

**DETERMINAR EL ÍNDICE DE RUGOSIDAD IRI Y DESARROLLAR UN MANUAL
PARA EL EQUIPO MERLÍN**

Julián Camilo Hernández Cáceres

Universidad Pontificia Bolivariana

Escuela de Ingeniería

Facultad de Ingeniería Civil

Comité Trabajo de Grado

2018

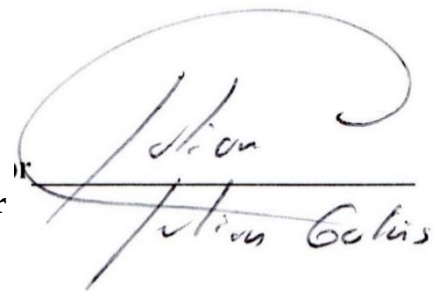
**DETERMINAR EL ÍNDICE DE RUGOSIDAD IRI Y DESARROLLAR UN MANUAL
PARA EL EQUIPO MERLÍN**

Julián Camilo Hernández Cáceres

Director

Ing. Julián André Galvis Flóres

Visto bueno del Director

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Julián Galvis', is written over a horizontal line. The signature is fluid and cursive.

Universidad Pontificia Bolivariana

Escuela de Ingeniería

Facultad de Ingeniería Civil

Comité Trabajo de Grado

2018

Contenido

1. Introducción	14
2. Objetivos	15
2.1 Objetivo general.....	15
2.2 Objetivos específicos.	15
3. Planteamiento del problema.....	16
4. Justificación	17
5. Alcance	19
6. Marco teórico	20
6.1 Rugosidad	20
6.2 Índice de regularidad superficial (IRI).....	20
6.3 Normas.....	20
6.3.1 Norma AASHTO PP 37-04 Práctica estándar para la determinación del índice de rugosidad internacional (IRI) para cuantificar la rugosidad de los pavimentos.	20
6.3.2 Norma INVE- 790-13 Determinación del índice internacional de rugosidad (IRI) para medir la rugosidad (irregularidades de la superficie)	21
6.4 Singularidad superficial	21
6.5 Perfil longitudinal	22
6.6 Fallas superficiales.....	22

5.6 Pavimentos flexibles	22
6.8 Maquina rugosimetro merlin.....	23
7. Metodología	24
7.1 Recopilación de información	24
7.2 Selección de sitio	24
7.2.1 Descripción del sitio	25
7.2.3 Inventario de fallas.....	27
7.3 Ensayo de campo	28
7.4 Cálculos.....	29
8. Manual Uso del equipo Rugosimetro Merlin.....	32
8.1 Introducción	32
8.2 Capítulo 1 – Seguridad.....	33
8.2.1 Uso del equipo	33
8.3 Capítulo 2 – Equipo	33
8.3.1 Rugosimetro MERLIN.....	33
8.4 Capítulo 3 – Normas	35
8.4.1 Norma AASHTO PP 37-04 Práctica estándar para la determinación del índice de rugosidad internacional (IRI) para cuantificar la rugosidad de los pavimentos	35
8.4.2 Norma INVE- 790-13 Determinación del índice internacional de rugosidad (IRI) para medir la rugosidad (irregularidades de la superficie)	36
8.4.3 Norma chilena 8.502.8.....	36
8.5 Capítulo 4 – Procedimiento	37
8.5.1 Ejecución de ensayos	37

8.5.2 Determinación de la rugosidad	38
8.5.3 Correlación “D” Vs “IRI”	39
8.5.4 Cálculo de la rugosidad.....	40
8.5.5 Factor de corrección para el ajuste de “D “	40
8.5.6 Variación de la relación de brazo.....	41
9. Ejecución de campo	43
9.1 Test # 1.....	44
9.2 Test # 2.....	48
9.3 Test # 3.....	51
9.4 Test # 4.....	54
9.5 Test # 5.....	57
9.6 Test # 6.....	60
10. Conclusiones y recomendaciones	64
Bibliografía	66

Lista de Imágenes

Imagen 1. Tramo desde la entrada hasta el edificio K.....	24
Imagen 2. Tramos desde la entrada hasta el edificio K (satelital)	25
Imagen 3. Tapa de alcantarilla	43
Imagen 4. Reductor de Velocidad Tipo 2	43
Imagen 5. Tapa de alcantarilla tipo rejilla	44
Imagen 6. Tramo en concreto	44
Imagen 7. Reductor de velocidad tipo 1	44
Imagen 8. Tramo #1 – 400m.....	45
Imagen 9. Tramo #1 – 400m satelital	45
Imagen 10. Ensayo Test #1	46
Imagen 11. Tramo #2-170m	48
Imagen 12. Tramo #2-170m satelital	48
Imagen 13. Ensayo Test #2.....	49
Imagen 14. Tramo#3 – 400m.....	51
Imagen 15. Tramo#3 – 400m satelital	51
Imagen 16. Ensayo Test #3.....	52
Imagen 17. Tramo #4 – 170m.....	54
Imagen 18. Tramo #4 – 170m satelital	54
Imagen 19. Ensayo Test #4.....	55
Imagen 20. Tramo #5 – 134m.....	57
Imagen 21. Tramo #5 – 134m satelital	57
Imagen 22. Ensayo Test #5.....	58
Imagen 23. Tramo #6 – 134m.....	60

Imagen 24. Tramo #6 – 134m satelital	60
Imagen 25. Ensayo Test #6.....	61

Lista de Ecuaciones

Ecuación 1, Calculo del rango “D”	29
Ecuación 2. Factor de corrección.....	30
Ecuación 3. Valor “D” corregido.....	30
Ecuación 4. Pavimentos en servicio.....	31
Ecuación 5. Pavimentos nuevos.....	31

Lista de Tablas

Tabla 1. Singularidades del tramo	26
Tabla 2. Inventario de fallas.....	27
Tabla 3. Resumen de resultados.....	63

Dedicatoria

A mi madre, porque con su sacrificio me dio la posibilidad de llegar a esta instancia, por apoyarme de múltiples formas durante el desarrollo de este trabajo de grado, por enseñarme a enfrentar los obstáculos con alegría, y que la perseverancia y el esfuerzo son el camino para lograr objetivos.

A mi hermano, que a pesar de estar distante siempre ha estado apoyándome a lo largo de mi vida personal y formación profesional.

A mi abuela, por estar siempre en los momentos importantes de mi vida, por ser ella el ejemplo para seguir adelante y por los consejos que han sido de gran ayuda para mi vida y crecimiento.

A mi familia, por apoyarme en cada decisión y proyecto.

Agradecimientos

Este trabajo de grado realizado en la Universidad Pontificia Bolivariana seccional Bucaramanga es un esfuerzo en el cual directa e indirectamente participaron distintas personas, familiares y amigos, opinando, corrigiendo, teniéndome paciencia y dándome ánimo para la realización de este trabajo de grado.

En primer lugar agradecerle este trabajo de grado a Dios, por haberme dado la vida y guiarme en el caminar de mi vida, bendiciéndome y dándome fuerzas para continuar con mis metas trazadas sin desfallecer y permitirme el haber llegado hasta este momento tan importante de mi formación profesional, quien con su bendición llena siempre mi vida y la de mi familia.

A mi director de trabajo de grado el Ing. Msc Julián André Galvis Flórez, mi más amplio agradecimiento, quien con sus conocimientos, su tiempo compartido, su experiencia, su paciencia, su valiosa dirección, su apoyo y motivación me impulsaron para la finalización de este trabajo de grado.

RESUMEN GENERAL DE TRABAJO DE GRADO

TITULO: Determinar el índice de rugosidad IRI y desarrollar un manual para el equipo merlín

AUTOR(ES): Julián Camilo Hernández Cáceres

PROGRAMA: Facultad de Ingeniería Civil

DIRECTOR(A): Julián André Galvis Flórez

RESUMEN

En el presente trabajo de grado encontraran el resumen del desarrollo y resultados de investigación sobre el Índice de Rugosidad Internacional (IRI) desde la entrada de la Universidad Pontificia Bolivariana hasta el edificio "K" utilizando el equipo Rugosimetro Merlin para pavimentos flexibles acorde a las especificaciones establecidas por el INVIAS, a partir de recopilación de información, capacitaciones, mediciones de campo, evaluación del IRI, planteando conclusiones y recomendaciones. Incluye aspectos relacionados con el origen del IRI, singularidades, calibración y un manual de uso del equipo Rugosimetro Merlin.

PALABRAS CLAVE:

IRI, Rugosidad, Pavimento Flexible, Perfil, Singularidades

Vº Bº DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO

GENERAL SUMMARY OF WORK OF GRADE

TITLE: Determine the IRI roughness index and develop a manual for the merlin team

AUTHOR(S): Julián Camilo Hernández Cáceres

FACULTY: Facultad de Ingeniería Civil

DIRECTOR: Julián André Galvis Flórez

ABSTRACT

In the present work of degree they will find the summary of the development and results of investigation on the Index of International Roughness (IRI) from the entrance of the Universidad Pontificia Bolivariana to the building \"K\" using the equipment Rugosimetro Merlin for flexible pavements according to the specifications established by INVIAS, based on information gathering, training, field measurements, IRI evaluation, and conclusions and recommendations. It includes aspects related to the origin of the IRI, singularities, calibration and a manual of use of the Merlin Rugosimetro equipment.

KEYWORDS:

IRI, Roughness, Flexible Pavement, Profile, Singularities

Vº Bº DIRECTOR OF GRADUATE WORK

1. Introducción

En Colombia, el caso de las áreas urbanas, son los barrios más rezagados los que sufren por la carencia no sólo de vías de comunicación adecuadas sino de los servicios de transporte necesarios que les permita una movilización rápida y económica, causando en muchos casos la aparición de los servicios de transporte informal. El estado de las vías actualmente es una problemática muy grande, debido a que muchas de estas presentan altas fallas superficiales, exponiendo así la seguridad vial de los usuarios. [1]

Se conoce el IRI como Índice de Rugosidad Internacional, es un parámetro que se utiliza en los pavimentos para determinar su regularidad, la regularidad es la característica que más influye en las sensaciones de confort y seguridad que experimenta un usuario al circular por una carretera. Cabe destacar que la regularidad superficial es mucho más valorada por el conductor. [2]

En este trabajo de grado, se busca determinar el Índice de Rugosidad Internacional (IRI) del tramo presente desde la entrada principal de la Universidad Pontificia Bolivariana hasta el edificio “K” para medir la calidad del pavimento que tiene la vía de la Universidad, y elaborar un manual de uso, con base en la experiencia de campo, norma INVIAS-13 y recomendaciones hechas por el fabricante del equipo.

2. Objetivos

2.1 Objetivo general

Determinar el índice de rugosidad internacional (IRI) del tramo presente desde la entrada principal de la Universidad Pontificia Bolivariana hasta el edificio “K” y elaborar un manual de uso, con base en la experiencia de campo, norma INVIA-13 y recomendaciones hechas por el fabricante del equipo.

2.2 Objetivos específicos.

- Recopilar información técnica acerca del empleo del IRI para la determinación de la rugosidad de los pavimentos flexibles en Colombia, acorde a las especificaciones establecidas por el INVIA.
- Realizar el cálculo respectivo del IRI, basándose en la norma INV E-790-13 del tramo presente desde la entrada principal de la Universidad Pontificia Bolivariana hasta el edificio “K”
- Elaborar un manual del uso del equipo RUGOSIMETRO MERLÍN, con el fin de mostrar su importancia y cálculos del IRI en los pavimentos.
- Capacitar al personal que tendrá acceso al equipo para el uso apropiado y completo de dicho equipo y manual.

3. Planteamiento del problema

La Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Pontificia Bolivariana ha adquirido equipos especializados, para uso de los estudiantes y técnicos de laboratorio en el área de pavimentos. Entre estos se encuentra el equipo de rugosímetro merlín.

El rugosímetro merlín es de vital importancia para determinar la rugosidad superficial de una sección de pavimento. Dicho equipo carece de un manual de uso, lo cual origina debilidades laborales como pérdida de tiempo y dificultad para llevar a cabo la práctica correspondiente. De esto nace la necesidad de realizar un manual de uso claro y conciso. El empleo de este manual, será verificado realizando unas mediciones en campo, con el fin de capacitar al personal en el manejo adecuado del equipo y el cálculo correcto del IRI.

4. Justificación

Los pavimentos asfálticos son una solución económica y sostenible para la construcción de vías. Las carreteras se diseñan para una vida útil de 10 a 20 años. Sin embargo, muchas de ellas están fallando, (fisuras, agrietamiento, baches o ahuellamiento) debido a los diseños, materiales o métodos constructivos. El éxito de construir un pavimento de calidad no es solo por un buen diseño y preparación de mezcla de asfalto con buenos materiales, también es de suma importancia una correcta instalación y compactación de la mezcla, lo cual nos dará la medida de Índice de Rugosidad Internacional (IRI). [3] [4]

Los pavimentos no fallan o colapsan repentinamente, existen varias fallas superficiales en una carpeta asfáltica, las cuales son medibles y sus severidades cuantificables como lo son las fisuras, deformaciones, pérdidas de las capas de estructura, daños superficiales.

El rugosímetro MERLIN, es un instrumento versátil, sencillo y económico, pensado especialmente para uso en países en vías de desarrollo. De acuerdo con las clasificaciones del Banco Mundial, los métodos para la medición de la rugosidad se agrupan en 4 clases, siendo el rugosímetro MERLIN de clase 1, los cuales son los más exactos.

La seguridad vial consiste en la prevención de los accidentes de tránsito, debido a las vías en malas condiciones con una superficie irregular alta y fallas superficiales, se dificulta el adecuado manejo debido a cambios de velocidad y movimientos bruscos para evitar dichas irregularidades, lo cual puede ocasionar accidentes. [3] [5]

La irregularidad en los pavimentos produce una resistencia al rodamiento y debido a esto un aumento en el consumo del combustible. Se estima un aumento entre 3% a 6% de resistencia al rodamiento por el aumento de cada unidad de IRI. [3]

5. Alcance

El alcance del proyecto se basa en determinar el Índice de Rugosidad Internacional (IRI) del tramo presente desde la entrada principal de la Universidad Pontificia Bolivariana hasta el edificio “K” y elaborar un manual de uso, con base en la experiencia de campo, norma INVIAS-13 y recomendaciones hechas por el fabricante del equipo. Se realizara un ensayo en campo donde se hará un registro fotográfico y filmaciones sobre su adecuado procedimiento.

Este manual irá regido bajo la norma INVIAS 2013 que indica su correcta operación. Además, se busca socializar con las personas que van a operar este equipo (profesores, estudiantes, administrativos) para obtener recomendaciones y sugerencias al momento de realizar este manual.

6. Marco teórico

6.1 Rugosidad

Irregularidades del perfil longitudinal de una vía que provocan vibración en los vehículos que la recorre. Es la desviación de la de la superficie respecto a una superficie plana, afectando la calidad al andar. [8] [9]

6.2 Índice de regularidad superficial (IRI)

Actualmente la regularidad superficial de un pavimento se mide por medio del Índice de Rugosidad o Regularidad Internacional, más conocido como IRI. El IRI fue concebido como una unidad universal para medir la rugosidad de un pavimento, cuyas medidas se dan en m/km. Este sistema funciona por medio de un modelo matemático denominado “cuarto de carro” que interpreta el comportamiento de un vehículo según el perfil longitudinal de un pavimento. Este sistema hace posible que distintos equipos de medición puedan brindar los mismos valores por medio de correlaciones y calibraciones. [8] [10]

6.3 Normas

6.3.1 Norma AASHTO PP 37-04 Práctica estándar para la determinación del índice de rugosidad internacional (IRI) para cuantificar la rugosidad de los pavimentos.

Esta práctica describe un método para estimar la rugosidad de una sección de pavimento. Una estadística del Índice de rugosidad internacional (IRI) se calcula a partir de un único perfil longitudinal medido con un perfilador de caminos tanto en el interior como en el exterior del camino de ruedas del pavimento. El promedio de estas dos estadísticas de IRI se informa como la rugosidad de la sección de pavimento.

6.3.2 Norma INVE- 790-13 Determinación del índice internacional de rugosidad (IRI) para medir la rugosidad (irregularidades de la superficie)

Esta norma describe un procedimiento para estimar la rugosidad de una sección de pavimento, mediante el índice Internacional de Rugosidad (IRI). El IRI se calcula a partir de la medición del perfil longitudinal de las huellas externa e interna de la circulación del tránsito en un pavimento, empleando un perfilómetro. Con el fin de contribuir en la producción de estimaciones consistentes del IRI para los programas de administración de pavimentos a nivel de red.

Este método debe desarrollar un plan de aseguramiento de calidad. El plan debe incluir registros sobre certificación del personal que realiza los ensayos, sobre la exactitud del equipo, sobre los procedimientos diarios del control de calidad.

6.4 Singularidad superficial

Cualquier alteración del perfil longitudinal del camino que no provenga de fallas constructivas y que incremente el valor del IRI en el tramo en que se encuentra. Entre ellas se pueden citar puentes, reductores de velocidad, tapas de alcantarillas, cuñas, cruces de calles y otras, que por diseño geométrico alteren el perfil del camino. [14]

6.5 Perfil longitudinal

Se llama perfil longitudinal al grupo de desviaciones de la superficie del pavimento perpendiculares en relación a un plano horizontal tomado a lo largo del carril de circulación. [8] [11]

6.6 Fallas superficiales

Los daños que presenta una estructura de pavimento flexible pueden ser clasificados en 4 categorías:

- Fisuras
- Deformaciones
- Pérdida de capa estructural
- Daños superficiales

Dentro de cada categoría existen diferentes deterioros que se originan por diferentes factores, se debe identificar el tipo, severidad y magnitud de cada falla. [12]

6.7 Pavimentos flexibles

Está formado por una carpeta bituminosa apoyada generalmente sobre dos capas no rígidas, la base y la subbase. [13]

6.8 Maquina rugosimetro merlin

El rugosímetro MERLIN fue diseñado en el instituto británico, llamado así debido a su acrónimo M = Machine; E= Evaluating; R= Roughness; L= Low cost; IN= Instrumentation, es un equipo diseñado específicamente para la medición de la rugosidad del pavimento, siendo una variación del perfilómetro estático. Plegable, para fácil embalaje y transporte. [6] [7]

7. Metodología

7.1 Recopilación de información

Se realizó la respectiva visita a la empresa fabricante del equipo “Dirimpex”, ubicado en la calle 18A # 68D – 80, Bogotá. Donde dieron información veraz sobre el uso adecuado del equipo y calculo adecuado para determinar el Índice de Rugosidad Internacional (IRI), en la norma INVIAS 2013 y otros documentos encontrados en bases de datos, en donde se encontraron información necesaria para llevar a cabo el desarrollo del proyecto.

7.2 Selección de sitio

Se realizó la respectiva selección del sitio de trabajo, la cual será el tramo presente desde la entrada principal de la Universidad Pontificia Bolivariana hasta el edificio “K”, lugar correspondiente al alcance estipulado.



Imagen 1. Tramo desde la entrada hasta el edificio K

Fuente: Google Maps



Imagen 2. Tramos desde la entrada hasta el edificio K (satelital)

Fuente: Google Maps

7.2.1 Descripción del sitio

El tramo de estudio corresponde a la vía ubicada en la Universidad Pontificia Bolivariana entre la entrada de dicha Universidad hasta el Edificio “K” contempla la construcción de 600 m aproximadamente de pavimento flexible. El tramo presente cuenta con dos carriles en sentidos contrarios (imagen1, 2) con edades diferentes, como se puede observar en la tabla1, no cuenta con bermas ni cunetas.

Tabla 1. Singularidades del tramo

Singularidades del tramo		
Nombre	Cantidad	Imagen
Reductor de velocidad tipo 1	5	
Reductor de velocidad tipo 2	3	
Tapa alcantarilla	8	
Alcantarilla tipo rejilla	3	
Tramos en concreto	1	

Fuente: elaboración propia

A continuación, se presenta el inventario de fallas halladas durante los trabajos de campo en el tramo presente desde la entrada de la Universidad Pontificia Bolivariana hasta el edificio “K”.

7.2.3 Inventario de fallas

Tabla 2. Inventario de fallas

Inventario de fallas	
	Tipo de falla: Fisuras en bloque Ubicación: Frente a cafetería “i” Longitud: 80cm Grosor: Entre 1mm a 3mm Severidad: Media
	Tipo de falla: Parche Ubicación: Desde entrada Universidad Pontificia Bolivariana hasta la glorieta. Longitud: 100m Grosor: 3m Severidad: Media
	Tipo de falla: Perdida de agregados Ubicación: Frente a la Biblioteca Longitud: 400m Grosor: 0,05m Severidad: Alta
	Tipo de falla: Ahuellamiento Ubicación: Desde entrada Universidad Pontificia Bolivariana hasta la glorieta. Longitud: 100m Profundidad: Entre 10mm a 25mm Severidad: Media
	Tipo de falla: Abultamiento Ubicación: Frente a los patos Longitud: 1 m Profundidad: 10mm a 20mm Severidad: Media

		Tipo de falla: Parche Ubicación: Curva edificio “L” Longitud: 4m Grosor: 80cm Severidad: Media
		Tipo de falla: Hundimiento Ubicación: Frente a los patos Longitud: 1m Profundidad: Entre 20mm a 40mm Severidad: Media

Fuente: elaboración propia

7.3 Ensayo de campo

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 tramo de aproximadamente 400 m de longitud, sobre el determinado carril de la vía desde la entrada de la Universidad Pontificia Bolivariana hasta el edificio “K”. Las mediciones se efectúan siguiendo la huella exterior del tráfico.

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 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.

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 trecho 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 seleccionada para usarse entre un ensayo y otro (una vuelta de la rueda).

7.4 Cálculos

Los respectivos cálculos a realizar son:

Calculo del rango “D”

El parámetro estadístico que establece la magnitud de la dispersión es el rango de la muestra (D), determinando luego de efectuar una depuración del 10% de la parte inferior y superior de las lecturas del histograma.

Ecuación 1, Calculo del rango “D”

$$D = (N * 5) + (d * 5)$$

Fuente: Manual uso del merliner

Dónde:

D = valor de rugosidad medido con el merlín.

N = número de cuadros del histograma verticalmente.cada cuadro equivale a 5mm.

d = valor restante de la depreciación. (Como se muestra en el manual)

Factor de corrección para el ajuste de “D”

Se determina el espesor de la pastilla, en milímetros, utilizando un calibrador que permita una aproximación al décimo de mm, luego se coloca el rugosímetro en una superficie plana y se efectúa la lectura que corresponde a la posición que adopta el puntero cuando el pivote móvil se encuentra sobre el suelo. Se levanta el pivote y se coloca la pastilla de calibración debajo de él. 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.

Ejemplo:

$$6.2 \times 10 = 62\text{mm}$$

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

Ecuación 2. Factor de corrección.

$$F.C. = \frac{(EP * 10)}{(LI - LF) * 5}$$

Fuente: Manual uso del merliner

Donde,

EP = Espesor de la pastilla

LI = Posición inicial del puntero

LF = Posición final del puntero

Teniendo el F.C. encontramos el nuevo “D”

Ecuación 3. Valor “D” corregido

$$D = VALOR\ HALLADO * F.C.$$

Fuente: Manual uso del merliner

Conversión de D al IRI

Cuando $2.4 < IRI < 15.9$, entonces

Ecuación 4. Pavimentos en servicio

$$IRI = 0.593 + (0.0471 * D)$$

Fuente: Manual uso del merliner

Cuando $IRI < 2.4$, entonces

Ecuación 5. Pavimentos nuevos

$$IRI = 0.0485 * D$$

Fuente: Manual uso del merliner

1 = la ecuación de correlación establecida es empleada para la evaluación de pavimentos en servicio.

2 = la ecuación de correlación establecida es empleada para la evaluación de pavimentos nuevos.

8. Manual Uso del equipo Rugosimetro Merlin

8.1 Introducción

Hoy en día existen Hoy en día existen numerosos equipos de alta tecnología y rendimiento para la adquisición de la información necesaria para definir el perfil longitudinal o rugosidad de una vía, no obstante, sus elevados costos representan una limitación para muchas agencias viales de países en desarrollo.

El rugosimetro MERLIN fue diseñado en el instituto británico de investigación de transporte y caminos (TRRL), llamado así debido a su acrónimo M = Machine; E= Evaluating; R= Roughness; L= Low cost; IN= Instrumentation, es un equipo diseñado específicamente para la medición de la rugosidad del pavimento, siendo una variación del perfilómetro estático, con el objetivo de obtener un equipo de bajo costo, fácil manejo y un método de análisis simple con resultados confiables.

A pesar de la gran exactitud de los resultados, la desventaja del equipo es su bajo rendimiento si se compara con los rugosímetros dinámicos automatizados como: Mays Meter, Perfilometro Laser, etc.

De acuerdo con las clasificaciones del Banco Mundial, los métodos para la medición de la rugosidad se agrupan en 4 clases, siendo el rugosimetro MERLIN un equipo de gran exactitud de sus resultados, califica como un método clase 1, los cuales son los más exactos.

8.2 Capítulo 1 – Seguridad

8.2.1 Uso del equipo

Al manipular el equipo rugosímetro merlin debe tener en cuenta las siguientes normas:

1. Uso de botas de seguridad.
2. Uso de pantalón largo.
3. Seguir las instrucciones de la persona encargada.
4. Señalización
5. Chaleco reflectivo.
6. Casco seguridad
7. Hidratación.
8. Vehículo de transporte debidamente señalizado y marcado
9. Permiso de trabajo por medio de la entidad encargada.

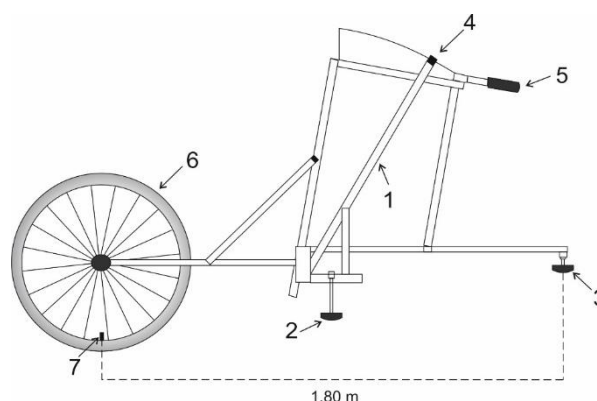
8.3 Capítulo 2 – Equipo

8.3.1 Rugosímetro MERLIN

El rugosímetro MERLIN fue diseñado en el instituto británico, llamado así debido a su acrónimo M = Machine; E= Evaluating; R= Roughness; L= Low cost; IN= Instrumentation, es un equipo diseñado específicamente para la medición de la rugosidad del pavimento, siendo una variación del perfilómetro estático. Es un instrumento versátil, sencillo y económico, pensado especialmente para uso en países en vías de desarrollo. De acuerdo con las clasificaciones del Banco Mundial, los métodos para la medición de la rugosidad se agrupan en 4 clases, siendo el rugosímetro MERLIN de clase 1, los cuales son los más exactos.

La Figura N° 1 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 empennado 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. 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.



- 1 - Brazo móvil
- 2 - Pivote móvil
- 3 - Pivote fijo
- 4 - Puntero
- 5 - Manijas
- 6 - Rueda
- 7 - Marca o Guía

Figura 1. Esquema rugosímetro merlin.

Fuente: Elaboración propia

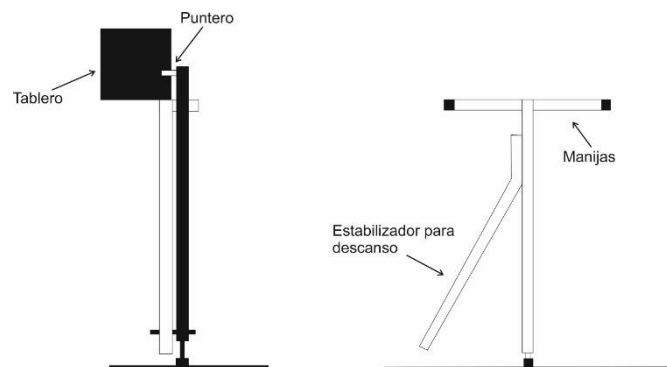


Figura 2. Cortes del esquema.

Fuente: *Manual uso del merliner*

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

8.4 Capítulo 3 – Normas

8.4.1 Norma AASHTO PP 37-04 Práctica estándar para la determinación del índice de rugosidad internacional (IRI) para cuantificar la rugosidad de los pavimentos

Esta práctica describe un método para estimar la rugosidad de una sección de pavimento. Una estadística del Índice de rugosidad internacional (IRI) se calcula a partir de un único perfil longitudinal medido con un perfilador de caminos tanto en el interior como en el exterior del

camino de ruedas del pavimento. El promedio de estas dos estadísticas de IRI se informa como la rugosidad de la sección de pavimento. [1]

8.4.2 Norma INVE- 790-13 Determinación del índice internacional de rugosidad (IRI) para medir la rugosidad (irregularidades de la superficie)

Esta norma describe un procedimiento para estimar la rugosidad de una sección de pavimento, mediante el índice Internacional de Rugosidad (IRI). El IRI se calcula a partir de la medición del perfil longitudinal de las huellas externa e interna de la circulación del tránsito en un pavimento, empleando un perfilómetro. Con el fin de contribuir en la producción de estimaciones consistentes del IRI para los programas de administración de pavimentos a nivel de red.

Este método debe desarrollar un plan de aseguramiento de calidad. El plan debe incluir registros sobre certificación del personal que realiza los ensayos, sobre la exactitud del equipo, sobre los procedimientos diarios del control de calidad. [2]

8.4.3 Norma chilena 8.502.8

El método describe el procedimiento para determinar la rugosidad superficial (irregularidades superficiales) de pavimentos asfálticos, de hormigón, tratamientos superficiales.

Las mediciones se realizarán longitudinalmente por cada pista, en forma separada mediante un perfilómetro. La medición se efectuara en forma continua, comenzando desde el inicio del tramo, hasta el término de él y/o viceversa, según sea el caso. [2]

8.5 Capítulo 4 – Procedimiento

8.5.1 Ejecución de ensayos

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 tramo de aproximadamente 400 m de longitud, sobre un determinado carril de una vía. Las mediciones se efectúan siguiendo la huella del tráfico.

Para determinar un valor de rugosidad se deben efectuar 200 observaciones de las “irregularidades que presenta el pavimento”, 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 2m 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 apoyo móvil (Figura N° 2, Corte). 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 N° 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.

8.5.2 Determinación de la rugosidad

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 N° 3 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”.

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 N°4). El parámetro estadístico que establece la magnitud de la dispersión es el Rango de la muestra (D), determinado luego de efectuar una depreciación del 10% de observaciones (10 datos en cada cola del histograma). El valor D es la rugosidad del pavimento en “unidades MERLIN”

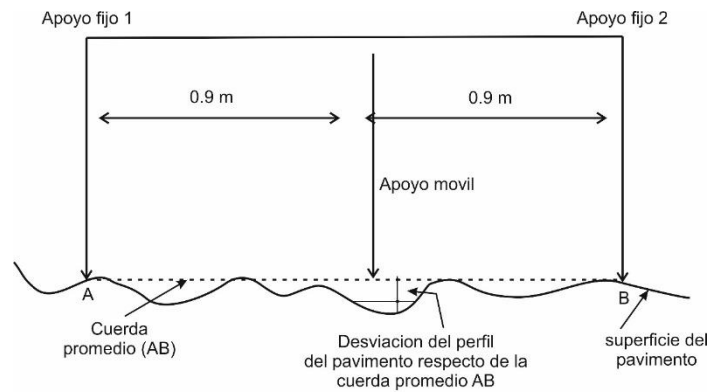


Figura 3. Medición de las desviaciones de la superficie del pavimento respecto de la cuerda promedio

Fuente: Manual uso del merliner

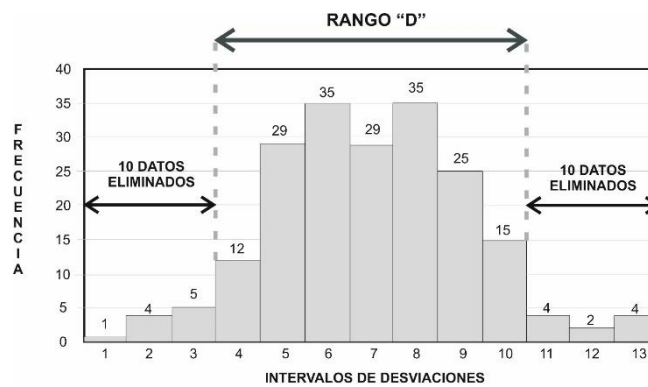


Figura 4. Histograma de la distribución de frecuencias de una muestra de 200 desviaciones

Fuente: Manual uso del merliner

8.5.3 Correlación "D" Vs "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:

- Quando $2.4 < \text{IRI} < 15.9$, entonces $\text{IRI} = 0.593 + 0.0471 D$ (1)
- $\text{IRI} < 2.4$, entonces $\text{IRI} = 0.0485 D$ (2)

La expresión 1 es la ecuación original establecida por el TRRL, 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 se emplea para el control de calidad de pavimentos recién construidos.

8.5.4 Calculo de la rugosidad

Calculo “D”

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 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.

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 (Figura N° 4). 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.

8.5.5 Factor de corrección para el ajuste de “D”

Las ecuaciones 1 y 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 Para determinar el factor de corrección:

- Se determina el espesor de la pastilla, en milímetros, utilizando un calibrador que permita una aproximación al décimo de mm. El espesor se calculará como el valor

promedio considerando 4 medidas diametralmente opuestas. Por ejemplo: el espesor medido es 6.2mm

- 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 (por ejemplo, lectura=25). 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 (es decir: $6.2 \times 10 = 62$ mm), 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. Si no sucede esto, 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

Por ejemplo: Si la posición inicial del puntero fue 25 y la final fue 10, entonces el Factor de Corrección será:

$$FC = (6.2 \times 10) / [(25-10) \times 5] = 0.82666$$

8.5.6 Variación de la relación de brazo

El rugosímetro admite dos posiciones para el patín del brazo pivotante (Ver Figura N° 1):

- 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.
- 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.

9. Ejecución de campo

Se desea determinar el índice de rugosidad internacional (IRI) del tramo ubicado desde la entrada principal de la Universidad Pontificia Bolivariana hasta el edificio “K”, el cual comprende una distancia aproximadamente de 610m.

☒ Datos tenidos en cuenta

☐ Datos NO tenidos en cuenta

☐ Depuración

Las singularidades superficiales son cualquier alteración del perfil longitudinal del camino que no provenga de fallas constructivas y que incremente el valor del IRI en el tramo en que se encuentra. Ejemplo: (reductores de velocidad, alcantarillas, tapas de alcantarillas etc...) los puntos que se ubicaron sobre las singularidades mencionadas no se tendrán en cuenta. [4]

Singularidades Presentes en el tramo a ejecutar:



Imagen 3. Tapa de alcantarilla Fuente: Elaboración propia



Imagen 4. Reductor de Velocidad Tipo 2. **Fuente: Elaboración propia**



Imagen 5. Tapa de alcantarilla tipo rejilla. Fuente: Elaboración propia



Imagen 6. Tramo en concreto. Fuente: Elaboración propia



Imagen 7. Reductor de velocidad tipo 1. Fuente: Elaboración propia

Toma de datos

9.1 Test # 1

El test #1 se ejecutó el ensayo desde la entrada de la Universidad Pontificia Bolivariana hasta donde permite el formato de medición, en este caso hasta el edificio “L”. Dicho formato nos permite 200 mediciones en un tramo de 400m aproximadamente. Subiendo por el carril derecho.

Tramo: 400m

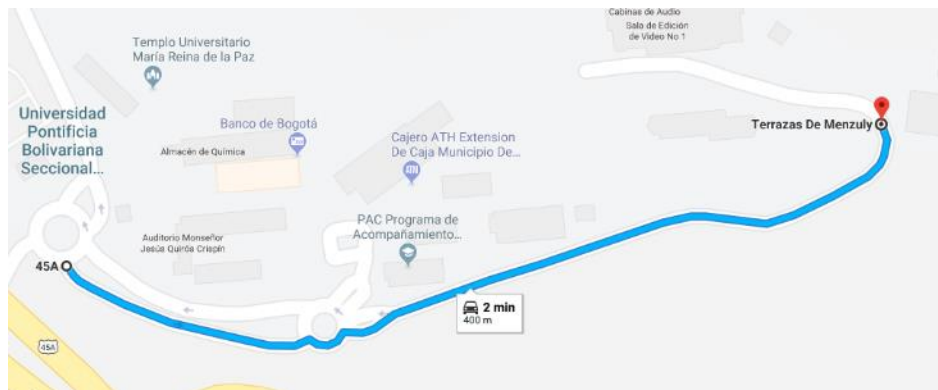


Imagen 8. Tramo #1 – 400m. Fuente: Google Maps



Imagen 9. Tramo #1 – 400m satelital. Fuente: Google Maps

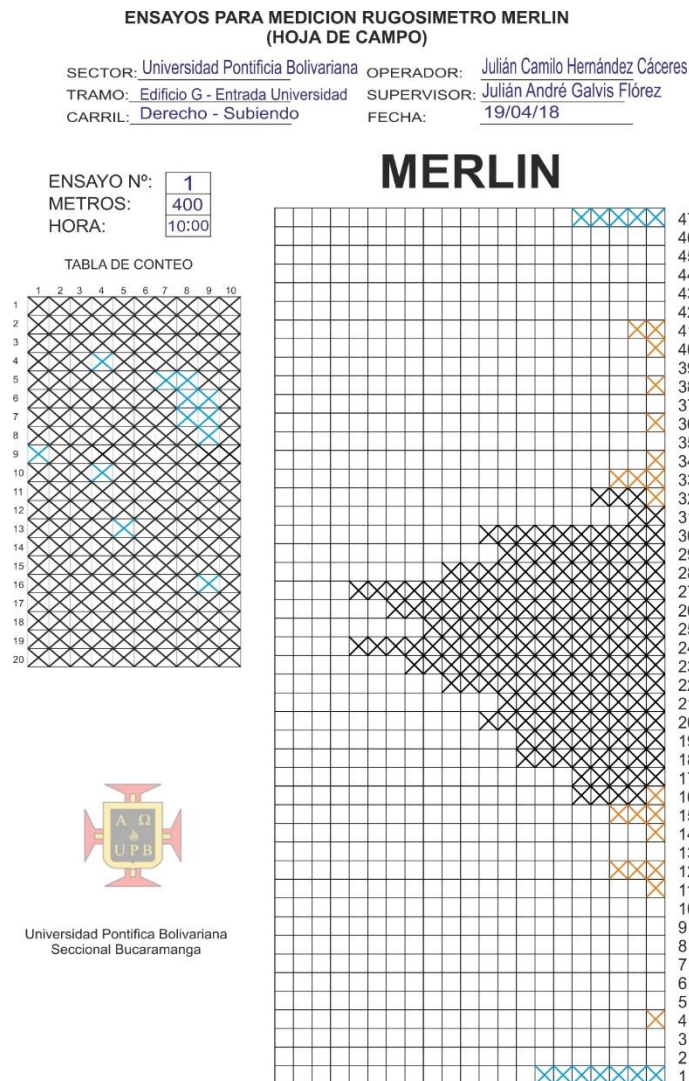
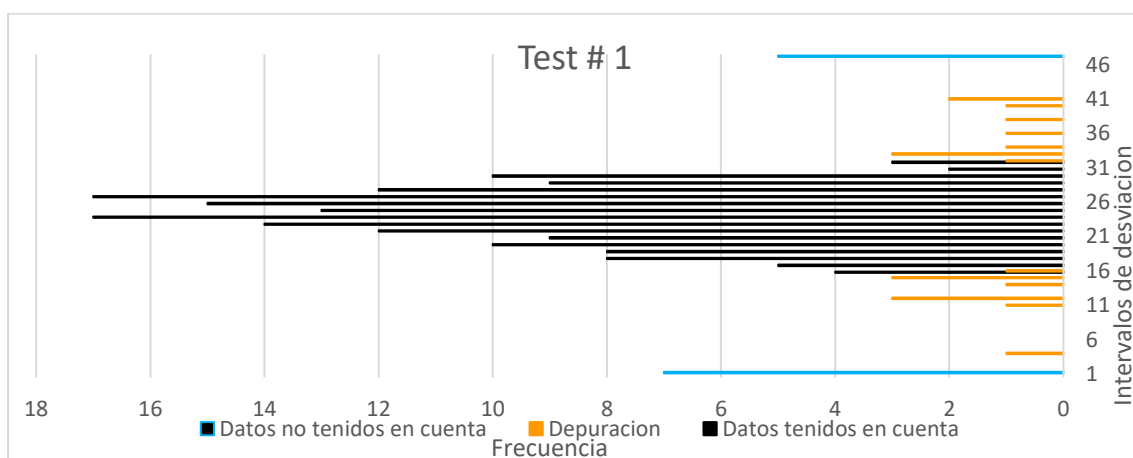


Imagen 10. Ensayo Test #1. Fuente: Elaboración Propia



Grafica 1 – Desviación Vs Frecuencia Test 1. Fuente: Elaboración propia

Calculo del Rango “D”

$$D = (15 \times 5) + \left(\frac{4}{5} \times 5\right) + \left(\frac{3}{4} \times 5\right)$$

$$D = 75 + 4 + 3,75$$

$$D = 82,75$$

Factor de corrección para el ajuste de “D”

$$F.C = \frac{(10 \times EP)}{|(LI - LF) \times 5|}$$

Donde,

EP: Espesor de la pastilla

LI: Posición inicial del puntero

LF: Posición final del puntero

$$F.C = \frac{(10 \times 7)}{|(24 - 38) \times 5|}$$

$$F.C = 1$$

Calculo del rango “D” corregido

$$D \text{ corregido} = 82,75 \times F.C$$

$$D \text{ corregido} = 82,75 \times 1$$

$$D \text{ corregido} = 82,75$$

Determinación de la rugosidad en la escala IRI

$$2,4 < IRI < 15,9, \text{ entonces } IRI = 0,593 + 0,0471 \times D$$

$$IRI = 0,593 + 0,0471 \times 82,75$$

$$IRI = 4,49m/km$$

$$\checkmark \quad 2,4 < 4,49 < 15,9$$

9.2 Test # 2

El test #2 es la continuación del Test#1, se continuó el ensayo en un tramo de 170m aproximadamente, este continuaba hasta finalizar el dicho tramo que abarcaba la entrada de la Universidad Pontificia Bolivariana hasta el edificio “K”.

Tramo: 170m

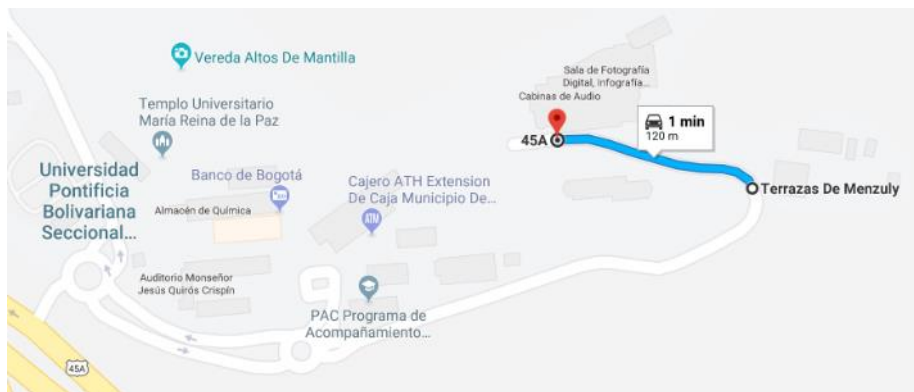


Imagen 11. Tramo #2-170m. Fuente: Google Maps



Imagen 12. Tramo #2-170m satelital. Fuente: Google Maps

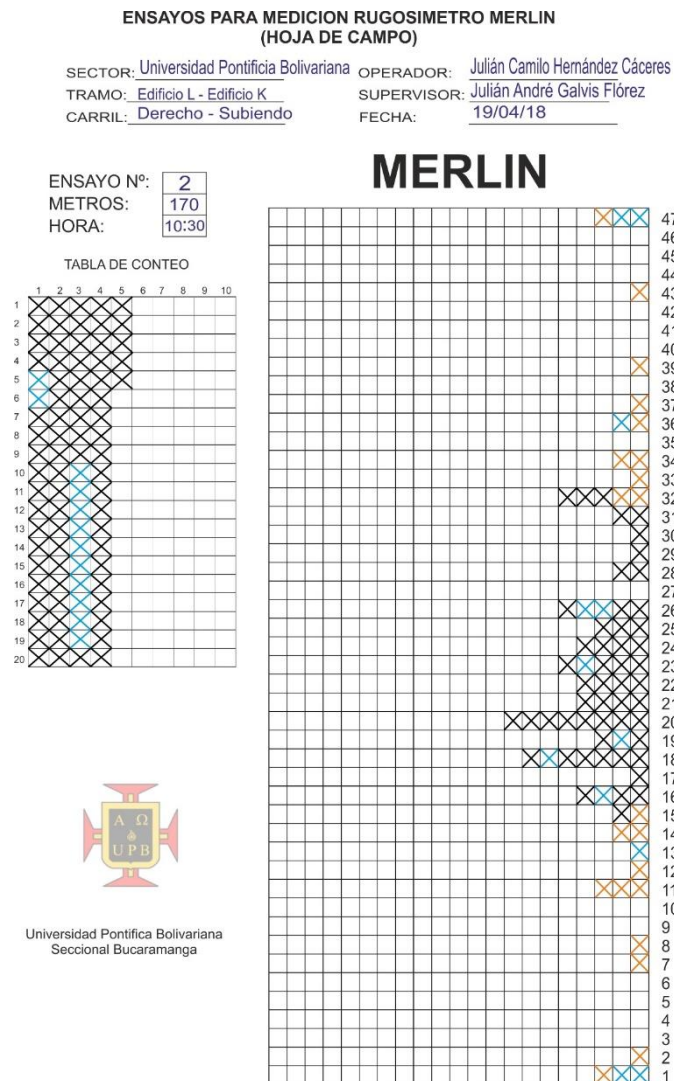
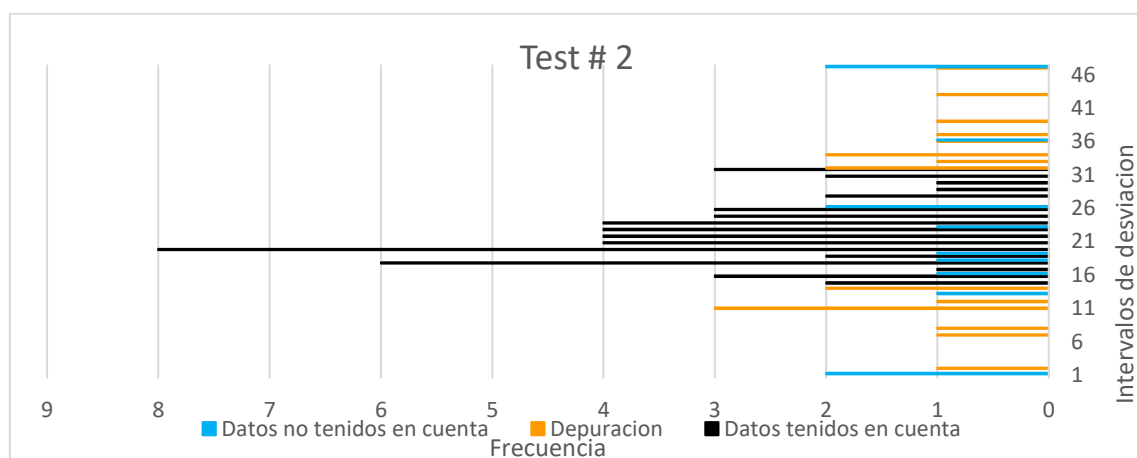


Imagen 13. Ensayo Test #2. Fuente: Elaboración propia



Grafica 2 – Desviación Vs Frecuencia Test 2. Fuente: Elaboración propia

Calculo del Rango “D”

$$D = (17 \times 5) + \left(\frac{3}{5} \times 5\right)$$

$$D = 85 + 3$$

$$D = 88$$

Factor de corrección para el ajuste de “D”

$$F.C = \frac{(10 \times EP)}{|(LI - LF) \times 5|}$$

Donde,

EP: Espesor de la pastilla

LI: Posición inicial del puntero

LF: Posición final del puntero

$$F.C = \frac{(10 \times 7)}{|(24 - 38) \times 5|}$$

$$F.C = 1$$

Calculo del rango “D” corregido

$$D \text{ corregido} = 88 \times F.C$$

$$D \text{ corregido} = 88 \times 1$$

$$D \text{ corregido} = 88$$

Determinación de la rugosidad en la escala IRI

$$2,4 < IRI < 15,9, \text{ entonces } IRI = 0,593 + 0,0471 \times D$$

$$IRI = 0,593 + 0,0471 \times 88$$

$$IRI = 4,73 \text{ m/km}$$

$$\checkmark \quad 2,4 < 4,73 < 15,9$$

9.3 Test # 3

El test #3 se ejecutó el ensayo desde el edificio “K” hasta donde permite el formato de medición, el cual nos permite 200 mediciones en un tramo de 400m aproximadamente. Bajando por el carril derecho.

Tramo: 400m

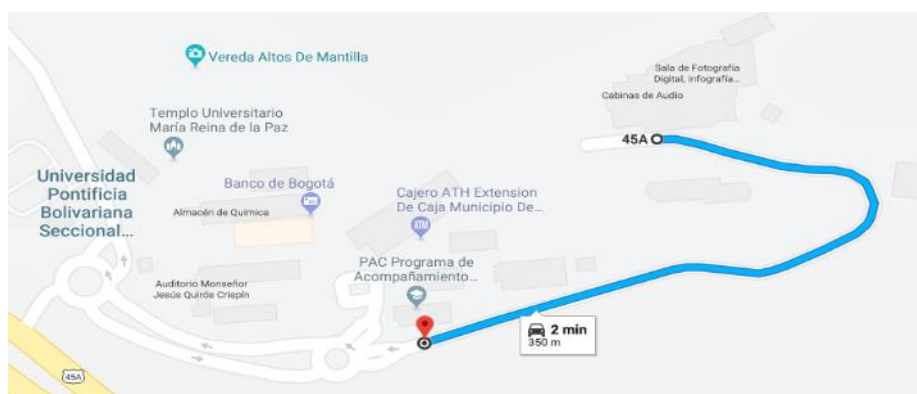


Imagen 14. Tramo#3 – 400m. Fuente: Google Maps



Imagen 15. Tramo#3 – 400m satelital. Fuente: Google Maps

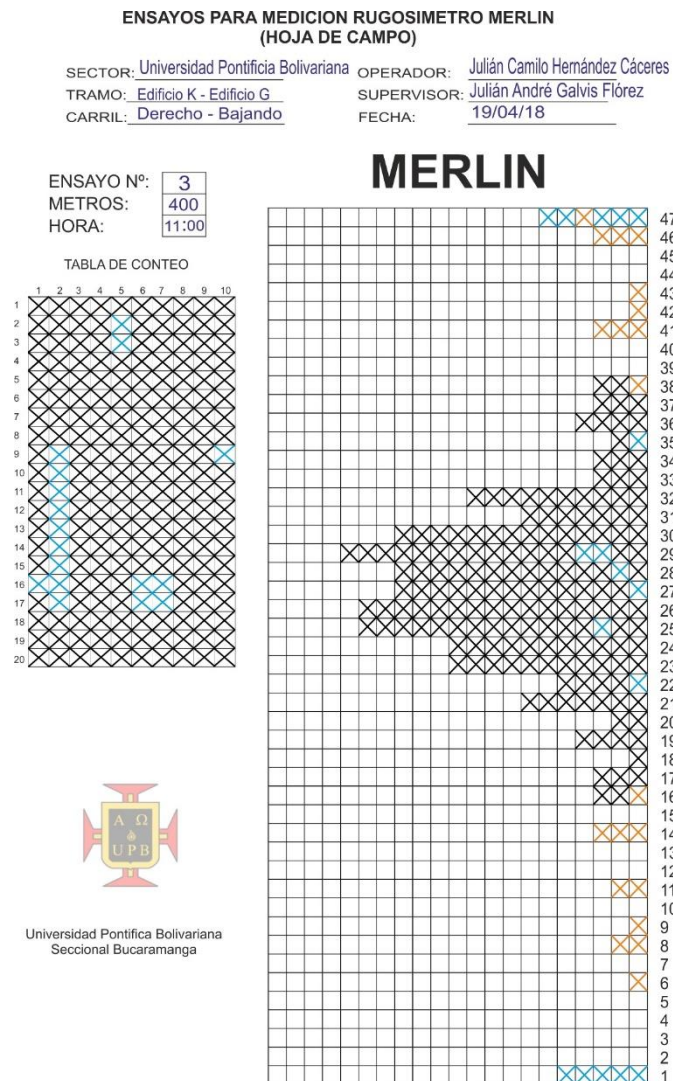
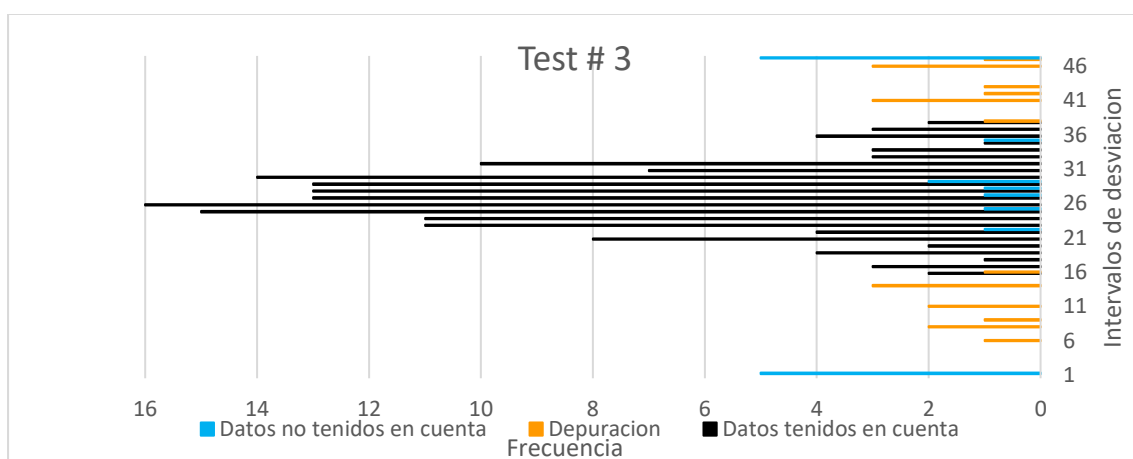


Imagen 16. Ensayo Test #3. Fuente: Elaboración propia



Grafica 3 – Desviación Vs Frecuencia. Fuente: Elaboración propia

Calculo del Rango “D”

$$D = (21 \times 5) + \left(\frac{2}{3} \times 5\right) \times 2$$

$$D = 105 + 4 + 6,66$$

$$D = 111,66$$

Factor de corrección para el ajuste de “D”

$$F.C = \frac{(10 \times EP)}{|(LI - LF) \times 5|}$$

Donde,

EP: Espesor de la pastilla

LI: Posición inicial del puntero

LF: Posición final del puntero

$$F.C = \frac{(10 \times 7)}{|(24 - 38) \times 5|}$$

$$F.C = 1$$

Calculo del rango “D” corregido

$$D \text{ corregido} = 111,66 \times F.C$$

$$D \text{ corregido} = 111,66 \times 1$$

$$D \text{ corregido} = 111,66$$

Determinación de la rugosidad en la escala IRI

$$2,4 < IRI < 15,9, \text{ entonces } IRI = 0,593 + 0,0471 \times D$$

$$IRI = 0,593 + 0,0471 \times 111,66$$

$$IRI = 5,852m/km$$

$$\checkmark \quad 2,4 < 5,852 < 15,9$$

9.4 Test # 4

El test #4 es la continuación del Test#3, se continuó el ensayo en un tramo de 170m aproximadamente, este continuaba hasta finalizar el dicho tramo que abarcaba el edificio “K” hasta la entrada de la Universidad Pontificia Bolivariana.

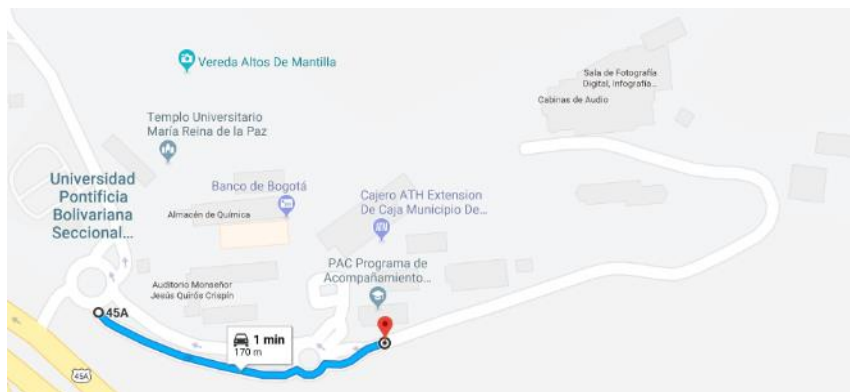


Imagen 17. Tramo #4 – 170m. Fuente: Google Maps



Imagen 18. Tramo #4 – 170m satelital. Fuente: Google Maps

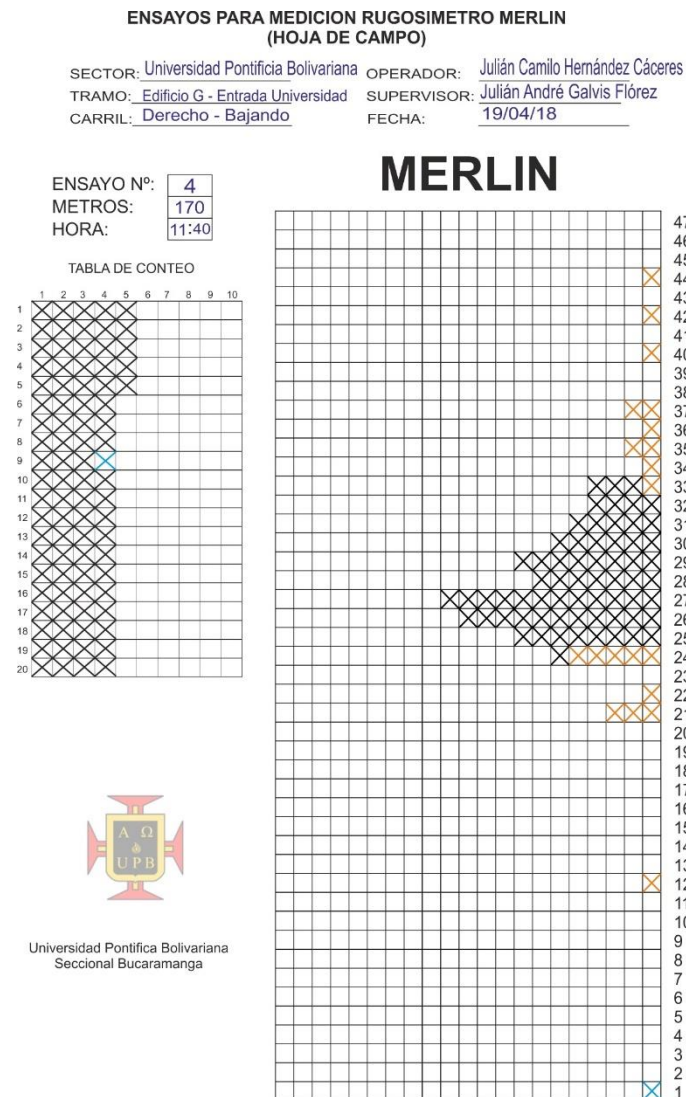
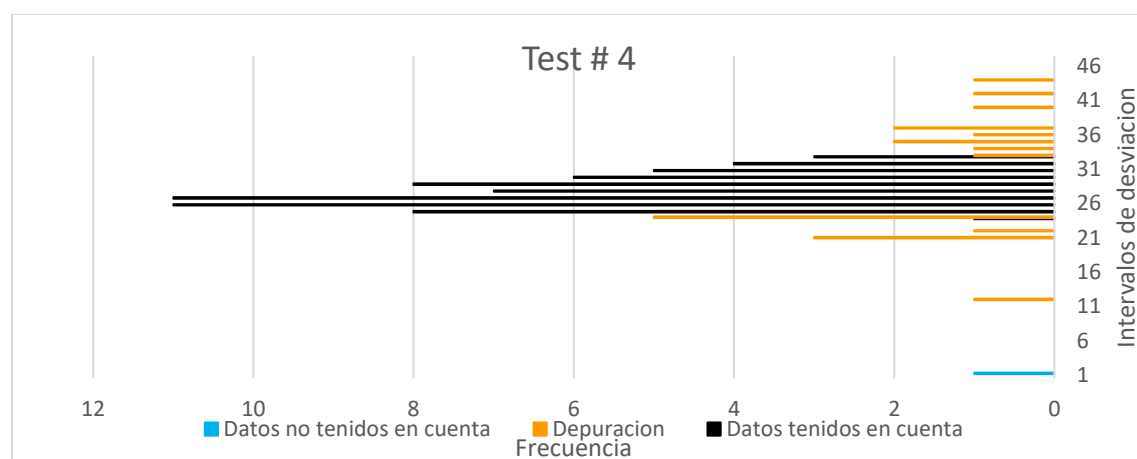


Imagen 19. Ensayo Test #4. Fuente: Elaboración propia



Grafica 4 – Desviación Vs Frecuencia. Fuente: Elaboración propia

Calculo del Rango “D”

$$D = (8 \times 5) + \left(\frac{3}{4} \times 5\right) + \left(\frac{1}{6} \times 5\right)$$

$$D = 40 + 3,75 + 0,83$$

$$D = 44,58$$

Factor de corrección para el ajuste de “D”

$$F.C = \frac{(10 \times EP)}{|(LI - LF) \times 5|}$$

Donde,

EP: Espesor de la pastilla

LI: Posición inicial del puntero

LF: Posición final del puntero

$$F.C = \frac{(10 \times 7)}{|(24 - 38) \times 5|}$$

$$F.C = 1$$

Calculo del rango “D” corregido

$$D \text{ corregido} = 44,58 \times F.C$$

$$D \text{ corregido} = 44,58 \times 1$$

$$D \text{ corregido} = 44,58$$

Determinación de la rugosidad en la escala IRI

$$2,4 < IRI < 15,9, \text{ entonces } IRI = 0,593 + 0,0471 \times D$$

$$IRI = 0,593 + 0,0471 \times 44,58$$

$$IRI = 2,692 \text{m/km}$$

$$\checkmark \quad 2,4 < 2,692 < 15,9$$

9.5 Test # 5

El test #5 se ejecutó el ensayo desde la entrada de la Universidad Pontificia Bolivariana una distancia aproximada de 134m subiendo por el carril izquierdo. Ahuellamiento derecho.

Tramo: 134m

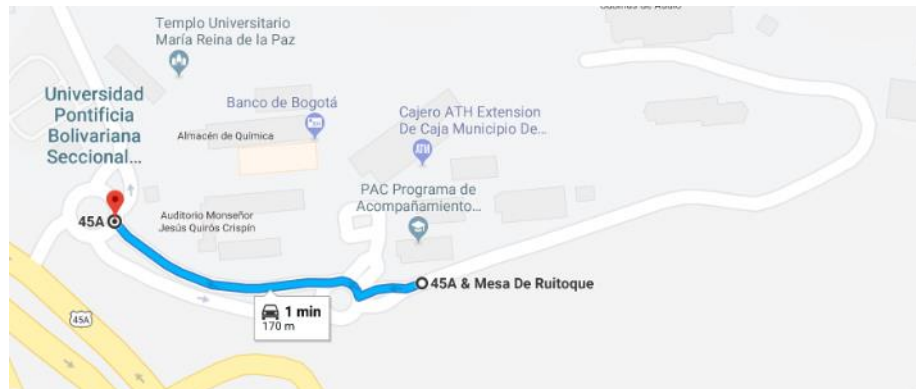


Imagen 20. Tramo #5 – 134m. Fuente: Google Maps



Imagen 21. Tramo #5 – 134m satelital. Fuente: Google Maps

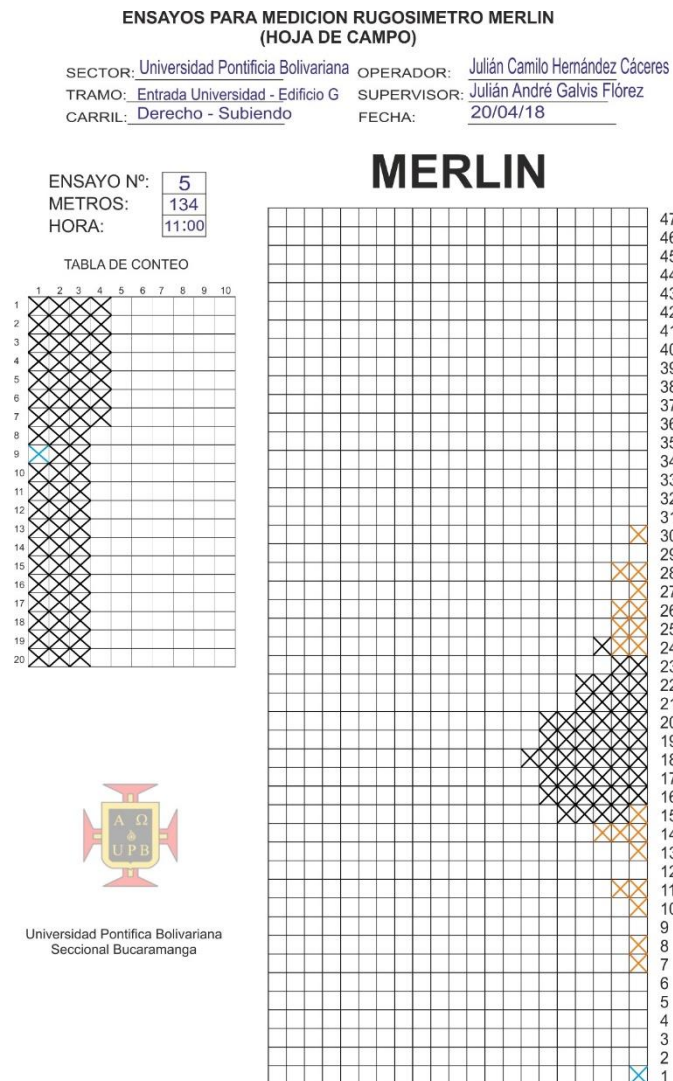
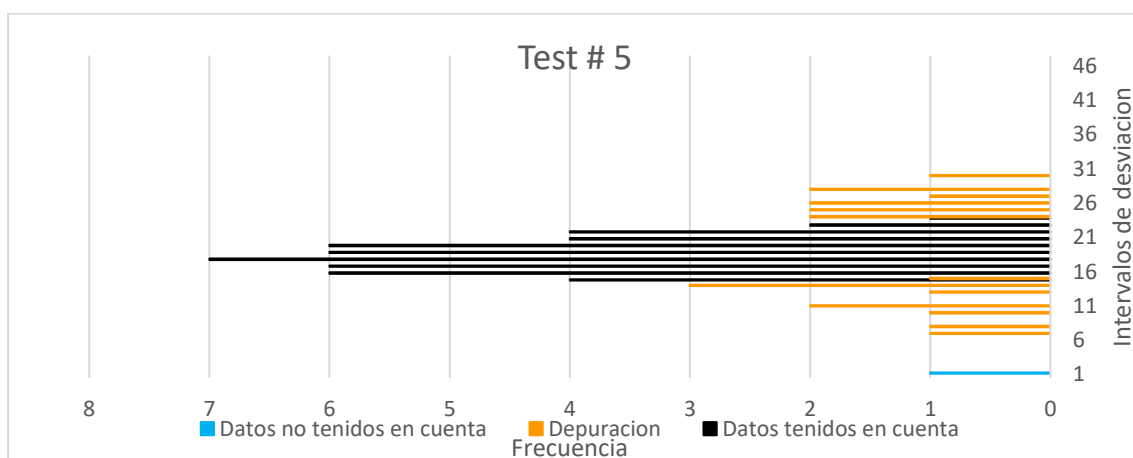


Imagen 22. Ensayo Test #5. Fuente: Elaboración Propia



Grafica 5 - Desviación Vs Frecuencia. Fuente: Elaboración propia

Calculo del Rango “D”

$$D = (8 \times 5) + \left(\frac{4}{5} \times 5\right) + \left(\frac{1}{3} \times 5\right)$$

$$D = 40 + 5,6$$

$$D = 45,6$$

Factor de corrección para el ajuste de “D”

$$F.C = \frac{(10 \times EP)}{|(LI - LF) \times 5|}$$

Donde,

EP: Espesor de la pastilla

LI: Posición inicial del puntero

LF: Posición final del puntero

$$F.C = \frac{(10 \times 7)}{|(24 - 38) \times 5|}$$

$$F.C = 1$$

Calculo del rango “D” corregido

$$D \text{ corregido} = 45,6 \times F.C$$

$$D \text{ corregido} = 45,6 \times 1$$

$$D \text{ corregido} = 45,6$$

Determinación de la rugosidad en la escala IRI

$$2,4 < IRI < 15,9, \text{ entonces } IRI = 0,593 + 0,0471 \times D$$

$$IRI = 0,593 + 0,0471 \times 45,6$$

$$IRI = 2,74 \text{m/km}$$

$$\checkmark \quad 2,4 < 2,74 < 15,9$$

9.6 Test # 6

El test #6 se ejecutó el ensayo desde la entrada del edificio “G” hasta la entrada de la Universidad Pontificia Bolivariana una distancia aproximada de 134m bajando por el carril derecho. Ahuellamiento derecho.

Tramo: 134m

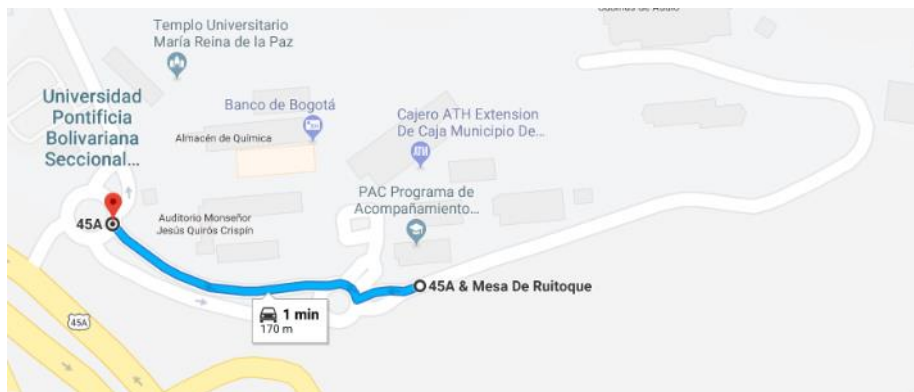


Imagen 23. Tramo #6 – 134m. Fuente: Google Maps



Imagen 24. Tramo #6 – 134m satelital. Fuente: Google Maps

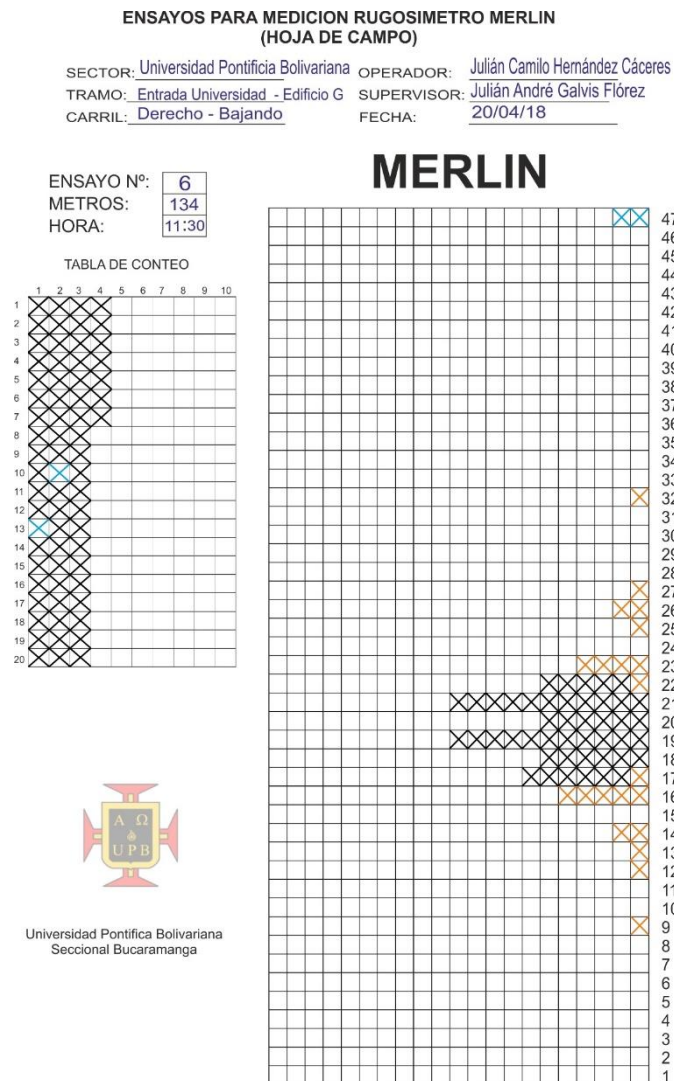
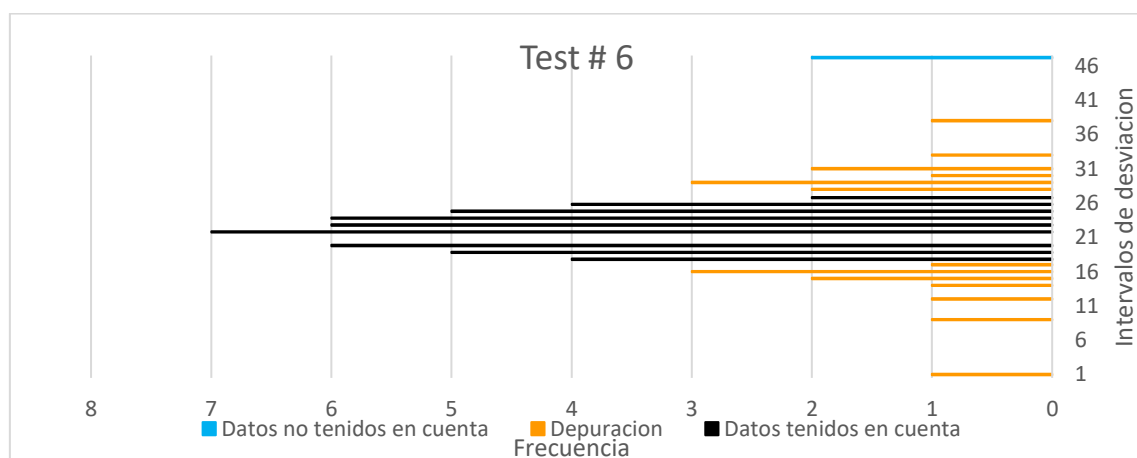


Imagen 25. Ensayo Test #6. Fuente: Elaboración Propia



Grafica 6 – Desviación Vs Frecuencia. Fuente: Elaboración propia

Calculo del Rango “D”

$$D = (10 \times 5)$$

$$D = 50$$

Factor de corrección para el ajuste de “D”

$$F.C = \frac{(10 \times EP)}{|(LI - LF) \times 5|}$$

Donde,

EP: Espesor de la pastilla

LI: Posición inicial del puntero

LF: Posición final del puntero

$$F.C = \frac{(10 \times 7)}{|(24 - 38) \times 5|}$$

$$F.C = 1$$

Calculo del rango “D” corregido

$$D \text{ corregido} = 50 \times F.C$$

$$D \text{ corregido} = 50 \times 1$$

$$D \text{ corregido} = 50$$

Determinación de la rugosidad en la escala IRI

$$2,4 < IRI < 15,9, \text{ entonces } IRI = 0,593 + 0,0471 \times D$$

$$IRI = 0,593 + 0,0471 \times 50$$

$$IRI = 2,948m/km$$

$$\checkmark \quad 2,4 < 2,948 < 15,9$$

Resumen de resultados

Tabla 3. Resumen de resultados

N o	Longitud(m)	Tramo	Calzada	Direcció n	Huella	Resultados		Promedi o
						D(m m)	IRI(m/k m)	
1	400	Entrada Universidad UPB - Edificio L	Derech a	Subiend o	Derech a	82,75	4,49	4,61
2	170	Edificio L - Laboratorio pavimentos	Derech a	Subiend o	Derech a	88	4,73	
3	400	Laboratorio pavimentos - Edificio G	Derech a	Bajando	Derech a	111,6 6	5,852	4,272
4	170	Edificio G - Entrada Universidad UPB	Derech a	Bajando	Derech a	44,58	2,692	
5	134	Entrada Universidad UPB - Edificio G	Izquier da	Subiend o	Derech a	45,6	2,74	2,74
6	134	Edificio G - Entrada Universidad UPB	Izquier da	Bajando	Derech a	50	2,948	2,948

Fuente: elaboración propia

A partir de estos datos, pudimos observar que el tramo presente entre la entrada de la Universidad Pontificia Bolivariana seccional Bucaramanga y el Edificio “K” cumplen con la (ecuación 1) $2.4 < IRI < 15.9$, establecida por el TRRL, la cual es empleada para la evaluación de pavimentos en servicio y con superficie de rodadura asfáltica.

10. Conclusiones y recomendaciones

- Se deben tener en cuenta las singularidades en el momento de realizar la evaluación del IRI en cualquier pavimento, puesto que hay varios aspectos que no hacen parte de la vía como lo son en este caso, alcantarillas, tapas de alcantarillas, reductores de velocidad, tramos en concreto.
- El cálculo del IRI permitido en pavimentos en servicio para que este cumpla debe estar en el intervalo $2.4 < \text{IRI} < 15.9$
- Un aspecto que incide en la selección del equipo de campo es el tipo de vía y la longitud de evaluación. Así, en vías de menor importancia el IRI puede ser evaluado con equipos de bajo rendimiento como Topografía, Dipstick o Merlín, mientras que en vías de mayor importancia y longitud se pueden utilizar equipos de alto rendimiento como el perfilómetro inercial.
- El IRI como control receptivo en las vías principales, arterias y secundarias, con tráfico importante, se justifica que sea establecido contractualmente, para promover el mejoramiento de los procesos constructivos y el incremento de los estándares de calidad, mientras que para gestión vial, puede aportar información vital que le permitirá al administrador vial aplicar las acciones de conservación en el momento oportuno, complementando esta evaluación con otros ensayos y pruebas de carácter funcional y estructural.
- Cada empresa de diseño y construcción de vías debe desarrollar un plan de aseguramiento de calidad. El plan debe incluir registros sobre entrenamiento y la certificación del personal que realiza los ensayos de IRI, sobre la exactitud del equipo, sobre los procedimientos diarios de control de calidad como: calibración del equipo, secciones de verificación, chequeos de calidad.

- Una buena regularidad de la superficie de los pavimentos brinda condiciones de comodidad y seguridad para los usuarios de las vías. Una mala regularidad, además de afectar los aspectos anteriores, refleja daños y deterioros de carácter funcional y estructural de los pavimentos que influyen negativamente en su estado de condición y vida útil.
- Por las condiciones en las que se muestra la superficie de rodamiento de la carretera existente, se considera necesario realizar un mantenimiento a vía, teniendo en cuenta las fallas que se presenciaron en dicho tramo.
- Es posible reflejar que se presentaron problemas en las capas inferiores del pavimento debido a que se evidenciaron fallas de abultamiento y hundimiento.
- Es importante conocer el índice de rugosidad internacional de cada tramo de vía puesto que se deben tener en cuenta varios aspectos de esta, como los costos de mantenimiento los cuales se reducen considerablemente en pavimentos que cuentan con un IRI relativamente bajo.
- Los procesos constructivos para vías interurbanas difieren considerablemente de las vías urbanas, por cuanto limitantes como el manejo de tráfico, disponibilidad de grandes longitudes para construcción y restricciones en el uso de equipos adecuados, generan deficiencias en la calidad de la superficie y en los acabados de los pavimentos que se reflejan en el IRI.

Bibliografía

- [1] G. J. Perez, «la infraestructura del transporte vial y la movilizacion de carga en colombia,» octubre 2005. [En línea]. Available: http://www.banrep.gov.co/docum/Lectura_finanzas/pdf/DTSER-64.pdf.
- [2] R. d. i. d. c. N. 6, «EL IRI: un indicador de la regularidad superficial,» 1989. [En línea]. Available: <http://www.ricuc.cl/index.php/ric/article/viewFile/320/pdf>.
- [3] I. p. lavaud, «importancia de la regularidad superficial (IRI) en la construccion de pavimentos asfalticos calientes,» 2011. [En línea]. Available: <https://es.scribd.com/doc/66743617/Importancia-de-la-Regularidad-Superficial-IRI-en-la-Construccion-de-Pavimentos-Asfalticos-en-Caliente>.
- [4] «diseño de vias de comunicacion terrestre,» [En línea]. Available: <https://topoviasdecomunicacion.wordpress.com/2013/09/16/reporte-del-dia-14-de-setiembre/>.
- [5] «Determinacion de la rugosidad en pavimentos,» [En línea]. Available: <https://es.scribd.com/doc/185427906/Manejo-Del-Equipo-Merlin>.
- [6] C. S.A.C, «Manual del usuario,» de metodologia para la determinacion de la rugosidad de los pavimentos, Lima .
- [7] M. CUNDILL, «The MERLIN Low-cost Road Roughness Measuring Machine,» Transport and Road Research Laboratory, Department of Transport. TRRL Research, 1991. [En línea]. Available: <https://es.scribd.com/document/216873731/1-270-RR301-MERLIN-Low-cost-Road-Roughness-Measuring-Device>.
- [8] INVE-790-13, «Determinacion del indice internacional de rugosidad (IRI) para medir la rugoidad (irregularidades superficiales) de pavimentos.,» INVIAS, 2013.
- [9] g. t. mecanica, «rugosidad superficial,» [En línea]. Available: <http://www3.fi.mdp.edu.ar/tecnologia/archivos/TecFab/10.pdf>.

- [10] INVIAS, «Especificaciones generales de construcción,» de pavimentos asfálticos capítulo 4 , pp. 277-279.
- [11] c. a. g. cortes, «perfil longitudinal y transversal,» santo tomas, 26 noviembre 2012. [En línea]. Available: <https://es.scribd.com/doc/118760837/Perfil-Longitudinal-y-Transversal>.
- [12] g. t. -. c. 5. d. 2003, «Estudio e investigación del estado actual de las obras de la red nacional de carreteras,» de manual para la inspección visual de fallos en pavimentos flexibles , 2003, pp. 7 - 32.
- [13] a. m. fonseca, «ingeniería para pavimentos,» [En línea]. Available: <https://es.slideshare.net/carlonchosuicida/alfonso-montejo-fonseca-ingenieria-de-pavimentos>.
- [14] PINZUAR, «PINZUAR,» [En línea]. Available: <http://www.pinzuar.com.co/pinzuar/es/productos/asfaltos/rugosimetro-merlin/>.
- [15] M. CUNDILL, «MERLIN-A Low-Cost Machine for Measuring Road Roughness in Developing Countries,» de Transportation Research Record 1291..