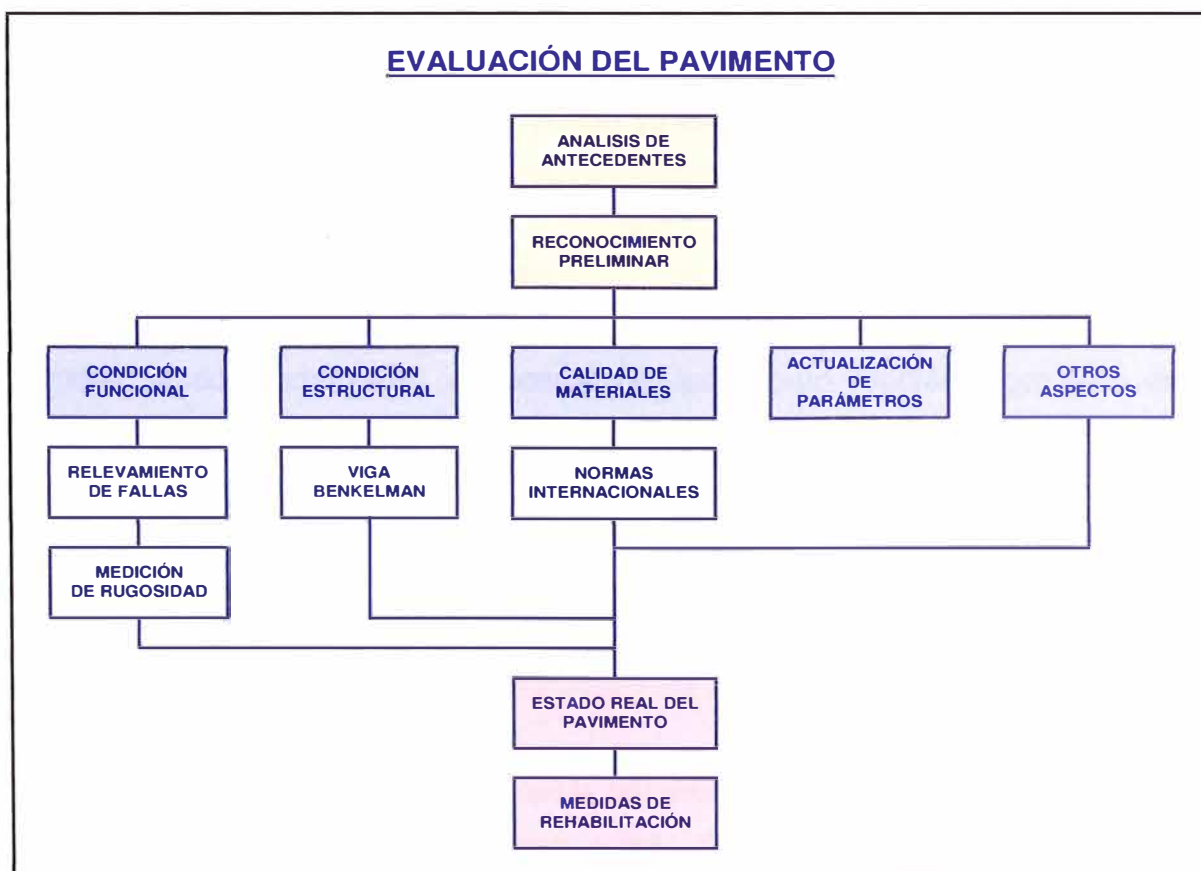
CONCEPTOS TEÓRICOS

2.1. EVALUACIÓN DE PAVIMENTOS

La evaluación de pavimentos comprende el desarrollo de los conceptos de Condición Funcional y Estructural.

Así mismo considera la calidad de los materiales empleados en la construcción de la vía, la actualización de parámetros de diseño y otros aspectos.

La conjugación de éstos parámetros nos permitirá establecer el juicio sobre el estado real del pavimento resultando por tanto fundamental el desarrollo mínimo de estos conceptos al efectuar una evaluación.



Cuadro 2.1: Evaluación de Pavimentos (Fuente: elaboración propia)

2.1.1. CONDICIÓN FUNCIONAL

Se establece mediante la ejecución del relevamiento de fallas de la vía y la medición de rugosidad del pavimento.

a. Relevamiento de Fallas

Se debe realizar un reconocimiento de la vía con el mayor detalle posible, indicándose la existencia, incluso los asomos de fallas en el pavimento. Además debe establecerse un catálogo de fallas.

b. Medición de Rugosidad

Se realiza el análisis, comparación e interpretación de los resultados obtenidos por los diferentes equipos empleados para determinar la rugosidad, estableciendo la aplicación de cada uno de ellos en función a la cantidad y precisión de datos, longitud de la vía, tiempo disponible, etc.

El Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC) emplea el rugosímetro Bump Integrator para efectuar la evaluación de sus vías, también acepta el uso del equipo MERLIN para determinar rugosidades en las longitudes de vía donde es factible su uso (menores a 100 km)

2.1.2. CONDICIÓN ESTRUCTURAL

Estudiar el comportamiento estructural del pavimento mediante ensayos de campo y de esta forma establecer si presenta una adecuada performance.

a. Procedimiento Deflectométrico: Viga Benkelman

Su principio de operación es ampliamente conocido y consiste en medir el desplazamiento vertical del pavimento ante la aplicación de una carga estática o de lenta aplicación.

A pesar de tener sus orígenes en la década de 1950/60, la Viga Benkelman es ampliamente usada en nuestro medio debido a las ventajas que ofrece para la evaluación deflectométrica de Pavimentos.

b. Análisis de las Deflexiones

El análisis de las deflexiones consiste en determinar comportamientos estructurales similares.

En el Perú el análisis de Deflexiones se resume en la comparación entre las Deflexiones Característica y Admisible.

b.1. Deflexión Característica

De acuerdo al estudio realizado por el MTC-CONREVIAl las deflexiones recuperables se asemejan a una distribución normal por lo que se define como:

$$D_c = D_m + 1.3 \cdot \sigma$$

Donde:

D_c = Deflexión Característica

D_m = Deflexión Media

σ = Desviación Estándar

b.2. Deflexión Admisible

El comportamiento de un pavimento hasta alcanzar niveles críticos es inversamente proporcional a su deflexión, lo que se representa de la siguiente manera:

$$N = k_1 / D_{adm}^{k_2}$$

Donde:

$k_1 = 1.15$

$k_2 = 4$

N = Número de Ejes equivalentes (8.2 tn)

D_{adm} = Deflexión Admisible

Si la Deflexión Característica (D_c) es menor que la Deflexión Admisible (D_{adm}), se establece que el comportamiento estructural es adecuado.

Si la Deflexión Característica (D_c) es mayor que la Deflexión Admisible (D_{adm}), se debe realizar trabajos de Rehabilitación, generalmente Refuerzos en la estructura.

2.1.3. CALIDAD DE LOS MATERIALES

Para evaluar la calidad de los materiales se debe realizar inicialmente un muestreo de los materiales a utilizar y la disponibilidad de estos.

Para la mezcla asfáltica, se debe tomar en cuenta la ubicación geográfica, las características superficiales y estructurales deseadas, a fin de realizar un adecuado diseño. Luego se realizarán ensayos extrayendo testigos con diamantina o bloques. Se debe verificar que el espesor de la carpeta sea el que indica el diseño. Además se debe prestar atención al sentido de las fisuras.

El material de las capas de base granular y de sub rasante deben cumplir las especificaciones de diseño y superar los controles de compactación establecidos.

2.1.4. ACTUALIZACIÓN DE PARÁMETROS

De acuerdo a las condiciones de la zona se determinan los parámetros que requieren ser actualizados por ser determinantes para la calificación final.

Entre los parámetros que se recomienda actualizar están:

Tráfico, debido al aumento de producción, población, turismo, etc.

Datos de Lluvia, coeficiente de drenaje.

Registros de temperaturas, verificación de diseños.

2.1.5. OTROS ASPECTOS

Comprende la evaluación de la totalidad de causas probables de fallas de pavimentos no consideradas anteriormente.

Deben ser definidas de acuerdo a las características de la zona, además requiere de la participación de los especialistas de cada área:

Estabilidad de Taludes

Hidrología
Drenaje
Geología

2.2. FACTORES QUE AFECTAN EL COMPORTAMIENTO DE LOS PAVIMENTOS FLEXIBLES

Entre los factores que afectan el comportamiento de los pavimentos flexibles podemos considerar: climáticos, de diseño estructural, de construcción, de tránsito, de drenaje y condiciones geológicas.

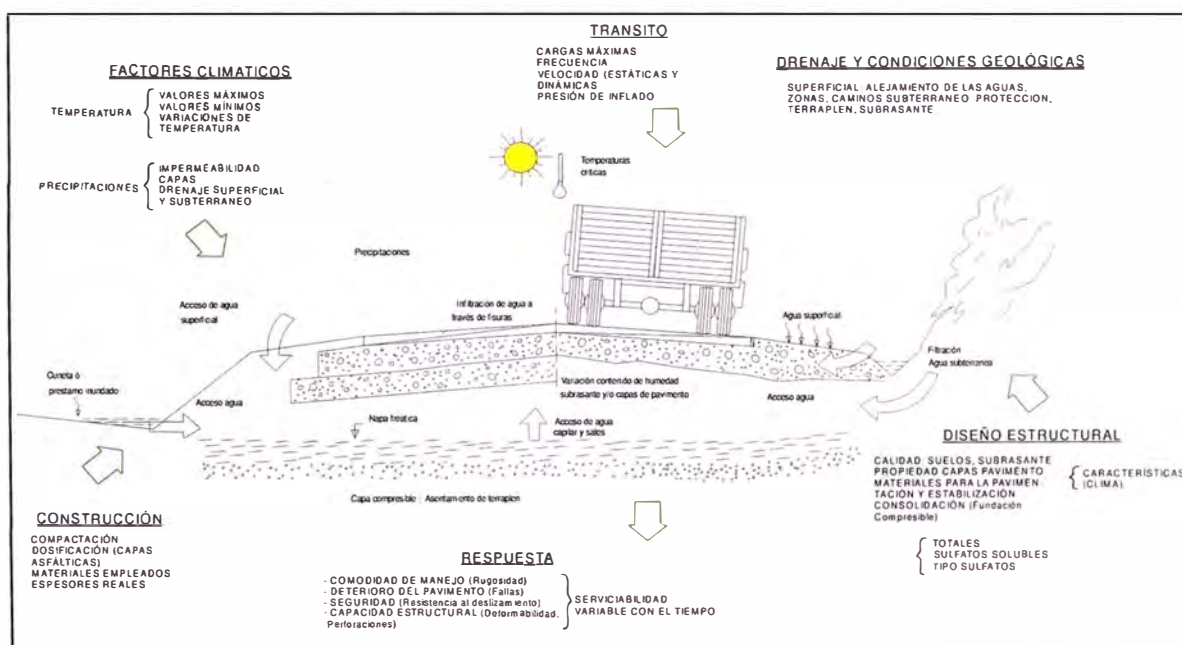


Figura 2.1: Factores que afectan el comportamiento del pavimento (Fuente: elaboración propia)

a. FACTORES CLIMÁTICOS: TEMPERATURA Y PRECIPITACIONES

Entre los factores climáticos a los que está expuesto el pavimento podemos considerar:

- Valores máximos y mínimos
- Gradiente de temperatura.
- Impermeabilidad de capas.
- Drenaje superficial y subterráneo.

b. FACTORES DE DISEÑO ESTRUCTURAL

Entre los factores relacionados al diseño estructural del pavimento podemos considerar:

- Calidad del terreno natural y la capa de sub rasante.
- Propiedades de las capas del pavimento.
- Materiales para la pavimentación y estabilización.
- Consolidación del terreno natural (fundación compresible).

c. FACTORES DE CONSTRUCCIÓN

Entre los factores relacionados al proceso constructivo del pavimento podemos considerar:

- Compactación de las capas.
- Dosificación (capas asfálticas).
- Materiales empleados.
- Espesores reales.

d. FACTORES DE TRÁNSITO

Entre los factores relacionados al tránsito que circula por el pavimento podemos considerar:

- Cargas máximas.
- Frecuencia.
- Velocidad (estática y dinámica).
- Presión de Inflado de los neumáticos.

e. FACTORES DE DRENAJE Y CONDICIONES GEOLÓGICAS

Entre los factores relacionados al drenaje y a las condiciones geológicas de la zona donde se encuentra el pavimento podemos considerar:

- Superficial: Alejamiento de las aguas del caminos.

- Subterráneo: Protección de terraplén, sub rasante.

2.3. RUGOSIDAD

Según la norma de ensayo ASTM E 867, define el concepto de Rugosidad como: “La desviación de una determinada superficie respecto a una superficie plana teórica, con dimensiones que afectan la dinámica del vehículo, la calidad de manejo, cargas dinámicas y el drenaje”.

En la figura 2.2, la superficie del pavimento estaría representada por la línea sinuosa, mientras que la línea horizontal representaría la superficie plana teórica.

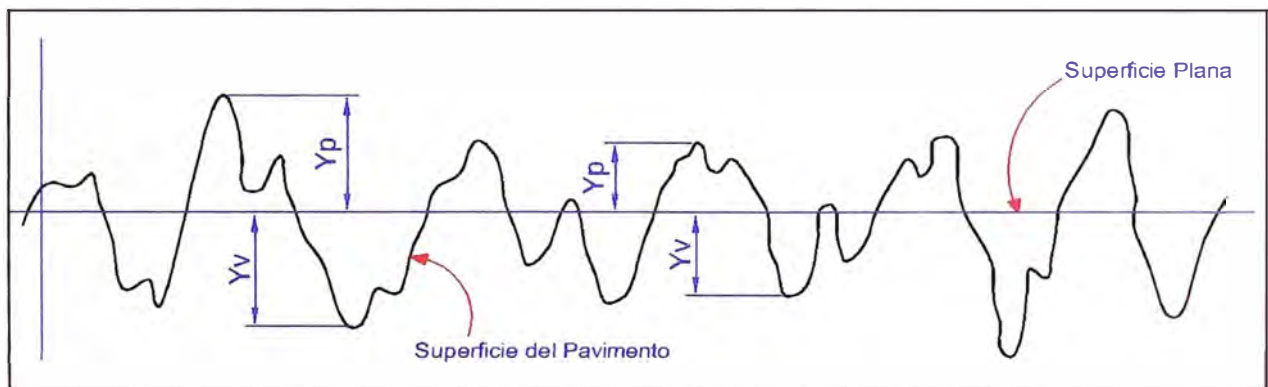


Figura 2.2: Representación de la rugosidad del pavimento (Fuente: elaboración propia)

En resumen la rugosidad es la medida de las alteraciones de la superficie del pavimento, el referente más usado como unidad de medida es Índice de Rugosidad Internacional (IRI).

2.4. ÍNDICE DE RUGOSIDAD INTERNACIONAL (IRI)

La escala estándar a nivel mundial para determinar la rugosidad de la superficie de rodadura del pavimento es el Índice de Rugosidad Internacional (IRI - Internacional Roughness Index), y se expresa en metros por kilómetro (m/km). Tiene sus orígenes en un programa Norteamericano llamado *National*

Cooperative Highway Research Program (NCHRP). En la figura 2.3 podemos apreciar la escala de rugosidad IRI expresada en m/km.

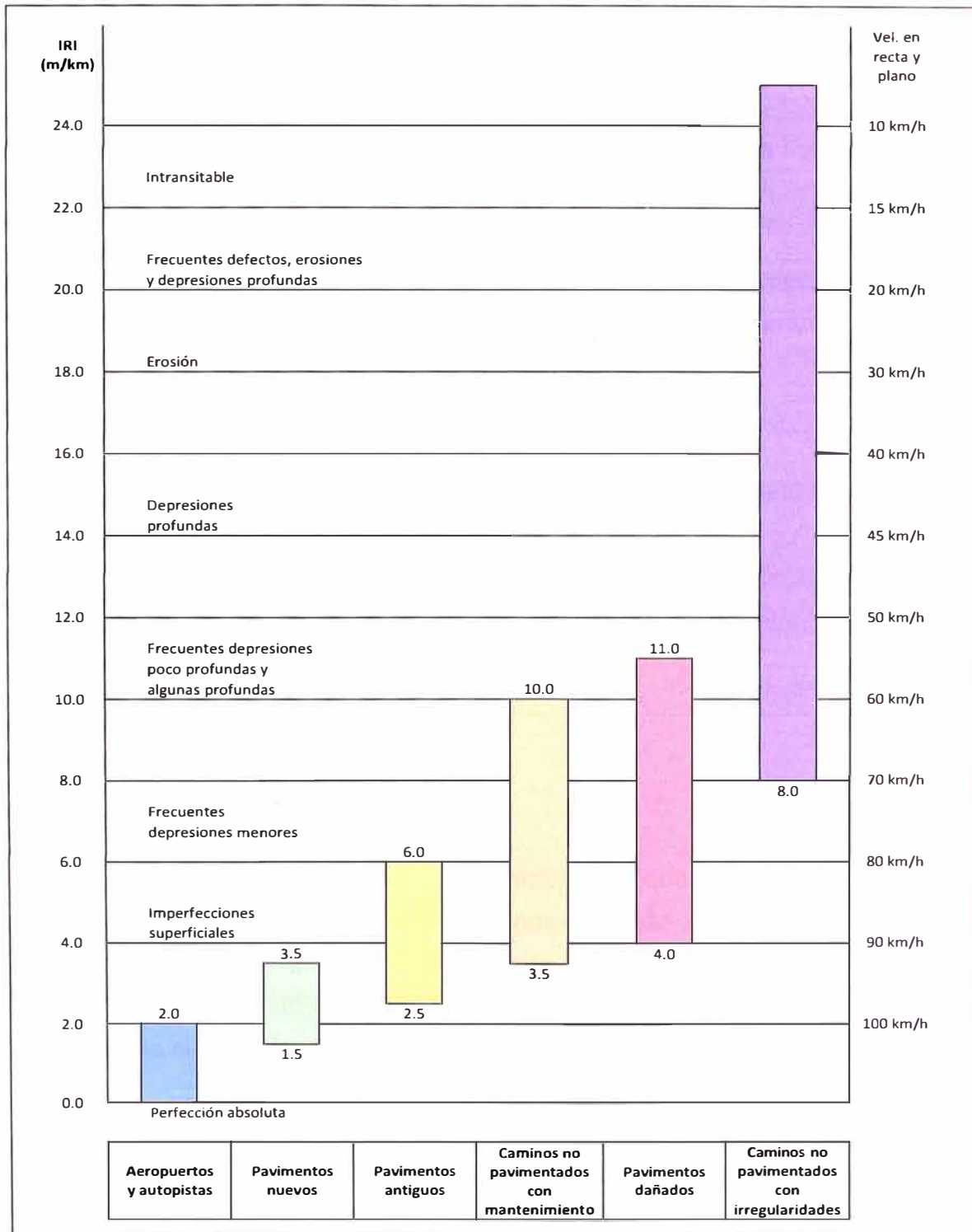


Figura 2.3: Escala de rugosidad IRI (m/km) (Fuente: elaboración propia)

Para determinar la rugosidad se pueden utilizar diferentes equipos capaces de registrar las irregularidades superficiales; sin embargo esto se constituye en uno

de los mayores problemas al momento de comparar las medidas registradas por cada uno de los equipos a nivel mundial.

Por tal motivo el Banco Mundial en uno de sus programas patrocinó la investigación para establecer una medida estándar capaz de unificar las lecturas y registros por cualquier equipo diseñado para medir la rugosidad, producto de esa investigación nació el IRI, este índice describe la respuesta física medida en los vehículos causada por el perfil longitudinal de la vía.

El cálculo matemático del IRI se basa en la acumulación de desplazamientos en valor absoluto (en milímetros, metros o pulgadas) dividido entre la distancia recorrida sobre un camino (en metros, kilómetros o millas)

2.5. MÉTODOS PARA MEDIR LA RUGOSIDAD DEL PAVIMENTO

De acuerdo a la clasificación dada por el Banco Mundial, se clasifican en cuatro clases genéricas, con relación a cuán directa sea la correlación que emplean para relacionar sus medidas con el IRI.

a. MÉTODOS CLASE 1

Estos métodos están basados en la medición de perfiles topográficos de gran precisión, estos métodos se constituyen como los más exactos que existen para la determinación del IRI. Los métodos de la clase 1 establecen la rugosidad a través de la determinación muy exacta del perfil longitudinal de un pavimento, con medidas espaciadas cada 0.25 m y cotas con una precisión de 0.5 mm.

A esta clase pertenecen los métodos basados en la medición del perfil del pavimento con el perfilómetro TRRL Beam, Face Dipstick, con mira y nivel de precisión (Rod and Level).



Figura 2.4: Perfilómetro Face Dipstick (Método Clase 1)

b. MÉTODOS CLASE 2

La rugosidad se determina sobre la base de la medición del perfil longitudinal, pero con una exactitud menor que los de la Clase 1. Estos métodos recurren al uso de perfilómetros de alta velocidad o mediciones estáticas con equipos similares a los de Clase 1. Entre los estos se encuentran el APL Trailer, GMR type Inertial Profilometer y el MERLIN.

c. MÉTODOS CLASE 3

Métodos que recurren al uso de una ecuación de correlación para la estimación del IRI. Las mediciones directas deben ser correlacionadas con el IRI mediante una ecuación de calibración, que debe ser obtenida experimentalmente y específicamente para el vehículo empleado. Dentro de esta clase se encuentran

el Mays Meter (Norteamericano), Bump Integrator (Inglés), NAASRA Meter (Australiano).

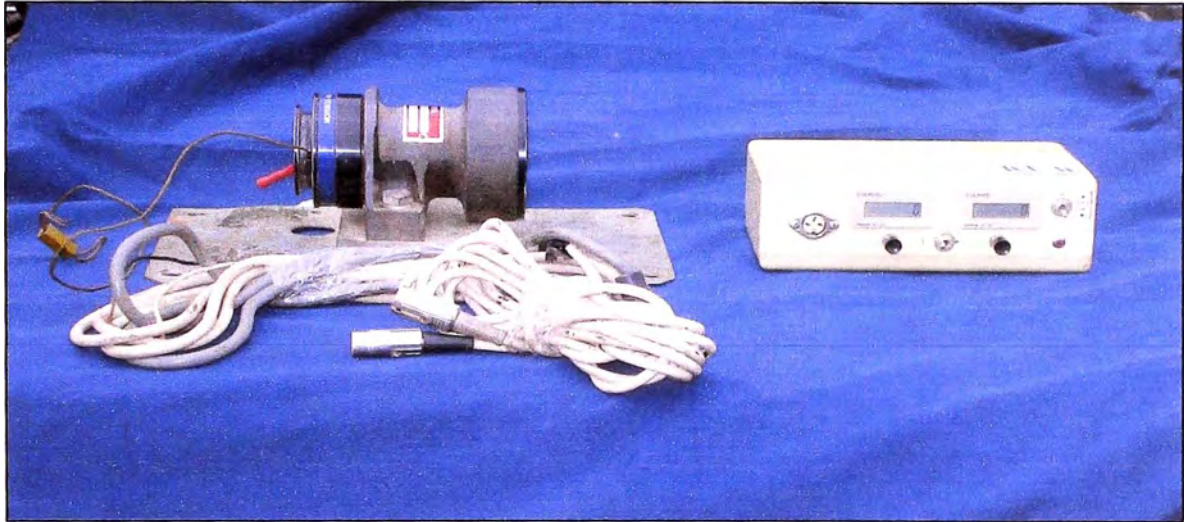


Figura 2.5: Rugosímetro Bump Integrator (Método Clase 3)

d. MÉTODOS CLASE 4

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

Un equipo tipo respuesta que no está calibrado cae dentro la categoría de Clase 4.

e. METODOS EMPLEADOS EN EL PERÚ

En la actualidad en el Perú existen equipos tipo respuesta tales como el Bump Integrator, pero su uso ha sido bastante limitado. Con respecto a la precisión de los resultados, no se tiene una muy buena experiencia, principalmente por que las calibraciones realizadas no han sido muy exactas, o porque las condiciones con las que fue calibrado el equipo no se mantienen, obteniéndose resultados inconsistentes con respecto al estado del pavimento evaluado.

La mayor experiencia en el Perú está relacionada con el método basado en el uso del rugosímetro denominado MERLIN (Machine for Evaluating Roughness using Low-cost Instrumentation), desarrollado por el TRRL (Transport and Road Research Laboratory) de Gran Bretaña.

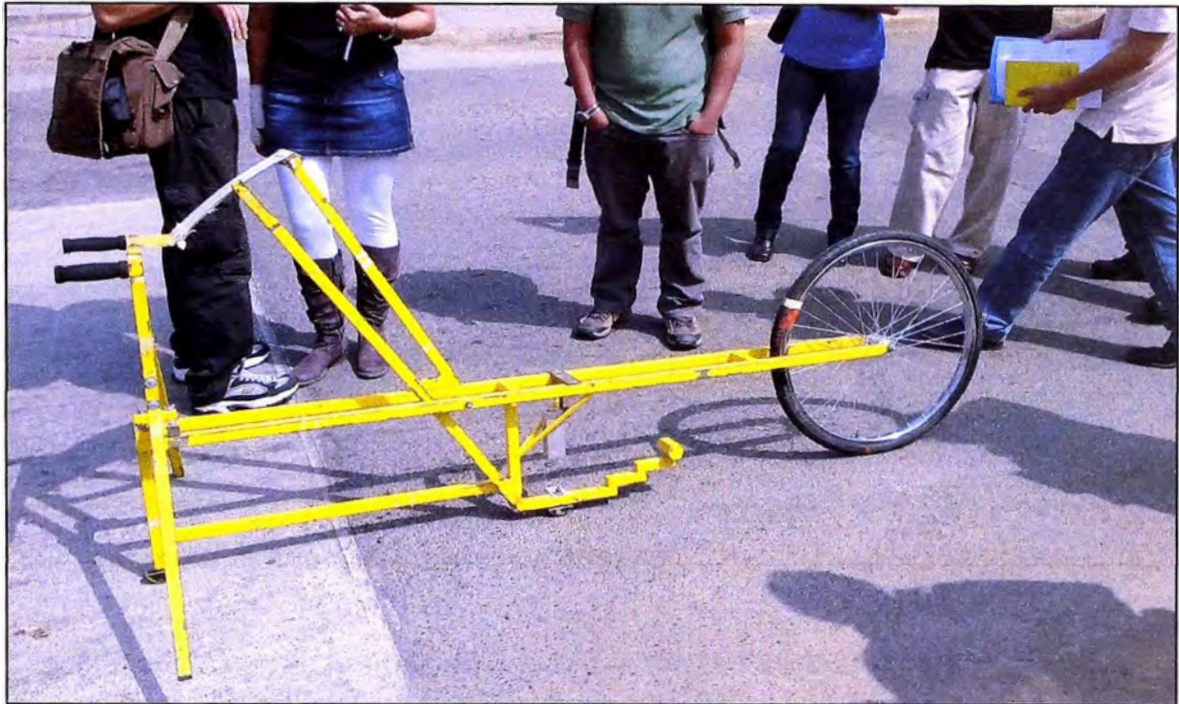


Figura 2.6: Rugosímetro MERLIN (Fuente: Curso de Titulación 2010)

El rugosímetro MERLIN califica como de Clase 2, ya que su calibración se realiza con métodos de Clase 1 como nivel y mira, además sirve para calibrar métodos de Clase 3 como el Bump Integrator.

CAPITULO 3

USO DEL RUGOSÍMETRO MERLIN PARA MEDIR EL IRI DEL PAVIMENTO

3.1. FUNDAMENTO TEÓRICO

3.1.1. INTRODUCCIÓN

El rugosímetro MERLIN (*Machine for Evaluating Roughness using low-cost Instrumentation - Máquina para Evaluación de la Rugosidad con Instrumentación de Bajo Costo*), fue desarrollado por el Laboratorio Británico de Investigación de Transportes y Caminos (TRRL), tomando como base el principio del perfilómetro estático, con la finalidad de obtener un equipo económico, sencillo de manejar, de analizar y que brinde resultados confiables.

Las principales ventajas del equipo MERLIN son el bajo costo del equipo, la facilidad de manejo y la exactitud de los resultados (superada solo por el método topográfico). La principal desventaja es su bajo rendimiento si se compara con los rugosímetros dinámicos automatizados como el Bump Integrator, Mays Meter, Perfilómetro Láser, etc.

La cantidad de tiempo empleada para tomar los datos y para calcular el IRI, siguiendo el procedimiento gráfico original establecido por el TRRL, se hace notoria en cuando se evalúa vías de gran longitud (mayores a 100 km.) y no se dispone de mucho tiempo.

Como en la mayoría de países latinoamericanos es poco frecuente que los constructores o entidades públicas posean rugosímetros dinámicos debido a sus altos costos de manutención o que no se evalúan la suficiente cantidad de km. para justificar su elevado costo, el uso del equipo MERLIN es una buena alternativa, siempre y cuando pueda solucionarse su principal desventaja: el bajo rendimiento, ya sea modificando el procedimiento de toma de datos o el equipo

mismo, manteniendo el costo relativamente bajo y la precisión más exacta que los equipos automatizados.

Luego de describir brevemente las características principales del rugosímetro MERLIN, se debe buscar una metodología que permita lograr una mayor eficiencia, para esto se estudiarán las fuentes que inciden en el bajo rendimiento del equipo, y se describirán métodos y procesos automatizados que permitan mejorar el rendimiento y reducir el costo del ensayo, tomando como base la experiencia adquirida luego de evaluar miles de kilómetros de carreteras desde el año 1993, en proyectos en el Perú.

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 Figura 3.1 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”.

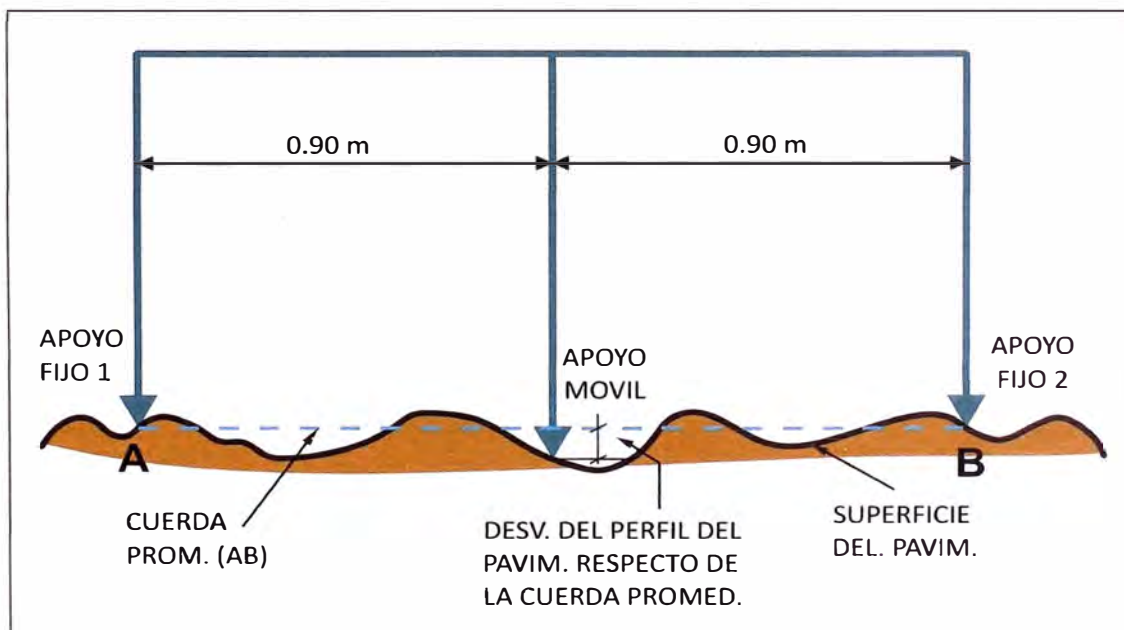


Figura 3.1: Esquema del funcionamiento del rugosímetro MERLIN (Fuente: elaboración propia)

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. 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 (Ver Figura 3.2). 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”.

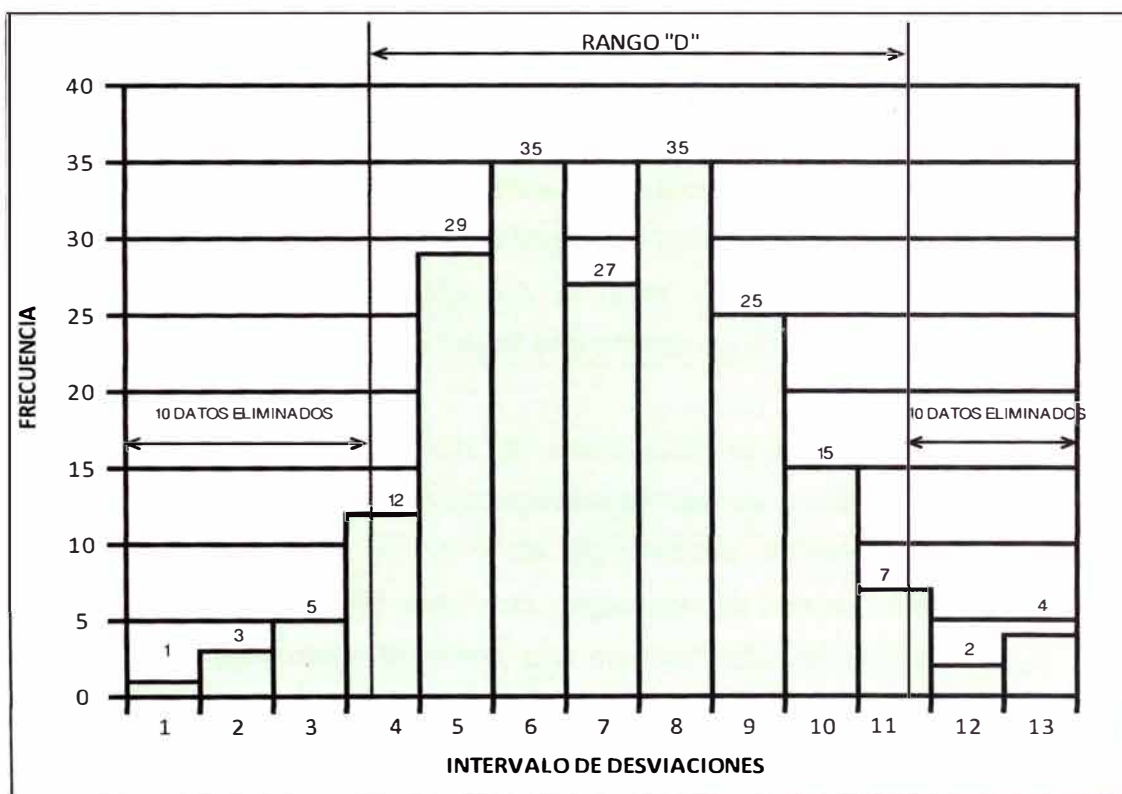


Figura 3.2: Histograma de la distribución de frecuencias de una muestra de 200 desviaciones (Fuente: elaboración propia)

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 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.

3.1.2. CORRELACIÓN D VERSUS 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:

$$2.4 < \text{IRI} < 15.9, \quad \text{entonces} \quad \text{IRI} = 0.593 + 0.0471 \times D \quad (1)$$

$$\text{IRI} < 2.4, \quad \text{entonces} \quad \text{IRI} = 0.0485 \times D \quad (2)$$

La expresión 1 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.

La expresión 2 es la ecuación de correlación establecida de acuerdo a la experiencia peruana y luego de comprobarse 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.

3.1.3. LIMITES 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 cuál es definido por la siguiente expresión:

$$\text{IRI}_c = \text{IRI}_p + 1.645\sigma$$

Donde:

IRI_c : IRI característico

IRI_p : 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:

Pavimentos Asfálticos Nuevos

El IRI_c deberá ser menor o igual a 2.0 m/km.

Pavimentos con Recapado Asfáltico

El IRI_c deberá ser menor o igual a 2.5 m/km.

Pavimentos con Sellado Asfáltico

El IRI_c 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.

3.2. PROCEDIMIENTO DE CAMPO

En esta parte se detalla el proceso a seguir en la realización del ensayo y la toma de datos.

3.2.1. DESCRIPCIÓN DEL RUGOSÍMETRO MERLIN

El rugosímetro MERLIN es un instrumento versátil, sencillo y económico, pensado especialmente para uso en países en vías de desarrollo.

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.

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 2.

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.

El MERLIN es un equipo de diseño simple. La Figura 3.3 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.

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 empernado y ajustable, el cual 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.

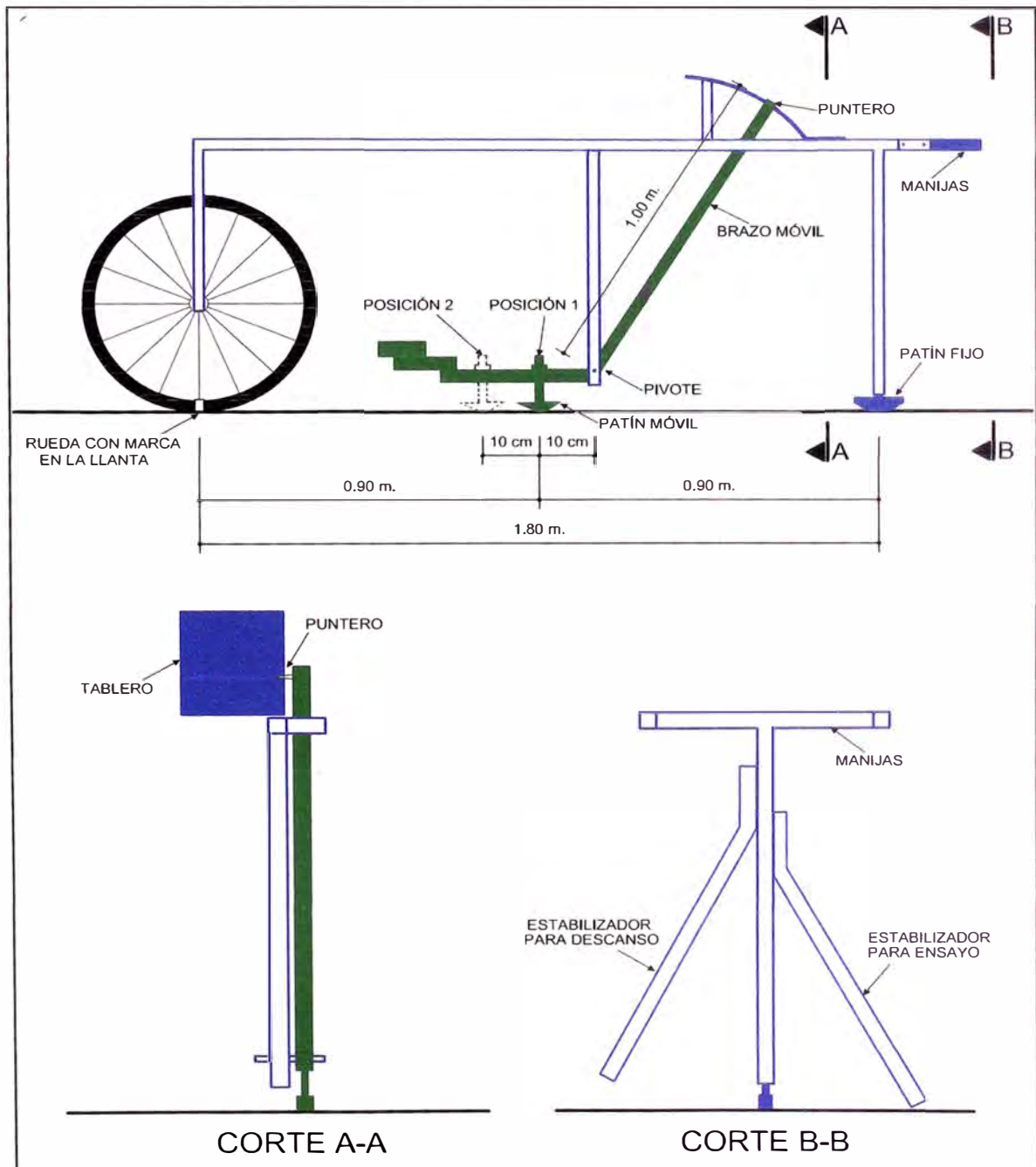


Figura 3.3: Esquema del rugosímetro MERLIN (Fuente: elaboración propia)

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 1 mm,

en el extremo inferior del patín móvil, produce un desplazamiento de 1 cm del puntero. Para registrar los movimientos del puntero, se utiliza una escala gráfica con 50 divisiones, de 5 mm de espesor cada una, tal como se muestra en la Figura 3.4, esta escala gráfica que va adherida en el borde del tablero sobre el cual se desliza el puntero.

PROYECTO _____				MEDICIÓN DEL IRI			
SUP DE RODADURA _____				CARRIL	II INIC		
OPERADOR _____				DEL KM	II TERM.		
				AL KM	FECHA:		

TABLA DE CONTROL							
1	51	101	151	1			1
2	52	102	152	2			2
3	53	103	153	3			3
4	54	104	154	4			4
5	55	105	155	5			5
6	56	106	156	6			6
7	57	107	157	7			7
8	58	108	158	8			8
9	59	109	159	9			9
10	60	110	160	10			10
11	61	111	161	11			11
12	62	112	162	12			12
13	63	113	163	13			13
14	64	114	164	14			14
15	65	115	165	15			15
16	66	116	166	16			16
17	67	117	167	17			17
18	68	118	168	18			18
19	69	119	169	19			19
20	70	120	170	20			20
21	71	121	171	21			21
22	72	122	172	22			22
23	73	123	173	23			23
24	74	124	174	24			24
25	75	125	175	25			25
26	76	126	176	26			26
27	77	127	177	27			27
28	78	128	178	28			28
29	79	129	179	29			29
30	80	130	180	30			30
31	81	131	181	31			31
32	82	132	182	32			32
33	83	133	183	33			33
34	84	134	184	34			34
35	85	135	185	35			35
36	86	136	186	36			36
37	87	137	187	37			37
38	88	138	188	38			38
39	89	139	189	39			39
40	90	140	190	40			40
41	91	141	191	41			41
42	92	142	192	42			42
43	93	143	193	43			43
44	94	144	194	44			44
45	95	145	195	45			45
46	96	146	196	46			46
47	97	147	197	47			47
48	98	148	198	48			48
49	99	149	199	49			49
50	100	150	200	50			50

Figura 3.4: Escala gráfica usada para registrar datos con el rugosímetro MERLIN.

3.2.2. EJECUCIÓN DEL ENSAYO

Para la ejecución de los ensayos se requiere de dos personas que trabajan conjuntamente, un operador que conduce el equipo y realiza las lecturas y un auxiliar que las anota. Asimismo, debe seleccionarse un trecho de aproximadamente 400 m de longitud, sobre un determinado carril de una vía. Las mediciones se efectúan siguiendo la huella exterior del tráfico. Además se debe considerar una o dos personas adicionales que cumplan la función de señalizadores, a fin de que alerten a los transportistas del desarrollo del ensayo.

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

PROYECTO : _____ OPERADOR : _____
 SECTOR : _____ SUPERVISOR : _____
 TRAMO : _____ FECHA : _____
 CARRIL : _____

ENSAYO N° KM + HORA

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1											TIPO DE PAVIMENTO :
2											ASPHALTADO <input type="checkbox"/>
3											BASE GRANULAR <input type="checkbox"/>
4											BASE IMPRIMADA <input type="checkbox"/>
5											TRAT. HIDRÓFUGO <input type="checkbox"/>
6											CARPETA EN FRO <input type="checkbox"/>
7											CARP. EN CALIENTE <input type="checkbox"/>
8											RECAPA ASF. AL TIEO <input type="checkbox"/>
9											SELLO <input type="checkbox"/>
10											OTROS <input type="checkbox"/>
11											
12											
13											
14											
15											
16											
17											
18											
19											
20											

OBSERVACIONES : _____

Figura 3.5: Formato de campo para registrar lecturas del rugosímetro MERLIN.

Para determinar un valor de rugosidad se deben efectuar 200 observaciones de las “irregularidades que presenta el pavimento” (desviaciones relativas a la cuerda promedio), cada una de las cuáles son detectadas por el patín móvil del MERLIN, y que a su vez son indicadas por la posición que adopta el puntero sobre la escala graduada del tablero, generándose de esa manera las lecturas.

Las observaciones deben realizarse estacionando el equipo a intervalos regulares, generalmente cada 2.00 m de distancia; en la práctica esto se

resuelve tomando como referencia la circunferencia de la rueda del MERLIN, que es aproximadamente esa dimensión, es decir, cada ensayo se realiza al cabo de una vuelta de la rueda.

En cada observación el instrumento debe descansar sobre el camino apoyado en tres puntos fijos e invariables: la rueda, el apoyo fijo trasero y el estabilizador para ensayo, tal como se muestra en el Corte B-B de la Figura 3.3.

La posición que adopta el puntero corresponderá a una lectura entre 1 y 50, la que se anotará en un formato de campo, tal como el mostrado en el Figura 3.5. El formato consta de una cuadrícula compuesta por 20 filas y 10 columnas; empezando por el casillero (1,1), los datos se llenan de arriba hacia abajo y de izquierda a derecha.

El proceso de medición es continuo y se realiza a una velocidad promedio de 2 km/h. La prueba empieza estacionando el equipo al inicio del trazo de ensayo, el operador espera que el puntero se estabilice y observa la posición que adopta respecto de la escala colocada sobre el tablero, realizando así la lectura que es anotada por el auxiliar.

Paso seguido, el operador toma el instrumento por las manijas, elevándolo y desplazándolo la distancia constante de 2.00 m entre un ensayo y otro (una vuelta de la rueda). En la nueva ubicación se repite la operación explicada y así sucesivamente hasta completar las 200 lecturas.

El espaciado entre los ensayos no es un factor crítico, pero es recomendable que las lecturas se realicen siempre estacionando la rueda en una misma posición, para lo cual se pone una señal o marca llamativa sobre la llanta (con cinta adhesiva blanca), la que debe quedar siempre en contacto con el piso. Ello facilita la labor del operador quién, una vez hecha la lectura, levanta el equipo y controla que la llanta gire una vuelta haciendo coincidir nuevamente la marca sobre el piso.

3.3. PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO

En esta parte se describe el proceso de gabinete, luego de obtenidos los datos en los ensayos de campo.

3.3.1. 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 N° 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 N°25 (dispersión alta), se demostrará que el pavimento tiene un perfil con múltiples inflexiones (rugosidad elevada).

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, tal como se muestra en la figura 3.2.

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.

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.

3.3.2. FACTOR DE CORRECCIÓN PARA EL AJUSTE DE “D”

Las ecuaciones 1 y 2 del ítem 3.1.2. 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 (Ver Figura N° 5). 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:

Determinación de Espesor de Pastilla (mm)

Se utiliza un calibrador que permita una aproximación al décimo de mm. El espesor se calculará como el valor promedio considerando 4 medidas diametralmente opuestas.

Calibración del Rugosímetro MERLIN

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.

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

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

Donde:

EP : Espesor de la pastilla

LI : Posición inicial del puntero

LF : Posición final del puntero

3.3.3. VARIACIÓN DE RELACIÓN DE BRAZOS

Para facilidad del trabajo, el rugosímetro admite dos posiciones para el patín del brazo pivotante, tal como se muestra en la figura 3.3

Posición Standard

El patín se ubica a 10 cm del punto de pivote, se utiliza en caso de pavimentos nuevos o superficies muy lisas (baja rugosidad). La relación de brazos utilizada será 1 a 10.

Posición Alterna

El patín se ubica a 20 cm del punto de pivote, se utiliza en caso de pavimentos afirmados muy deformados o pavimentos muy deteriorados. La relación de brazos será 1 a 5. De usar esta posición, el valor D determinado deberá multiplicarse por un factor de 2.

3.3.4. CÁLCULO DEL RANGO “D” CORREGIDO

El valor D calculado, deberá modificarse considerando el Factor de Corrección (FC) y la Relación de Brazos (RB) empleada en los ensayos. Este valor luego de realizar las correcciones para llevarlo a condiciones estándar es la rugosidad en “unidades MERLIN”.

3.3.5. DETERMINACIÓN DE LA RUGOSIDAD EN LA ESCALA DEL IRI

Para transformar la rugosidad de unidades MERLIN a la escala del IRI, se usan las expresiones mostradas en el ítem 3.1.2.

3.4. APLICACIÓN EN CAMPO

3.4.1. REALIZACIÓN DEL ENSAYO Y TOMA DE DATOS

Se realiza un recorrido inicial a fin de establecer el tramo a evaluar (de preferencia sin curvas, gibas, ni peralte y pendiente en exceso. (Figura 3.6)



Figura 3.6: Recorrido inicial a fin de establecer el tramo a evaluar.

Luego de establecido el tramo a evaluar se estaciona el equipo en el punto inicial y se hace coincidir con la huella exterior dejada por los neumáticos de los vehículos. (Figura 3.7)



Figura 3.7: Estacionamiento en el punto inicial del tramo a evaluar.

Una vez estacionado en la posición inicial, se procede a colocar y fijar en su posición definitiva el apoyo móvil. (Figura 3.8)



Figura 3.8: Colocación y ajuste del apoyo móvil.

Luego de realizar los ajustes se procede a realizar el ensayo, tomando 200 lecturas a intervalos de 2 m entre lecturas. (Figura 3.9)



Figura 3.9: Desarrollo del ensayo y toma de datos.

Se debe considerar una o dos personas ubicadas delante y detrás del equipo a una distancia aproximada de 50 m a fin de advertir a los transportistas de la realización de ensayo. (Figura 3.10)



Figura 3.10: Cono de seguridad delante del equipo.

El transporte del equipo en distancias cortas debe realizarse entre dos personas a fin de cuidar que el patín móvil no sufra golpes. (Figura 3.11) Una vez llegado al nuevo punto inicial, se repite todo el proceso nuevamente.



Figura 3.11: Transporte del equipo.

Una vez finalizados los ensayos se obtienen formatos de datos de campo como los que se muestran en las figuras 3.12a y 3.12b, con estos datos se realizan los cálculos para obtener el IRI del pavimento en los tramos que comprende el ensayo (progresivas 110+000 al 109+600 y 109+000 al 108+600).

HOJA DE TOMA DE DATOS PARA ENSAYO CON RUGOSÍMETRO MERLIN

DATOS DEL ENSAYO

ENSAYO N° : 01	CARRIL : DERECHO
PROYECTO : CARR. CAÑETE - HUANCAYO	SENTIDO : DESCENDENTE
SECTOR : 4 - ZUÑIGA - CV. YAUYOS	FECHA Y HORA : 15/05/2010 - 08:20 A.M.
TRAMO : 110+000 - 109+600	SUPERFICIE : MONOCAPA
OPERADOR : CARLOS QUISPE A.	SUPERVISOR : ING. G. LLERENA C.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	17	16	13	14	17	25	14	15	24	8
2	19	19	25	16	14	8	21	13	19	29
3	19	19	27	13	10	14	20	18	22	15
4	20	16	19	20	12	8	25	9	28	28
5	8	22	9	24	15	19	28	20	12	29
6	11	17	22	24	12	16	23	19	21	21
7	8	21	6	20	18	21	18	15	20	24
8	17	23	22	19	11	19	32	24	19	20
9	7	23	14	16	26	10	28	16	12	8
10	24	18	15	26	22	16	17	19	21	24
11	16	19	12	26	14	11	19	16	24	26
12	21	21	11	21	16	17	20	21	21	20
13	19	22	14	18	20	16	25	14	25	24
14	21	17	16	19	31	21	16	22	20	21
15	17	17	15	14	18	14	16	19	16	23
16	13	16	21	23	13	6	18	17	17	25
17	13	17	16	20	10	17	11	15	16	15
18	16	16	21	19	26	16	14	24	14	24
19	29	25	14	25	15	19	13	16	18	18
20	18	19	19	22	25	5	13	16	21	31

OBSERVACIONES :

Figura 3.12a: Hoja de datos de campo – Ensayo 01 (110+000 – 109+600)

HOJA DE TOMA DE DATOS PARA ENSAYO CON RUGOSÍMETRO MERLIN

DATOS DEL ENSAYO

ENSAYO N° : 02 **CARRIL** : DERECHO
PROYECTO : CARR. CAÑETE - HUANCAYO **SENTIDO** : DESCENDENTE
SECTOR : 4 - ZUÑIGA - CV. YAUYOS **FECHA Y HORA** : 15/05/2010 - 09:05 A.M.
TRAMO : 109+000 - 108+600 **SUPERFICIE** : MONOCAPA

OPERADOR : CARLOS QUISPE A. **SUPERVISOR** : ING. G. LLERENA C.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	31	25	31	32	21	30	26	30	30	31
2	32	32	29	37	32	32	26	29	33	37
3	38	36	29	29	29	29	33	34	36	30
4	33	33	36	39	29	33	34	24	30	30
5	37	24	27	32	24	24	35	31	32	33
6	27	37	26	32	23	30	34	34	31	29
7	29	34	27	30	32	31	37	35	40	27
8	35	20	21	30	37	24	34	33	1	29
9	25	21	26	36	27	31	33	30	1	33
10	34	27	32	29	30	36	31	24	27	28
11	28	20	35	33	32	22	27	24	31	33
12	32	21	27	34	30	29	23	28	38	29
13	39	14	36	21	31	34	29	30	34	27
14	27	38	28	37	36	36	34	27	34	30
15	27	25	30	29	29	31	25	24	25	29
16	29	35	27	42	32	28	34	28	35	31
17	21	24	27	31	29	32	32	20	30	33
18	26	14	34	25	16	34	31	29	31	35
19	32	31	29	36	40	36	30	29	34	41
20	25	30	27	24	33	39	27	30	22	38

OBSERVACIONES :

(8 , 9) ---> Giba

(9 , 9) ---> Giba

Figura 3.12b: Hoja de datos de campo – Ensayo 02 (109+000 – 108+600)

3.4.2. CÁLCULOS REALIZADOS

Se realizará el cálculo del IRI para el tramo comprendido entre las progresivas 110+000 – 109+600, mediante el procedimiento de cálculo indicado en el ítem 3.3.

Cálculo del rango "D"

Para calcular el rango "D" se elabora un histograma de la distribución de frecuencias con los datos obtenidos en campo (figuras 3.13a y 3.13b). En dicho histograma se identifica los 10 datos de los extremos a ser eliminados, el rango comprendido entre dichos intervalos será el valor de "D" en unidades MERLIN.

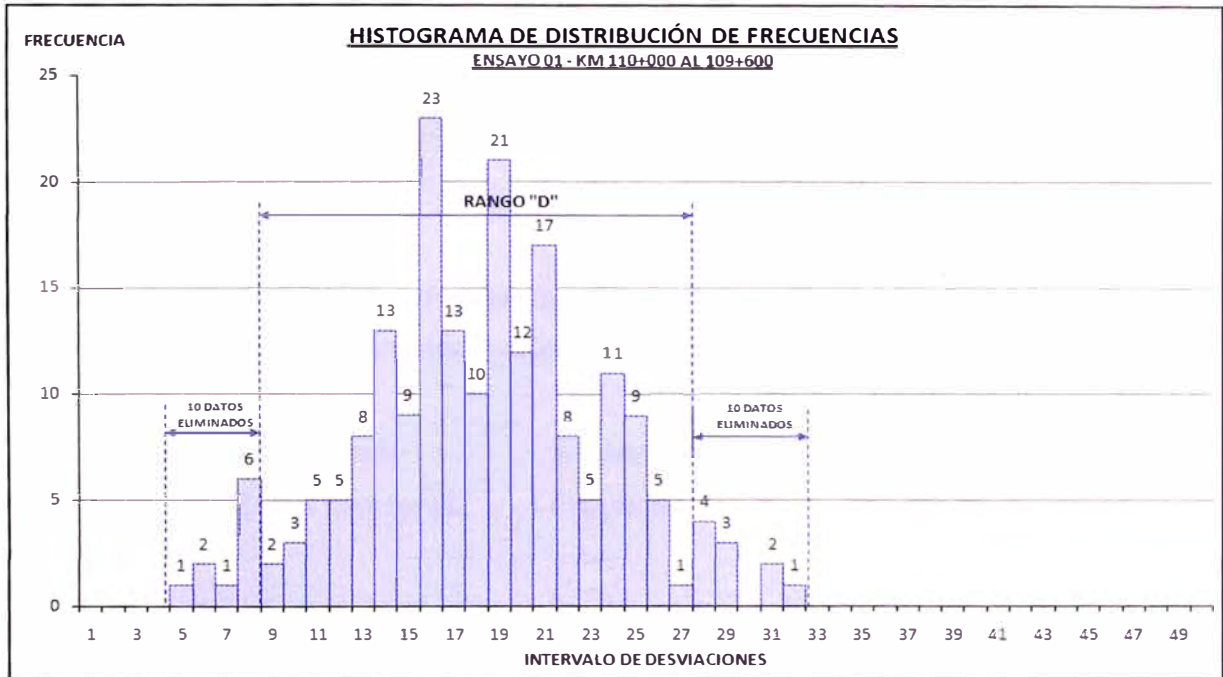


Figura 3.13a: Histograma de distribución de frecuencia - Ensayo 01 (110+000 - 109+600)

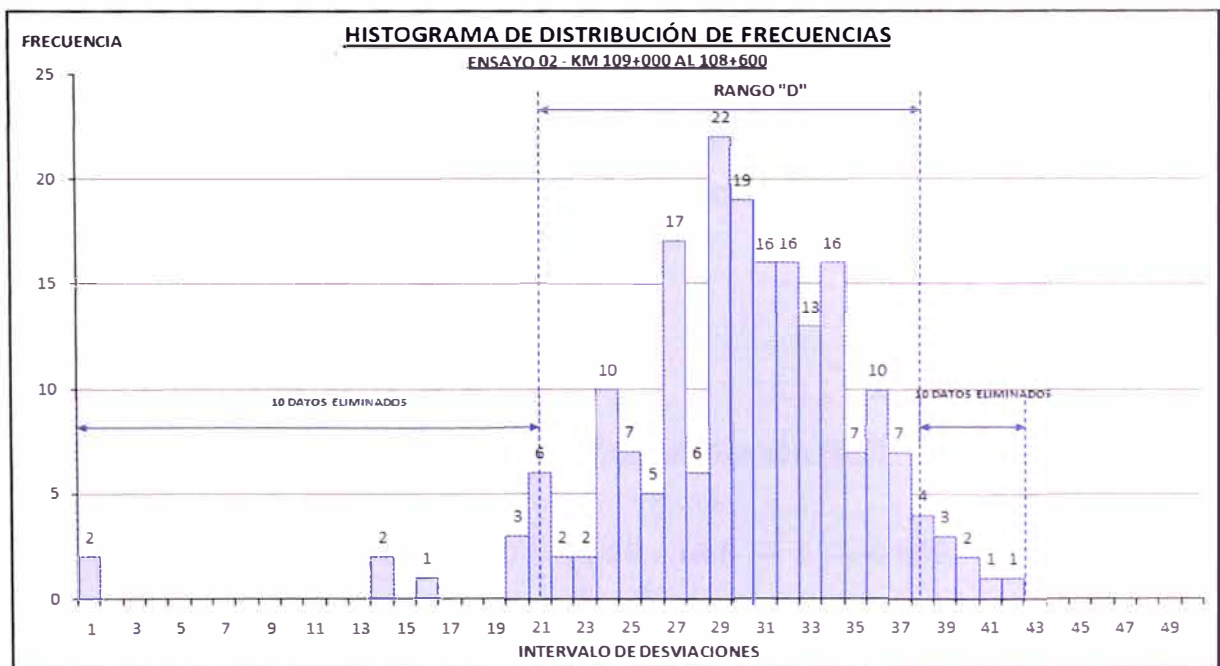


Figura 3.13b: Histograma de distribución de frecuencia - Ensayo 02 (109+000 - 108+600)

Para el ensayo 01 en el extremo inferior se eliminan los intervalos del 5 al 8. Para el extremo superior del 28 al 32. Esto quiere decir que el rango "D" está comprendido entre los intervalos 9 al 27 equivalente a 19 unidades MERLIN,

Para el ensayo 02 en el extremo inferior se eliminan los intervalos del 1 al 20 y 2 datos de 6 del intervalo 21 ($2/6 = 0.333$). Para el extremo superior 3 datos de 4 del intervalo 38 ($3/4 = 0.75$) y los intervalos 39 al 42. Esto quiere decir que el rango "D" está comprendido entre los intervalos 22 y 37 más parte del intervalo 21 ($4/6 = 0.666$) y del intervalo 38 ($1/4 = 0.25$), entonces el rango "D" equivale a 16.916 unidades MERLIN.

Para convertir a mm. se multiplica el valor de "D" por 5 (1 und. = 5 mm.), entonces el rango "D" para cada ensayo será:

$$D_1 = 19 \text{ und.} \times 5 \text{ mm./und.} \quad \text{entonces:} \quad D_1 = 95 \text{ mm}$$

$$D_2 = 16.916 \text{ und.} \times 5 \text{ mm./und.} \quad \text{entonces:} \quad D_2 = 84.58 \text{ mm}$$

Factor de corrección para el ajuste de "D"

Se determina el espesor de la pastilla de calibración realizando 4 medidas con un pie de rey, el espesor promedio de la pastilla es de 6.47 mm. (EP)

Se coloca el rugosímetro sobre una superficie plana y se toma una lectura, luego se coloca bajo el patín móvil la pastilla y se realiza otra lectura, este proceso se repite 4 veces. Para calcular el factor se toma el promedio de las lecturas iniciales y finales, para el equipo utilizado las lecturas promedio son:

$$\text{Lectura inicial (Li)} = 25$$

$$\text{Lectura final (Lf)} = 10.5$$

Se reemplaza en la expresión del factor de corrección (FC)

$$FC = (6.47 \times 10) / [(25 - 10.5) \times 5] = 0.892$$

Para corregir el valor del rango "D" se debe aplicar el factor de corrección calculado (FC) y el factor por relación de brazos (RB) empleada en los ensayos,

en este caso se uso la relación de brazos de 1 a 10, por lo tanto el factor a usar será 1 (RB = 1). Usamos la ecuación para calcular el "D" corregido ($D_{\text{correg.}}$) para cada ensayo:

$$D_{1 \text{ correg.}} = 95 \text{ mm.} \times 0.892 \times 1 \quad \text{entonces,} \quad D_{1 \text{ correg.}} = 84.74 \text{ mm.}$$

$$D_{2 \text{ correg.}} = 84.58 \text{ mm.} \times 0.892 \times 1 \quad \text{entonces,} \quad D_{2 \text{ correg.}} = 75.445 \text{ mm.}$$

Determinación de la rugosidad en la escala del IRI

Para convertir la rugosidad calculada en mm. a la escala del IRI, usaremos las expresiones del ítem 3.1.2., usaremos la expresión establecida por el TRRL:

$$\text{IRI} = 0.593 + 0.0471 \times D$$

$$\text{IRI}_1 = 0.593 + 0.0471 \times 84.74 \quad \text{entonces,} \quad \text{IRI}_1 = 4.584$$

$$\text{IRI}_2 = 0.593 + 0.0471 \times 75.445 \quad \text{entonces,} \quad \text{IRI}_2 = 4.146$$

3.5. INCONVENIENTES DEL ENSAYO Y SUGERENCIAS DE MEJORA

En este ítem se presentan los principales inconvenientes observados en el ensayo de campo, si bien no son los únicos son los más resaltantes y se presentan sugerencias de cómo superar estos inconvenientes, algunas de estas más viables y otras más prácticas.

3.5.1. BAJO RENDIMIENTO

Uno de los principales inconvenientes del ensayo con el rugosímetro MERLIN es el bajo rendimiento de la toma de datos, considerando el costo por km de ensayo, según la experiencia de la Universidad Nacional de Ingeniería en la carretera en estudio, el rendimiento está cercano a los 8 km de ensayo por día de trabajo, esto equivale a recorrer los 400 m de un ensayo cada 24 minutos, considerando 8 horas de trabajo por día.

La cuadrilla de trabajo necesaria para realizar el ensayo es como mínimo de 3 personas y 4 en el mejor de los casos: 1 operador, 1 anotador (ambos con tarifa de operario) y 1 o 2 señalizadores (con categoría de peones).

El costo del equipo no es muy elevado, el alquiler bordea los 90 nuevos soles por día y la compra del mismo ronda los 800 dólares americanos (US\$).

Los materiales empleados durante el ensayo son mínimos, el principal sería la pintura de tráfico, para señalar los puntos iniciales y finales de cada ensayo, así como los implementos de seguridad del personal, como son los cascos, chalecos, conos de tráfico, etc. y algún otro implemento para alertar a los conductores de la realización del ensayo.

Para una mejor evaluación se elabora un sencillo análisis de costos (ver cuadro 3.1), según los datos proporcionados para 1 km. de carretera:

PARTIDA : ENSAYO CON RUGOSÍMETRO MERLIN (ORIGINAL)						
RENDIMIENTO :		8.00	KM / DIA		UNIDAD : KM	
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CUADRILLA	CANTIDAD	PRECIO S/.	PARCIAL S/.	% DE INCIDENCIA
MANO DE OBRA					48.66	78.31%
OPERADOR	H-H	2.00	2.00	13.52	27.04	43.51%
SEÑALIZADOR	H-H	2.00	2.00	10.81	21.62	34.79%
MATERIALES					1.50	2.41%
PINTURA DE TRÁFICO	GAL		0.05	30.00	1.50	2.41%
EQUIPOS Y HERRAMIENTAS					11.98	19.28%
RUGOSÍMETRO MERLIN	H-M	1.00	1.00	11.25	11.25	18.10%
HERRAMIENTAS MANUALES	% MO		1.50%	48.66	0.73	1.17%
COSTO DIRECTO (S/. / KM)					62.14	

Cuadro 3.1: Análisis de precio del ensayo con Rugosímetro MERLIN

Del análisis se observa que la mayor incidencia está en la mano de obra (78% del total), el costo de los materiales es mínimo como se había descrito anteriormente (menor a 3%) y el costo del equipo también es bajo (19 % del costo). Por lo tanto se debe buscar reducir principalmente la mano de obra.

Para intentar reducir el costo de mano de obra, lo primero que se evaluará será el comportamiento del costo por km. de ensayo si aumentamos el rendimiento, tal como se resume en el cuadro 3.2 (el detalle de las evaluaciones se adjunta como anexo). En dicho cuadro se observa que si incrementamos el rendimiento en 25% (de 8 km. a 10 km. por día), obtenemos una reducción de 19.52% (de S/. 62.14 a S/. 50.01 por km.)

RENDIMIENTO (KM/DIA)	COSTO POR KM (S/. / KM)	INCREMENTO DE REND. (%)	REDUCCIÓN DE COSTO (%)
8.00	62.14		
9.00	55.40	12.50%	10.84%
10.00	50.01	25.00%	19.52%
11.00	45.60	37.50%	26.61%
12.00	41.93	50.00%	32.53%

Cuadro 3.2: Evaluación de costo en función al rendimiento del ensayo.

Del cuadro anterior se concluye que una buena opción para la reducción será incrementar el rendimiento a fin de reducir el costo por km. Esto se obtendrá luego de que los operadores pasen por un periodo de entrenamiento a fin de que puedan realizar el ensayo de manera casi automatizada y de esta forma incrementar el rendimiento del ensayo. El análisis realizado contempla un incremento debido a la pericia de los operadores, más no modificaciones al equipo.

3.5.2. EXCESO DE MANO DE OBRA

Del análisis presentado en el cuadro 3.1. se observa que se necesitan 4 personas para realizar el ensayo, esto significa un elevado costo por mano de obra, ya que esta representa casi un 80% del costo del ensayo.

Esta cantidad de personal se puede reducir si se logra reemplazar la función del anotador, para esto podemos considerar dentro del equipo una grabadora portátil por un costo de 100 nuevos soles, asumiendo que esta tenga sólo unos 50 usos (aproximadamente 2 meses de trabajo) se puede considerar que el costo diario será de $S/ 100 / 50 = 2$ nuevos soles por día de uso.

Esta implementación tiene la ventaja de que cualquier detalle o incidencia que el operador crea importante queda registrada en la memoria de dicha grabadora, estos datos con un adecuado software y con una clara pronunciación del operador, pueden ser convertidos en datos numéricos rápidamente, cabe mencionar que esta implementación requiere que el operador mantenga un orden, porque de lo contrario sería perjudicial en vez de beneficioso. Con esto se evitará el tedioso proceso de digitalizar los datos manuales en las hojas generadas por el anotador.



Figura 3.14: Grabador de voz portátil (costo aproximado S/. 100)

Haciendo un cálculo rápido tenemos que por día de trabajo se realizan 20 ensayos (8 km. por día), cada ensayo considera 200 datos, en total se tienen 4,000 datos (20 ensayos por 200 datos por ensayo) a ser procesados por día de trabajo lo que incrementa la posibilidad de errores en la digitación de los datos.

Para evaluar la incidencia de la sugerencia propuesta se reformula el análisis tal como se muestra en el cuadro 3.3, a fin de observar el impacto respecto al ensayo originalmente planteado.

En el análisis se observa que la incidencia de la mano de obra aun es elevada, pero que se ha reducido de 48.66 a 35.14 nuevos soles, por la reducción del anotador, en total se reduce el costo por km. de ensayo de 62.14 a 48.67 nuevos soles, esto representa una reducción de 21.68% respecto al precio original. Si consideramos un incremento del rendimiento la reducción del precio es mayor.

PARTIDA : ENSAYO CON RUGOSÍMETRO MERLIN (REFORMULADO 1)						
RENDIMIENTO : 8.00 KM / DIA			UNIDAD : KM			
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CUADRILLA	CANTIDAD	PRECIO S/.	PARCIAL S/.	% DE INCIDENCIA
MANO DE OBRA					35.14	72.20%
OPERADOR	H-H	1.00	1.00	13.52	13.52	27.78%
SEÑALIZADOR	H-H	2.00	2.00	10.81	21.62	44.42%
MATERIALES					1.50	3.08%
PINTURA DE TRÁFICO	GAL		0.05	30.00	1.50	3.08%
EQUIPOS Y HERRAMIENTAS					12.03	24.71%
RUGOSÍMETRO MERLIN	H-M	1.00	1.00	11.25	11.25	23.12%
GRABADORA PORTATIL	H-M	1.00	1.00	0.25	0.25	0.51%
HERRAMIENTAS MANUALES	% MO		1.50%	35.14	0.53	1.08%
COSTO DIRECTO (S/. / KM)					48.67	

Cuadro 3.3: Análisis de precio del ensayo con MERLIN (Reformulado 1)

ENSAYO	COSTO POR KM (S/.)
ORIGINAL	62.14
REFORMULADO 1	48.67
REDUCCIÓN (S/.)	13.47
PORCENTAJE DE RED. (%)	21.68%

Cuadro 3.4: Comparación de Ensayo Original con el Ensayo Reformulado 1

3.5.3. AUTOMATIZACIÓN DEL ENSAYO Y DE LA TOMA DE DATOS

En los puntos previamente tratados sólo se compara el costo del ensayo por km., si bien con la alternativa de incorporar un grabador portátil se reduce ligeramente el proceso de la digitación de datos con respecto a realizarlo de forma manual, dentro del análisis de costo del ensayo no se considera el tiempo empleado en el procesamiento de los datos.

Lo que se propondrá con esta alternativa es cambiar de forma drásticamente el ensayo, realizando cambios en el equipo y en el proceso de toma de datos. Se toma como base la instrumentación desarrollada por el Instituto de Investigaciones de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de

Ingeniería (IIFIC – UNI), se presenta una breve descripción en la parte de Anexos.

Como primer paso para automatizar el ensayo debemos analizar que procesos tardan más a fin de tratar de minimizarlos. Luego de la calibración inicial del equipo, la lista de procesos del ensayo es la siguiente:

- a. Estacionamiento de equipo
- b. Lectura y anotación de datos
- c. Traslado del equipo al siguiente punto

Para reducir el tiempo de desarrollo del ensayo se presentan las siguientes sugerencias:

Reemplazar el brazo móvil, el puntero y la cartilla por un sensor electrónico, que mida el desplazamiento del patín móvil.

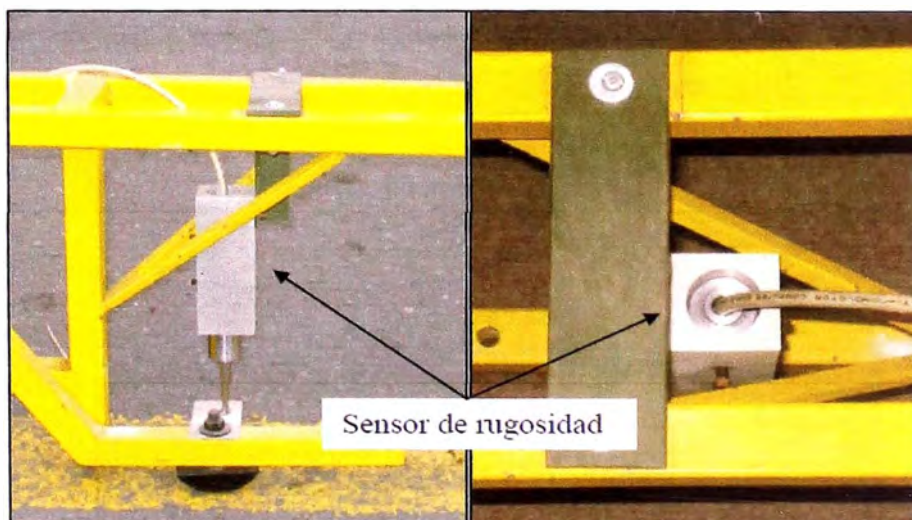


Figura 3.15: Sensor de desplazamiento (Fuente: IIFIC-UNI)

Registrar los datos magnéticamente con un lector de información, que pueda interpretar la señal emitida por el sensor electrónico. De esta forma se evita el proceso de anotar y digitar los datos posteriormente.

Para que los datos sean tomados cada 2.00 metros como indica el procedimiento del ensayo se puede colocar un botón tal que al presionarlo tome la lectura en ese momento. Otra posible alternativa para evitar estacionar el

equipo es colocar un sensor adosado a la rueda, tal que al completar una vuelta y pasar por un determinado punto tome una lectura y esta sea enviada al colector de datos.

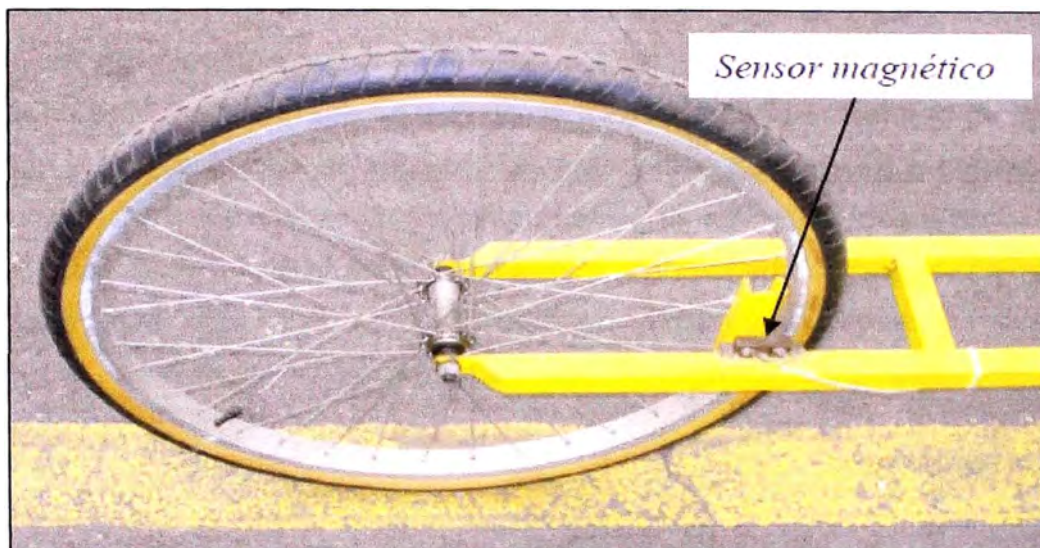


Figura 3.16: Sensor en la rueda para detectar el giro completo de la rueda (Fuente: IIFIC-UNI)

A fin de poder observar la lectura actual, la cantidad de datos, distancia recorrida u otra información relevante, se puede colocar una pantalla de cristal líquido, previamente programada para mostrar la información deseada.



Figura 3.17: Unidad de almacenamiento de datos con pantalla (Fuente: IIFIC-UNI)

Luego bastará con conectar el equipo a una computadora para que mediante la interfaz adecuada se descargue la información para su procesamiento y cálculo del IRI en los distintos tramos donde se realizó el ensayo.

La evaluación y comparación al detalle de esta alternativa respecto al ensayo original no es tema del presente trabajo de investigación por tratarse de cambios más complejos, además de requerir un mayor tiempo para la recopilación de información, el desarrollo del prototipo y análisis de los resultados a profundidad, tales como: costos detallados, tiempos y rendimientos reales en campo, resultados obtenidos. Este ítem puede ser un tema a desarrollar con más profundidad en una futura investigación.

CONCLUSIONES

Luego de analizar el procedimiento del ensayo, toma de datos y procesamiento de los mismos, se concluye lo siguiente:

El ensayo con el rugosímetro MERLIN es un ensayo económico, sencillo y confiable, pero se va usando cada vez menos para evaluar pavimentos debido al bajo rendimiento que tiene y su principal uso es el de calibrador de otros equipos más costosos y menos precisos pero que ofrecen un rendimiento mucho más alto. Esta situación se puede cambiar si se incrementa el rendimiento o se logra implementar mejoras al equipo, teniendo como consecuencia un menor costo por km. ensayado.

El uso del rugosímetro MERLIN es adecuado para evaluar tramos relativamente cortos, de preferencia menores a 100 km., para tramos mayores resulta más adecuado usar métodos de mayor rendimiento como el Bump Integrator.

La incorporación de mejoras relacionadas a la pericia de los operadores reduce ligeramente el costo por km. de ensayo, en cambio la reducción de la mano de obra e implementación de mejoras al equipo presenta una reducción del costo por km. ensayado de una forma más considerable.

El rugosímetro MERLIN debido a su funcionamiento simple, su costo económico y alta resistencia, es sensible a cambios y mejoras, que con una baja inversión tengan un gran impacto en el rendimiento y por consiguiente en el costo del ensayo.

Para que el uso del rugosímetro MERLIN sea más difundido deben ejecutarse más proyectos de conservación, mantenimiento y rehabilitación de carreteras, ya que en este tipo de proyectos tanto el contratista como la entidad contratante se ven obligados a controlar el comportamiento del camino de forma rápida, precisa y sobre todo económica.

RECOMENDACIONES

Luego de analizar el procedimiento del ensayo, toma de datos y procesamiento de los mismos, se recomienda lo siguiente:

Se debe implementar las mejoras propuestas en el ítem 3.5. a fin de aumentar el rendimiento y por ende reducir el costo por km, se observó que la opción que nos ofrecía mejores resultados en cuanto al costo y rendimiento es la que incorpora mejoras al equipo, así que en primera instancia se recomienda esta alternativa.

Para que el uso de este equipo sea más difundido, se deben ejecutar más proyectos de conservación, mantenimiento y rehabilitación de carreteras ya que nuestro país no dispone de recursos suficientes para la construcción de nuevas carreteras.

Con la finalidad de seguir mejorando el ensayo con el rugosímetro MERLIN se deben realizar más trabajos de investigación que sugieran mejoras tanto al procedimiento como al equipo, a fin de incrementar el rendimiento o reducir el costo por km. de ensayo.

Modificar los alcances de los Términos de Referencia del contrato de conservación de la carretera Cañete - Huancayo donde se menciona que *“El Contratista medirá el IRI una vez al año y servirá para llevar una estadística del comportamiento del pavimento”*, cuando la finalidad de la medición de la rugosidad debería ser analizar la variación a fin de tomar acciones preventivas o correctivas según los resultados obtenidos. Se recomienda medir el IRI cada 6 meses en los tramos donde circulen mayor cantidad de vehículos y en el resto de tramos una vez a año.

BIBLIOGRAFIA

CAMINEROS SAC, “Manual de Usuario MERLINER”. Lima, 2002.

CUNDILL, M.A. “The MERLIN Low-cost Road Roughness Measuring Machine”. Transport and Road Research Laboratory, Department of Transport. TRRL Research, Report 301. Crowthorne, 1991.

CUNDILL, M.A. “The MERLIN Road Roughness Machine: User Guide”. Transport Research Laboratory, Overseas Development Administration. TRL Report 229. Crowthorne, 1996.

DEL AGUILA, Pablo, “Estado del Arte sobre la Medición de la Rugosidad de Pavimentos en el Perú”. Trabajo presentado al II Congreso Nacional del Asfalto. Lima, 1998

DEL AGUILA, Pablo, “Metodología para la determinación de la Rugosidad de los Pavimentos con equipo de Bajo Costo y Gran Presición”. Ponencia presentada al X Congreso Ibero Latinoamericano del Asfalto, Sevilla, España, 1999.

IIFIC – UNI, “VI. Rugosímetro MERLIN”. Instrumentación Desarrollada en el Instituto de Investigación de la Facultad de Ingeniería Civil - IIFIC-UNI. Lima 2009.

LUCCA LERCH, Rafael, “Previsão de Irregularidade pós-recape em rodovias do RS”. Dissertação apresentada para a obtenção do título de Mestre em Engenharia. Porto Alegre, 2002.

Ministerio de Transportes y Comunicaciones, “Términos de Referencia – Servicio de conservación vial de la carretera: Cañete - Lunahuaná - Pacarán - Chupaca y rehabilitación del tramo Zúñiga - Dv. Yauyos - Ronchas”. Lima, 2007.

ANEXOS

A.1. EVALUACIÓN DE COSTOS EN FUNCIÓN DEL RENDIMIENTO

RENDIMIENTO (KM/DIA)	COSTO POR KM (S/. / KM)	INCREMENTO DE REND. (%)	REDUCCIÓN DE COSTO (%)
8.00	62.14		
9.00	55.40	12.50%	10.84%
10.00	50.01	25.00%	19.52%
11.00	45.60	37.50%	26.61%
12.00	41.93	50.00%	32.53%

Cuadro A.1: Evaluación de costo en función al rendimiento del ensayo.

PARTIDA ENSAYO CON RUGOSÍMETRO MERLIN						
RENDIMIENTO	8.00	UNIDAD	KM / DIA		UNIDAD	KM
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CUADRILLA	CANTIDAD	PRECIO S/.	PARCIAL S/.	% DE INCIDENCIA
MANO DE OBRA					48.66	78.31%
OPERADOR	H-H	2.00	2.00	13.52	27.04	43.51%
SEÑALIZADOR	H-H	2.00	2.00	10.81	21.62	34.79%
MATERIALES					1.50	2.41%
PINTURA DE TRÁFICO	GAL		0.05	30.00	1.50	2.41%
HERRAMIENTAS Y EQUIPOS					11.98	19.28%
RUGOSÍMETRO MERLIN	H-M	1.00	1.00	11.25	11.25	18.10%
HERRAMIENTAS MANUALES	% MO		1.50%	48.66	0.73	1.17%
COSTO DIRECTO (S/. / KM)					62.14	

Cuadro A.2: Análisis de precio considerando rendimiento de 8 km/día

PARTIDA		ENSAYO CON RUGOSÍMETRO MERLIN				
RENDIMIENTO	9.00	KM / DIA			UNIDAD	KM
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CUADRILLA	CANTIDAD	PRECIO S/.	PARCIAL S/.	% DE INCIDENCIA
MANO DE OBRA					43.25	69.61%
OPERADOR	H-H	2.00	1.78	13.52	24.04	38.68%
SEÑALIZADOR	H-H	2.00	1.78	10.81	19.22	30.93%
MATERIALES					1.50	2.41%
PINTURA DE TRÁFICO	GAL		0.05	30.00	1.50	2.41%
HERRAMIENTAS Y EQUIPOS					10.65	17.14%
RUGOSÍMETRO MERLIN	H-M	1.00	0.89	11.25	10.00	16.09%
HERRAMIENTAS MANUALES	% MO		1.50%	43.25	0.65	1.04%
COSTO DIRECTO (S/. / KM)					55.40	

Cuadro A.3: Análisis de precio considerando rendimiento de 9 km/día

PARTIDA		ENSAYO CON RUGOSÍMETRO MERLIN				
RENDIMIENTO	10.00	KM / DIA			UNIDAD	KM
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CUADRILLA	CANTIDAD	PRECIO S/.	PARCIAL S/.	% DE INCIDENCIA
MANO DE OBRA					38.93	62.65%
OPERADOR	H-H	2.00	1.60	13.52	21.63	34.81%
SEÑALIZADOR	H-H	2.00	1.60	10.81	17.30	27.83%
MATERIALES					1.50	2.41%
PINTURA DE TRÁFICO	GAL		0.05	30.00	1.50	2.41%
HERRAMIENTAS Y EQUIPOS					9.58	15.42%
RUGOSÍMETRO MERLIN	H-M	1.00	0.80	11.25	9.00	14.48%
HERRAMIENTAS MANUALES	% MO		1.50%	38.93	0.58	0.94%
COSTO DIRECTO (S/. / KM)					50.01	

Cuadro A.4: Análisis de precio considerando rendimiento de 10 km/día

PARTIDA		ENSAYO CON RUGOSÍMETRO MERLIN						
RENDIMIENTO	11.00	KM / DIA				UNIDAD	KM	
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CUADRILLA	CANTIDAD	PRECIO S/.	PARCIAL S/.	% DE INCIDENCIA		
MANO DE OBRA						35.39	56.95%	
OPERADOR	H-H	2.00	1.45	13.52	19.67	31.65%		
SEÑALIZADOR	H-H	2.00	1.45	10.81	15.72	25.30%		
MATERIALES						1.50	2.41%	
PINTURA DE TRÁFICO	GAL		0.05	30.00	1.50	2.41%		
HERRAMIENTAS Y EQUIPOS						8.71	14.02%	
RUGOSÍMETRO MERLIN	H-M	1.00	0.73	11.25	8.18	13.17%		
HERRAMIENTAS MANUALES	% MO		1.50%	35.39	0.53	0.85%		
COSTO DIRECTO (S/. / KM)						45.60		

Cuadro A.5: Análisis de precio considerando rendimiento de 11 km/día

PARTIDA		ENSAYO CON RUGOSÍMETRO MERLIN						
RENDIMIENTO	12.00	KM / DIA				UNIDAD	KM	
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CUADRILLA	CANTIDAD	PRECIO S/.	PARCIAL S/.	% DE INCIDENCIA		
MANO DE OBRA						32.44	52.20%	
OPERADOR	H-H	2.00	1.33	13.52	18.03	29.01%		
SEÑALIZADOR	H-H	2.00	1.33	10.81	14.41	23.19%		
MATERIALES						1.50	2.41%	
PINTURA DE TRÁFICO	GAL		0.05	30.00	1.50	2.41%		
HERRAMIENTAS Y EQUIPOS						7.99	12.85%	
RUGOSÍMETRO MERLIN	H-M	1.00	0.67	11.25	7.50	12.07%		
HERRAMIENTAS MANUALES	% MO		1.50%	32.44	0.49	0.78%		
COSTO DIRECTO (S/. / KM)						41.93		

Cuadro A.6: Análisis de precio considerando rendimiento de 12 km/día

A.2. INSTRUMENTACIÓN DESARROLLADA EN EL IIFIC - UNI

INSTRUMENTACIÓN DESARROLLADA EN EL INSTITUTO DE INVESTIGACION DE LA FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL IIFIC - UNI

VI. RUGOSIMETRO MERLIN

6.1 Introducción

El MERLIN (figura 6.1) proporciona resultados de gran exactitud (método Clase 1), pero es de bajo rendimiento lo que lo pone en desventaja por ejemplo frente al Bump Integrator (método Clase 3).

Sin embargo, se debe tener presente lo siguiente: (a) algunos fabricantes de equipos tipo respuesta (Bump Integrator, Mays Meter, etc) recomiendan el MERLIN para la calibración de sus rugosímetros, y (b) El rugosímetro MERLIN, es un instrumento versátil sencillo y económico, pensado especialmente para su uso en países en vías de desarrollo.

El objetivo de este proyecto (por las razones antes indicadas) es eliminar todo el proceso manual de toma de datos, y hacerlo electrónicamente, inclusive volcar por medios electrónicos dicha información en una computadora y (con ayuda de un programa hecho con esa finalidad) generar los mismos resultados que antes, pero en tiempo record.

6.2 Descripción

En líneas generales, el método de medición del MERLIN, requiere la toma de 200 medidas, al cabo de las cuales (y por medio de una ecuación) se genera un número representativo de la rugosidad de ese tramo. Cada medida se toma luego de haber avanzado una vuelta completa de la llanta delantera del MERLIN. La llanta está calibrada para que una vuelta recorra aproximadamente 2 mts.

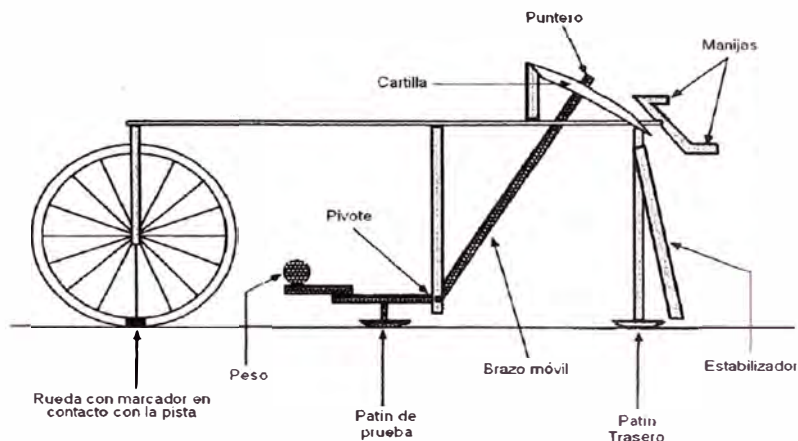


Figura 6.1 Rugosímetro Merlin

La figura 6.2 muestra un detalle del sensor de desplazamiento. Este sensor fue diseñado en el IIFIC y mandado a fabricar en una máquina de control numérico (la descripción de este sensor también forma parte de esta serie de informes). Dicho sensor mide el desplazamiento vertical del brazo móvil y en consecuencia la rugosidad. La señal eléctrica es leída por el instrumento colector (figura 6.5).

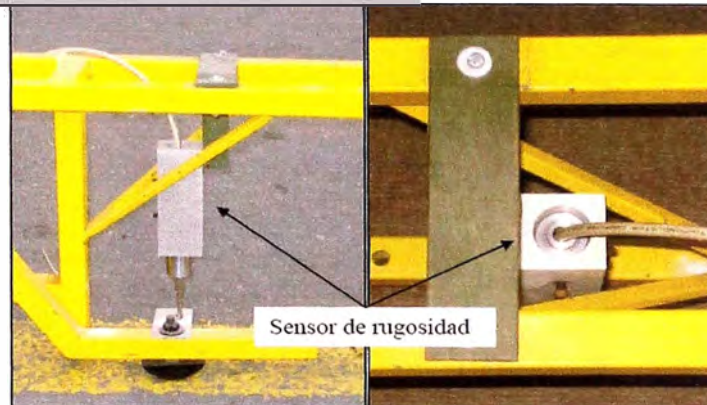


Figura 6.2 Vistas vertical y horizontal del sensor de desplazamiento

En la llanta se colocó un sensor magnético para detectar de forma automática que ésta dio una vuelta. Este sensor da un pulso por cada vuelta de la llanta (ver figura 6.3). Cada pulso eléctrico es leído por el instrumento colector (figura 6.5) y sólo cuando la llanta esta en posición, el instrumento acepta la lectura del sensor de desplazamiento.

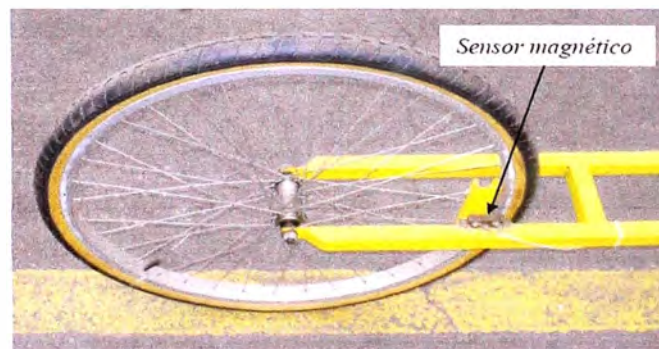


Figura 6.3 Sensor magnético.

El instrumento colector (figura 6.5) va indicando el número de medida (1 .. 200), el IRI acumulado hasta ese momento, el valor de rugosidad merlin (1 .. 50) y si la llanta esta en posición (■) o fuera de posición (□). Si esta fuera de posición no se podrá gravar el número mostrado en "Valor" (figura 6.4). El instrumento posee una memoria de 8Mbits de capacidad, permitiendo almacenar muchos tramos antes de llenarse. El instrumento se apaga automáticamente si luego de 3 minutos no ha ocurrido ningún evento, prolongando el servicio de la batería. La figura 6.6 muestra el histograma.

Instituto de Investigación de la Facultad de Ingeniería Civil (IIFIC)
Universidad Nacional de Ingeniería, Lima - Perú

2 de 3



Figura 6.4 Pantalla del instrumento en operación



Figura 6.5 Adquisidor de datos del equipo

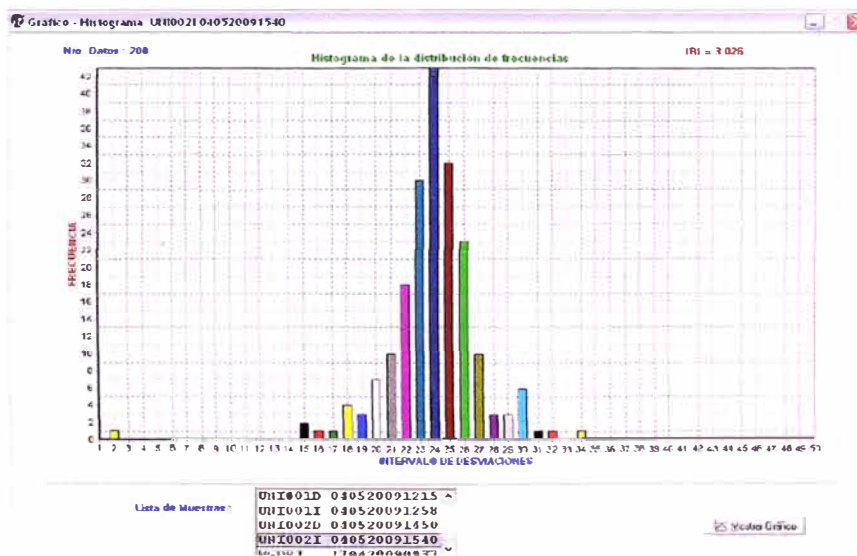


Figura 6.6 Histograma de los datos adquiridos