

UNIVERSIDAD PRIVADA ANTENOR ORREGO

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



**“CONSTRUCCIÓN DE UN PERFILÓMETRO DE PRECISIÓN DIGITAL PARA EL CÁLCULO DEL
INDICE DE RUGOSIDAD INTERNACIONAL DE UNA CARPETA ASFÁLTICA EN LA CARRETERA
PANAMERICANA NORTE, TRAMO VÍA DE EVITAMIENTO TRUJILLO DESDE EL KM 557+000 A
558+000”**

TESIS

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: TRANSPORTES

AUTORES:

- BR. DEZA GARCIA, RITA DE JESÚS
- BR. OBESO ALCÁNTARA, AUGUSTO EMANUEL

ASESOR:

- ING. ENRIQUE FRANCISCO LUJAN SILVA

TRUJILLO - PERÚ

2017

ÍNDICE

Acreditaciones	i
Presentación	ii
Dedicatoria	iii
Agradecimientos	iv
Resumen	v
Abstract	vi
Índice	viii
Índice de Figuras	ix
Índice de Tablas	xi
Índice de Gráficos	xii

ACREDITACIONES

TÍTULO: “CONSTRUCCIÓN DE UN PERFILÓMETRO DE PRECISIÓN DIGITAL PARA EL CÁLCULO DEL INDICE DE RUGOSIDAD INTERNACIONAL DE UNA CARPETA ASFÁLTICA EN LA CARRETERA PANAMERICANA NORTE, TRAMO VÍA DE EVITAMIENTO TRUJILLO DESDE EL KM 557+000 AL 558+000”

AUTOR (ES):

BR. DEZA GARCIA, RITA DE JESÚS

BR. OBESO ALCÁNTARA, AUGUSTO EMANUEL

APROBADO POR:

Ing. José Sebastián Huertas Polo

PRESIDENTE

N° CIP 34570

Ing. Cesar Leónidas Cancino Rodas

SECRETARIO

N° CIP 71103

Ing. Juan Paul Edward Henríquez Ulloa

VOCAL

N° CIP 118101

Ing. Enrique Francisco Lujan Silva

ASESOR

N° CIP 54460

PRESENTACIÓN

Señores Miembros del Jurado:

Dando cumplimiento y conforme a las normas establecidas en el Reglamento de Grados y Títulos y Reglamento de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Privada Antenor Orrego, para obtener el título profesional de Ingeniero Civil, se pone a vuestra consideración el Informe del Trabajo de Investigación Titulado “CONSTRUCCIÓN DE UN PERFILÓMETRO DE PRECISIÓN DIGITAL PARA EL CÁLCULO DEL INDICE DE RUGOSIDAD INTERNACIONAL DE UNA CARPETA ASFÁLTICA EN LA CARRETERA PANAMERICANA NORTE, TRAMO VÍA DE EVITAMIENTO TRUJILLO DESDE EL KM 557+000 AL 558+000”, con la convicción de alcanzar una justa evaluación y dictamen, excusándonos de antemano de los posibles errores involuntarios cometidos en el desarrollo del mismo.

Trujillo, 24 de Noviembre del 2017.

Br. Rita de Jesús Deza García

Br. Augusto Emanuel Obeso Alcántara

DEDICATORIA

Esta tesis está dedicada a mis padres Juan y Marlene, a su trabajo y apoyo constante e incondicional. A mi hijo Enzo Antonio Bocanegra Deza por ser mi fortaleza y mi inspiración más grande hoy en día.

A mi abuela Jesús por llenarme de un profundo amor con el que tuve el privilegio de crecer. Sepan que son mi mejor ejemplo y guía.

Rita de Jesús Deza García.

La siguiente tesis está dedicada a toda mi familia y amigos, pero especialmente a mis padres, porque a través de su esfuerzo, dedicación, apoyo y amor supieron encaminarme a lo largo de todo este tiempo y hacer de mi la persona que soy hoy en día, y estaré eternamente agradecido por todo lo que me han dado.

Augusto Emanuel Obeso Alcántara

AGRADECIMIENTO

A Dios y a la Virgen María por permitirme vivir cada momento y disfrutar de los mismos con mis seres queridos, a mi familia que siempre están a mi lado en cada paso que he dado. A mi esposo e hijo quienes son mi motivo más grande de felicidad.

A Juan Cruz Christiansen por brindar el soporte para el desarrollo de la presente tesis, a los Ingenieros Enrique Lujan y Juan Paul Henríquez por su tiempo y conocimiento compartido para ver realizada la investigación.

Finalmente a mi compañero de tesis, por su apoyo, paciencia y amistad.

Rita de Jesús Deza García.

A mis padres quienes me formaron como ser humano y brindaron todo el soporte que necesite a lo largo de mis años de estudiante y mi tiempo como tesis, a mi amigo Juan Cruz Christiansen por todo el apoyo brindado en el desarrollo de la presente. Al Ing. Enrique Lujan y al Ing. Juan Paul Henríquez por guiarme en la realización de este trabajo producto de sus conocimientos y amplia experiencia. Y a mi compañera de tesis por su empeño, gran consejo y su amistad incondicional.

Augusto Emanuel Obeso Alcántara

RESUMEN

Esta tesis tiene como propósito la construcción de un rugosímetro digital basado en los conceptos publicados por el Laboratorio Británico de Investigación de Transportes y Caminos (TRRL) en 1990, sobre el rugosímetro denominado MERLIN, usado para la toma de mediciones necesarias para el cálculo de la regularidad superficial de una vía y su aplicación en la evaluación de pavimentos en servicio.

Durante la construcción del equipo, se demostró la importancia de una estructura sólida de soporte y componentes electrónicos que puedan replicar y superar la precisión de los componentes mecánicos del MERLIN original, por lo que se planteó una metodología para evaluar su precisión con respecto a una vía control con un índice de rugosidad internacional ya conocido.

Luego se planteó una metodología para evaluar el cumplimiento de los objetivos propuestos, seleccionando un tramo de vía control con un índice de rugosidad internacional acreditado que nos permita verificar los resultados obtenidos a través del equipo construido.

Y de esta forma poder hacer un análisis comparativo los datos obtenidos a través del ensayo con los valores conocidos.

ABSTRACT

The aim of this thesis is the construction of a digital rugosimeter based on the concepts published by the British Transport and Road Research Laboratory (TRRL) in 1990, about the rugosimeter called MERLIN, used to take the necessary measurements to calculate the superficial regularity of a road and its application in the evaluation of pavements in service.

During the construction of the equipment, the original MERLIN mechanical components, for which a methodology was proposed to evaluate its accuracy with respect to a track, the precision of the mechanical components was replicated and exceeded. control with an international rugosity index already known.

Then, a methodology was proposed to evaluate the fulfillment of the proposed objectives, selecting a road section of control with a reliable international rugosity index that allows us to verify the results obtained through the built equipment.

And in this way to be able to make a comparative analysis the data obtained through the test with the known values.

ÍNDICE GENERAL

1. Introducción	1
1.1. El problema	1
1.2. Delimitación:	2
1.3. Formulación del problema:	2
1.4. Formulación de la Hipótesis	3
1.5. Objetivos de la investigación	3
1.5.1. Objetivo general:	3
1.5.2. Objetivos Específicos:	3
1.6. Justificación de la investigación:	4
1.7. Limitaciones del estudio:	4
2. Marco teórico:	5
2.1. Antecedentes de la investigación	5
2.1.1. Local:.....	5
2.1.2. Nacional:	5
2.1.3. Internacional:.....	6
2.2. Fundamentación teórica de la investigación:	6
2.2.1. Carreteras	6
2.2.2. Pavimentos:	8
2.2.3. Rugosidad:.....	14
2.2.4. Normatividad peruana respecto a la rugosidad:	25
3. MATERIALES Y MÉTODOS	27
3.1. Material:	27
3.1.1. Población:.....	27
3.1.2. Muestra:.....	27
3.1.3. Unidad de análisis:	27
3.2. Métodos	27
3.2.1. Nivel de investigación.....	27
3.2.2. Diseño de investigación	27
3.2.3. Variable de estudio y operacionalización:.....	28
3.2.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	29
3.2.5. Técnicas de procesamiento de datos	45
3.2.6. Técnica de análisis de datos	58
4. RESULTADOS	77
5. CONCLUSIONES	80
6. RECOMENDACIONES	80
7. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	81

INDICE DE IMAGENES

Imagen N° 1-1.- Distribución de las partes de un pavimento.	9
Imagen N° 1-2 Vista de un pavimento flexible	11
Imagen N° 1-3 Vista de un pavimento rígido	11
Imagen N° 1-4 Vista de un pavimento articulado.	12
Imagen N° 1-5 Vista de una falla superficial.	13
Imagen N° 1-6 Vista de una falla estructural.	13
Imagen N° 1-7 Diagrama del MERLIN y sus partes.	18
Imagen N° 1-8. Escala para determinar la dispersión de las desviaciones de la superficie del pavimento respecto al nivel de referencia.	20
Imagen N°1-9. Principio de funcionamiento MERLIN.	21
Imagen N°1-10. Formato de recolección de datos para el ensayo.	22
Imagen N° 1-11. Cartilla de procesamiento grafico de datos del MERLIN	24
Imagen N° 2-1. Vista de microcontrolador.	29
Imagen N° 2-2. Vista de Shield LCD.	30
Imagen N° 2-3. Vista módulo encoder.	31
Imagen N° 2-4. Vista modulo ultrasonido.	32
Imagen N° 2-5. Vista pulsador simple.	33
Imagen N° 2-6. Diagrama de bloques de funcionamiento.	34
Imagen N° 3-1. Componentes electrónicos de trabajo.	36
Imagen N° 3-2. Prueba de funcionamiento Shield LCD.	37
Imagen N° 3-3. Prueba de sensor ultrasonido.	37
Imagen N° 3-4. Prueba de módulo encoder.	38
Imagen N° 3-5. Soldado conexiones a Shield LCD.	38
Imagen N° 3-6. Shield LCD con conexiones ya realizadas.	38
Imagen N° 3-7. Identificación de puntos de conexión de cables.	39
Imagen N° 3-9. Módulo encoder adosado a llanta del equipo.	39
Imagen N° 3-10. Módulo ultrasonido adosado al perfil de acero que representa el brazo imaginario.	40
Imagen N° 3-11. Diseño 3D de la estructura de soporte del equipo.	41
Imagen N° 3-12. Ensamblado de marco metálico.	41
Imagen N° 3-13. Prueba de rodamiento de eje.	42
Imagen N° 3-14. Soldadura de brazo adosado.	42

Imagen N° 3-15. Comprobación de perpendicularidad del brazo.	42
Imagen N° 3-16. Comprobación de perpendicularidad del brazo.	43
Imagen N° 3-17. Colocación de soporte de triplay sobre estructura.	43
Imagen N° 4-1. Interfaz gráfica del programa de Matlab.	47
Imagen N° 4-2. Visualización de datos en Shield LCD.	48
Imagen N° 4-3. Vistas del rugosímetro digital finalizado.	49
Imagen N° 4-4. Cable USB-Mini USB de conexión del equipo.	50
Imagen N° 4-5. Unidad CD-R con el instalador del programa de computadora.	50
Imagen N° 5-1. Descarga del equipo en sitio del ensayo.	51
Imagen N° 5-2. Ubicación del equipo en cota de inicio.	51
Imagen N° 5-3. Conexión entre microcontrolador y computadora a través del cable USB-Micro USB.	52
Imagen N° 5-4. Iniciar programa de procesamiento de datos en laptop.	52
Imagen N° 5-5. Botón de ejecución del programa de recolección de datos.	53
Imagen N° 5-6. Interacción de inicio a través de la interfaz gráfica del programa.	53
Imagen N° 5-7. Recorrido a través de la vía a evaluar.	54
Imagen N° 5-8. Perfil de superficie de rodadura generado por computadora.	55
Imagen N° 5-9. Datos Procesados e IRI calculado.	55
Imagen N° 5-10. Exportación de datos a Excel.	56
Imagen N° 5-11. Exportación de cálculos a Excel.	57
Imagen N° 6-1. Ejemplificación de tabla de frecuencia.	74

INDICE DE TABLAS

Tabla N° 1. Variables de estudio y operacionalización.	26
Tabla N° 2. Especificaciones técnicas del microcontrolador.	28
Tabla N° 3. Especificaciones técnicas Shield LCD.	29
Tabla N° 4. Especificaciones técnicas módulo encoder.	30
Tabla N° 5. Especificaciones técnicas módulo encoder.	31
Tabla N° 6. Costos de materiales para construcción de rugosímetro digital.	32
Tabla N° 7. Mapeo de conexiones de pines de microcontrolador.	33
Tabla N° 8. Mediciones tomadas en el ensayo en campo N°1.	58
Tabla N° 9. Mediciones tomadas en el ensayo en campo N°2.	63
Tabla N° 10. Mediciones tomadas en el ensayo en campo N°3.	68
Tabla N° 11. Tabla de distribución de frecuencias de los datos tomados.	74
Tabla N° 12. Clasificación de pavimentos según su IRI.	75
Tabla N° 13. Clasificación de la carpeta de rodadura ensayada según su IRI.	75
Tabla N° 14. Variables calculadas en el ensayo N°1 del 557+000 al 557+400.	77
Tabla N° 15. Variables calculadas en el ensayo N°2 del 557+300 al 557+700.	77
Tabla N° 16. Variables calculadas en el ensayo N°3 del 557+600 al 558+000.	77
Tabla N°17. Resultados: “ESTUDIO DEFINITIVO REHABILITACIÓN DE LA CARRETERA PANAMERICANA NORTE, TRAMO: Km 557+000 – Km 886+600”, COVISOL y GMI, 2013.	78
Tabla N° 18. Resultados: Tesis de grado para maestro: “ESTUDIO DEL INDICE DE RUGOSIDAD INTERNACIONAL DE LA PANAMERICANA NORTE - ZONA TRUJILLO, PARA SU MANTENIMIENTO”, Br. Sachún Quispe Jaime Emilio Napoleón, 2016.	78
Tabla N° 19. Resultados: “CONSTRUCCIÓN DE UN PERFILOMETRO DE PRECISIÓN DIGITAL PARA EL CÁLCULO DEL INDICE DE RUGOSIDAD INTERNACIONAL DE UNA CARPETA ASFALTICA EN LA CARRETERA PANAMERICANA NORTE, TRAMO VÍA DE EVITAMIENTO TRUJILLO DESDE EL KM 557+000 AL 558+000”.	78
Tabla N° 20. Rango de valores admisibles según la precisión del equipo.	79
Tabla N° 21. Ubicación del resultado en el rango de valores admisibles.	79

INDICE DE GRAFICOS

Grafico N° 1. Diagrama de flujo del programa de adquisición de datos.	43
Grafico N° 2. Diagrama de flujo del programa de procesamiento de datos.	44

1. Introducción

1.1. El problema

El método de diseño AASHTO se desarrolló en EEUU en la década de 1960, con la finalidad de desarrollar tablas, gráficos y fórmulas que representen las solicitaciones y el deterioro en las vías, se introdujo el concepto de I.S.A (Índice de Serviciabilidad Actual) en el diseño de pavimentos, como una medida cualitativa y subjetiva del comportamiento del pavimento relacionada con el comportamiento funcional (seguridad y comodidad), y el comportamiento estructural (como grietas, fallas, peladuras, etc.), que podrían afectar la integridad de la vía. Y es estimada según observación de un profesional competente.

Debido a esto se generó la necesidad de un indicador universal, cuantificable y objetivo que permita evaluar la calidad y estado de un pavimento, esta idea fue impulsada por el Banco Mundial y el gobierno de Brasil, quienes en la década de 1980 organizaron el IRRE (International Road Roughness Experiment) llevada a cabo en Brasilia con la participación de Brasil, Reino Unido, Francia, Estados Unidos y Bélgica, con el fin de unificar criterios, naciendo de esta manera el I.R.I. (International Roughness Index) poseedor de claras ventajas frente a su antecesor como el ser cuantificable y objetivo, por ello hoy en día es un criterio de evaluación exigido por el Banco Mundial y diferentes normativas internacionales.

En la actualidad las vías de comunicación terrestres han llegado a jugar un papel fundamental en la economía de cualquier nación siendo un medio vital para su desarrollo, es por ello que el estado en que se encuentren influye directamente en la economía aumentando o disminuyendo costos. Debido a esto países vecinos como Brasil, Chile, Colombia y Venezuela poseen una sólida regulación y exigencias para los nuevos proyectos incluso generando un IRI teórico en base a los perfiles geométricos desarrollados, el cual debe ser alcanzado en la ejecución de la obra para lograr la entrega de la misma.

Gran parte de la actividad económica en Perú tiene como medio de desarrollo las carreteras, las cuales poseen impacto directo en millones de peruanos. Si estas no trabajan adecuadamente generan un perjuicio en el costo de operación de los vehículos como: el consumo de combustible, desgaste de las llantas y congestión vehicular, así como las ratios de accidentes y otras externalidades. Es por ello que realizar el mantenimiento oportuno es indispensable, para ello se necesita cuantificar y determinar el estado de las vías a partir de información veraz obtenida en campo a través de ensayos y/o equipos adecuados.

El MERLIN entre los distintos tipos de equipo para determinar el IRI (ya sean bajo un principio de medición estático o dinámico), destaca por su bajo costo de construcción y buen desempeño, pero al poseer un mecanismo de funcionamiento analógico posee un amplio margen de mejora.

Sustentados en las fortalezas y debilidades del MERLIN y la problemática, surge la necesidad de renovarlo adecuándolo a la disponibilidad tecnológica contemporánea para lograr una mejor precisión y mayores velocidades de trabajo, conservando sus fortalezas fundamentales y logrando de esta manera un equipo práctico para la realización de los ensayos.

1.2. Delimitación:

El alcance de la presente investigación será el diseño, construcción y prueba de un equipo basado en las especificaciones del MERLIN diseñado en los 80 por el TRRL (en español, Laboratorio Británico de Investigación de Transportes y Caminos) con la finalidad de mejorar sus condiciones de funcionamiento.

1.3. Formulación del problema:

El problema de diseño y construcción de un equipo para analizar la regularidad superficial es el de cumplir con las normas y estandarizaciones dadas por el Banco Mundial y el Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú, por lo cual se ha optado en seguir los lineamientos de funcionamiento y procesamiento de datos del MERLIN por ser el que nos permite un mayor

margen de mejora al hacer un salto generacional de lo analógico a lo digital, optimizando de esta manera sus fortalezas y discriminando sus debilidades.

Según lo expuestos con anterioridad se formula el problema bajo la siguiente interrogante: ¿Cómo construir un equipo basado en el diseño, sistema de funcionamiento y cálculo del MERLIN, que permita evaluar las condiciones de rugosidad (IRI) existente en una carpeta de rodadura de manera eficiente y eficaz?

1.4. Formulación de la Hipótesis

¿La construcción de un perfilómetro digital basado en el funcionamiento del MERLIN mejorará la precisión, velocidad y practicidad al momento de calcular el IRI de una superficie de rodadura en un tramo de vía determinado y cómo se interpretan los resultados obtenidos?

1.5. Objetivos de la investigación

1.5.1. Objetivo general:

Determinar el Índice de Rugosidad Internacional de un tramo de vía a partir del perfilómetro estático digital.

1.5.2. Objetivos Específicos:

- A. Construir un rugosímetro digital que cumpla con los protocolos normativos establecidos según los lineamientos del TRRL.
- B. Diseñar el sistema digital que permita procesar los datos obtenidos de forma que se realice el cálculo del IRI.
- C. Generar un manual de uso simple y conciso del equipo.
- D. Identificar una carpeta asfáltica control con una rugosidad conocida o hallarla con un método de mayor o igual precisión para la verificación de los resultados a obtener mediante el equipo en desarrollo.
- E. Interpretar las mediciones obtenidas a través de un análisis guiado por los lineamientos normativos nacionales.

1.6. Justificación de la investigación:

Los resultados generados en esta investigación dejarán como aporte las directrices necesarias para la construcción de un perfilómetro de precisión basado en el MERLIN que permitirá hallar el IRI de una vía de manera rápida y precisa, de tal manera que sea posible evaluar rápidamente un pavimento y determinar si son o no necesarias medidas correctivas.

1.7. Limitaciones del estudio:

- Limitado acceso a la información de los estudios aplicados a las vías a nivel distrital a través de portales web.
- Identificar una vía control con un I.R.I. conocido para realizar un contraste con los datos obtenidos mediante el equipo en desarrollo en la presente investigación.

2. Marco teórico:

2.1. Antecedentes de la investigación

2.1.1. Local:

“Estudio definitivo de rehabilitación de la carretera Panamericana Norte, tramo: km 557+000 - km 886+600 (vía de evitamiento Trujillo km 557+000 - km 586+600)”.

Este estudio fue realizado para el planteamiento de una obra de inversión pública y como parte de este se levantó un ensayo de determinación del IRI mostrando así el resultado final de las obras de rehabilitación siendo este tramo un punto de referencia clave para la presente investigación como punto de referencia y control para el equipo en desarrollo.

2.1.2. Nacional:

DEL ÁGUILA, P. (1998), en su trabajo “Desarrollo de la Ecuación de Correlación para la Determinación de la Rugosidad de Pavimentos Asfálticos Nuevos, utilizando el equipo MERLIN” presentado en el II Congreso Nacional del Asfalto, Lima, 1998, referencia la introducción del equipo MERLIN en Perú, para mantener el desarrollo relacionado con el avance tecnológico, elaborando y proponiendo la primera especificación técnica para el control de la rugosidad de pavimentos rehabilitados en Junio del mismo año. El primer estudio de rugosidad con un equipo MERLIN en Perú, se efectuó el mes de septiembre de 1993 sobre un pavimento asfáltico en avanzado estado de deterioro y durante el mes de febrero de 1995 se aplicó para el control de la rugosidad de pavimento asfáltico nuevo.

DAVID VIDAL ASENCIOS (2016), En su tesis para optar el Título de Ingeniero Civil, que presenta el bachiller y titula: “Medición y comparación de la rugosidad en pavimentos de la ciudad de Huánuco: mediante Smartphone y un método tradicional”. En el trabajo se hace referencia al uso de la aplicación para Smartphone: “ROADROID”, que permite a través de una ecuación de correlación determinar el IRI de una carpeta de rodadura con la fiabilidad de un

equipo entre las categorías 2 y 3 según la clasificación hecha por el TRRL y sienta un precedente para el uso de nuevas tecnologías en la realidad peruana.

2.1.3. Internacional:

CUNDILL, M. A. (1991), en su Reporte de Investigación N° 301 “The MERLIN (Low-Cost Road Roughness Measuring Machine)” presentado al TRRL (en español, Laboratorio Británico de Investigación de Transportes y Caminos), presenta el desarrollo del rugosímetro MERLIN (Machine for Evaluating Roughness Using Low-cost Instrumentation), en 1990 por la Unidad de Ultramar de dicho laboratorio, basándose en el principio del perfilómetro estático, con el objeto de obtener un equipo de bajo costo, fácil manejo y un método de análisis simple con resultados confiables, que de una manera indirecta estima el IRI de una sección de la vía.

Los Ingenieros URBÁEZ, ERNESTO; CORREDOR, GUSTAVO Y JUGO, AUGUSTO, (2002), en su trabajo “Estimación del Índice de Rugosidad en Vías Recién Pavimentadas a través del Equipo MERLIN”, presentado en el II Simposio Venezolano del Asfalto, señala que realizaron un estudio con la finalidad de evaluar los valores de IRI en distintas vías recién pavimentadas del país, en base al equipo MERLIN, tomando en cuenta obras que corresponden a vías nuevas y rehabilitadas, tanto en carreteras como autopistas.

2.2. **Fundamentación teórica de la investigación:**

2.2.1. Carreteras

Glosario de términos de uso frecuente en proyectos de infraestructura vial (Versión actualizada junio-2013), Camino para el tránsito de vehículos motorizados, de por lo menos dos ejes, con características geométricas definidas de acuerdo a las normas técnicas vigentes en el Ministerio de Transportes y Comunicaciones.

Urdaneta, J. (2002), define carretera a una obra cuya finalidad es la de permitir el tráfico de vehículos en condiciones de continuidad, en el tiempo y en el espacio, bajo ciertos niveles de seguridad y comodidad.

Puede estar constituida por una o varias calzadas, uno o varios sentidos de circulación y uno o varios canales por sentido.

Crespo Villalaz (2004), se puede definir como la adaptación de una faja sobre la superficie terrestre que llene las condiciones de ancho, alineamiento y pendiente para permitir el rodamiento adecuado de los vehículos para los cuales ha sido acondicionada.

Es una estructura de carácter vial, cuyo fin es comunicar dos puntos geográficos permitiendo el tránsito fluido, confortable y seguro de vehículos bajo ciertos parámetros estipulados y regulados por la autoridad del estado y que son diseñadas en base a:

- *Estudios topográficos.*
- *Estudios de Tránsito.*
- *Perfiles del Trazado.*

A su vez estas estructuras se dividen en dos grupos principales con sus correspondientes subdivisiones:

A. Caminos con superficie no pavimentada: Este grupo de caminos está conformado por los siguientes tipos:

- Caminos de tierra: Constituidos por suelo natural y mejorado con grava seleccionada por zarandeo.
- Caminos de grava (lastrados): Constituidos por una capa de revestimiento con material natural pétreo, seleccionados manualmente o por zarandeo de tamaño máximo de 75mm.
- Caminos afirmados: Constituidos por una capa de revestimiento con materiales de cantera, dosificados naturalmente o por medios mecánicos (zarandeo), compuestos por una combinación apropiada de tres tipos de material: piedra, arena y finos o arcilla, siendo el tamaño máximo de 25mm.

- Caminos afirmados con superficie de rodadura estabilizada con materiales industriales: Afirmados con grava tratada con materiales como asfalto, cemento, cal, aditivos químicos y otros. Suelos naturales estabilizados con material granular y finos ligantes, asfalto, cemento, cal, aditivos químicos y otros.

B. Caminos pavimentados: Los caminos identificados como pavimentados están constituidos por una superficie de rodadura del tipo:

- Pavimentos flexibles
- Pavimentos rígidos
- Pavimentos articulados

2.2.2. Pavimentos:

Glosario de términos de uso frecuente en proyectos de infraestructura vial – MTC (Versión actualizada junio-2013), Estructura construida sobre la subrasante de la vía, para resistir y distribuir los esfuerzos originados por los vehículos y mejorar las condiciones de seguridad y comodidad para el tránsito. Por lo general está conformada por las siguientes capas: subbase, base y rodadura.

Manual centroamericano para el diseño de pavimentos (2002), La estructura integral de las capas de subrasante, subbase, base y carpeta colocado encima de la rasante y destinada a sostener las cargas vehiculares.

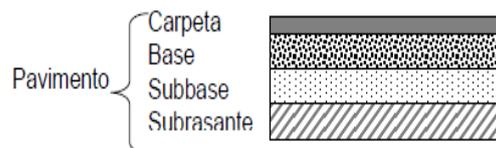


Imagen N° 1-1.- Distribución de las partes de un pavimento.

Fuente: Manual Centroamericano para Diseño de Pavimentos (2002, p. xvii)

La estructura consiste en una o más capas de material tratado, mediante la cual se puede realizar el tránsito de vehículos rápido, seguro y cómodo; ofreciendo una superficie de rodamiento capaz de soportar las cargas de los vehículos, de los agentes de la intemperie y cualquier otro agente perjudicial.

Debe cumplir las siguientes características:

- Ser estable ante los agentes de la intemperie y a las solicitaciones máximas de diseño.
- Presentar una textura superficial adaptada a las velocidades previstas de circulación de los vehículos, por cuanto ella tiene una decisiva influencia en la seguridad vial.
- Debe presentar una regularidad superficial, tanto transversal como longitudinal, que permitan una adecuada comodidad a los usuarios.
- Tener textura apropiada al rodamiento.
- Ser durable.
- Tener condiciones adecuadas en lo referente a permeabilidad y filtración de aguas de tal manera que eviten su deterioro acelerado.
- Debe ser económico

Estos requisitos definen una vía de muy buena calidad que no es posible obtener en forma natural por lo que consigue de modo artificial. Esto se logra mediante una carpeta bituminosa relativamente delgada, de alto costo y alta calidad, pero entre ellas y la terracería se interponen un sistema de varias capas de materiales seleccionados cuya calidad va disminuyendo con la profundidad.

- Tipos de pavimentos:

Según el **Ing. Alfonso Montejo Fonseca. (2002)**, los pavimentos se pueden clasificar según el material del que está confeccionada la carpeta de rodadura, y se dividen en:

- Pavimentos flexibles:

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



Imagen N° 1-2 Vista de un pavimento flexible.

Fuente: Carretera Chiñata – Colomi, Bolivia (2015)

- Pavimentos rígidos:

Son aquellos que fundamentalmente están constituidos por una losa de concreto hidráulico, apoyada sobre la subrasante o sobre una capa, de material seleccionado.



Imagen N° 1-3 Vista de un pavimento rígido.

Fuente: Parque Juan Hermogenes Fernández, Caserío Santa Cruz, Distrito Bellavista, Jaén, Cajamarca

- Pavimentos articulados:

Los pavimentos articulados están compuestos por una capa de rodadura que está elaborada con bloques prefabricados de espesor uniforme e iguales entre sí. Esta suele ir sobre una capa delgada de arena la cual, a su vez, se apoya sobre una capa de base granular o directamente sobre la subrasante, dependiendo de la calidad de ésta y de la magnitud y frecuencia de las cargas que circularan por dicho pavimento.



Imagen N° 1-4 Vista de un pavimento articulado

Fuente: Carretera Condega -San Sebastián de Yalí, departamento de Estelí, Honduras.

2.2.2.1. Fallas en los pavimentos:

Según el **Ing. Alfonso Montejo Fonseca. (2002)**, las fallas en los pavimentos se pueden clasificar las fallas en los pavimentos de la siguiente forma:

2.2.2.1.1. Fallas de superficie:

Comprende los defectos de la superficie de rodamiento debidos a fallas de la capa asfáltica y no guardan relación con la estructura de la calzada. La corrección de estas fallas se efectúa con sólo regularizar la superficie y conferirle la necesaria impermeabilidad y rugosidad. Ello de tratamientos superficiales que no aportan desde el punto de vista estructural en forma directa.



Imagen N° 1-5 Vista de una falla superficial

Fuente: Catálogo de Deterioros en Pavimentos Flexibles (2002, p. 7)

2.2.2.1.2. Fallas estructurales:

Comprende los defectos cuyo origen es una falla en la estructura del pavimento, es decir que una o más de las capas constitutivas que deberían resistir las solicitaciones que impone el tránsito y el conjunto de factores climáticos regionales se ha visto afectada y desconformada generando así depresiones observables en la vía. Se hace pues necesario el diseño de una nueva estructura para afrontar las actuales demandas del medio



Imagen N° 1-6 Vista de una falla estructural.

Fuente: Catálogo de Deterioros en Pavimentos Flexibles (2002, p. 15)

2.2.2.1.3. Causas fundamentales de las fallas en los pavimentos:

Teniendo en cuenta que un pavimento es una estructura con cierta capacidad para absorber la energía elástica potencial y el trabajo de deformación impuesto por cada carga circulante durante su vida útil; retirada la carga, dicha energía es la determinante de la recuperación elástica o cuasi elástica de las deformaciones producidas, la que será tanto más completa cuanto menor relajación de la energía elástica se ha producido durante el tiempo que ha actuado la carga. La falla de la estructura se deriva de dos causas fundamentales:

Si la capacidad mencionada es excedida, más allá del valor que determinan las deformaciones recuperables por elasticidad instantánea y retardada, se desarrollan deformaciones permanentes en cada aplicación de las cargas, las que se acumulan modificando los perfiles de la calzada hasta valores que resultan intolerables para la comodidad, seguridad y rapidez del tránsito y aún pueden provocar el colapso de la estructura.

Si la capacidad mencionada no es excedida pero las deformaciones recuperables son elevadas, los materiales y en particular las capas asfálticas sufren el fenómeno denominado fatiga cuando el número de aplicaciones de las cargas pesadas es elevado, que se traduce en reducción de sus características mecánicas. En este caso la deformación horizontal por tracción en la parte inferior de las capas asfálticas al flexionar la estructura, puede exceder el límite crítico y se llega a la iniciación del proceso de fisuramiento.

2.2.3. Rugosidad:

VIVAR, G. (1998), la rugosidad es una distorsión superficial del pavimento, que consiste de ondulaciones aleatorias, longitudinales o transversales, de frecuencia múltiple, con diferentes longitudes de onda y amplitudes, que se forman durante la construcción o se desarrollan durante la vida de servicio del pavimento.

DEL ÁGUILA, P. (1998), la rugosidad de un pavimento viene a ser el parámetro que relaciona la magnitud y frecuencia de sus irregularidades superficiales o altimétricas, con la comodidad de transitar sobre él.

Glosario de términos de uso frecuente en proyectos de infraestructura vial (2008), parámetro del estado más característico de la condición funcional de la capa de superficie de rodadura de un pavimento. Se expresa mediante el Índice de Rugosidad Internacional (IRI).

Podemos entender como la rugosidad de un pavimento a un parámetro o índice empírico que nos permite conocer el estado funcional de la carpeta asfáltica en función a sus deflexiones superficiales que varían en ondulación, longitud, frecuencia y apertura con respecto al nivel estándar longitudinal de la rasante.

2.2.3.1. Causas posibles de la rugosidad y sus implicaciones:

Las irregularidades en la capa de rodadura de los pavimentos tanto nuevos como existentes se pueden producir por falta de políticas de mantenimiento o errores cometidos durante el procedimiento constructivo de la vía; en la cual no se haya tomado las medidas de control correspondientes, provocando como consecuencia las deformaciones.

VIVAR, G. (1998), existen 10 causas posibles que dan origen a la rugosidad en la etapa de construcción de la vía:

- **Variaciones en la superficie de la base o carpeta asfáltica existente sobre la que se construye la nueva**

capa de desgaste: aunque la pavimentadora pueda colocar una superficie suave, las secciones más gruesas de la carpeta asfáltica se compactarán más, dando como resultado una superficie final desigual y se puede resolver mediante una capa nivelante o un fresado previo.

- **No verificar la superficie asfáltica con la regla inmediatamente después de la compactación inicial** para hacer las correcciones mientras que la superficie asfáltica todavía se encuentra caliente.
- **Paradas y reinicios frecuentes de la pavimentadora:** si no se puede evitar una parada, se debe verificar con una regla antes y después de la compactación.
- **Juntas de construcción de mala calidad:** se deben verificar las juntas con una regla inmediatamente después de su construcción y corregirlas de ser necesario cuando el material está aún caliente.
- **Rastrillado excesivo del material colocado:** la regla de la pavimentadora debe estar ajustada de manera que se haga innecesario el rastrillado. De ser empleado éste último, debe ser de una manera estrictamente suficiente y no exagerada.
- **Rodillado irregular o dejar que el rodillo se detenga sobre el pavimento caliente.**
- **Mezcla no uniforme.**
- **Operaciones impropias de los camiones:** frenos muy duros o el camión golpea a la pavimentadora.
- **Temperatura no uniforme del material:** las cargas frías no se compactan al mismo espesor que las calientes.
- **Ajustes frecuentes a los controles de la regla de la pavimentadora.**

2.2.3.2. Instrumentos de medición de perfil longitudinal o rugosidad:

De acuerdo con la clasificación del Banco Mundial los métodos para la medición de la rugosidad se agrupan en 4 clases ordenadas de manera descendente de acuerdo a su nivel de precisión y fiabilidad:

Clase I:

Son los que utilizan los instrumentos de mayor precisión, para la medida de los datos del perfil. Son aquellos que realizan mediciones cuya distancia entre puntos no es mayor que 250 [mm]. La precisión en las medidas de elevación debe ser de 0.5 [mm] en pavimentos lisos aun cuando se exige mayor precisión en superficies de mayor rugosidad. Entre estos podemos mencionar al método topográfico (mira y nivel), TRRL Beam, perfilómetros estáticos.

Clase II:

Requieren la medición del perfil longitudinal con un intervalo de muestra como máximo de 500 [mm] con una precisión en superficies lisas de 1 [mm].

Clase III:

Corresponden a mediciones hechas con aparatos de tipo respuesta, es decir, puesta en un vehículo acondicionado para ellos, más que medir el perfil miden la respuesta del vehículo al ser excitado por un perfil, las cuales, al depender de la dinámica particular a cada vehículo, se debe hacer una calibración por correlación.

Clase IV:

Se relacionan a índices subjetivos o valorizaciones del usuario y medidas sin calibrar, las cuales tienden a poseer un mayor error humano por la diferencia en los estándares entre los grupos técnicos evaluadores.

2.2.3.3. PERFILÓMETRO ESTÁTICO O RUGOSIMETRO MERLIN:

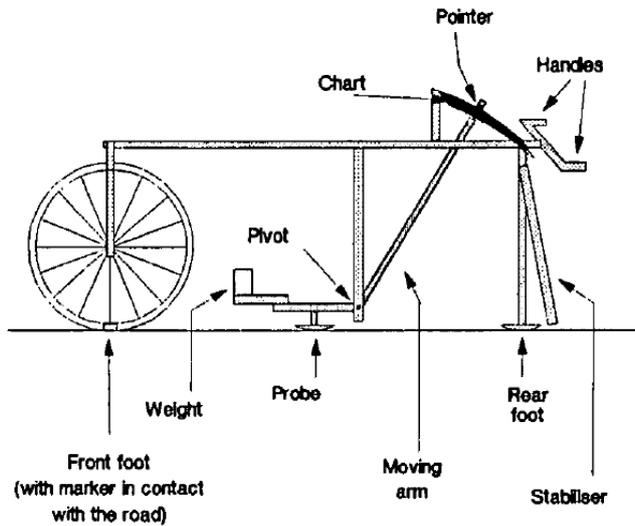


Imagen N° 1-7 Diagrama del MERLIN y sus partes.

Fuente: The MERLIN Low-cost Road Roughness Measuring Machine (1991, p. 3)

DEL ÁGUILA, P. (1998), lo define como un instrumento versátil, sencillo y económico, desarrollado por el Laboratorio Británico de Investigación de Transporte y Caminos en el año 1990, con particular intención para su uso en países en vías de desarrollo.

El MERLIN, denominación abreviada proveniente del inglés **M**achine for **E**valuating **R**oughness using **L**ow-cost **I**nstrumentation, es un equipo utilizado para la medición de la rugosidad de los pavimentos, desarrollado durante la década de los 80 y dado a conocer en 1990 por la unidad de ultramar del Laboratorio Británico de Investigación de Transportes y Caminos (TRRL). El MERLIN es un equipo de tecnología intermedia que fue diseñado para ser difundido en los países en vías de desarrollo, por las ventajas de su bajo costo de fabricación y por la gran exactitud de los resultados que proporciona.

La introducción del MERLIN en el Perú se produjo en el año 1993, por el Ing. Pablo del Águila Rodríguez, en el marco del primer programa de rehabilitación de carreteras financiado por el Banco Interamericano de Desarrollo (BID).

Su diseño no es muy complejo, consta esencialmente de un bastidor metálico de 1,80 m de longitud formado por 2 elementos verticales y 1 horizontal. Para facilidad de desplazamiento uno de los elementos verticales, es una rueda de bicicleta en la parte delantera mientras que el otro elemento tiene un pie de apoyo para estabilizar el equipo sobre el suelo en la parte posterior. El elemento horizontal, en la parte central se proyecta hacia abajo sin dejar llegar al piso, en cuyo extremo inferior pivotea un brazo móvil. El extremo inferior del brazo móvil, está en contacto directo con el piso, mediante el patín empernado ajustable, que se deja descansar sobre la superficie del pavimento y sirve para medir la diferencia de nivel entre la línea imaginaria que une la rueda de bicicleta con el apoyo posterior, mientras que en el extremo superior termina en un puntero que se desliza sobre el borde de un tablero, de acuerdo a la posición que adopte el extremo inferior al entrar en contacto con el pavimento.

Además, posee 2 manijas que permite levantar y movilizar el equipo, en forma similar a una carretilla. La Relación de Brazo (RB) entre los segmentos pivote-extremo inferior y pivote-puntero es de 1 a 10, de tal manera que un movimiento vertical del extremo inferior de 1mm producirá un movimiento del puntero. El formato usado para registrar el movimiento del puntero consiste en una escala gráfica con 50 divisiones, de 5 mm.

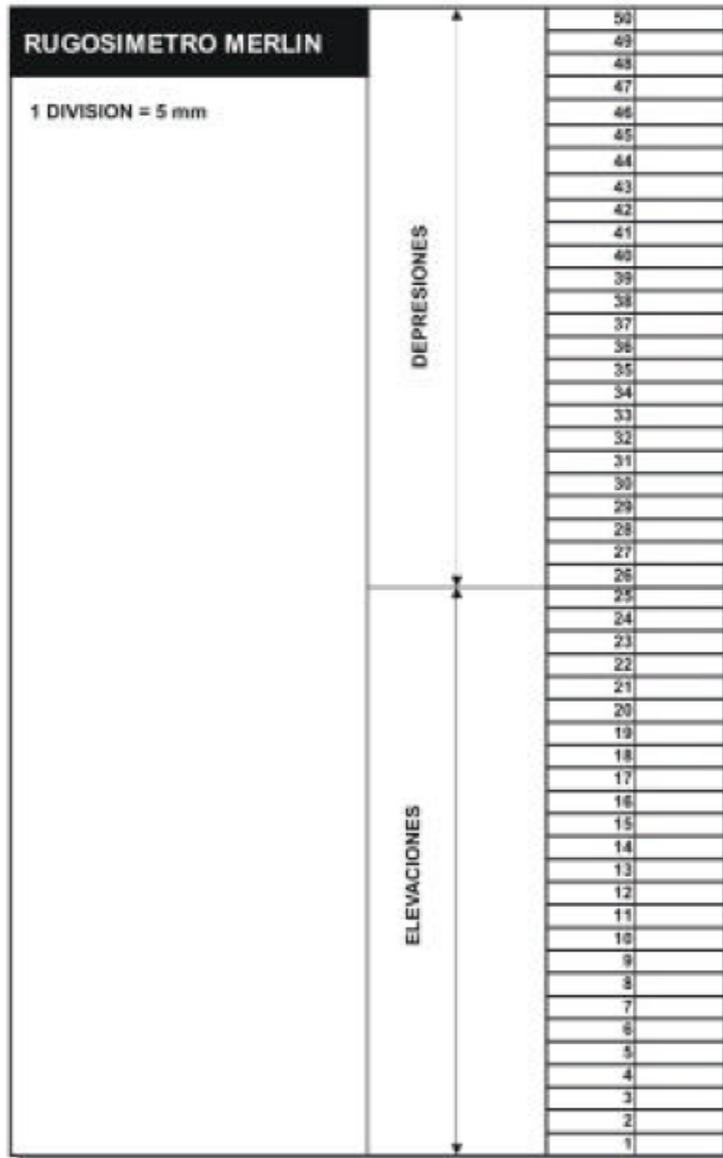


Imagen N° 1-8. Escala para determinar la dispersión de las desviaciones de la superficie del pavimento respecto al nivel de referencia.

Fuente: The MERLIN Low-cost Road Roughness Measuring Machine (1991, p. 4).

2.2.3.3.1. Principio de operación del MERLIN

DEL ÁGUILA, P. (1998). La premisa básica en la operación de MERLIN, es asumir que existe un perfil de pavimento ideal, para el cual la rugosidad es cero (Según lo representado en la imagen N°1-9), al que para efectos prácticos se adopta igual a una línea recta que pasa por 2 puntos ubicados a una distancia constante. Las diferencias que presentan la superficie de los pavimentos reales con respecto a la línea del perfil ideal, es a consecuencia de las cargas y del efecto abrasivo del tráfico, así como también por limitaciones constructivas. En la medida que las diferencias sean menores, más se acercará el a la condición ideal; de esta manera, su rugosidad tenderá a cero y será caso contrario si las diferencias son apreciables. El MERLIN permite establecer las diferencias entre los perfiles del pavimento real e ideal, para lo que se efectúa un número fijo de mediciones sucesivas, a lo largo de un tramo de longitud conocida, con las cuales se determina una distribución de frecuencias cuyo ancho “D”, calculado luego de efectuar una depuración de un 10% de datos, es el indicador de la rugosidad del tramo evaluado.

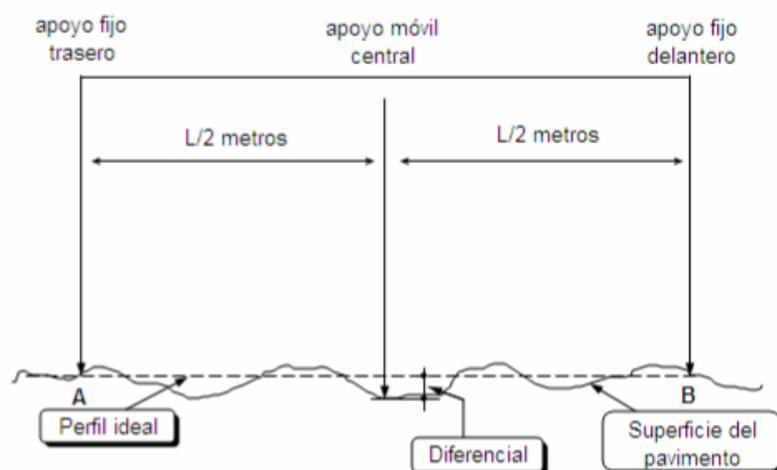


Imagen N°1-9. Principio de funcionamiento MERLIN.

Fuente: Metodología para la determinación de la rugosidad de los pavimentos con equipo de bajo costo y gran precisión (1999, p. 2).

2.2.3.3.2. **Desarrollo de un ensayo usando el MERLIN**

Para la ejecución de los ensayos se requieren 2 personas, que trabajen 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, en la vía que se estudiará.

Para medir la rugosidad sobre un pavimento mediante el cálculo gráfico, se efectúan 200 observaciones a intervalos regulares, generalmente cada 2 m., que representa aproximadamente una vuelta de la rueda. En cada observación el instrumento descansa sobre el camino, con la rueda, el apoyo fijo trasero y el estabilizador para ensayos. La precisión que adopta el puntero se registra en una lectura acumulativamente entre 1 y 50 mediante una cruz (+) o equis (x), en la fila y columna apropiada.

Para mantener una cuenta del número de observaciones hechas, también se registra una marca o señal sobre el cuadrículo inferior izquierdo del formato, formado por 200 cuadrados como se puede observar en la siguiente imagen:

**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 : AFIRMADO <input type="checkbox"/> BASE GRANULAR <input type="checkbox"/> BASE IMPRIMADA <input type="checkbox"/> TRAT. SICAPA <input type="checkbox"/> CARPETA EN FRIO <input type="checkbox"/> CARP. EN CALIENTE <input type="checkbox"/> RECAPEO ASFALTICO <input type="checkbox"/> SELLO <input type="checkbox"/> OTROS <input type="checkbox"/>
2											
3											
4											
5											
6											
7											
8											
9											
10											
11											
12											
13											
14											
15											
16											
17											
18											
19											
20											

OBSERVACIONES : _____

Imagen N°1-10. Formato de recolección de datos para el ensayo.
Fuente: Metodología para la determinación de la rugosidad de los pavimentos con equipo de bajo costo y gran precisión (1999, p. 8).

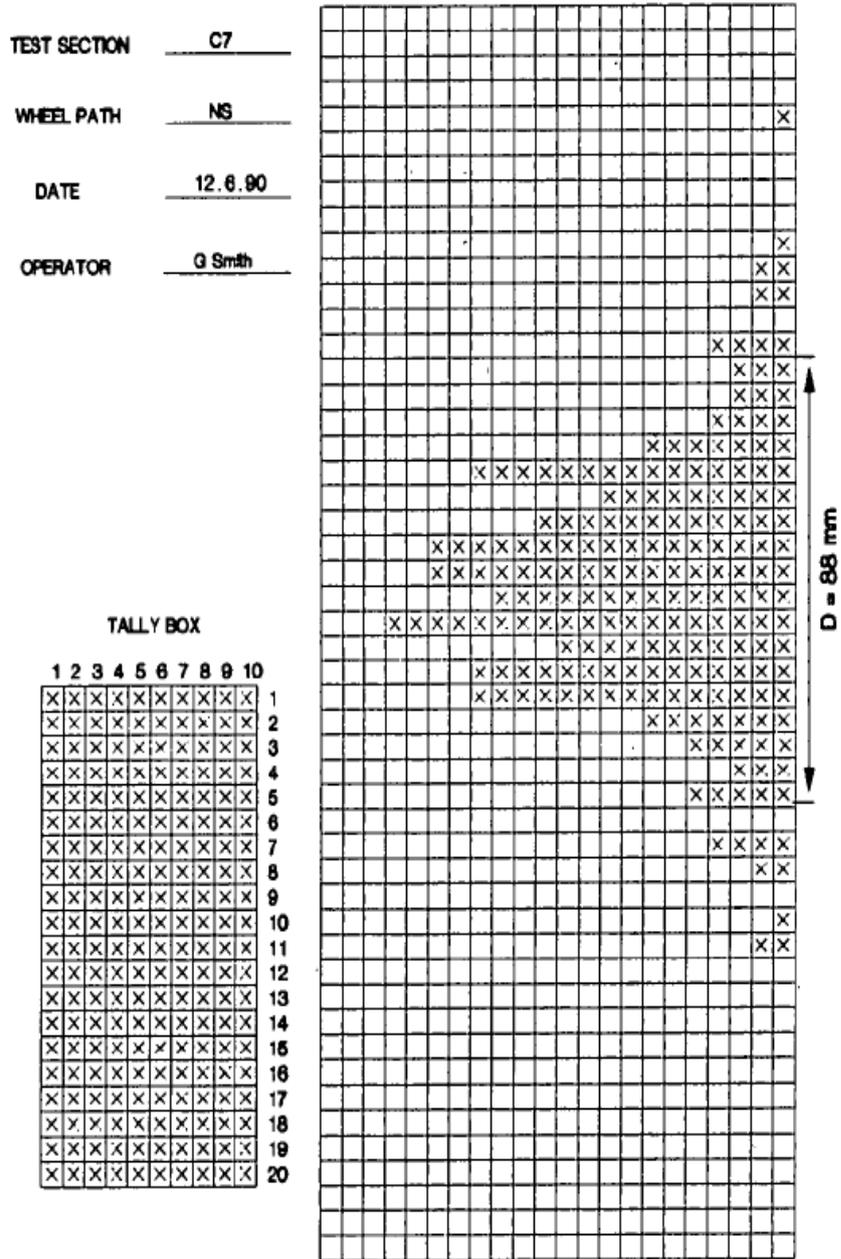


Imagen N° 1-11. Cartilla de procesamiento grafico de datos del MERLIN.
Fuente: The MERLIN Low-cost Road Roughness Measuring Machine
 (1991, p. 4).

Una vez registrada la observación se toma el instrumento por las manijas, elevándolo y desplazándolo la distancia constante, seleccionada para usarse entre un ensayo y otro (que sería una vuelta de la rueda), y así sucesivamente hasta culminar el tramo seleccionado. El espacio 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 coloca una señal permanente en la rueda, que debe quedar siempre en contacto con el piso. Para la generación de los 200 datos que se requieren, se emplea una escala arbitraria de 50 unidades colocada sobre el tablero del rugosímetro, la que sirve para registrar las 200 posiciones que adopte 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 tablero coincide con la línea promedio. En la medida que las diversas posiciones que adopte el puntero coincidan con la división N° 25 o con alguna cercanía, ocasionando una dispersión baja, el ensayo demostrará que el pavimento tiene un perfil igual o cercano a una línea recta, obteniendo como resultado una rugosidad baja.

Por el contrario, si el puntero adopta repetitivamente posiciones alejadas a la posición N° 25, resultando una dispersión alta, se demostrará que el pavimento tiene un perfil con múltiples inflexiones, es decir, tiene una rugosidad elevada.

Cuando se han completado las 200 observaciones, se remueve el formato, en el cual se habrá generado un histograma. Paso seguido se descartan un 10% de los valores menos representativos obtenidos, es decir, 10 datos de cada una de las colas del histograma, considerando la posición proporcional entre la décima y undécima marca, contando el número de cruces en cada uno de los extremos, se determina el ancho del histograma “D”, siendo éste el valor de la rugosidad en la escala del MERLIN y se expresa en milímetros (mm).

2.2.3.3.3. Proceso de cálculo de la rugosidad a partir de los datos del MERLIN

Se hace uso de los datos anteriormente recolectados expresados en milímetros (mm), en una unidad propia denominada con la letra “D”. Para transformarla en unidades IRI, se hace uso de las ecuaciones de correlación establecidas que se denotan de la siguiente manera:

$$IRI= 0,0485 * D, \text{ cuando } D < 42 \text{ mm}$$

$$IRI= 0,593+0,0471 * D, \text{ cuando } 42 \text{ mm} < D < 312 \text{ mm}$$

Donde:

IRI: Rugosidad en unidades internacionales, en m. /km.

D: Rugosidad del MERLIN, en mm.

Por el método de medición que utiliza el MERLIN, habiendo sido diseñado este equipo como una variación de un Perfilómetro estático, y debido a la gran exactitud de sus resultados califica como un método de Clase 1. De hecho, por su gran exactitud, solo es superado por el Método Topográfico “Mira y Nivel”, algunos fabricantes de equipos tipo respuesta como el “Bump Integrator” lo recomiendan para la calibración de sus rugosímetros.

2.2.4. Normatividad peruana respecto a la rugosidad:

Según el Manual de Carreteras, Especificaciones Técnicas Generales para la Construcción (EG-2013) del Ministerio de Transportes y Comunicaciones en la página 519 define el parámetro de rugosidad para carpetas de rodadura terminadas:

“Se entenderá que la superficie del pavimento tiene una rugosidad aceptable, si el promedio por km o fracción tienen un valor de IRI igual o inferior a 2,5 m/km, salvo que la especificación particular establezca un límite diferente.”

Así también este dicta en la página 588 que para la medición de rugosidad se seguirá lo especificado en la Subsección 423.18(g) (5), cito:

“...Para la determinación de la rugosidad podrán utilizarse métodos topográficos, rugosímetros, perfilómetros tipo de alto rendimiento u otro método debidamente aprobado por el Supervisor.

La medición de la rugosidad sobre la superficie de rodadura terminada, deberá efectuarse en toda su longitud y debe involucrar ambas huellas por tramos reestablecidos o aprobados por el Supervisor, en los cuales las obras estén concluidas, registrando mediciones en secciones cada 100 m. La rugosidad, en términos IRI, tendrá un valor máximo de 2,0 m/km.”

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Material:

3.1.1. Población:

Las superficies de vía pavimentadas con cualquier tipo de asfalto.

3.1.2. Muestra:

Muestreo no probabilístico: Intencional u opinático.

La población seleccionada para la presente investigación es el tramo de vía asfaltada en caliente ubicada en la Vía de evitamiento Trujillo entre las progresivas 557+000 y 558+000.

3.1.3. Unidad de análisis:

La regularidad superficial de una carpeta asfáltica.

3.2. Métodos

3.2.1. Nivel de investigación

Exploratoria:

Pues se efectúa sobre un equipo nuevo que dilucida una nueva perspectiva con respecto a la medición de la regularidad asfáltica de una superficie de rodadura.

3.2.2. Diseño de investigación

De campo:

La recolección de datos ocurrirá a través de un equipo de diseño y construcción propia en un tramo de vía con una carga de uso diaria y de gran importancia pues es uno de los accesos principales tanto de personas como de mercancías a nuestra ciudad.

La metodología tomada para validar la hipótesis de esta investigación es la siguiente:

- Determinar las características fundamentales y el método de procesamiento usado por el MERLIN.
- Diseñar el equipo y el sistema digital que permita procesar los datos obtenidos de forma que se realice el cálculo del IRI.
- Construir un equipo basado en el MERLIN, pero con mejores prestaciones.
- Identificar una carpeta asfáltica control con una rugosidad conocida o hallarla con un método de mayor o igual precisión para la verificación de los resultados a obtener mediante el equipo en desarrollo.
- Usar el equipo construido para tomar los datos necesarios para efectos del cálculo del tramo de vía muestra y obtener una medición real.
- Interpretar las mediciones obtenidas y determinar el IRI de la muestra.
- Verificar los datos obtenidos con los datos control para corroborar su veracidad y su exactitud.

3.2.3. Variable de estudio y operacionalización:

Variable independiente (V1): Rugosímetro Digital

Variable dependiente (V2): Regularidad superficial

Tabla N° 1. Variables de estudio y operacionalización.

VARIABLE	INDICADORES	UNIDAD DE MEDIDA	INSTRUMENTO DE INVESTIGACIÓN
Rugosímetro digital	Operatividad del equipo construido	Cuantitativa	Entregable de ejecución de diseño
Regularidad superficial	Índice de Rugosidad Internacional	Cualitativa	Rugosímetro de precisión digital

3.2.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

3.2.4.1. Diseño de perfilómetro de precisión digital

A. Requerimientos del equipo electrónico

La alta confiabilidad de su predecesor y el entendimiento de su funcionamiento nos permitieron identificar los siguientes parámetros que deberán ser cumplidos en el desarrollo del equipo:

- Fiabilidad y una precisión igual o mayor al equipo modelo para minimizar la posibilidad de lecturas erróneas.
- Facilidad en la operación del mismo al momento de realizar el ensayo.
- Mostrar en pantalla la longitud de tramo recorrido y evaluado, la cantidad de mediciones tomadas y la última medición tomada en U.M. (Unidades MERLIN).
- Poseer un indicador de toma de datos en pantalla y/o lumínico.
- Poseer un software que a través una conexión serial permita interpretar y evaluar los datos exportados por el equipo y emita un reporte con los datos tomados, las variables comprometidas y su resultado I.R.I.
- Almacenamiento seguro y confiable de datos en la memoria del equipo.
- Resistir el medio cotidiano de uso.

B. Planteamiento de solución

Para satisfacer o superar lo demandado por los requerimientos previamente identificados se han

seleccionado los siguientes componentes para garantizar su correcto funcionamiento:

- Microcontrolador:

Arduino Due R3 es una tarjeta de desarrollo que utiliza el microcontrolador de 32 bits. La tarjeta contiene todo lo necesario para el funcionamiento del microcontrolador; basta conectarlo al puerto USB o alimentarlo con una fuente de voltaje para empezar a usarlo. Además, esta herramienta brinda facilidades al contar con librerías con programas preparados para la amplia gama de herramientas con las que puede interactuar, simplificando el proceso de programación.



Imagen N° 2-1. Vista de microcontrolador.

Fuente: Elaboración Propia.

Especificaciones técnicas:

Tabla N° 2. Especificaciones técnicas del microcontrolador.

Microcontrolador	AT91SAM3X8E
Voltaje de Operación	3.3V
Voltaje de alimentación (límites)	6-16V
Pines digitales I/O	54
Entradas analógicas	12
Memoria flash	512 KB compartida
SRAM	96 KB
Velocidad de reloj	84 MHz
Alto	101.52 mm
Ancho	53.3 mm
Peso	36 g

- Sistema de visualización de datos:

Para esta función se procedió a seleccionar un Shield LCD (denominación que reciben las herramientas diseñadas para trabajar con placas Arduino), y entre ella se seleccionó el modelo: SHD-LCD. Esta Shield trabaja con la librería: “liquidcrystal” que viene incluida por defecto en el IDE (Integrated Development Environment o en español: Entorno de Desarrollo Integrado) de Arduino.



Imagen N° 2-2. Vista de Shield LCD.

Fuente: Elaboración propia.

Especificaciones técnicas:

Tabla N° 3. Especificaciones técnicas Shield LCD.

Shield LCD	SHD - LCD
Voltaje de Operación	5V
Numero de pulsadores	5 (Arriba, abajo, izquierda, derecha, seleccionar y Reset.
Regulador de contraste	Tipo potenciómetro
Expansión de pines	Expansión de pines analógicos
Alto	75 mm
Ancho	58 mm

- Para el cálculo de la distancia recorrida:

Se seleccionó para esta tarea al encoder incremental rotativo modelo MOD-ENCODER este genera pulsos que codifican la rotación, ya sea en ciclo horario o anti-horario, con 20 pulsos por ciclo. A diferencia de un potenciómetro, este encoder no posee topes mecánicos, por lo que puede girar libremente.



Imagen N° 2-3. Vista módulo encoder.

Fuente: Elaboración propia.

Especificaciones técnicas:

Tabla N° 4. Especificaciones técnicas módulo encoder.

Módulo Encoder	MOD-ENCODER
Voltaje de Operación	5V
Pulsos por revolución	20
Alto	30 mm
Ancho	20 mm
Grosor	30 mm

- Para el censado de la variable IRI:

El sensor US-016 es un sensor de distancia de bajo costo que utiliza ultrasonido para determinar la distancia de un objeto en un rango de 2 a 300 cm. El sensor está integrado por dos transductores: un emisor

y un receptor piezoeléctricos, además de la electrónica necesaria para su operación.

El funcionamiento del sensor es el siguiente: el emisor piezoeléctrico emite 8 pulsos de ultrasonido (40KHz) luego de recibir la orden, las ondas de sonido viajan en el aire y rebotan al encontrar un objeto, el sonido de rebote es detectado por el receptor piezoeléctrico, luego envía una indicación en voltaje igual al tiempo que demoró la onda desde que fue emitida hasta que fue detectada, el tiempo del pulso es medido por el microcontrolador y así se puede calcular la distancia al objeto

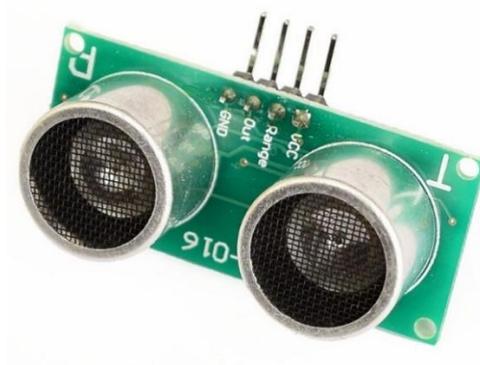


Imagen N° 2-4. Vista modulo ultrasonido.

Fuente: Elaboración propia.

Especificaciones técnicas:

Tabla N° 5. Especificaciones técnicas módulo encoder.

Sensor ultrasonido US-016	Modelo: SEN-US016
Voltaje de Operación	5V DC
Salida analógica	0 – 5 V
Corriente de trabajo	3.8 mA
Distancia de medición	2 cm a 300 cm
Precisión	0.03cm + 1%
Frecuencia de ultrasonido	40 KHz
Angulo de apertura	15°
Tiempo de espera entre medida	50 ms
Alto	45 mm
Ancho	15 mm
Grosor	20 mm

- Conexión de un pulsador RESET (a la placa Arduino Due)

Los pulsadores junto con los Leds son la forma más sencilla de interactuar con un sistema digital (microcontrolador).



Imagen N° 2-5. Vista pulsador simple.

Fuente: Elaboración propia.

C. Lista de componentes en el perfilómetro y sus precios:

Tabla N° 6. Costos de materiales para construcción de rugosímetro digital.

N°	COMPONENTE	DESCRIPCIÓN	PRECIO
1	Microcontrolador Arduino Due R3	Tarjeta madre y procesador, encargados de procesar el programa.	S/. 90.00
2	Pantalla SHD-LCD	Para la visualización de datos y progreso.	S/. 20.00
3	Ultrasonido US-016	Para censar la desviación de la carpeta.	S/. 18.00
4	MOD-ENCODER	Para el cálculo de la distancia recorrida	S/. 10.00
5	Cable UTP Clase 6	Para la conexión de la pantalla al microcontrolador.	S/. 4.00
6	CABLE MELLIZO 18AWG (5m)	Para la conexión de distintos elementos del equipo	S/. 6.40
7	Soldadura de estaño	Para consolidar las uniones y traslapes electrónicos	S/. 1.20
8	Cable Dupont M-M	Cable macho-macho para realizar las conexiones	S/. 5.00
9	Borneras x 12	Para realizar el traslape entre cables	S/. 6.00
10	Estructura metálica	Contrato a todo costo por la estructura del equipo	S/. 450.00
11	Plancha de Triplay 6 mm	Para las coberturas del equipo	S/. 37.60
12	Asistencia tecnica	Colaboración de Ing. Electrónico en el desarrollo del equipo	S/. 300.00
	TOTAL		S/. 948.20

D. Diagrama de bloques del equipo electrónico desarrollado

Para ejemplificar el funcionamiento del equipo se presenta el siguiente esquema:

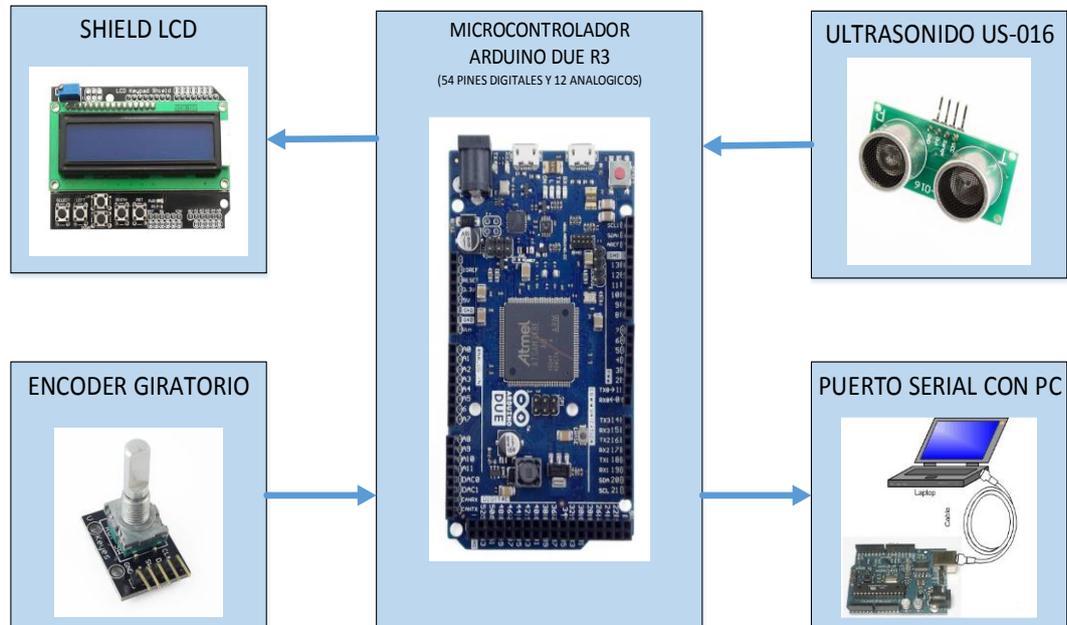


Imagen N° 2-6. Diagrama de bloques de funcionamiento.

Fuente: Elaboración propia.

Dado que se tiene el análisis por bloques, todos los bloques están conectados al microcontrolador, haciendo una función específica del analizador de rugosidad, denotamos que físicamente es una tarjeta electrónica compacta diseñada para que funcione correctamente tal como se mostrará en el siguiente punto

E. Distribución y conexión del microcontrolador

Para la integración de los sistemas envueltos en el proceso del cálculo del IRI se han distribuido las conexiones al microcontrolador de la siguiente manera:

Tabla N° 7. Mapeo de conexiones de pines de microcontrolador.

PIN	PUERTO	CONEXIÓN	DESCRIPCIÓN
0	RX0	Sin conexión	
1	TX0	Sin conexión	
2	Digital Pin 2	Encoder – Canal A	Canal A de señal de encoder.
3	Digital Pin 3	Encoder – Canal B	Canal B de señal de encoder.
4	Digital Pin 4	LCD – Línea de datos	Línea de transmisión de datos para mostrar en pantalla LCD.
5	Digital Pin 5	LCD – Línea de datos	Línea de transmisión de datos para mostrar en pantalla LCD.
6	Digital Pin 6	LCD – Línea de datos	Línea de transmisión de datos para mostrar en pantalla LCD.
7	Digital Pin 7	LCD – Línea de datos	Línea de transmisión de datos para mostrar en pantalla LCD.
8	Digital Pin 8	LCD – pin RS	Pin de reinicio de pantalla LCD.
9	Digital Pin 9	LCD – pin Enable	Pin habilitador de pantalla LCD.
10	Digital Pin 10	Sin conexión	
11	Digital Pin 11	Sin conexión	
12	Digital Pin 12	Sin conexión	
13	Digital Pin 13 / Amber LED "L"	Sin conexión	
14	TX3	Sin conexión	
15	RX3	Sin conexión	
16	TX2	Sin conexión	
17	RX2	Sin conexión	
18	TX1	Sin conexión	
19	RX1	Sin conexión	
20	SDA	Sin conexión	
21	SCL	Sin conexión	
22	Digital Pin 22	Sin conexión	
23	Digital Pin 23	Sin conexión	
24	Digital Pin 24	Sin conexión	
25	Digital Pin 25	Sin conexión	
26	Digital pin 26	Sin conexión	
27	Digital Pin 27	Sin conexión	
28	Digital Pin 28	Sin conexión	
29	Digital Pin 29	Sin conexión	
30	Digital Pin 30	Sin conexión	
31	Digital Pin 31	Sin conexión	
32	Digital Pin 32	Sin conexión	
33	Digital Pin 33	Sin conexión	
34	Digital Pin 34	Sin conexión	
35	Digital Pin 35	Sin conexión	

36	Digital Pin 36	Sin conexión	
37	Digital Pin 37	Sin conexión	
38	Digital Pin 38	Sin conexión	
39	Digital Pin 39	Sin conexión	
40	Digital Pin 40	Sin conexión	
41	Digital Pin 41	Sin conexión	
42	Digital Pin 42	Sin conexión	
43	Digital Pin 43	Sin conexión	
44	Digital Pin 44	Sin conexión	
45	Digital Pin 45	Sin conexión	
46	Digital Pin 46	Sin conexión	
47	Digital Pin 47	Sin conexión	
48	Digital Pin 48	Sin conexión	
49	Digital Pin 49	Sin conexión	
50	Digital Pin 50	Sin conexión	
51	Digital Pin 51	Sin conexión	
52	Digital Pin 52	Sin conexión	
53	Digital Pin 53	Sin conexión	
54	Analog In 0	Sin conexión	
55	Analog In 1	US-016 - OUT	Lectura de valor analógico de sensor ultrasónico para medir distancia.
56	Analog In 2	Sin conexión	
57	Analog In 3	Sin conexión	
58	Analog In 4	Sin conexión	
59	Analog In 5	Sin conexión	
60	Analog In 6	Sin conexión	
61	Analog In 7	Sin conexión	
62	Analog In 8	Sin conexión	
63	Analog In 9	Sin conexión	
64	Analog In 10	Sin conexión	
65	Analog In 11	Sin conexión	

3.2.4.2. Construcción e integración del equipo

- Materiales de trabajo



Imagen N° 3-1. Componentes electrónicos de trabajo.

Fuente: Elaboración propia.

- Microcontrolador Arduino Due R3
- Pantalla SHD-LCD
- Ultrasonido US-016
- MOD-ENCODER
- Cable Dupont M-M

- Integración del sistema electrónico del rugosímetro

Prueba independiente de los componentes:

- Prueba de la pantalla para visualización:

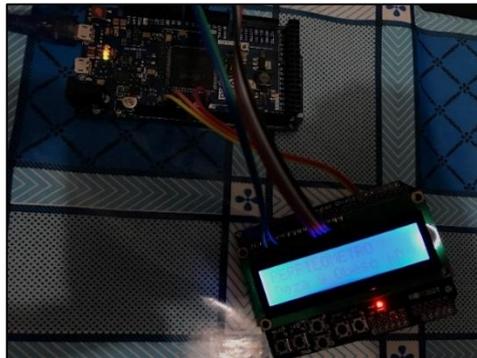


Imagen N° 3-2. Prueba de funcionamiento Shield LCD.

Fuente: Elaboración propia.

- Prueba de sensor ultrasonido para cálculo de longitud:

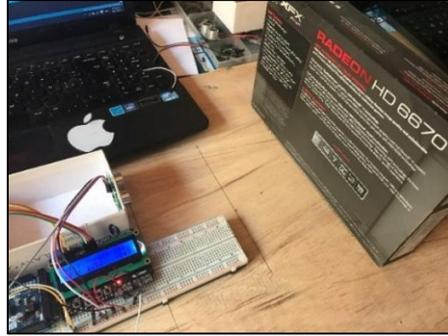


Imagen N° 3-3. Prueba de sensor ultrasonido.

Elaboración: Fuente propia.

- Prueba de encoder para cálculo de distancia:

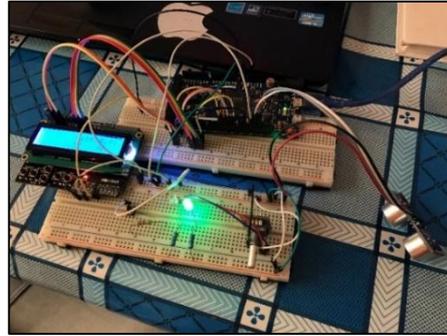


Imagen N° 3-4. Prueba de módulo encoder.

Fuente: Elaboración propia.

- Integración final del hardware electrónico:
 - Por la particular disposición de los pines de conexión fue necesario soldar cables de conexión entre la pantalla LCD y las borlas.

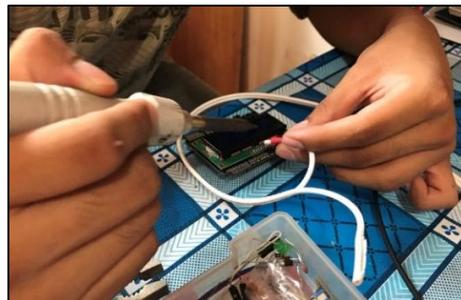


Imagen N° 3-5. Soldado conexiones a Shield LCD.

Fuente: Elaboración propia.



Imagen N° 3-6. Shield LCD con conexiones ya realizadas.

Fuente: Elaboración propia.

- Se identificaron los cables con etiquetas para su facilitar su ensamble o posterior desensamble

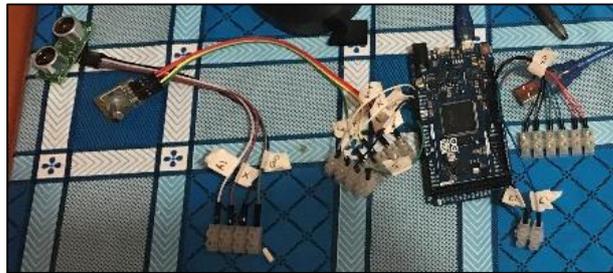


Imagen N° 3-7. Identificación de puntos de conexión de cables.

Fuente: Elaboración propia.

- Se montó la tarjeta de adquisición de datos y se sujetaron los cables de conexión a la estructura mixta de triplay y metal a través de tornillos, canaletas y borlas para el traslape



Imagen N° 3-8. Microcontrolador conectado sobre soporte.

Fuente: Elaboración propia.

- Se colocó el MOD-ENCODER adosado a una de las llantas de la estructura con un sistema metálico que le permita registrar los giros de esta y así calcular la distancia de desplazamiento.



Imagen N° 3-9. Módulo encoder adosado a llanta del equipo.

Fuente: Elaboración propia.

- Fijación del perpendicular del módulo ultrasonido US-016 para asegurar la medición correcta respecto a la cuerda imaginaria.



Imagen N° 3-10. Módulo ultrasonido adosado al perfil de acero que representa el brazo imaginario.

Fuente: Elaboración propia.

- **Fabricación y armado de la estructura de soporte:**

La función principal de la estructura, es servir de soporte para cada una de los sistemas manteniendo las principales relaciones geométricas con respecto al diseño del MERLIN, siendo su principal componente la extensión de la cuerda ideal sobre la cual se realiza la medición de la desviación.

Para su rápida confección y correcto ensamblaje concertó una estructura de simple manufactura que fue encargada a un maestro

fierrero para cumplir con nuestras exigencias siguiendo un proceso de construcción por etapas con observaciones y aprobación.

Y su construcción responde al siguiente diseño realizado en AutoCAD 3D:

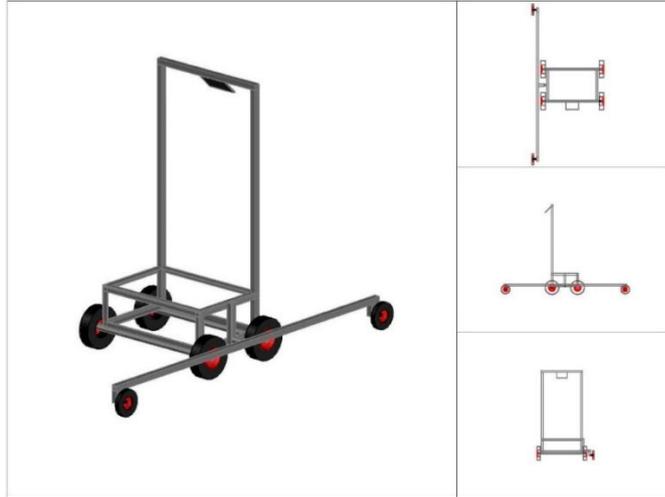


Imagen N° 3-11. Diseño 3D de la estructura de soporte del equipo.

Fuente: Elaboración propia.

El material usado fue el acero estructural ASTM A36 y los perfiles usados los siguientes: Angulo de 1''x1''x3/16'', Tubo cuadrado de 1''x1''x3/16'', una platina e=3/16'', 2 ejes de rodamiento prefabricados de 1'', 4 llantas de 8'' para el marco principal y 2 llantas de 5'' para soportar el brazo que desarrolla la función de perfil ideal, todos unidos con soldadura estructural Cellcord.

Luego sobre el marco metálico construido se colocaran planchas de triplay que cumplirán la función de soporte del hardware del equipo así como protección para los mismos.

- Ensamblado de marco principal y prueba de rodamiento:



Imagen N° 3-12. Ensamblado de marco metálico.

Fuente: Elaboración propia.



Imagen N° 3-13. Prueba de rodamiento de eje.

Fuente: Elaboración propia.

- Soldadura del brazo que cumple la función de proyectar el perfil perfectamente liso de manera que pudiese desplazarse verticalmente entre los apoyos extremos para proyectar una paralela imaginaria y realizar la medición de la desviación.



Imagen N° 3-14. Soldadura de brazo adosado.

Fuente: Elaboración propia.



Imagen N° 3-15. Comprobación de perpendicularidad del brazo.

Fuente: Elaboración propia.



Imagen N° 3-16. Comprobación de perpendicularidad del brazo.

Fuente: Elaboración propia.

- Luego se adhirieron planchas de triplay de 6mm cortadas a medida para cubrir las caras abiertas en la estructura metálica para conformar el soporte a los elementos electrónicos y se montaron sobre este para finalizar el ensamblado.



Imagen N° 3-17. Colocación de soporte de triplay sobre estructura.

Fuente: Elaboración propia.

3.2.5. Técnicas de procesamiento de datos

3.2.5.1. Diseño del software del sistema

- Programa de adquisición de datos para Arduino:

- Diagrama de flujo:

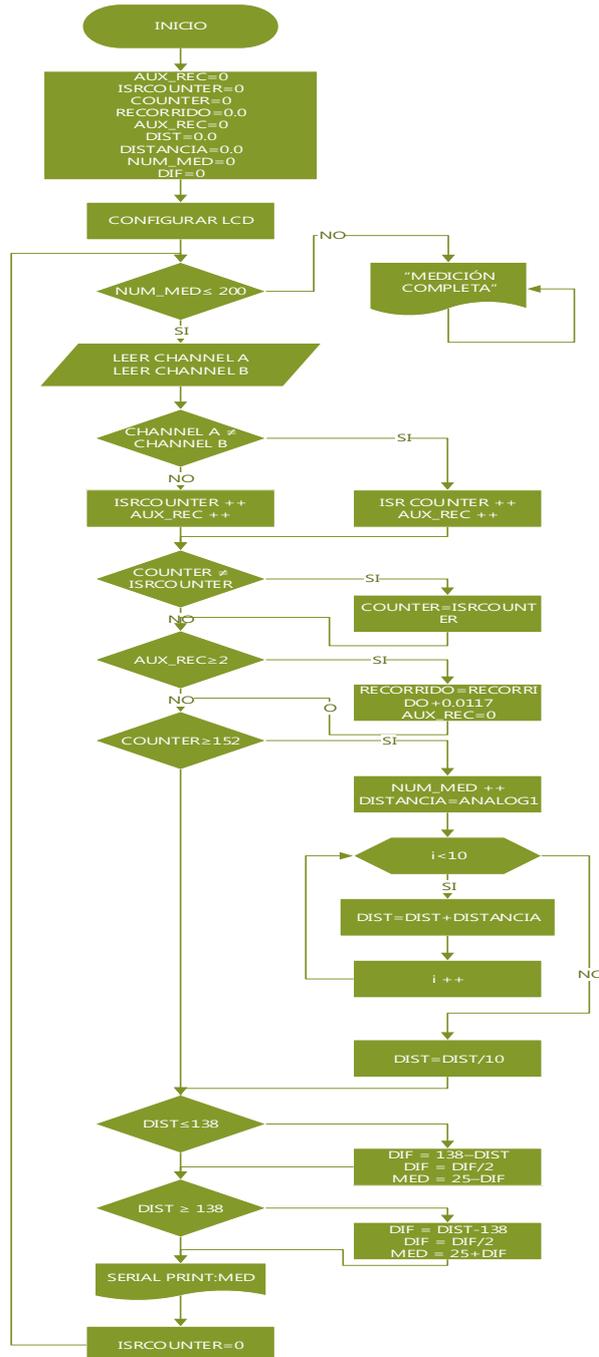


Grafico N° 1. Diagrama de flujo del programa de adquisición de datos.

El programa Arduino desarrollado en su entorno de desarrollo cumple la función de calcular la distancia recorrida en función al giro de su rueda y una vez recorrida necesaria (dos metros) y entonces tomar la desviación de la carpeta con respecto al perfil ideal expresado en unidades IRI y enviar estos datos a través de su conexión serial al computador para su posterior procesado.

- Programa de procesamiento de datos para computadora:

- Diagrama de flujo:

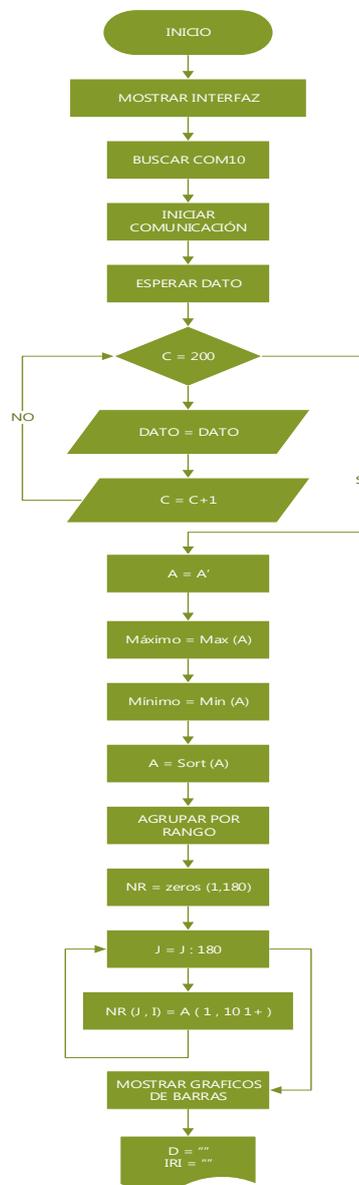


Grafico N° 2. Diagrama de flujo del programa de procesamiento de datos.

El programa desarrollado en Matlab recibe los datos a través de la conexión serial enviados por el Arduino y llena una base de datos con estos, a su vez grafica en un plano cartesiano las mediciones tomadas para mostrarnos de manera escalada el perfil de la vía para hacer apreciables las deformaciones y una vez culminada la toma de datos, este procede a calcular el IRI del tramo de vía y mostrarlo en pantalla.

Tenemos presente el diseño del entorno visual del programa, el cual debe presentar los datos adquiridos, el indicador de recepción de datos, los procesos como conexión con el Arduino, el cálculo del IRI y la finalización del mismo. A continuación, se detalla cada una de las partes del programa realizado en la computadora:

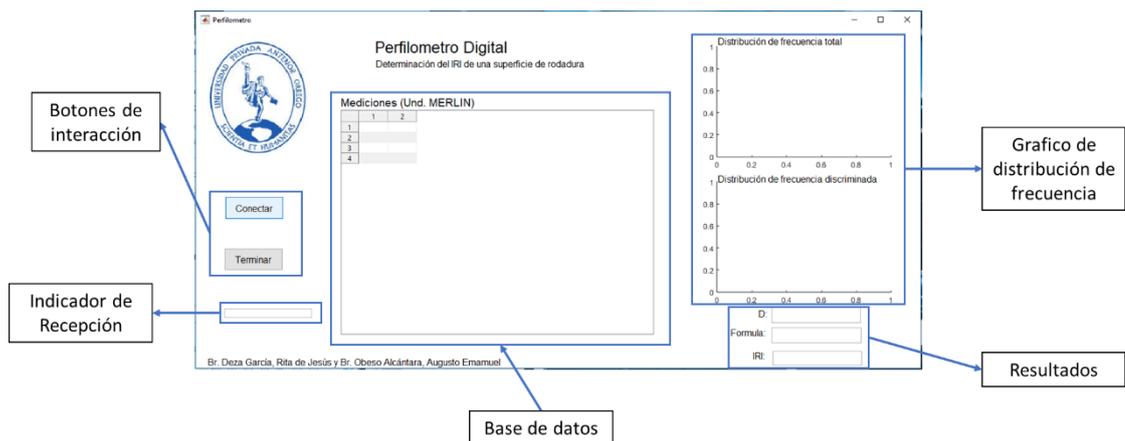


Imagen N° 4-1. Interfaz gráfica del programa de Matlab.

- Botones de Interacción:
 - Conectar: Apertura la conexión serial entre el Arduino y la computadora.
 - Terminar: Finaliza y cierra el programa.
- Indicador de Recepción: Muestra: “Recibiendo...” cuando el programa detecta el primer ingreso de datos.
- Base de datos: Muestra en una matriz de 20x10 los datos recibidos.

- Gráfico de distribución de frecuencias: Muestran dos cuadros: 1. Distribución de frecuencia totales y 2. Distribución de frecuencia discriminada, los cuales representa la tabla de distribución de frecuencias necesaria para el cálculo del IRI.
 - Resultados: Muestra los valores calculados, la variable D en unidades MERLIN, la formula usada para el procedimiento en función de las circunstancias y el IRI calculado.
- **Visualización de datos:**

En este punto describiremos la visualización de los datos censados a través de la pantalla LCD montada en el equipo y la interfaz gráfica en pantalla del computador.

Tenemos en cuenta las variables identificadas y cruciales en el desarrollo del ensayo y la capacidad de visualización ofrecida de la pantalla usada.

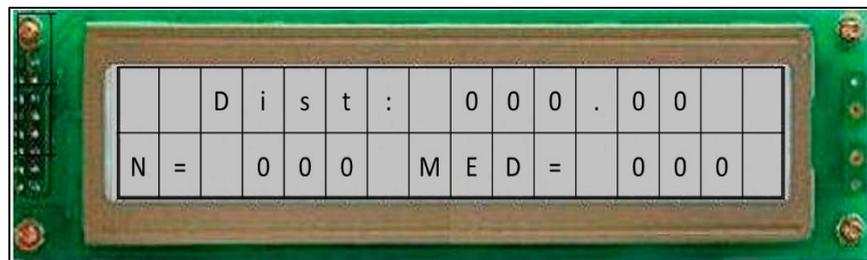


Imagen N° 4-2. Visualización de datos en Shield LCD.

3.2.5.2. Manual de manipulación y operación del equipo

3.2.5.2.1. Introducción del equipo:

El “Perfilómetro de precisión digital”, es un sistema que permite a un Ingeniero Civil, hacer un análisis y cálculo del Índice de Rugosidad Internación del pavimento, fue desarrollado en base a las especificaciones y características del MERLIN desarrollado por el TRLL (Laboratorio Británico de Investigación de Transporte y

Caminos), así como consultas con ingenieros especializados en el medio de vías de comunicación.

3.2.5.2.2. Contenido del perfilómetro de precisión digital:

El equipo desarrollado cuenta con hardware y software, los cuales van sujeto a una estructura metálica hecha a la medida y necesita estar conectado a una laptop la cual cumple la función de operadora logística del programa, así como fuente de alimentación. Este sistema cuenta de los siguientes componentes:

- Equipo de medición:

Estructura metálica de dimensiones: 1.30m de alto x 0.60m de ancho y un brazo metálico sujeto de 1.80m de largo, cuenta en la parte superior con una pantalla LCD que permite la visualización de los datos trascendentales que intervienen en la ejecución del ensayo, una caja de triplay en la parte inferior donde se encuentra la tarjeta controladora del equipo y la laptop encargada de brindarle soporte al sistema. Se muestra en las siguientes imágenes:



Imagen N° 4-3. Vistas del rugosímetro digital finalizado.

Fuente: Elaboración propia.

- Cable de datos MiniUSB – USB:

Conector que comunica la tarjeta de adquisición de datos (Arduino DUE) con la computadora, y debe mantenerse en función durante la realización del ensayo.

El puerto serial que se debe conecta es el puerto COM10.



Imagen N° 4-4. Cable USB-Mini USB de conexión del equipo.

Fuente: Elaboración propia.

- 3.2.5.2.3. Procedimiento de instalación del programa: Colocar el CD en la lectora de disco y abrir el explorador de archivos.



Imagen N° 4-5. Unidad CD-R con el instalador del programa de computadora.

Fuente: Elaboración propia.

3.2.5.2.4. Procedimiento de realización de ensayo

El equipo se caracteriza por una puesta en marcha rápida y sencilla, lo cual facilita su toma de datos y su practicidad:

1. Colocación del equipo en posición al principio del tramo identificado para realizar el ensayo.



Imagen N° 5-1. Descarga del equipo en sitio del ensayo.

Fuente: Elaboración propia.



Imagen N° 5-2. Ubicación del equipo en cota de inicio.

Fuente: Elaboración propia.

2. Realizar la conexión entre el equipo, en el Arduino en el puerto MiniUSB indicado como Program. (de la manera indicada en la siguiente imagen), y en la computadora a cualquiera de sus puertos USB.

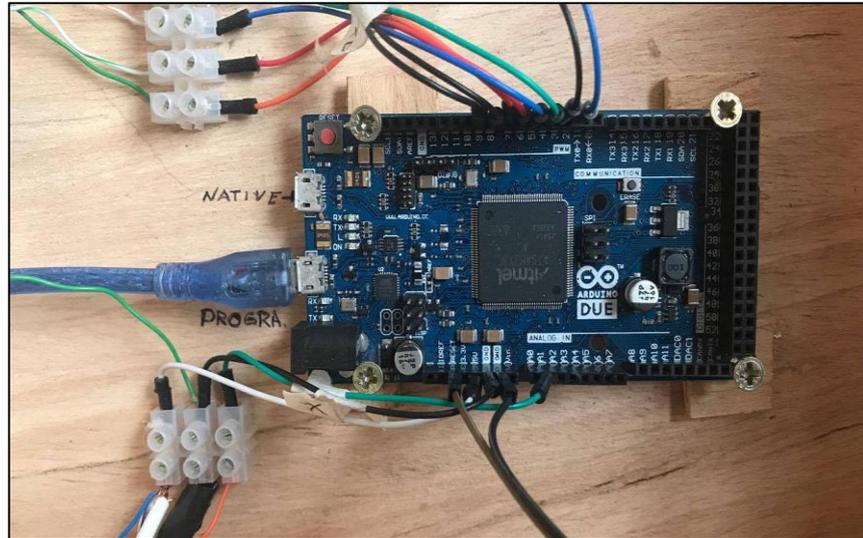


Imagen N° 5-3. Conexión entre microcontrolador y computadora a través del cable USB-Micro USB.

Fuente: Elaboración propia.



Imagen N° 5-4. Iniciar programa de procesamiento de datos en laptop.

Fuente: Elaboración propia.

3. Presionar el botón: RESET, ubicado en la cara derecha del tablero de la pantalla LCD.



Imagen N° 5-5. Botón de ejecución del programa de recolección de datos.

Fuente: Elaboración propia.

4. Ejecutar el programa previamente instalado en la laptop, seleccionar el tipo de asfalto que se evaluara y presionar el botón conectar.

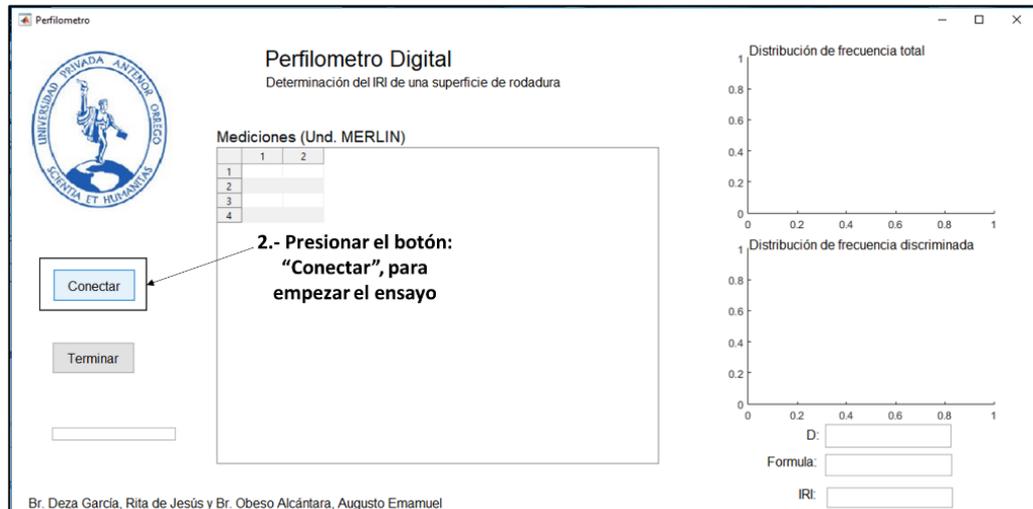


Imagen N° 5-6. Interacción de inicio a través de la interfaz gráfica del programa.

Fuente: Elaboración propia.

5. Recorrer el tramo de vía seleccionado hasta que se muestre en la pantalla LCD del tablero frontal el indicador de: Medición Completa.



Imagen N° 5-7. Recorrido a través de la vía a evaluar.

Fuente: Elaboración propia.

6. Desconectar el cable USB del puerto de la computadora, lo cual le dará la orden automática de procesar los datos y mostrar el IRI calculado, así como también exportar una hoja de Excel dentro de la carpeta de instalación del programa con el nombre: “resultados.xlsx”, que lleva consigo los datos tomados, la tabla de distribución de frecuencias y el IRI calculado.
7. Generación automática de perfil de vía escalado en base a los puntos ubicados fuera de la cuerda imaginaria perfecta se puede generar un perfil longitudinal del tramo de vía recorrido que sirve de ayuda visual al momento de generar una opinión acerca del estado de la superficie de rodadura, este se genera automáticamente cuando el equipo termina la medición y puede guardarse haciendo clic en el botón guardar con forma de disquete.

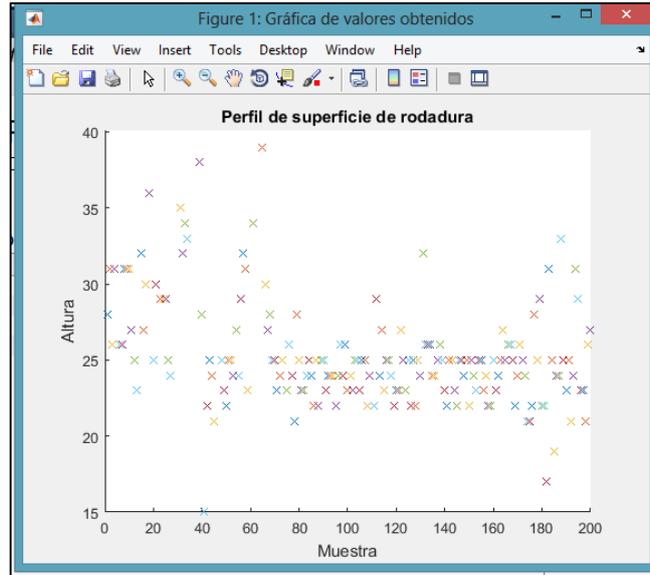


Imagen N° 5-8. Perfil de superficie de rodadura generado por computadora.

Fuente: Elaboración propia.

8. Datos tomados en campo:

Los datos tomados en el ensayo se muestran en la pantalla del programa en la sección: *Base de datos* y son almacenados y guardados en el Excel de creación automática dentro de la carpeta de instalación del programa. Estos son los datos tomados en el tramo vía de evitamiento Trujillo desde el km 557+000 al 558+200:

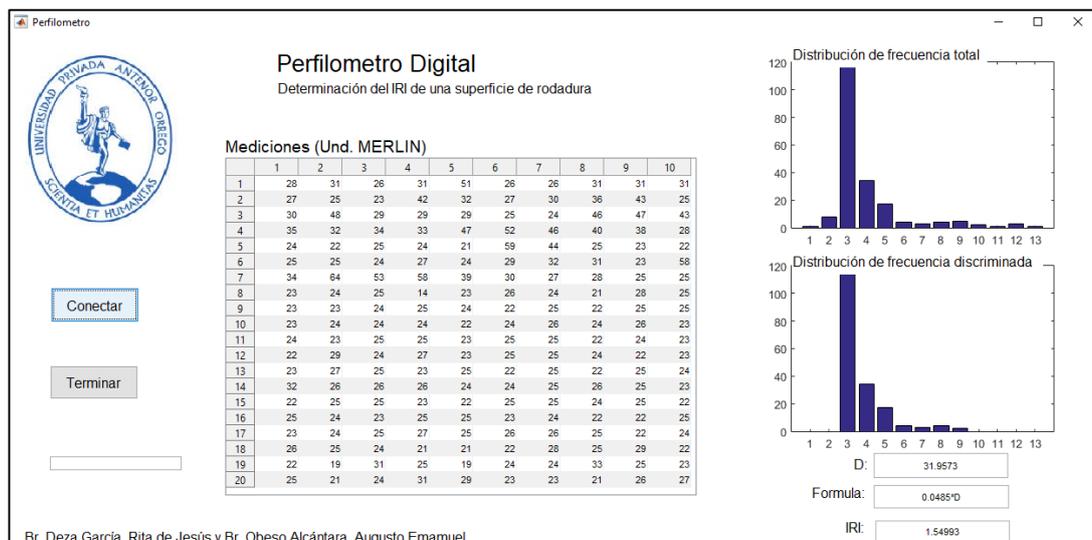


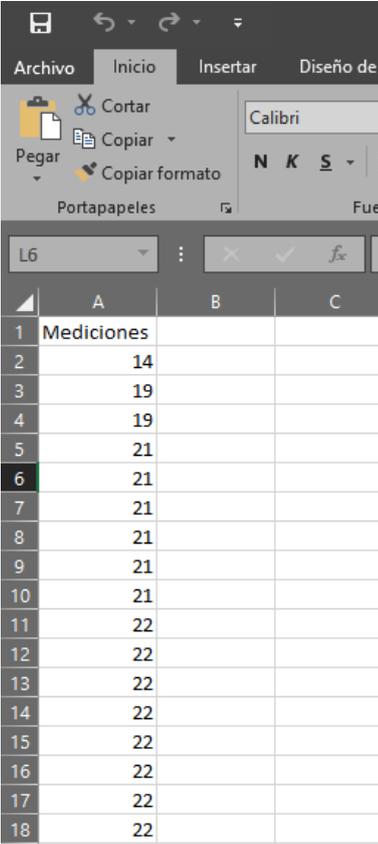
Imagen N° 5-9. Datos Procesados e IRI calculado.

Fuente: Elaboración propia.

9. Exportación de datos y resultados

La exportación del programa es automática una vez realizado el cálculo del IRI, dentro de la carpeta de instalación del programa se crea un archivo tipo Excel con el nombre: “resultados.xlsx” con dos hojas dentro de sí, en las cuales se aprecia lo siguiente:

- Hoja 1: Muestra las mediciones tomadas por el equipo en el orden que fueron hechas, comenzando en la celda A2, y terminando en la A201.



	A	B	C
1	Mediciones		
2	14		
3	19		
4	19		
5	21		
6	21		
7	21		
8	21		
9	21		
10	21		
11	22		
12	22		
13	22		
14	22		
15	22		
16	22		
17	22		
18	22		

Imagen N° 5-10. Exportación de datos a Excel.

Fuente: Elaboración propia.

- Hoja 2: En la segunda hoja podemos observar dos tablas, siendo la primera la tabla de frecuencia incluyendo todos los datos tomando y la segunda, la tabla de frecuencia discriminando el 10% de datos que son los menos representativos por la desviación en las medidas y por el último los valores calculados como el D y el IRI.

“CONSTRUCCIÓN DE UN PERFILÓMETRO DE PRECISIÓN DIGITAL PARA EL CÁLCULO DEL INDICE DE RUGOSIDAD INTERNACIONAL DE UNA CARPETA ASFÁLTICA EN LA CARRETERA PANAMERICANA NORTE, TRAMO VÍA DE EVITAMIENTO TRUJILLO DESDE EL KM 557+000 AL 558+000”

The screenshot shows an Excel spreadsheet with the following data:

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
1			Distribución de frecuencia Total												
2		Rangos	17.8461538	21.6923077	25.5384615	29.3846154	33.2307692	37.0769231	40.9230769	44.7692308	48.6153846	52.4615385	56.3076923	60.1538462	64
3			1	8	117	34	17	4	3	4	5	2	1	3	1
4															
5			Distribución de frecuencia discriminada												
6		Rangos	17.8461538	21.6923077	25.5384615	29.3846154	33.2307692	37.0769231	40.9230769	44.7692308	48.6153846	52.4615385	56.3076923	60.1538462	64
7			0	0	116	34	17	4	3	4	2	0	0	0	0
8															
9															
10		D		31.957265											
11		IRI		1.54992735											
12															

Imagen N° 5-11. Exportación de cálculos a Excel.

Fuente: Elaboración propia.

Es de suma importancia copiar y almacenar el archivo de resultados luego de haber realizado una medición satisfactoria, pues al efectuarse un nuevo ensayo, este archivo será reemplazado por uno nuevo con los datos de la última prueba realizada.

3.2.6. Técnica de análisis de datos

3.2.6.1. Datos:

La siguiente tabla muestra los datos obtenidos del ensayo realizado según los lineamientos expuestos en capítulos sobre el tramo de vía ubicado en el tramo vía de evitamiento Trujillo desde el km 557+000 al 558+000”, y son los siguientes:

Tabla N° 8. Mediciones tomadas en el ensayo en campo N°1
km 557+000 al 557+400

PROGRESIVA	LONGITUD (M)	MEDICION (U.M.)
557+002		28
557+004	2	31
557+006	2	26
557+008	2	31
557+010	2	51
557+012	2	26
557+014	2	26
557+016	2	31
557+018	2	31
557+020	2	31
557+022	2	27
557+024	2	25
557+026	2	23
557+028	2	42
557+030	2	32
557+032	2	27
557+034	2	30
557+036	2	36
557+038	2	43
557+040	2	25
557+042	2	30
557+044	2	48
557+046	2	29
557+048	2	29
557+050	2	29
557+052	2	25
557+054	2	24
557+056	2	46
557+058	2	47

**“CONSTRUCCIÓN DE UN PERFILÓMETRO DE PRECISIÓN DIGITAL PARA EL CÁLCULO DEL INDICE DE RUGOSIDAD INTERNACIONAL DE UNA CARPETA
ASFÁLTICA EN LA CARRETERA PANAMERICANA NORTE, TRAMO VÍA DE EVITAMIENTO TRUJILLO DESDE EL KM 557+000 AL 558+000”**

557+060	2	43
557+062	2	35
557+064	2	32
557+066	2	34
557+068	2	33
557+070	2	47
557+072	2	52
557+074	2	46
557+076	2	40
557+078	2	38
557+080	2	28
557+082	2	24
557+084	2	22
557+086	2	25
557+088	2	24
557+090	2	21
557+092	2	59
557+094	2	44
557+096	2	25
557+098	2	23
557+100	2	22
557+102	2	25
557+104	2	25
557+106	2	24
557+108	2	27
557+110	2	24
557+112	2	29
557+114	2	32
557+116	2	31
557+118	2	23
557+120	2	58
557+122	2	34
557+124	2	64
557+126	2	53
557+128	2	58
557+130	2	39
557+132	2	30
557+134	2	27
557+136	2	28
557+138	2	25
557+140	2	25
557+142	2	23
557+144	2	24

**“CONSTRUCCIÓN DE UN PERFILÓMETRO DE PRECISIÓN DIGITAL PARA EL CÁLCULO DEL INDICE DE RUGOSIDAD INTERNACIONAL DE UNA CARPETA
ASFÁLTICA EN LA CARRETERA PANAMERICANA NORTE, TRAMO VÍA DE EVITAMIENTO TRUJILLO DESDE EL KM 557+000 AL 558+000”**

557+146	2	25
557+148	2	14
557+150	2	23
557+152	2	26
557+154	2	24
557+156	2	21
557+158	2	28
557+160	2	25
557+162	2	23
557+164	2	23
557+166	2	24
557+168	2	25
557+170	2	24
557+172	2	22
557+174	2	25
557+176	2	22
557+178	2	25
557+180	2	25
557+182	2	23
557+184	2	24
557+186	2	24
557+188	2	24
557+190	2	22
557+192	2	24
557+194	2	26
557+196	2	24
557+198	2	26
557+200	2	23
557+202	2	24
557+204	2	23
557+206	2	25
557+208	2	25
557+210	2	23
557+212	2	25
557+214	2	25
557+216	2	22
557+218	2	24
557+220	2	23
557+222	2	22
557+224	2	29
557+226	2	24
557+228	2	27
557+230	2	23

**“CONSTRUCCIÓN DE UN PERFILÓMETRO DE PRECISIÓN DIGITAL PARA EL CÁLCULO DEL INDICE DE RUGOSIDAD INTERNACIONAL DE UNA CARPETA
ASFÁLTICA EN LA CARRETERA PANAMERICANA NORTE, TRAMO VÍA DE EVITAMIENTO TRUJILLO DESDE EL KM 557+000 AL 558+000”**

557+232	2	25
557+234	2	25
557+236	2	24
557+238	2	22
557+240	2	23
557+242	2	23
557+244	2	27
557+246	2	25
557+248	2	23
557+250	2	25
557+252	2	22
557+254	2	25
557+256	2	22
557+258	2	25
557+260	2	24
557+262	2	32
557+264	2	26
557+266	2	26
557+268	2	26
557+270	2	24
557+272	2	24
557+274	2	25
557+276	2	26
557+278	2	25
557+280	2	23
557+282	2	22
557+284	2	25
557+286	2	25
557+288	2	23
557+290	2	22
557+292	2	25
557+294	2	25
557+296	2	24
557+298	2	25
557+300	2	22
557+302	2	25
557+304	2	24
557+306	2	23
557+308	2	25
557+310	2	25
557+312	2	23
557+314	2	24
557+316	2	22

**“CONSTRUCCIÓN DE UN PERFILÓMETRO DE PRECISIÓN DIGITAL PARA EL CÁLCULO DEL INDICE DE RUGOSIDAD INTERNACIONAL DE UNA CARPETA
ASFÁLTICA EN LA CARRETERA PANAMERICANA NORTE, TRAMO VÍA DE EVITAMIENTO TRUJILLO DESDE EL KM 557+000 AL 558+000”**

557+318	2	22
557+320	2	25
557+322	2	23
557+324	2	24
557+326	2	25
557+328	2	27
557+330	2	25
557+332	2	26
557+334	2	26
557+336	2	25
557+338	2	22
557+340	2	24
557+342	2	26
557+344	2	25
557+346	2	24
557+348	2	21
557+350	2	21
557+352	2	22
557+354	2	28
557+356	2	25
557+358	2	29
557+360	2	22
557+362	2	22
557+364	2	19
557+366	2	31
557+368	2	25
557+370	2	19
557+372	2	24
557+374	2	24
557+376	2	33
557+378	2	25
557+380	2	23
557+382	2	25
557+384	2	21
557+386	2	24
557+388	2	31
557+390	2	29
557+392	2	23
557+394	2	23
557+396	2	21
557+398	2	26
557+400	2	27

Tabla N° 9. Mediciones tomadas en el ensayo en campo N°2
 km 557+300 al 557+700

PROGRESIVA	LONGITUD (M)	MEDICION (U.M.)
557+302		27
557+304	2	38
557+306	2	42
557+308	2	47
557+310	2	30
557+312	2	52
557+314	2	33
557+316	2	34
557+318	2	45
557+320	2	44
557+322	2	27
557+324	2	30
557+326	2	28
557+328	2	35
557+330	2	30
557+332	2	22
557+334	2	30
557+336	2	31
557+338	2	27
557+340	2	30
557+342	2	37
557+344	2	31
557+346	2	35
557+348	2	26
557+350	2	41
557+352	2	32
557+354	2	54
557+356	2	26
557+358	2	29
557+360	2	28
557+362	2	26
557+364	2	35
557+366	2	29
557+368	2	30
557+370	2	33
557+372	2	29
557+374	2	45
557+376	2	41
557+378	2	30

**“CONSTRUCCIÓN DE UN PERFILÓMETRO DE PRECISIÓN DIGITAL PARA EL CÁLCULO DEL INDICE DE RUGOSIDAD INTERNACIONAL DE UNA CARPETA
ASFÁLTICA EN LA CARRETERA PANAMERICANA NORTE, TRAMO VÍA DE EVITAMIENTO TRUJILLO DESDE EL KM 557+000 AL 558+000”**

557+380	2	42
557+382	2	28
557+384	2	43
557+386	2	41
557+388	2	27
557+390	2	29
557+392	2	27
557+394	2	24
557+396	2	30
557+398	2	40
557+400	2	35
557+402	2	31
557+404	2	52
557+406	2	31
557+408	2	35
557+410	2	27
557+412	2	26
557+414	2	30
557+416	2	34
557+418	2	39
557+420	2	33
557+422	2	30
557+424	2	41
557+426	2	38
557+428	2	45
557+430	2	34
557+432	2	27
557+434	2	46
557+436	2	38
557+438	2	26
557+440	2	35
557+442	2	29
557+444	2	27
557+446	2	24
557+448	2	27
557+450	2	23
557+452	2	16
557+454	2	28
557+456	2	30
557+458	2	27
557+460	2	29
557+462	2	20
557+464	2	23

**“CONSTRUCCIÓN DE UN PERFILÓMETRO DE PRECISIÓN DIGITAL PARA EL CÁLCULO DEL INDICE DE RUGOSIDAD INTERNACIONAL DE UNA CARPETA
ASFÁLTICA EN LA CARRETERA PANAMERICANA NORTE, TRAMO VÍA DE EVITAMIENTO TRUJILLO DESDE EL KM 557+000 AL 558+000”**

557+466	2	35
557+468	2	51
557+470	2	25
557+472	2	24
557+474	2	39
557+476	2	26
557+478	2	34
557+480	2	40
557+482	2	45
557+484	2	30
557+486	2	26
557+488	2	31
557+490	2	38
557+492	2	34
557+494	2	30
557+496	2	38
557+498	2	38
557+500	2	26
557+502	2	34
557+504	2	27
557+506	2	35
557+508	2	41
557+510	2	23
557+512	2	26
557+514	2	30
557+516	2	23
557+518	2	26
557+520	2	30
557+522	2	33
557+524	2	28
557+526	2	42
557+528	2	22
557+530	2	27
557+532	2	35
557+534	2	31
557+536	2	42
557+538	2	29
557+540	2	29
557+542	2	39
557+544	2	36
557+546	2	26
557+548	2	50
557+550	2	23

**“CONSTRUCCIÓN DE UN PERFILÓMETRO DE PRECISIÓN DIGITAL PARA EL CÁLCULO DEL INDICE DE RUGOSIDAD INTERNACIONAL DE UNA CARPETA
ASFÁLTICA EN LA CARRETERA PANAMERICANA NORTE, TRAMO VÍA DE EVITAMIENTO TRUJILLO DESDE EL KM 557+000 AL 558+000”**

557+552	2	45
557+554	2	33
557+556	2	39
557+558	2	42
557+560	2	40
557+562	2	28
557+564	2	26
557+566	2	30
557+568	2	38
557+570	2	30
557+572	2	35
557+574	2	22
557+576	2	30
557+578	2	36
557+580	2	35
557+582	2	33
557+584	2	43
557+586	2	36
557+588	2	25
557+590	2	33
557+592	2	39
557+594	2	22
557+596	2	27
557+598	2	40
557+600	2	26
557+602	2	43
557+604	2	48
557+606	2	43
557+608	2	47
557+610	2	28
557+612	2	27
557+614	2	38
557+616	2	37
557+618	2	24
557+620	2	34
557+622	2	25
557+624	2	30
557+626	2	30
557+628	2	40
557+630	2	31
557+632	2	35
557+634	2	42
557+636	2	29

“CONSTRUCCIÓN DE UN PERFILÓMETRO DE PRECISIÓN DIGITAL PARA EL CÁLCULO DEL INDICE DE RUGOSIDAD INTERNACIONAL DE UNA CARPETA
ASFÁLTICA EN LA CARRETERA PANAMERICANA NORTE, TRAMO VÍA DE EVITAMIENTO TRUJILLO DESDE EL KM 557+000 AL 558+000”

557+638	2	41
557+640	2	39
557+642	2	38
557+644	2	20
557+646	2	29
557+648	2	59
557+650	2	39
557+652	2	29
557+654	2	44
557+656	2	28
557+658	2	25
557+660	2	21
557+662	2	44
557+664	2	49
557+666	2	47
557+668	2	24
557+670	2	22
557+672	2	31
557+674	2	27
557+676	2	42
557+678	2	30
557+680	2	38
557+682	2	20
557+684	2	26
557+686	2	24
557+688	2	40
557+690	2	28
557+692	2	35
557+694	2	28
557+696	2	41
557+698	2	26
557+700	2	23

Tabla N° 10. Mediciones tomadas en el ensayo en campo N°3
 km 557+000 al 557+600

PROGRESIVA	LONGITUD (M)	MEDICION (U.M.)
557+602		30
557+604	2	31
557+606	2	38
557+608	2	31
557+610	2	51
557+612	2	26
557+614	2	26
557+616	2	31
557+618	2	40
557+620	2	31
557+622	2	27
557+624	2	20
557+626	2	23
557+628	2	42
557+630	2	32
557+632	2	37
557+634	2	30
557+636	2	36
557+638	2	33
557+640	2	25
557+642	2	30
557+644	2	35
557+646	2	59
557+648	2	31
557+650	2	29
557+652	2	25
557+654	2	24
557+656	2	36
557+658	2	46
557+660	2	43
557+662	2	40
557+664	2	35
557+666	2	34
557+668	2	33
557+670	2	36
557+672	2	40
557+674	2	46
557+676	2	55
557+678	2	50

**“CONSTRUCCIÓN DE UN PERFILÓMETRO DE PRECISIÓN DIGITAL PARA EL CÁLCULO DEL INDICE DE RUGOSIDAD INTERNACIONAL DE UNA CARPETA
ASFÁLTICA EN LA CARRETERA PANAMERICANA NORTE, TRAMO VÍA DE EVITAMIENTO TRUJILLO DESDE EL KM 557+000 AL 558+000”**

557+680	2	38
557+682	2	35
557+684	2	23
557+686	2	25
557+688	2	20
557+690	2	35
557+692	2	59
557+694	2	44
557+696	2	25
557+698	2	23
557+700	2	22
557+702	2	25
557+704	2	25
557+706	2	24
557+708	2	27
557+710	2	24
557+712	2	30
557+714	2	26
557+716	2	31
557+718	2	23
557+720	2	58
557+722	2	34
557+724	2	64
557+726	2	53
557+728	2	58
557+730	2	39
557+732	2	30
557+734	2	27
557+736	2	28
557+738	2	25
557+740	2	25
557+742	2	23
557+744	2	24
557+746	2	25
557+748	2	14
557+750	2	23
557+752	2	26
557+754	2	24
557+756	2	28
557+758	2	28
557+760	2	25
557+762	2	23
557+764	2	23

**“CONSTRUCCIÓN DE UN PERFILÓMETRO DE PRECISIÓN DIGITAL PARA EL CÁLCULO DEL INDICE DE RUGOSIDAD INTERNACIONAL DE UNA CARPETA
ASFÁLTICA EN LA CARRETERA PANAMERICANA NORTE, TRAMO VÍA DE EVITAMIENTO TRUJILLO DESDE EL KM 557+000 AL 558+000”**

557+766	2	24
557+768	2	25
557+770	2	24
557+772	2	22
557+774	2	25
557+776	2	22
557+778	2	25
557+780	2	25
557+782	2	23
557+784	2	24
557+786	2	24
557+788	2	24
557+790	2	22
557+792	2	24
557+794	2	26
557+796	2	24
557+798	2	26
557+800	2	23
557+802	2	24
557+804	2	23
557+806	2	25
557+808	2	28
557+810	2	23
557+812	2	25
557+814	2	25
557+816	2	22
557+818	2	24
557+820	2	23
557+822	2	22
557+824	2	29
557+826	2	24
557+828	2	27
557+830	2	23
557+832	2	25
557+834	2	25
557+836	2	24
557+838	2	22
557+840	2	23
557+842	2	23
557+844	2	27
557+846	2	25
557+848	2	23
557+850	2	25

“CONSTRUCCIÓN DE UN PERFILÓMETRO DE PRECISIÓN DIGITAL PARA EL CÁLCULO DEL INDICE DE RUGOSIDAD INTERNACIONAL DE UNA CARPETA ASFÁLTICA EN LA CARRETERA PANAMERICANA NORTE, TRAMO VÍA DE EVITAMIENTO TRUJILLO DESDE EL KM 557+000 AL 558+000”

557+852	2	22
557+854	2	25
557+856	2	22
557+858	2	25
557+860	2	24
557+862	2	32
557+864	2	26
557+866	2	26
557+868	2	26
557+870	2	24
557+872	2	24
557+874	2	25
557+876	2	26
557+878	2	25
557+880	2	23
557+882	2	22
557+884	2	25
557+886	2	25
557+888	2	23
557+890	2	22
557+892	2	25
557+894	2	25
557+896	2	24
557+898	2	25
557+900	2	28
557+902	2	25
557+904	2	24
557+906	2	23
557+908	2	25
557+910	2	25
557+912	2	23
557+914	2	24
557+916	2	22
557+918	2	22
557+920	2	25
557+922	2	23
557+924	2	24
557+926	2	25
557+928	2	27
557+930	2	25
557+932	2	26
557+934	2	26
557+936	2	25

“CONSTRUCCIÓN DE UN PERFILÓMETRO DE PRECISIÓN DIGITAL PARA EL CÁLCULO DEL INDICE DE RUGOSIDAD INTERNACIONAL DE UNA CARPETA ASFÁLTICA EN LA CARRETERA PANAMERICANA NORTE, TRAMO VÍA DE EVITAMIENTO TRUJILLO DESDE EL KM 557+000 AL 558+000”

557+938	2	22
557+940	2	24
557+942	2	26
557+944	2	25
557+946	2	24
557+948	2	21
557+950	2	26
557+952	2	22
557+954	2	28
557+956	2	25
557+958	2	29
557+960	2	22
557+962	2	22
557+964	2	16
557+966	2	37
557+968	2	34
557+970	2	42
557+972	2	41
557+974	2	38
557+976	2	33
557+978	2	25
557+980	2	23
557+982	2	29
557+984	2	20
557+986	2	28
557+988	2	31
557+990	2	29
557+992	2	23
557+994	2	23
557+996	2	25
557+998	2	26
558+000	2	27

3.2.6.2. Procesamiento de datos obtenidos en el ensayo N°1:

Una vez obtenidos los datos a través del ensayo, el programa automatiza los cálculos estadísticos realizando el siguiente proceso:

1. Cálculo de constantes estadísticas:

- Mínimo (Min): Se identifica el mínimo valor entre los datos obtenidos en el ensayo.

En el ensayo se obtuvo como mínimo valor: $Min=14$.

- Máximo (Max): Se identifica el máximo valor entre los datos obtenidos en el ensayo.

En el ensayo se obtuvo como máximo valor: $Max=64$.

- Rango (Rg): Es la cantidad de datos comprendidos entre el valor máximo y el mínimo, viniendo a ser la diferencia entre ambos valores.

Formula: $Rg = Max - Min$

En el ensayo se obtuvo: $Rg = 64 - 14 = 50$

- Numero de datos (N): Es la cantidad de mediciones realizadas.

En el ensayo se realizador: $N=200$.

- Numero de intervalos (K): Es en la cantidad de grupos en los que se dividirá la muestra obtenida.

En el ensayo, por convencionalismo, siguiendo lo indicado en el manual de usuario del MERLIN se considerará: $K=13$.

- Amplitud de intervalo (C): Es la diferencia entre las fronteras superior e inferior del intervalo

Formula: $C = Rg / K$

En el ensayo el valor calculado es: $C = 50 / 13 = 3.85$

2. Generación de la tabla de frecuencias: En los procesos de observación estadística, cuando es necesario manejar gran volumen de datos, surge la necesidad de resumirla en una distribución de frecuencias, herramienta con diferentes campos adaptables de acuerdo a la necesidad del estudio que denota el patrón de variabilidad mostrado por los datos de una variable, revelando de esta manera la naturaleza general de la información.

Ejemplo:

Intervalo (i)	Edades	Frecuencia Absoluta (fi)	Frecuencia Acumulada (Fi)	Frecuencia Relativa (hi)	Frecuencia Relativa Acumulada (Hi)
1	1 - 10	7	7	7 / 42= 0,17	7 / 42= 0,17
2	11 - 20	6	7+6= 13	6 / 42= 0,14	13 / 42= 0,31
3	21 - 30	8	13+8= 21	8 / 42= 0,19	21 / 42= 0,5
4	31 - 40	6	21+6= 27	6 / 42= 0,14	27 / 42= 0,64
5	41 - 50	5	27+5= 32	5 / 42= 0,12	32 / 42= 0,76
6	51 - 60	4	32+4= 36	4 / 42= 0,1	36 / 42= 0,86
7	61 - 70	4	36+4= 40	4 / 42= 0,1	40 / 42= 0,95
8	71 - 80	2	40+2= 42	2 / 42= 0,05	42 / 42= 1
	Amplitud 9	N: 42		hi= fi / N	Hi= Fi / N

Imagen N° 6-1. Ejemplificación de tabla de frecuencia.

Fuente: Elaboración propia.

Usando los datos tomados en campo podemos construir la siguiente tabla:

Tabla N° 11. Tabla de distribución de frecuencias de los datos tomados.

	RANGOS					Frecuencia	Frecuencia Discriminada	Ancho de Histograma
1	[	14	:	17.85	>	1	0	0
2	[	17.85	:	21.69	>	8	0	0
3	[	21.69	:	25.54	>	117	116	0.991
4	[	25.54	:	29.38	>	34	34	1
5	[	29.38	:	33.23	>	17	17	1
6	[	33.23	:	37.08	>	4	4	1
7	[	37.08	:	40.92	>	3	3	1
8	[	40.92	:	44.77	>	4	4	1
9	[	44.77	:	48.62	>	5	2	0.4
10	[	48.62	:	52.46	>	2	0	0
11	[	52.46	:	56.31	>	1	0	0
12	[	56.31	:	60.15	>	3	0	0
13	[	60.15	:	64.00	>	1	0	0
Ancho total de histograma (D)								6.3914

3. Una vez calculado el ancho de histograma (D), valor que no posee ninguna unidad por ser producto de un procesamiento estadístico de datos, para efectos del cálculo esta medida debe ser transformada a milímetros usando una fórmula dictada en las especificaciones del equipo base.

$$D (\text{mm}) = D \times 5 \text{ mm}$$

En el ensayo, usando la fórmula antes mencionada procedemos a hacer la conversión para obtener el factor D en milímetros.

$$D (\text{mm}) = 6.39 \times 5 \text{ mm}$$

$$D (\text{mm}) = 31.9572 \text{ mm}$$

5. Para finalizar, se procede a usar las siguientes fórmulas para hacer la conversión de D en milímetros a I.R.I.

$$\text{IRI} = 0,0485 * D \text{ cuando } D < 42 \text{ (1)}$$

$$\text{IRI} = 0,593 + 0,0471 * D \text{ cuando } 42 < D < 312 \text{ (2)}$$

Donde:

IRI: Rugosidad en unidades internacionales, en m./km.

D: Rugosidad del MERLIN, en mm.

En el ensayo se realiza la conversión usando la fórmula 1 porque se cumplen los requisitos para esta:

$$\text{IRI} = 0,0485 \times 31.957 \text{ mm}$$

$$\text{IRI} = 1,5499 \text{ m/km}$$

6. Con el IRI calculado, procedemos a evaluar el estado del pavimento, como la normativa peruana no posee una normatividad con parámetros exactos basados en el IRI, podemos tomar como referencia lo propuesto por la FHWA (Federal Highway Administration), es una división del Departamento de

Transporte de los Estados Unidos especializada en transporte por carretera, y para el 2015 propuso los siguientes parámetros de evaluación:

Tabla N° 12. Clasificación de pavimentos según su IRI.

PSI	IRI m/km	CONDICION
3,38	Menor a 1,49	Buena
	Mayor a 1,49 y menor a 2,68	Aceptable
2,50	Mayor a 2,68	No Aceptable

FHWA. (2015). National Performance Management Measures; Assessing Pavement Condition for the National Highway Performance Program and Bridge Condition for the National Highway Performance Program, [Proposed Rule]. FHWA, Document No. 2014-30085, 325–393.

En el ensayo, ubicamos al IRI calculado de la siguiente manera:

Tabla N° 13. Clasificación de la carpeta de rodadura ensayada según su IRI.

Condición: Aceptable		
Límite inferior	Valor Obtenido mediante ensayo	Límite superior
1.49	1.5499	2.68

4. RESULTADOS

Se desarrolló tanto software como hardware para un equipo nuevo que cumpliera con las necesidades planteadas y satisfaga los objetivos de esta investigación y se sometió a este a una prueba en condiciones reales sobre un tramo de vía control ubicado en Vía de Evitamiento Trujillo entre las progresivas 557+000 al 558+000 obteniendo como resultado la constante D, predecesora en el cálculo del IRI.

Tabla N° 14. Variables calculadas en el ensayo N°1 del 557+000 al 557+400.

Variable	Valor	Unidad
D	31.957	mm
IRI	1.5499	m/km

Tabla N° 15. Variables calculadas en el ensayo N°2 del 557+300 al 557+700.

Variable	Valor	Unidad
D	39.608	mm
IRI	1.920	m/km

Tabla N° 16. Variables calculadas en el ensayo N°3 del 557+600 al 558+000.

Variable	Valor	Unidad
D	32.314	mm
IRI	1.567	m/km

Los resultados obtenidos son contrastables con la realidad de manera que en comparativa con mediciones conocidas del IRI para el mismo tramo de vía que son de dominio público como: el informe emitido por COVISOL y GMI (Graña y Montero Ingeniería) realizando la medición de la rugosidad mediante un perfilómetro laser RSP-MARK IV, y los obtenidos por el Br. Sachún Quispe Jaime Emilio Napoleón en su tesis para obtener el grado de Maestro: “ESTUDIO DEL INDICE DE RUGOSIDAD INTERNACIONAL DE LA PANAMERICANA NORTE - ZONA TRUJILLO, PARA SU MANTENIMIENTO”

Tabla N°17. Resultados: “ESTUDIO DEFINITIVO REHABILITACIÓN DE LA CARRETERA PANAMERICANA NORTE, TRAMO: Km 557+000 – Km 886+600”.

Elaboración: COVISOL y GMI, 2013.

Equipo: perfilómetro laser RSP-MARK IV.

Sector	Desde	Hasta	Long. (Km)	Media deslizante (m/Km)
1	556+900	557+000	0.10	1.45
2	557+000	558+000	1.00	1.54
3	558+000	559+000	1.00	1.94
4	559+000	560+000	1.00	1.51
5	560+000	561+000	1.00	1.97
6	561+000	562+000	1.00	2.67
7	562+000	563+000	1.00	3.10

Tabla N° 18. Resultados: Tesis de grado para maestro: “ESTUDIO DEL INDICE DE RUGOSIDAD INTERNACIONAL DE LA PANAMERICANA NORTE - ZONA TRUJILLO, PARA SU MANTENIMIENTO”.

Elaboración: Br. Sachún Quispe Jaime Emilio Napoleón, 2016.

Equipo: MERLIN.

ENSAYO	Nº	INICIO KM	FIN KM	IRI. (m/km)	IRI Prom. (m/km)	Desv. Stand.	IRI Car.
TRAMO OVALO SALAVERRY- OVALO LA MARINA							
ENSAYO :	01	556+900	557+000	1.45	2.03	0.63	3.07
ENSAYO :	02	557+000	558+000	1.54			
ENSAYO :	03	558+000	559+000	1.94			
ENSAYO :	04	559+000	560+000	1.51			
ENSAYO :	05	560+000	561+000	1.97			
ENSAYO :	06	561+000	562+000	2.67			
ENSAYO :	07	562+000	563+000	3.10			

Tabla N° 19. Resultados: “CONSTRUCCIÓN DE UN PERFILOMETRO DE PRECISIÓN DIGITAL PARA EL CÁLCULO DEL INDICE DE RUGOSIDAD INTERNACIONAL DE UNA CARPETA ASFÁLTICA EN LA CARRETERA PANAMERICANA NORTE, TRAMO VÍA DE EVITAMIENTO TRUJILLO DESDE EL KM 557+000 AL 558+000”.

	A	B	C	D	E	F
1			Distribución de frecuencia Total			
2		Rangos	17.8461538	21.6923077	25.5384615	29.3846154
3			1	8	117	34
4						
5						
6			Distribución de frecuencia discriminada			
7		Rangos	17.8461538	21.6923077	25.5384615	29.3846154
8			0	0	116	34
9						
10			D	31.957265		
11			IRI	1.54992735		

Usando como referencia los datos conocidos más recientes y usando el parámetro de fiabilidad del equipo MERLIN, $R^2=0.98$, en los datos obtenidos con fecha m a través de su procesamiento estadístico, traduciéndose en una aproximación con un margen de error del 2%. Dejando un margen a los datos tomados más recientes:

Tabla N° 20. Rango de valores admisibles según la precisión del equipo.

Límite inferior (- 2%)	Valor referencial a Mayo del 2016	Límite superior (+ 2%)
1.5092	1.54	1.5708

Tabla N° 21. Ubicación del resultado en el rango de valores admisibles.

	Límite inferior (- 2%)	Valor Obtenido	Límite superior (+ 2%)
Del 557+000 al 557+400	1.5092	1.549	1.5708
Del 557+300 al 557+700	1.5092	1.780	1.5708
Del 557+600 al 558+000	1.5092	1.567	1.5708

5. CONCLUSIONES

Se pudo crear un equipo original de desarrollo propio que permite la medición del índice de rugosidad internacional en una carpeta de rodadura.

La vía de asfalto evaluada se encuentra en un estado *acceptable* por lo cual no es necesaria una acción correctiva.

Se comprobó la funcionalidad del equipo en un entorno de uso real.

Las acciones correctivas son de acuerdo a criterio y experiencia del evaluador, lo que se transmite es una sugerencia basada en la normativa estadounidense.

6. RECOMENDACIONES

Se debe tener en cuenta que en caso se desee adosar el equipo a un vehículo automotriz puede ser necesario el reemplazo del módulo encoder por uno más resistente al desgaste.

Se puede extender el uso del equipo a otro tipo de carpetas, como rígidas o articuladas tomando en cuenta los parámetros identificados en el manual del MERLIN.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- MARIO TOMAYO Y TOMAYO. “El Proceso de la Investigación Científica”, 1994.
- CUNDILL, M.A. “The MERLIN Low-cost Road Roughness Measuring Machine”.
- Transport and Road Research Laboratory, Department of Transport. TRRL. Crowthorne, 1991
- DEL AGUILA, P.M. “Metodología para la medición de la rugosidad de los pavimentos con equipo de bajo costo y gran precisión”. Trabajo presentado al X Congreso Ibero-Latinoamericano del Asfalto. Sevilla, 1999.
- DEL AGUILA, P.M., “Desarrollo de la ecuación de correlación para la determinación del IRI en pavimentos asfálticos nuevos utilizando el rugosímetro MERLIN”. Lima, 2008
- CRESPO VILLALAZ, C. “Vías de comunicación: Caminos, ferrocarriles, aeropuertos, puentes y puentes”. Editorial UMUSA. SA. Limusa, 2004
- Federico Eduardo Delfin Ariztía y Ricardo Alejandro Salsilli Murua. “Definición de un índice de rugosidad intensivo de pavimentos orientado a mantenimiento”. Universidad de Chile Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Departamento de Ingeniería Civil. Santiago de Chile, 2008.
- “Glosario de términos de uso frecuente en proyectos de infraestructura vial”. Ministerio de transporte y telecomunicaciones, Viceministerio de transportes, Dirección general de caminos y ferrocarriles. Lima, 2008
- Montejo Fonseca, A. “Ingeniería de pavimentos para carreteras”. Universidad Católica de Colombia - Ediciones y Publicaciones. Bogotá, 2002.
- “MANUAL DEL USUARIO MERLINER™”, Camineros S.A.C., Lima, 2003.
- Coronado Iturbide, J. “Manual centroamericano para el diseño de pavimentos”. Agencia de desarrollo Internacional. Guatemala, 2002.

8. ANEXOS

8.1. Hoja de presentación de resultados del ensayo N°1. Km. 557+000 al 557+400

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

“CONSTRUCCIÓN DE UN PERFILÓMETRO DE PRECISIÓN DIGITAL PARA EL CÁLCULO DEL INDICE DE RUGOSIDAD INTERNACIONAL DE UNA CARPETA ASFÁLTICA EN LA CARRETERA PANAMERICANA NORTE, TRAMO VÍA DE EVITAMIENTO TRUJILLO DESDE EL KM 557+000 AL 558+000”

39	23	23	23
40	23	23	23
41	23	23	23
42	23	23	23
43	23	23	23
44	23	23	23
45	23	23	23
46	23	23	23
47	23	23	23
48	23	23	23
49	23	23	23
50	23	23	23
51	23	23	23
52	23	23	23
53	24	24	24
54	24	24	24
55	24	24	24
56	24	24	24
57	24	24	24
58	24	24	24
59	24	24	24
60	24	24	24
61	24	24	24
62	24	24	24
63	24	24	24
64	24	24	24
65	24	24	24
66	24	24	24
67	24	24	24
68	24	24	24
69	24	24	24
70	24	24	24
71	24	24	24
72	24	24	24
73	24	24	24
74	24	24	24
75	24	24	24
76	24	24	24
77	24	24	24
78	24	24	24
79	24	24	24
80	24	24	24
81	24	24	24
82	24	24	24

“CONSTRUCCIÓN DE UN PERFILÓMETRO DE PRECISIÓN DIGITAL PARA EL CÁLCULO DEL INDICE DE RUGOSIDAD INTERNACIONAL DE UNA CARPETA ASFÁLTICA EN LA CARRETERA PANAMERICANA NORTE, TRAMO VÍA DE EVITAMIENTO TRUJILLO DESDE EL KM 557+000 AL 558+000”

83	25	25	25
84	25	25	25
85	25	25	25
86	25	25	25
87	25	25	25
88	25	25	25
89	25	25	25
90	25	25	25
91	25	25	25
92	25	25	25
93	25	25	25
94	25	25	25
95	25	25	25
96	25	25	25
97	25	25	25
98	25	25	25
99	25	25	25
100	25	25	25
101	25	25	25
102	25	25	25
103	25	25	25
104	25	25	25
105	25	25	25
106	25	25	25
107	25	25	25
108	25	25	25
109	25	25	25
110	25	25	25
111	25	25	25
112	25	25	25
113	25	25	25
114	25	25	25
115	25	25	25
116	25	25	25
117	25	25	25
118	25	25	25
119	25	25	25
120	25	25	25
121	25	25	25
122	25	25	25
123	25	25	25
124	25	25	25
125	25	25	25
126	25	25	25

“CONSTRUCCIÓN DE UN PERFILÓMETRO DE PRECISIÓN DIGITAL PARA EL CÁLCULO DEL INDICE DE RUGOSIDAD INTERNACIONAL DE UNA CARPETA ASFÁLTICA EN LA CARRETERA PANAMERICANA NORTE, TRAMO VÍA DE EVITAMIENTO TRUJILLO DESDE EL KM 557+000 AL 558+000”

127	26	26	26
128	26	26	26
129	26	26	26
130	26	26	26
131	26	26	26
132	26	26	26
133	26	26	26
134	26	26	26
135	26	26	26
136	26	26	26
137	26	26	26
138	26	26	26
139	26	26	26
140	26	26	26
141	27	27	27
142	27	27	27
143	27	27	27
144	27	27	27
145	27	27	27
146	27	27	27
147	27	27	27
148	27	27	27
149	28	28	28
150	28	28	28
151	28	28	28
152	28	28	28
153	28	28	28
154	29	29	29
155	29	29	29
156	29	29	29
157	29	29	29
158	29	29	29
159	29	29	29
160	29	29	29
161	30	30	30
162	30	30	30
163	30	30	30
164	31	31	31
165	31	31	31
166	31	31	31
167	31	31	31
168	31	31	31
169	31	31	31
170	31	31	31

“CONSTRUCCIÓN DE UN PERFILÓMETRO DE PRECISIÓN DIGITAL PARA EL CÁLCULO DEL INDICE DE RUGOSIDAD INTERNACIONAL DE UNA CARPETA ASFÁLTICA EN LA CARRETERA PANAMERICANA NORTE, TRAMO VÍA DE EVITAMIENTO TRUJILLO DESDE EL KM 557+000 AL 558+000”

171	31	31	31
172	32	32	32
173	32	32	32
174	32	32	32
175	32	32	32
176	33	33	33
177	33	33	33
178	34	34	34
179	34	34	34
180	35	35	35
181	36	36	36
182	38	38	38
183	39	39	39
184	40	40	40
185	42	42	42
186	43	43	43
187	43	43	43
188	44	44	44
189	46	46	46
190	46	46	46
191	47	47	
192	47	47	
193	48	48	
194	51	51	
195	52	52	
196	53	53	
197	58	58	
198	58	58	
199	59	59	
200	64	64	

CONSTANTES ESTADÍSTICAS	
MINIMO	14
MAXIMO	64
RANGO	50
N° DE DATOS	200
# INTERVALOS	13
AMPLITUD	3.85

Ítem	RANGOS	# DE MED EN RANGO	# DE MED DISCRIMINADA	UNIDADES DE ANCHO DE HISTOGRAMA
1	[14.00 : 17.85 >	1	0	0.00
2	[17.85 : 21.69 >	8	0	0.00
3	[21.69 : 25.54 >	117	116	0.99
4	[25.54 : 29.38 >	34	34	1.00
5	[29.38 : 33.23 >	17	17	1.00
6	[33.23 : 37.08 >	4	4	1.00
7	[37.08 : 40.92 >	3	3	1.00
8	[40.92 : 44.77 >	4	4	1.00
9	[44.77 : 48.62 >	5	2	0.40
10	[48.62 : 52.46 >	2	0	0.00
11	[52.46 : 56.31 >	1	0	0.00
12	[56.31 : 60.15 >	3	0	0.00
13	[60.15 : 64.00 >	1	0	0.00
TOTAL =		200	180	6.39

D = 31.96 mm

IRI = 1.55 m/km

8.3. Hoja de presentación de resultados del ensayo N°2. Km. 557+300 al 557+700

Ítem	Mediciones	Mediciones Ordenadas	Mediciones Ordenadas
1	27	16	
2	38	20	
3	42	20	
4	47	20	
5	30	21	
6	52	22	
7	33	22	
8	34	22	
9	45	22	
10	44	22	
11	27	23	23
12	30	23	23
13	28	23	23
14	35	23	23
15	30	23	23
16	22	23	23
17	30	24	24
18	31	24	24
19	27	24	24
20	30	24	24
21	37	24	24
22	31	24	24
23	35	25	25
24	26	25	25
25	41	25	25
26	32	25	25
27	54	26	26
28	26	26	26
29	29	26	26
30	28	26	26
31	26	26	26
32	35	26	26
33	29	26	26
34	30	26	26
35	33	26	26
36	29	26	26
37	45	26	26
38	41	26	26
39	30	26	26
40	42	26	26

"CONSTRUCCIÓN DE UN PERFILÓMETRO DE PRECISIÓN DIGITAL PARA EL CÁLCULO DEL INDICE DE RUGOSIDAD INTERNACIONAL DE UNA CARPETA
 ASFÁLTICA EN LA CARRETERA PANAMERICANA NORTE, TRAMO VÍA DE EVITAMIENTO TRUJILLO DESDE EL KM 557+000 AL 558+000"

41	28	26	26
42	43	27	27
43	41	27	27
44	27	27	27
45	29	27	27
46	27	27	27
47	24	27	27
48	30	27	27
49	40	27	27
50	35	27	27
51	31	27	27
52	52	27	27
53	31	27	27
54	35	27	27
55	27	27	27
56	26	27	27
57	30	28	28
58	34	28	28
59	39	28	28
60	33	28	28
61	30	28	28
62	41	28	28
63	38	28	28
64	45	28	28
65	34	28	28
66	27	28	28
67	46	29	29
68	38	29	29
69	26	29	29
70	35	29	29
71	29	29	29
72	27	29	29
73	24	29	29
74	27	29	29
75	23	29	29
76	16	29	29
77	28	29	29
78	30	30	30
79	27	30	30
80	29	30	30
81	20	30	30
82	23	30	30
83	35	30	30
84	51	30	30

"CONSTRUCCIÓN DE UN PERFILEMETRO DE PRECISIÓN DIGITAL PARA EL CÁLCULO DEL INDICE DE RUGOSIDAD INTERNACIONAL DE UNA CARPETA
 ASFÁLTICA EN LA CARRETERA PANAMERICANA NORTE, TRAMO VÍA DE EVITAMIENTO TRUJILLO DESDE EL KM 557+000 AL 558+000"

85	25	30	30
86	24	30	30
87	39	30	30
88	26	30	30
89	34	30	30
90	40	30	30
91	45	30	30
92	30	30	30
93	26	30	30
94	31	30	30
95	38	30	30
96	34	30	30
97	30	30	30
98	38	30	30
99	38	31	31
100	26	31	31
101	34	31	31
102	27	31	31
103	35	31	31
104	41	31	31
105	23	31	31
106	26	31	31
107	30	32	32
108	23	33	33
109	26	33	33
110	30	33	33
111	33	33	33
112	28	33	33
113	42	33	33
114	22	33	33
115	27	34	34
116	35	34	34
117	31	34	34
118	42	34	34
119	29	34	34
120	29	34	34
121	39	34	34
122	36	35	35
123	26	35	35
124	50	35	35
125	23	35	35
126	45	35	35
127	33	35	35
128	39	35	35

"CONSTRUCCIÓN DE UN PERFILÓMETRO DE PRECISIÓN DIGITAL PARA EL CÁLCULO DEL INDICE DE RUGOSIDAD INTERNACIONAL DE UNA CARPETA
 ASFÁLTICA EN LA CARRETERA PANAMERICANA NORTE, TRAMO VÍA DE EVITAMIENTO TRUJILLO DESDE EL KM 557+000 AL 558+000"

129	42	35	35
130	40	35	35
131	28	35	35
132	26	35	35
133	30	35	35
134	38	35	35
135	30	36	36
136	35	36	36
137	22	36	36
138	30	37	37
139	36	37	37
140	35	38	38
141	33	38	38
142	43	38	38
143	36	38	38
144	25	38	38
145	33	38	38
146	39	38	38
147	22	38	38
148	27	38	38
149	40	38	38
150	26	39	39
151	43	39	39
152	48	39	39
153	43	39	39
154	47	39	39
155	28	39	39
156	27	39	39
157	38	40	40
158	37	40	40
159	24	40	40
160	34	40	40
161	25	40	40
162	30	40	40
163	30	41	41
164	40	41	41
165	31	41	41
166	35	41	41
167	42	41	41
168	29	41	41
169	41	41	41
170	39	42	42
171	38	42	42
172	20	42	42

**“CONSTRUCCIÓN DE UN PERFILÓMETRO DE PRECISIÓN DIGITAL PARA EL CÁLCULO DEL INDICE DE RUGOSIDAD INTERNACIONAL DE UNA CARPETA
ASFÁLTICA EN LA CARRETERA PANAMERICANA NORTE, TRAMO VÍA DE EVITAMIENTO TRUJILLO DESDE EL KM 557+000 AL 558+000”**

173	29	42	42
174	59	42	42
175	39	42	42
176	29	42	42
177	44	43	43
178	28	43	43
179	25	43	43
180	21	43	43
181	44	44	44
182	49	44	44
183	47	44	44
184	24	45	45
185	22	45	45
186	31	45	45
187	27	45	45
188	42	45	45
189	30	46	46
190	38	47	47
191	20	47	
192	26	47	
193	24	48	
194	40	49	
195	28	50	
196	35	51	
197	28	52	
198	41	52	
199	26	54	
200	23	59	

CONSTANTES ESTADÍSTICAS	
MINIMO	16
MAXIMO	59
RANGO	43
N° DE DATOS	200
# INTERVALOS	13
AMPLITUD	3.31

Item	RANGOS	# DE MED EN RANGO	# DE MED DISCRIMINAD	UNIDADES DE ANCHO DE
1	[16.00 : 19.31 >	1	0	0.00
2	[19.31 : 22.62 >	9	0	0.00
3	[22.62 : 25.92 >	16	16	1.00
4	[25.92 : 29.23 >	51	51	1.00
5	[29.23 : 32.54 >	30	30	1.00
6	[32.54 : 35.85 >	27	27	1.00
7	[35.85 : 39.15 >	22	22	1.00
8	[39.15 : 42.46 >	20	20	1.00
9	[42.46 : 45.77 >	12	12	1.00
10	[45.77 : 49.08 >	6	2	0.33
11	[49.08 : 52.38 >	4	0	0.00
12	[52.38 : 55.69 >	1	0	0.00
13	[55.69 : 59.00 >	1	0	0.00
TOTAL =		200	180	7.33

D = 36.67 mm

IRI = 1.78 m/km

**8.4. Hoja de presentación de resultados del ensayo N°3. Km. 557+600 al
 558+000**

Ítem	Mediciones	Mediciones Ordenadas	Mediciones Ordenadas
1	30	14	
2	31	16	
3	38	20	
4	31	20	
5	51	20	
6	26	21	
7	26	22	
8	31	22	
9	40	22	
10	31	22	
11	27	22	22
12	20	22	22
13	23	22	22
14	42	22	22
15	32	22	22
16	37	22	22
17	30	22	22
18	36	22	22
19	33	22	22
20	25	22	22
21	30	22	22
22	35	22	22
23	59	22	22
24	31	23	23
25	29	23	23
26	25	23	23
27	24	23	23
28	36	23	23
29	46	23	23
30	43	23	23
31	40	23	23
32	35	23	23
33	34	23	23
34	33	23	23
35	36	23	23
36	40	23	23
37	46	23	23
38	55	23	23
39	50	23	23
40	38	23	23

"CONSTRUCCIÓN DE UN PERFILÓMETRO DE PRECISIÓN DIGITAL PARA EL CÁLCULO DEL INDICE DE RUGOSIDAD INTERNACIONAL DE UNA CARPETA
 ASFÁLTICA EN LA CARRETERA PANAMERICANA NORTE, TRAMO VÍA DE EVITAMIENTO TRUJILLO DESDE EL KM 557+000 AL 558+000"

41	35	23	23
42	23	23	23
43	25	23	23
44	20	23	23
45	35	23	23
46	59	23	23
47	44	23	23
48	25	23	23
49	23	24	24
50	22	24	24
51	25	24	24
52	25	24	24
53	24	24	24
54	27	24	24
55	24	24	24
56	30	24	24
57	26	24	24
58	31	24	24
59	23	24	24
60	58	24	24
61	34	24	24
62	64	24	24
63	53	24	24
64	58	24	24
65	39	24	24
66	30	24	24
67	27	24	24
68	28	24	24
69	25	24	24
70	25	24	24
71	23	24	24
72	24	24	24
73	25	24	24
74	14	25	25
75	23	25	25
76	26	25	25
77	24	25	25
78	28	25	25
79	28	25	25
80	25	25	25
81	23	25	25
82	23	25	25
83	24	25	25
84	25	25	25

“CONSTRUCCIÓN DE UN PERFILÓMETRO DE PRECISIÓN DIGITAL PARA EL CÁLCULO DEL INDICE DE RUGOSIDAD INTERNACIONAL DE UNA CARPETA ASFÁLTICA EN LA CARRETERA PANAMERICANA NORTE, TRAMO VÍA DE EVITAMIENTO TRUJILLO DESDE EL KM 557+000 AL 558+000”

85	24	25	25
86	22	25	25
87	25	25	25
88	22	25	25
89	25	25	25
90	25	25	25
91	23	25	25
92	24	25	25
93	24	25	25
94	24	25	25
95	22	25	25
96	24	25	25
97	26	25	25
98	24	25	25
99	26	25	25
100	23	25	25
101	24	25	25
102	23	25	25
103	25	25	25
104	28	25	25
105	23	25	25
106	25	25	25
107	25	25	25
108	22	25	25
109	24	25	25
110	23	25	25
111	22	25	25
112	29	25	25
113	24	25	25
114	27	25	25
115	23	26	26
116	25	26	26
117	25	26	26
118	24	26	26
119	22	26	26
120	23	26	26
121	23	26	26
122	27	26	26
123	25	26	26
124	23	26	26
125	25	26	26
126	22	26	26
127	25	26	26
128	22	26	26

"CONSTRUCCIÓN DE UN PERFILEMETRO DE PRECISIÓN DIGITAL PARA EL CÁLCULO DEL INDICE DE RUGOSIDAD INTERNACIONAL DE UNA CARPETA
 ASFÁLTICA EN LA CARRETERA PANAMERICANA NORTE, TRAMO VÍA DE EVITAMIENTO TRUJILLO DESDE EL KM 557+000 AL 558+000"

129	25	26	26
130	24	27	27
131	32	27	27
132	26	27	27
133	26	27	27
134	26	27	27
135	24	27	27
136	24	27	27
137	25	28	28
138	26	28	28
139	25	28	28
140	23	28	28
141	22	28	28
142	25	28	28
143	25	28	28
144	23	29	29
145	22	29	29
146	25	29	29
147	25	29	29
148	24	29	29
149	25	30	30
150	28	30	30
151	25	30	30
152	24	30	30
153	23	30	30
154	25	31	31
155	25	31	31
156	23	31	31
157	24	31	31
158	22	31	31
159	22	31	31
160	25	31	31
161	23	32	32
162	24	32	32
163	25	33	33
164	27	33	33
165	25	33	33
166	26	34	34
167	26	34	34
168	25	34	34
169	22	35	35
170	24	35	35
171	26	35	35
172	25	35	35

**“CONSTRUCCIÓN DE UN PERFILÓMETRO DE PRECISIÓN DIGITAL PARA EL CÁLCULO DEL INDICE DE RUGOSIDAD INTERNACIONAL DE UNA CARPETA
 ASFÁLTICA EN LA CARRETERA PANAMERICANA NORTE, TRAMO VÍA DE EVITAMIENTO TRUJILLO DESDE EL KM 557+000 AL 558+000”**

173	24	36	36
174	21	36	36
175	26	36	36
176	22	37	37
177	28	37	37
178	25	38	38
179	29	38	38
180	22	38	38
181	22	39	39
182	16	40	40
183	37	40	40
184	34	40	40
185	42	41	41
186	41	42	42
187	38	42	42
188	33	43	43
189	25	44	44
190	23	46	46
191	29	46	
192	20	50	
193	28	51	
194	31	53	
195	29	55	
196	23	58	
197	23	58	
198	25	59	
199	26	59	
200	27	64	

Item	RANGOS	# DE MED EN RANGO	# DE MED DISCRIMINAD	UNIDADES DE ANCHO DE
1	[14.00 : 17.85 >	2	0	0.00
2	[17.85 : 21.69 >	4	0	0.00
3	[21.69 : 25.54 >	108	104	0.96
4	[25.54 : 29.38 >	34	34	1.00
5	[29.38 : 33.23 >	17	17	1.00
6	[33.23 : 37.08 >	12	12	1.00
7	[37.08 : 40.92 >	7	7	1.00
8	[40.92 : 44.77 >	5	5	1.00
9	[44.77 : 48.62 >	2	1	0.50
10	[48.62 : 52.46 >	2	0	0.00
11	[52.46 : 56.31 >	2	0	0.00
12	[56.31 : 60.15 >	4	0	0.00
13	[60.15 : 64.00 >	1	0	0.00
TOTAL =		200	180	6.46

D = 32.31 mm

IRI = 1.57 m/km

CONSTANTES ESTADÍSTICAS	
MINIMO	14
MAXIMO	64
RANGO	50
N° DE DATOS	200
# INTERVALOS	13
AMPLITUD	3.85

8.5. Código fuente del programa de adquisición de datos para Arduino DUE

```
#include <LiquidCrystal.h>
#include <Arduino.h>
LiquidCrystal lcd(8, 9, 4, 5, 6, 7);
const int channelPinA = 2;
const int channelPinB = 3;
const int timeThreshold = 1;
long timeCounter = 0;
volatile int ISRCounter = 0;
int counter = 0;
float recorrido = 0.0;
int aux_rec = 0, num_med = 0, dif = 0, med = 0, ghost = 0;
float distancia = 0.0, dist = 0.0;
void setup()//Configuración de inicio, se ejecuta solo una vez por corrida de
programa
{
  lcd.begin(16, 2);          // start the library
  lcd.setCursor(0, 0);      // set the LCD cursor position
  lcd.print("PERFILOMETRO"); // print a simple message on the LCD
  lcd.setCursor(0, 1);
  lcd.print("Deza y Obeso");
  delay(3000);
  pinMode(channelPinA, INPUT_PULLUP);
  pinMode(channelPinB, INPUT_PULLUP);
  Serial.begin(9600);
  //attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(channelPinA), doEncodeA,
  FALLING);
  attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(channelPinB), doEncodeB,
  FALLING);
}
void loop()
{
```

```
if (num_med < 200)
{
  lcd.clear();
  lcd.setCursor(0, 0);      // set the LCD cursor position
  lcd.print(" Dist: ");
  lcd.print(recorrido);
  lcd.setCursor(0, 1);
  lcd.print("N= ");
  lcd.print(num_med);
  lcd.print(" ");
  lcd.print("Med= ");
  lcd.print(med);
  Serial.println(ghost);
}
else if(num_med == 200)
{
  lcd.setCursor(0,0);
  lcd.print(" MEDICION ");
  lcd.setCursor(0,1);
  lcd.print(" COMPLETA ");
}
if (counter != ISRCOUNTER)
{
  counter = ISRCOUNTER;
}
delay(100);
if (aux_rec >=2)
{
  recorrido = recorrido + 0.01178062;
  aux_rec = 0;
}
```

```
}  
if (counter >= 152)  
{  
    num_med++;  
    distancia = analogRead(1);  
    for (int i = 0; i < 10; i++) {  
        dist = dist + distancia;  
    }  
    dist = dist / 10;  
    if (dist <= 138) //Cada cuenta representa 2mm, 138 = 25  
    {  
        dif = 138 - dist;  
        dif = dif / 2;  
        med = 25 - dif;  
    }  
    else if (dist >= 138)  
    {  
        dif = dist - 138;  
        dif = dif / 2;  
        med = 25 + dif;  
    }  
    Serial.println(med);  
    delay(100);  
    ISRCounter = 0;  
}  
}  
  
void doEncodeB()  
{  
    if (millis() > timeCounter + timeThreshold)
```

```
{
  if (digitalRead(channelPinA) != digitalRead(channelPinB))
  {
    ISRCOUNTER++;
    aux_rec++;
  }
  else if (digitalRead(channelPinA) == digitalRead(channelPinB))
  {
    ISRCOUNTER++;
    aux_rec++;
  }
  timeCounter = millis();
}
}
```

8.6. Código fuente del programa de procesamiento de datos (Matlab)

```
function varargout = Perfilometro Digital(varargin)
gui_Singleton = 1;
gui_State = struct('gui_Name',    mfilename, ...
                  'gui_Singleton', gui_Singleton, ...
                  'gui_OpeningFcn', @Perfilometro_OpeningFcn, ...
                  'gui_OutputFcn', @Perfilometro_OutputFcn, ...
                  'gui_LayoutFcn', [] , ...
                  'gui_Callback', []);
if nargin && ischar(varargin{1})
    gui_State.gui_Callback = str2func(varargin{1});
end

if nargout
    [varargout{1:nargout}] = gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
else
    gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
end

function Perfilometro_OpeningFcn(hObject, eventdata, handles, varargin)
handles.output = hObject;
axes(handles.axes4)
handles.imagen=imread('logo2.bmp');
imagesc(handles.imagen)
axis off
guidata(hObject, handles);

function varargout = Perfilometro_OutputFcn(hObject, eventdata, handles)

varargout{1} = handles.output;

function tabla1_CellEditCallback(hObject, eventdata, handles)

function btn_ref_Callback(hObject, eventdata, handles)
%%
k = 13; %%Numero de intervalos
clear all;
clc;
pserial=serial('COM10','BaudRate',9600);
fopen(pserial);
figure('Name','Gráfica de valores obtenidos')
title('Perfil de superficie de rodadura');
xlabel('Muestra');
ylabel('Altura');
val=zeros(1,200);
jota = 1;
msj = 'Recibiendo...';
%%=====Bloque de gráfica al recibir datos nuevos=====
while jota <= 200
```

```
lectura = fscanf(pserial,'%d');
if lectura > 0
    ylim([15 40.1]);
    xlim([0 200.1]);
    val(1,jota) = lectura;
    hold on
    plot(jota,val(1,jota),'x');
    drawnow
    jota = jota + 1;
else
    set(handles.edit4,'string',msj)
end
end
grid;
A = val;
%%=====
====
A1 = vec2mat(A,10);
set(handles.tabla1,'data',A1)
%%
minimo = min(A(1,:));
maximo = max(A(1,:));
rango = maximo - minimo;
amplitud = rango / k;
%%
A = sort(A);
N_1 = minimo;
N_2 = N_1 + amplitud;
N_3 = N_2 + amplitud;
N_4 = N_3 + amplitud;
N_5 = N_4 + amplitud;
N_6 = N_5 + amplitud;
N_7 = N_6 + amplitud;
N_8 = N_7 + amplitud;
N_9 = N_8 + amplitud;
N_10 = N_9 + amplitud;
N_11 = N_10 + amplitud;
N_12 = N_11 + amplitud;
N_13 = N_12 + amplitud;
N_14 = N_13 + amplitud;
count = zeros(1,13);
count(1,1) = numel(A(A(:))>=N_1 & A(:)<N_2);
count(1,2) = numel(A(A(:))>=N_2 & A(:)<N_3);
count(1,3) = numel(A(A(:))>=N_3 & A(:)<N_4);
count(1,4) = numel(A(A(:))>=N_4 & A(:)<N_5);
count(1,5) = numel(A(A(:))>=N_5 & A(:)<N_6);
count(1,6) = numel(A(A(:))>=N_6 & A(:)<N_7);
count(1,7) = numel(A(A(:))>=N_7 & A(:)<N_8);
count(1,8) = numel(A(A(:))>=N_8 & A(:)<N_9);
count(1,9) = numel(A(A(:))>=N_9 & A(:)<N_10);
```

```

count(1,10) = numel(A(A(:)>=N_10 & A(:)<N_11));
count(1,11) = numel(A(A(:)>=N_11 & A(:)<N_12));
count(1,12) = numel(A(A(:)>=N_12 & A(:)<N_13));
count(1,13) = numel(A(A(:)>=N_13 & A(:)<=N_14));
count_A = count;
%%
NR = zeros(1,180);
for i = 1:180
    NR(1,i) = A(1,10+i);
end
count(1,1) = numel(NR(NR(:)>=N_1 & NR(:)<N_2));
count(1,2) = numel(NR(NR(:)>=N_2 & NR(:)<N_3));
count(1,3) = numel(NR(NR(:)>=N_3 & NR(:)<N_4));
count(1,4) = numel(NR(NR(:)>=N_4 & NR(:)<N_5));
count(1,5) = numel(NR(NR(:)>=N_5 & NR(:)<N_6));
count(1,6) = numel(NR(NR(:)>=N_6 & NR(:)<N_7));
count(1,7) = numel(NR(NR(:)>=N_7 & NR(:)<N_8));
count(1,8) = numel(NR(NR(:)>=N_8 & NR(:)<N_9));
count(1,9) = numel(NR(NR(:)>=N_9 & NR(:)<N_10));
count(1,10) = numel(NR(NR(:)>=N_10 & NR(:)<N_11));
count(1,11) = numel(NR(NR(:)>=N_11 & NR(:)<N_12));
count(1,12) = numel(NR(NR(:)>=N_12 & NR(:)<N_13));
count(1,13) = numel(NR(NR(:)>=N_13 & NR(:)<=N_14));
count_B = count;
axes(handles.axes1);
bar(count_A(:))
axes(handles.axes2);
bar(count_B(:))
count_C=zeros(1,13);
for i = 1:13
    if (count_A(1,i) == 0)
        count_C(1,i) = 0;
    else
        count_C(1,i) = count_B(1,i) / count_A(1,i);
    end;
end;
D = 5*(count_C(1,1) + count_C(1,2) + count_C(1,3) + count_C(1,4) + count_C(1,5) +
count_C(1,6) + count_C(1,7) + count_C(1,8) + count_C(1,9) + count_C(1,10) +
count_C(1,11) + count_C(1,12) + count_C(1,13));

if D >= 42
    v1 = 3;
else
    v1 = 2;
end;
switch v1
case 2
    IRI = 0.0485*D;
    T1 = importdata('IRI_2.txt');
    set(handles.edit2,'string',T1)

```

```
case 3
    IRI = 0.593 + 0.0471*D;
    T1 = importdata('IRI_1.txt');
    set(handles.edit2,'string',T1)
end
%% here
set(handles.edit1,'string',D)
set(handles.edit3,'string',IRI)
%%
% Creación de Excel
filename = 'Resultados.xlsx';
Titulo1 = {'Mediciones'};
sheet = 1;
xlRange = 'A1';
xlswrite(filename,Titulo1,sheet,xlRange)
xlRange = 'A2';
xlswrite(filename,transpose(A),sheet,xlRange)

Titulo2= {'Distribución de frecuencia Total'};
sheet = 2;
xlRange = 'C1';
xlswrite(filename,Titulo2,sheet,xlRange)
xlRange = 'B2';
rangos = {'Rangos',N_2, N_3, N_4, N_5, N_6, N_7, N_8, N_9, N_10, N_11, N_12,
N_13, N_14};
xlswrite(filename,rangos,sheet,xlRange)
xlRange = 'C3';
xlswrite(filename,count_A,sheet,xlRange)

Titulo3 = {'Distribución de frecuencia discriminada'};
xlRange = 'C6';
xlswrite(filename,Titulo3,sheet,xlRange)
xlRange = 'B7';
rangos = {'Rangos',N_2, N_3, N_4, N_5, N_6, N_7, N_8, N_9, N_10, N_11, N_12,
N_13, N_14};
xlswrite(filename,rangos,sheet,xlRange)
xlRange = 'C8';
xlswrite(filename,count_B,sheet,xlRange)

Out = {'D', D; 'IRI',IRI};
xlRange = 'C10';
xlswrite(filename,Out,sheet,xlRange)

if IRI <= 1.48
    h = msgbox({'Estado del Pavimento:'''
                'Buena.''''Acción
recomendada:'''
                'No necesaria.'''},'Análisis');
elseif IRI <= 2.70
    h = msgbox({'Estado del Pavimento:'''
                'Regular.''''Acción
recomendada:'''
                'Tratamiento superficial.'''},'Análisis');
elseif IRI > 2.70
```

```
h = msgbox({'Estado del Pavimento:' '' 'Muy Malo.' '' 'Acción  
recomendada:' '' 'Reconstrucción del tramo de vía.' ''},'Analisis');  
end;  
%%  
fclose(pserial);  
delete(pserial);  
function edit1_Callback(hObject, eventdata, handles)  
  
function edit1_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)  
  
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),  
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))  
    set(hObject,'BackgroundColor','white');  
end  
  
function edit2_Callback(hObject, eventdata, handles)  
  
function edit2_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)  
  
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),  
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))  
    set(hObject,'BackgroundColor','white');  
end  
  
function edit3_Callback(hObject, eventdata, handles)  
  
function edit3_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)  
  
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),  
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))  
    set(hObject,'BackgroundColor','white');  
end  
  
function pushbutton2_Callback(hObject, eventdata, handles)  
  
close all;  
  
function edit4_Callback(hObject, eventdata, handles)  
  
function edit4_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)  
  
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),  
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))  
    set(hObject,'BackgroundColor','white');  
end
```