

Determinación índice internacional de rugosidad implementando tecnología de escáner laser

LiDAR de bajo costo.

John Michell Martinez Rodríguez

Universidad Distrital Francisco José de Caldas

Facultad de Medio Ambiente y Recursos Naturales

2022

Determinación del índice internacional de rugosidad implementando tecnología de escáner laser
LiDAR de bajo costo.

John Michell Martinez Rodríguez

Director

Ing. Wilmar Darío Fernández Gómez

Universidad Distrital Francisco José de Caldas

Facultad de Medio Ambiente y Recursos Naturales

2022

-2-

Contenido

1. Introducción	9
1.1 Contexto del proyecto	9
1.2 Descripción del problema y/o pregunta de investigación	10
1.3 Justificación del proyecto	10
1.4 Objetivos	11
1.4.1 Objetivo general.....	11
1.4.2 Objetivos específicos	11
2. Antecedentes	12
2.1 Rugosidad de la superficie vial.	12
2.2 Sistemas de Mobile Mapping.....	12
2.3 Índice Internacional de Rugosidad.....	14
2.4 Escala y Características del IRI	16
2.5 Normas	17
2.5.1 Norma AASHTO PP 37-04	17
2.5.2 Norma INVE – 790- 13.....	17
2.6 Fallas Superficiales	17
2.7 Escáner laser LiDAR Livox Mid - 40.....	18
2.7.1 Características	18

2.7.2 Componentes.....	18
3. Metodología	20
3.1 Configurar el software y hardware del escáner laser LIVOX MID 40.....	20
3.2 Selección del sitio	21
3.3 Ensayo en campo	21
3.4 Procesamiento de los datos	22
3.5 Cálculos.....	23
4. Ejecución de campo y oficina.....	24
4.1 Toma de datos	24
5. Resultados.....	33
6. Conclusiones y Recomendaciones	35
8. Anexos	40

Índice de figuras

Figura 1. Sistema de mapeo móvil.....	13
Figura 2. Sensores del sistema Mobile Mapping	14
Figura 3. Representación gráfica del modelo “cuarto de carro”	15
Figura 4. Densidad de puntos por tiempo	18
Figura 5. Características del LIVOX MID 40	19
Figura 6. Configuración del equipo y calibración de las coordenadas.	20
Figura 7. Localización del sitio de trabajo.....	21
Figura 8. Convertidor de formato lvx a las	22
Figura 9. Sección de trabajo.....	24
Figura 10. Inicio de las secciones y toma de datos	25
Figura 11. Nube de puntos de la sección 1	25
Figura 12. Modelo digital de elevación de la sección 1 y perfil longitudinal.....	26
Figura 13. Nube de puntos sección 2	27
Figura 14. Modelo digital de elevación y perfil longitudinal de la sección 2.....	27
Figura 15. Nube de puntos sección 3	27
Figura 16. Modelo digital de elevación y perfil longitudinal de la sección 3.....	28
Figura 17. Nube de puntos sección 4.....	28
Figura 18. Modelo digital de elevación y perfil longitudinal de la sección 4.....	29
Figura 19. Toma de datos por el método topográfico	30
Figura 20. Delimitación del terreno cada 25cm.....	31
Figura 21. Toma de los datos con la mira.....	31
Figura 22. Circuito de nivelación.....	32

Figura 23. Cálculos de la cartera.....	32
Figura 24. Distancia vs cota tomada método indirecto escáner laser LIVOX MID 40	33
Figura 25. Distancia vs cota tomada método directo topográfico	33

TITULO: Determinación del índice internacional de rugosidad implementando tecnología de escáner laser LiDAR de bajo costo.

AUTOR: John Michell Martinez Rodríguez

PROGRAMA: Tec. Levantamientos Topográficos

DIRECTOR: Ing. Wilmar Darío Fernández Gómez

RESUMEN

Los deterioros de los pavimentos llevan consigo incrementos en los costos de operación de los vehículos y la disminución en la seguridad de los usuarios. El siguiente documento presenta una metodología para determinar el índice internacional de rugosidad (IRI) de un tramo de vía con ayuda de un escáner laser LIDAR de bajo costo. Para el levantamiento de las irregularidades de la superficie del pavimento se utilizó un escáner laser LiDAR LIVOX MID 40. Una vez se delimitó la zona de trabajo se realizó el escaneo y una nivelación geométrica de la rodadura para determinar el IRI. Por otra parte, al recopilar los datos se utiliza el software Global Mapper, el cual proporciona las herramientas necesarias para observar el perfil longitudinal y exportarlo como un archivo .csv, donde podemos realizar los cálculos pertinentes desde la herramienta office Excel y comparar los datos recopilados con el nivel de precisión. El IRI determinado con el escáner laser LIDAR es más bajo que el IRI obtenido con el nivel de precisión, habiendo una discrepancia de 11.8 m/km entre los dos, y por tanto es necesario profundizar en el sistema de georreferenciación del escáner para observar mejores resultados.

PALABRAS CLAVE:

IRI, Rugosidad, escáner laser LIDAR, pavimento flexible, Livox MID 40

TITLE: Determination of the international roughness index by implementing low-cost LiDAR laser scanner technology LIVOX MID 40.

AUTHOR: John Michell Martinez Rodriguez

PROGRAM: Land survey Technology

DIRECTOR: Eng. Wilmar Darío Fernández Gómez

ABSTRACT

Pavement deterioration leads to increased vehicle operating costs and decreased safety for road users. The following paper presents a methodology to determine the International Roughness Index (IRI) of a road section with the help of a low-cost LIDAR laser scanner. A LIVOX MID 40 LiDAR laser scanner was used to survey the irregularities of the pavement surface. Once the work area was delimited, the scanning and geometric leveling of the roadway was carried out to determine the IRI. On the other hand, when collecting the data, the Global Mapper software is used, which provides the necessary tools to observe the longitudinal profile and export it as a .csv file, where we can perform the relevant calculations from the office Excel tool and compare the data collected with the level of accuracy. The IRI determined with the LIDAR laser scanner is lower than the IRI obtained with the precision level, there being a discrepancy of 11.8 m/km between the two, and therefore it is necessary to deepen the georeferencing system of the scanner to observe better results.

KEY WORDS:

IRI, Roughness, laser LIDAR scanner, flexible pavement, Livox MID 40.

1. Introducción

1.1 Contexto del proyecto

La red vial de Colombia está compuesta por un total de 206.102 km, de los cuales se dividen según su función, ya sea rurales o urbanas. En las redes rurales encontramos la red primaria la cual constituye la red principal o de primer orden a nivel nacional, la principal función de estas vías es generar la integración de las principales zonas de producción y consumo del país con una extensión de 16.983 km. Las de vías secundarias o de segundo orden, se encuentran a cargo de los departamentos del país y cuya función principal es interconectar las cabeceras municipales con la red primaria, cuenta con una extensión de 44.400 km. Por último tenemos la red vial terciaria la cual contiene la mayor extensión vial con 142.284 km, la principal función de estas vías de tercer orden es interconectar las cabeceras municipales con sus veredas (Quiroga Tavera , 2019). Al mismo tiempo la red urbana se jerarquiza de la siguiente forma (Gonzales Vergara , Rincón Villalba , & Vargas Vargas , 2012)

- Arterias principales (para movimientos mayores)
- Arterias menores (cuya función es distribuir)
- Vías colectoras
- Caminos o calles locales (compone el sistema vascular de la red)

Por otra parte, es necesario tener en cuenta el deterioro de la infraestructura vial para conectar de manera más eficiente y precisa todo un país, en Colombia la mayor parte de su red vial se encuentra en mal estado, donde la red primaria cuenta con 17.68 % de la red total de este tipo en mal estado, la red secundaria cuenta con 20% en mal estado en su red total y la red terciaria con

45.4 % en mal estado. Lo anterior genera problemas de conectividad en el país reflejando bajas en el sector de la industria el transporte y agropecuario. Es así, que en el mundo existen diversos métodos que nos permiten evaluar el estado superficial del pavimento, como el índice de condición del pavimento (PCI), el índice de rugosidad internacional (IRI) y visión de zonas e itinerarios de riesgo (VIZIR). El objetivo principal de estas metodologías es de evaluar la condición del pavimento según el daño, la irregularidad y fallas superficiales (Pucha Aguinosa & Zarate Torres, 2020).

1.2 Descripción del problema y/o pregunta de investigación

Para determinar el índice de rugosidad internacional se han desarrollado diferentes metodologías como la nivelación topográfica, el equipo Merlín, tecnología láser de tres dimensiones (LCMS), el método de la AASHO y la utilización de perfilómetro laser. A pesar de la existencia de estas metodologías el avance de la tecnología permite nuevas posibilidades de adquisición de datos de manera más ágil y precisa, por lo tanto es pertinente explorar las posibilidades y versatilidad que nos ofrece los sistemas LiDAR.

1.3 Justificación del proyecto

Al conocer, implementar y ejecutar esta nueva tecnología del sistema LiDAR, la cual permite obtener una gran cantidad de datos en muy poco tiempo. La hace una de las herramientas más versátiles en el momento, comparándola con equipos como el perfilómetro laser y la tecnología láser de tres dimensiones (LCMS). Es así que al determinar el IRI con el equipo LIVOX MID 40 el cual utiliza el sistema LiDAR, nos abre una gran cantidad de posibilidades de uso en la industria vial como el mapeo móvil y en otros campos de la investigación.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Determinar el índice internacional de rugosidad (IRI) o irregularidades de la superficie del pavimento utilizando un escáner laser LiDAR LIVOX MID 40.

1.4.2 Objetivos específicos

- Configurar el hardware y software del escáner laser LIVOX MID 40.
- Procesar los datos tomados con el escáner de la superficie del pavimento utilizando un software que nos permita observar el perfil longitudinal y determinar el estado del IRI o las irregularidades de la superficie.
- Comparar los resultados obtenidos por medio del escáner laser LIVOX MID 40 y los datos recopilados con el nivel de precisión.

2. Antecedentes

En el siguiente apartado se encuentran una breve descripción de diferentes términos pertinentes a la investigación, además de estudios previos realizados con el mismo fin de determinar el IRI utilizando metodologías similares.

2.1 Rugosidad de la superficie vial.

Son irregularidades de la superficie del pavimento, las cuales al transitar el vehículo origina movimientos de forma vertical que produce que el vehículo pueda salirse de control en algún momento si la superficie se encuentra en estado deplorable. Además de evidenciar el estado y calidad del pavimento (Hernández Cáceres, 2018).

Por otra parte un estudio realizado por la universidad del estado de Iowa en el 2015 compara los datos obtenidos con un escaneo laser terrestre (TLS) y fotogrametría utilizando un proceso conocido como estructura a partir de movimiento (SFM), donde se determinó que la mayoría de los casos la diferencia más alta se encuentra en ubicaciones aproximadas. Esto puede deberse por la iluminación del escáner laser para capturar puntos cubiertos, para confirmar esta hipótesis se aconseja realizar más pruebas (Alhasan, Younkin, & White, 2015).

2.2 Sistemas de Mobile Mapping

A partir de la década de los noventa el mapeo móvil se ha llevado a cabo para la captura de datos en la superficie del pavimento, como del estado vial, haciendo uso de diferentes tecnologías, o métodos. De los cuales, inicialmente era de forma manual, realizando inventarios viales mediante inspección visual, ejecutados por especialistas encargados de diligenciar formularios y mapear manualmente los elementos viales (Porrás Díaz, Sanabria Echeverry, & Ortiz Ferreira, 2018).

Este método era bastante impreciso como agotador, es así que acabo de unos años se han

implementado sistemas automáticos que capturan la información de forma precisa, rápida y eficiente. Denominado como (Mobile Mapping Systems – MMS), fue desarrollado por el centro de cartografía de la Ohio State University. Su sistema fue denominado GPSVan TM, integrando un sistema de navegación por satélite de código (Global Navigation Satellite System – GNSS), dos cámaras digitales CCD (Charge Coupled Device), dos cámaras de video a color y varios sensores; todo esto montado sobre una camioneta (Holgado Barco, 2016) (de Oliveira Maciel, 2011).

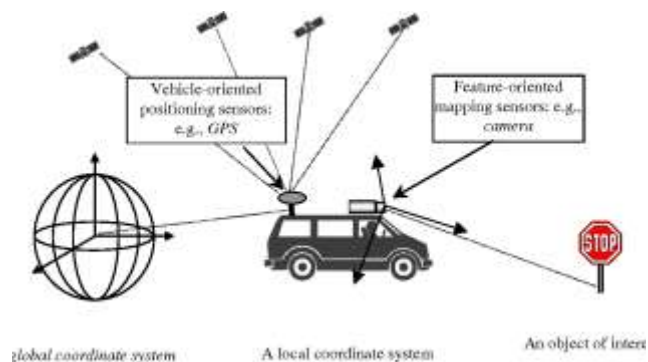


Figura 1. Sistema de mapeo móvil

Tomado de *El concepto de la georreferenciación directa* [Figura], Semantic Scholar, 2001, <https://www.semanticscholar.org/paper/Mobile-Mapping-Technology-for-Road-Network-Data-Tao/81ef828c7f5e2e55cd253d1c7223727399d1d48b>

Al mismo tiempo, las diferentes tecnologías que se encuentran en dicho sistema son: las cámaras digitales, uno o varios láseres escáner, una unidad de medición inercial (Inertial Measurement Unit – IMU) en combinación con un sistema de navegación global por satélite (GNSS), un odómetro o (Distance Measurement Indicators – DMI), además de una unidad de control que

opera todos estos componentes, sincroniza la adquisición de la medición y registra los datos recogidos digitales (Gao, Zhong, Tang, Wang, & Liu, 2017) (Sáez Aguirre, 2017).

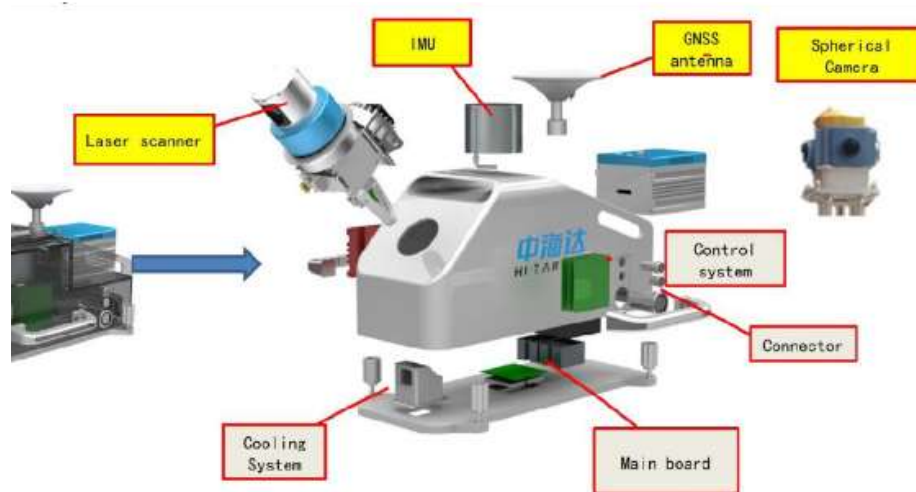


Figura 2. Sensores del sistema Mobile Mapping

Tomado de *MMS components* [Figura], Geo-matching, s.f, <https://geo-matching.com/content/mobile-mapping-system-for-cadastral-surveying>

2.3 Índice Internacional de Rugosidad

En la década de los 70 el Banco Mundial ayudó económicamente a varios programas de investigación, con el fin de conocer los problemas en los países en vías de desarrollo. El factor primario de estos análisis es que involucran la calidad del camino, en función de los costos de los usuarios. Al momento de realizar la investigación no se pudieron comprar los resultados obtenidos, ya que al recopilar los datos se emplearon métodos diferentes. Es así, que esto llevo a considerar la conveniencia de optar por un “índice único” para calificar la rugosidad superficial.

El Banco Mundial realizó un experimento en 1982 en Brasil con el fin de establecer las correlaciones y un estándar de calibración para mediciones de rugosidad. Allí se observó que los

valores de los equipos de medición de rugosidad superficial existentes eran correlacionales. Al tener esto en cuenta uno de los objetivos de la investigación era encontrar un único índice de referencia denominado “Índice Internacional de Rugosidad”. El cálculo matemático se basa en un modelo llamado el cuarto de carro (Quarter – Car). Este sistema calcula la deflexión de la suspensión mecánica del carro en donde va el pasajero, los desplazamientos de forma vertical son acumulados y se dividen entre la distancia recorrida dando así el índice internacional de rugosidad, en diferentes unidades como m/km, mm/m, in/mi, etc (Arriaga Patiño, Garnica Anguas, & Rico Rodríguez, 1998).

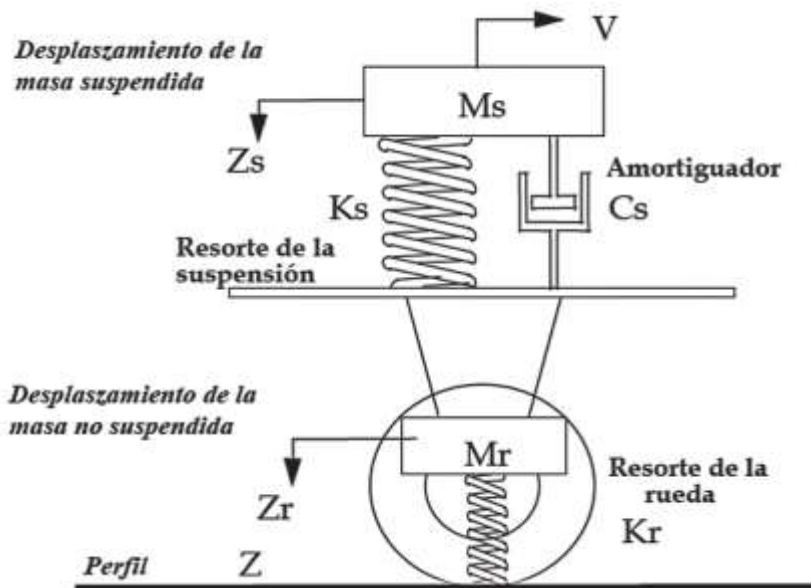


Figura 3. Representación gráfica del modelo “cuarto de carro”

Tomado de *modelo de cuarto de carro* [Figura], G. Badilla, 2010,

https://www.researchgate.net/figure/figura-1-Modelo-de-cuarto-de-carro_fig1_277263174

Este índice nos permite reconocer la calidad del pavimento ya sea flexible o rígido, y se emplea por diferentes agencias viales a nivel mundial para controlar y verificar la calidad de sus

carreteras. Además, existen diferentes equipos que permiten realizar la evaluación de este indicador, esta diferenciados según el Banco Mundial entre 4 categorías (Saldaña M, Diaz T, Marquez, & Garrido S, 2017) (Zak, 2016):

- Clase 1: Perfil de precisión. Representa el mayor estándar de precisión para la medición del IRI. Como base se requiere una medición precisa del perfil longitudinal como una serie de puntos de elevación cercanos y equidistantes a lo largo de la huella de la circulación (De Blasiis, Di Benedetto, Fiani, & Garozzo, 2021) (Glennie & Hartzell, 2020).
- Clase 2: Otros métodos perfilométricos. En esta clase incluye a todos los métodos en que el perfil longitudinal es medido como base, pero no tiene una precisión en la medición tan alta como en el caso uno.
- Clase 3: IRI estimado mediante ecuaciones de correlación. Métodos que dependen de la respuesta dinámica del sistema de medición para obtener propiedades de rugosidad comparables a la escala de IRI mediante ecuaciones de correlación.
- Clase 4: Clasificación subjetiva y dispositivos no calibrados.

2.4 Escala y Características del IRI

Las unidades de medición del IRI son mm/m, m/km, (in/mi) o en pendiente multiplicada por 1000. El rango de la escala del IRI para un camino pavimentado es de 0 a 12 m/km, donde 0 es un camino con la superficie uniforme y 12 es un camino intransitable. Adicionalmente para una superficie con pendiente constante sin deformidades el IRI es cero, ya que la pendiente no influye al valor del IRI (Amnon, Irit, & Arieih, 2004) (Arriaga Patiño, Garnica Anguas, & Rico Rodríguez, 1998)

Escala de los valores del IRI y las características de los pavimentos

2.5 Normas

2.5.1 Norma AASHTO PP 37-04

Practica estándar para la determinación del índice de rugosidad internacional (IRI) para cuantificar la rugosidad de los pavimentos. Esta práctica describe un método para estimar la rugosidad de una sección del pavimento. En donde el IRI se calcula a partir de un único perfil longitudinal medido con un perfilador de caminos tanto en el interior como en el exterior del camino de ruedas el pavimento. El promedio de estas dos estadísticas de IRI se informa como la rugosidad de la sección de pavimento (Holgado Barco, 2016) (Amnon, Irit, & Arieih, 2004).

2.5.2 Norma INVE – 790- 13

Esta norma describe un procedimiento para estimar la rugosidad de una sección de pavimento, mediante el IRI, el cual se calcula a partir de la medición del perfil longitudinal de las huellas internas y externas de la circulación del tránsito en un pavimento, empleando un perfilometro. Con el fin de contribuir en la producción de estimaciones consistentes del IRI para los programas de administración de pavimentos a nivel de red. Por su parte, este método debe desarrollar un plan de aseguramiento de calidad. Dicho plan debe incluir registros sobre certificación del personal que realizo los ensayos, sobre la exactitud del equipo, sobre los procedimientos diarios del control de calidad (Amnon, Irit, & Arieih, 2004).

2.6 Fallas Superficiales

Los daños que presenta la superficie del pavimento se puede generar por diversas causas ya sea desde la parte ambiental como en la ejecución de la obra o fallas estructurales, en algunos casos para los pavimentos flexibles se pueden clasificar de cuatro categorías (Holgado Barco, 2016):

- Fisuras
- Deformaciones
- Perdida de capa estructural
- Daño superficiales

2.7 Escáner laser LiDAR Livox Mid - 40

2.7.1 Características

Livox Mid – 40 tiene un alto índice de cobertura debido a su exclusivo diseño no repetitivo.

Tecnología de escaneo. Con el tiempo, la cobertura dentro del FOV aumenta significativamente y revela más información detallada del entorno. Las siguientes figuras muestran los patrones de nube de puntos típico de Livox Mid – 40 durante un periodo de tiempo prolongado.

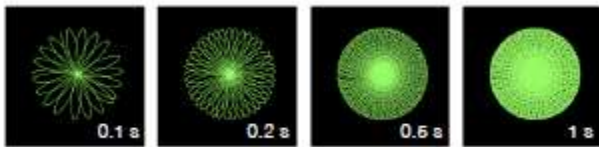
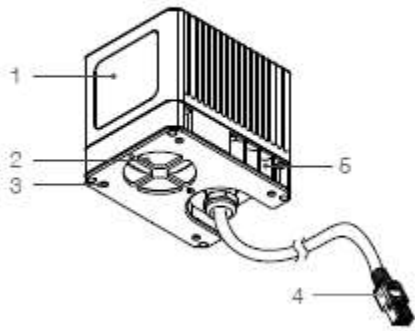


Figura 4. Densidad de puntos por tiempo

Tomado del manual del escáner laser LIVOX MID 40 pág. 4

2.7.2 Componentes

El escáner laser está compuesto por los siguientes componentes, para poder hacer su respectiva conexión de manera adecuada.



1. Ventana óptica
2. Ventilador (entrada de aire)
3. Orificios de montaje
4. Conector lidar
5. Salida de aire

Figura 5. Características del LIVOX MID 40

Tomado de el manual del escaner laser LIVOX MID 40 pag. 6

3. Metodología

La metodología que se llevó a cabo en la investigación se basa en implementar la nueva tecnología del sistema LiDAR utilizando el escáner laser LIVOX MID 40. Teniendo en cuenta el manual de uso y el software LIVOX VIEWER se ajusta y configura el software y el hardware del escáner, antes de la toma de los datos. Como se observa a continuación.

3.1 Configurar el software y hardware del escáner laser LIVOX MID 40

Se realizó el montaje de las partes del escáner y conexión al computador según el manual de usuario, además de configurar la dirección del IP en modo estático en el computador. Al mismo tiempo se realizó la calibración de las coordenadas del escáner, conforme se tomaban los datos y la configuración de la densidad de puntos con el software Livox Viewer.

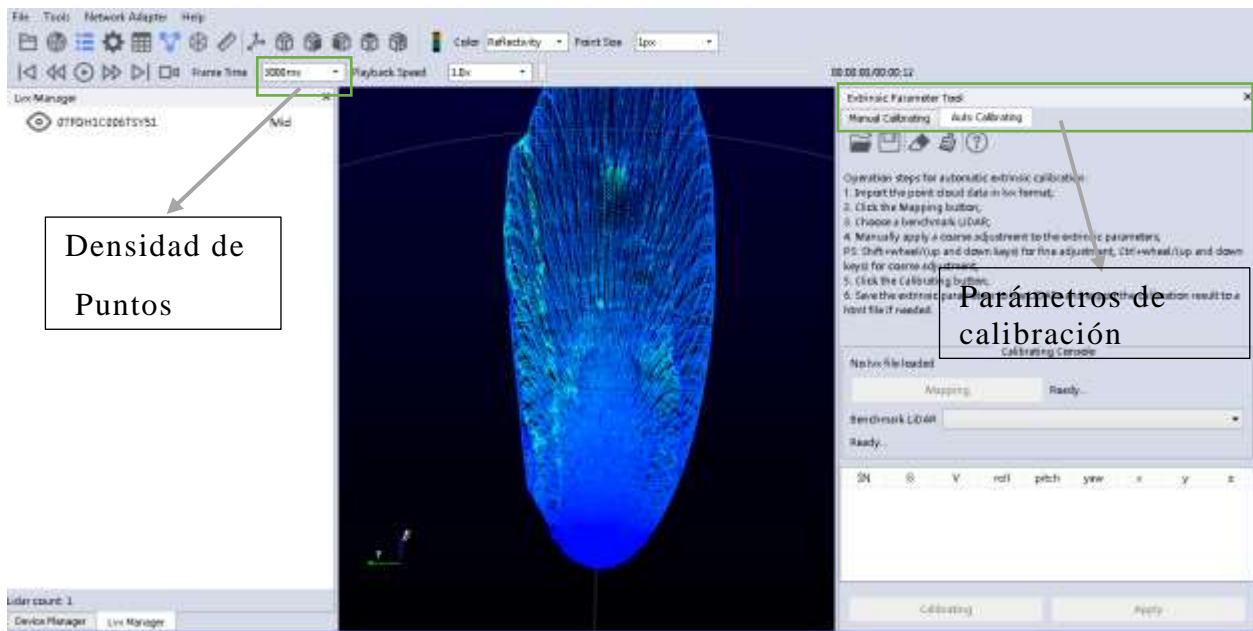


Figura 6. Configuración del equipo y calibración de las coordenadas.

3.2 Selección del sitio

Se realizó la respectiva selección de la zona de trabajo, la cual es el tramo que se encuentra desde el inicio del bienestar institucional de la Universidad Distrital sede FAMARENA hasta la salida por el parqueadero con una distancia de 16.5 metros. Ya que para utilizar el escáner se necesita de una fuente de alimentación con mínimo 10 V, por este motivo se optó por trabajar cerca del bienestar con una extensión de electricidad 16 metros.



Figura 7. Localización del sitio de trabajo

3.3 Ensayo en campo

Para la ejecución de los ensayos en campo se debe trabajar con dos personas, un operador que se encuentra con el ordenador grabando los datos y el otro posicionando el escáner por tramos.

Cabe resaltar que el escáner no lee datos menores de 1 m de distancia es así que lo debemos

posicionar un metro antes del tramo a trabajar. Al mismo tiempo para determinar el IRI es recomendable tener una longitud de trabajo de 100 metros de distancia cuando se realiza el método del cuarto de carro, ya que el automóvil va a 80 km/h. Para este caso es suficiente con esta distancia como método de prueba tanto para los datos tomados con el escáner como para el nivel. Al mismo tiempo, debemos de calibrar las coordenadas en el escáner por cada tramo conforme avanzamos en toda la sección. Ya que el escáner no cuenta con un GPS integrado y la toma de los datos es de forma estática.

3.4 Procesamiento de los datos

Teniendo los datos guardados, estos tendrán una extensión (.lvx). Donde se usara el convertidor del software Livox Viewer para convertir el archivo a un (.las), de esta manera se podrá observar la nube de puntos desde cualquier software para procesamiento de datos LiDAR. Ya sea, Global Mapper, Agisoft Metashape, RECAP entre otros.



Figura 8. Convertidor de formato lvx a las

3.5 Cálculos

El procedimiento y los cálculos para determinar el IRI son los siguientes.

Paso 1: Determinamos la pendiente real del terreno.

$$(Z1-Z2)/L = m$$

Donde Z1 es la cota inicial del terreno y Z2 es la cota final, esta diferencia se divide en L que es la longitud total del tramo.

Paso 2: Conocer la cota real por cada longitud del tramo

$$(Dx * m) + Z1 = \text{Cota real del terreno}$$

Donde Dx es la diferencia longitudinal del terreno a cada 25 cm y m es la pendiente anteriormente calculada.

Paso 3: Determinación del IRI

$$IRI = \frac{\sum |cota\ real - cota\ tomada|}{L}$$

Se debe sumar la diferencia entre la cota real del terreno y la cota tomada y este resultado se divide entre la longitud total del tramo.

4. Ejecución de campo y oficina

4.1 Toma de datos

Se ejecutó la toma de datos con el escáner laser, teniendo en cuenta que es necesario dividir el segmento en diferentes secciones. Ya que, no es posible de ejecutar todo el escaneo en una sola sección, por motivos de configuración del escáner. Además de esto facilita el escaneo y se obtiene una mayor concentración de puntos en el área específica. Al mismo tiempo, es importante tener la altura instrumental a un metro antes del perímetro seleccionado, ya que el escáner no toma puntos antes de 1 metro. En cada sección se posicionó una marca en el suelo o punto de control para poder traslapar los datos entre secciones y unirlos en uno solo. De esta forma se determina más rápidamente el IRI, sin necesidad de varios procesos; en este caso solo usamos en software Global Mapper para observar el perfil longitudinal y expórtalo como un archivo csv.

Ahora bien, en las siguientes imágenes se pueden observar la distancia total del segmento escaneado.



Figura 9. Sección de trabajo.



Figura 10. Inicio de las secciones y toma de datos

En total fueron 4 secciones, las cuales cada una se procesó por separado realizando la triangulación de los puntos para elaborar el modelo digital de elevación. Y así poder determinar el perfil longitudinal a partir de los 30 cm del borde de la vía o la rodadura. Para cada sección se configuró el scanner teniendo en cuenta los puntos de la marcación entre secciones, como se puede observar en los anexos del 1 hasta el 4.

Sección 1

Para la sección uno el escáner se configuro con los siguientes valores: $x = 0$, $y = 0$, $z = 0$



Figura 11. Nube de puntos de la sección 1

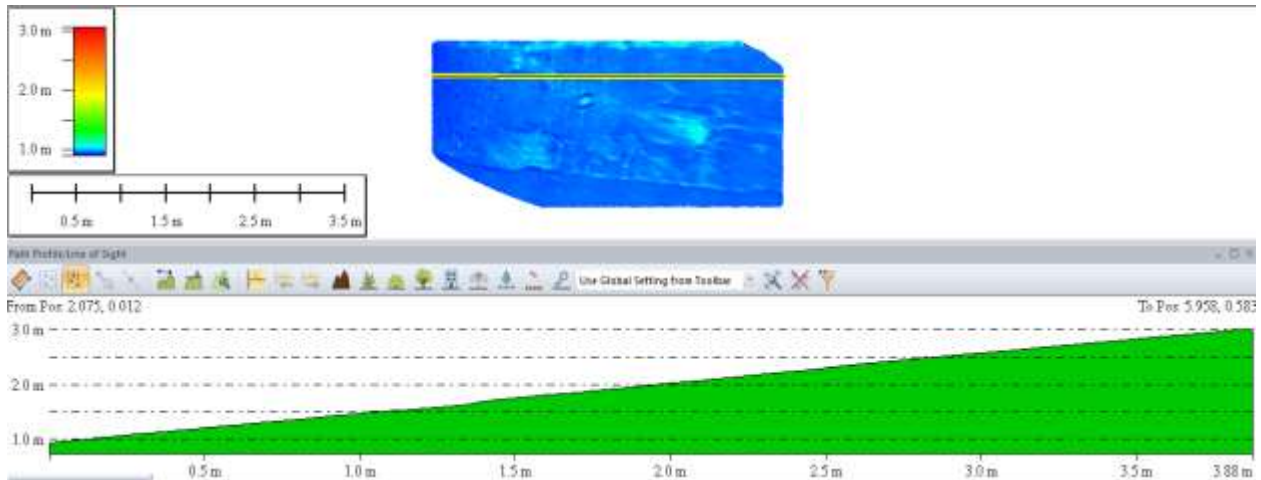


Figura 12. Modelo digital de elevación de la sección 1 y perfil longitudinal.

Una vez obtenido el modelo digital de elevación y la nube de puntos recortada, trazamos una línea que no ayuda a observar el perfil longitudinal de la sección y exportarlo en un archivo csv. Para unir todas las secciones en un solo segmento desde el software Excel y determinar el IRI.

Sección 2

En la sección 2 el escáner se configuro con los siguientes valores: $x = 3.792$, $y = 0.043$, $z = 1.847$

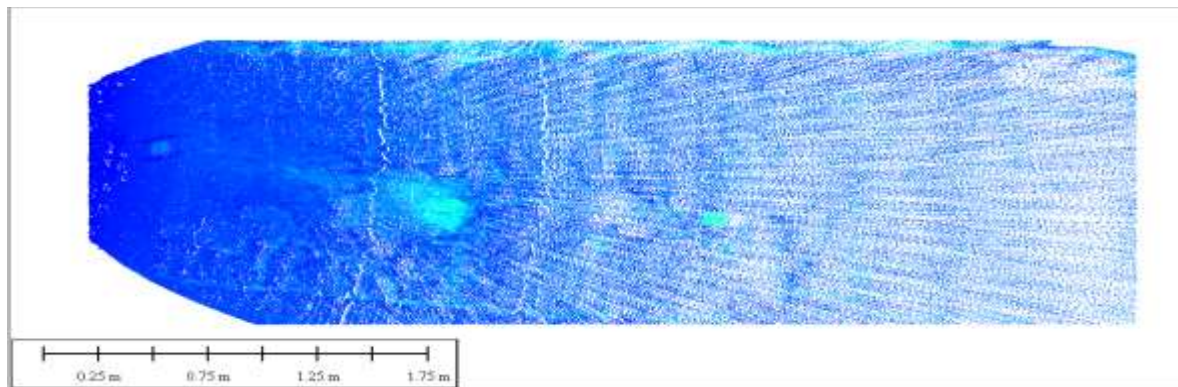


Figura 13. Nube de puntos sección 2

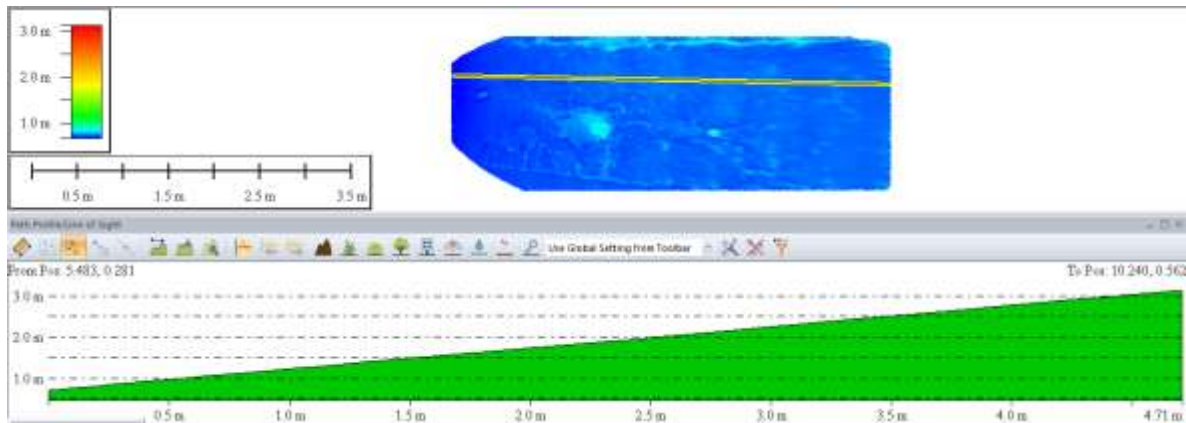


Figura 14. Modelo digital de elevación y perfil longitudinal de la sección 2

Sección 3

La sección 3 se configuro con los siguientes datos: $x = 8.396$, $y = -0.107$, $z = 2.182$

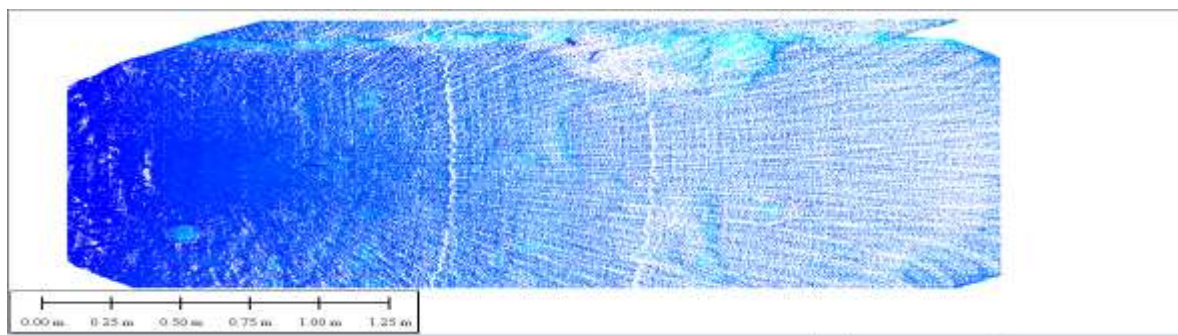


Figura 15. Nube de puntos sección 3

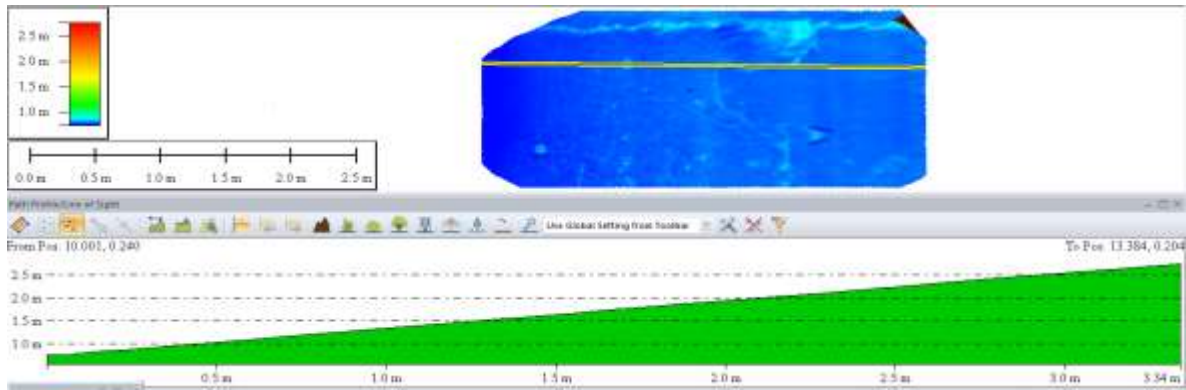


Figura 16. Modelo digital de elevación y perfil longitudinal de la sección 3

Sección 4

En la sección 2 el escáner se configuró con los siguientes valores: $x = 12.576$, $y = -0.336$, $z = -2.289$



Figura 17. Nube de puntos sección 4

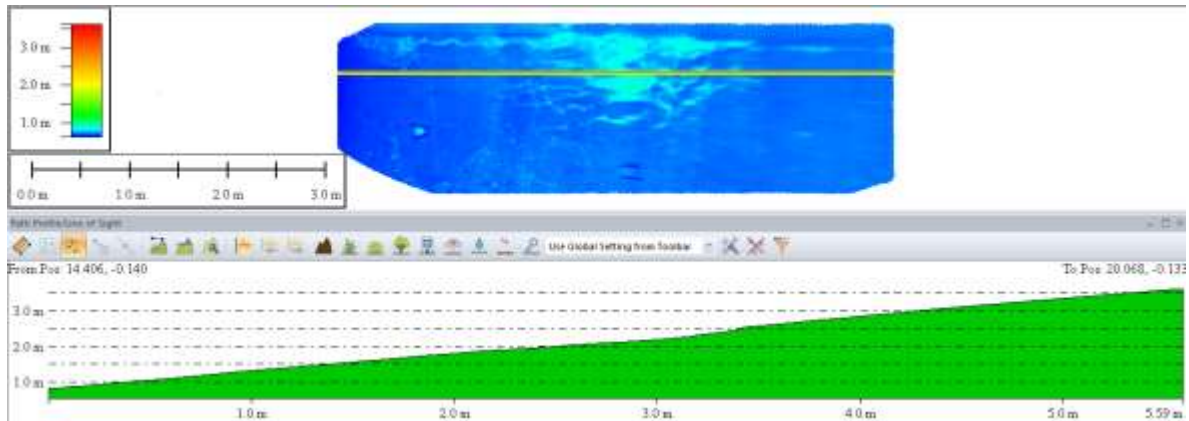


Figura 18. Modelo digital de elevación y perfil longitudinal de la sección 4

Una vez procesados los datos, debemos exportar todos los archivos en formato csv para agrupar un solo perfil longitudinal y determinar el IRI del segmento.

Al mismo tiempo pasamos a utilizar el nivel de precisión o el método topográfico para determinar el IRI. Realizamos una nivelación longitudinal del tramo total a trabajar, por cada 25 cm de longitud hasta completar los 16.5 metros. Teniendo en cuenta como nuestro BM la placa V6 localizada cerca al Bienestar Institucional con coordenadas norte 100133.332, este

101498.821 y con cota de 2734.658, como se observa en las siguientes figuras.



Figura 19. Toma de datos por el método topográfico



Figura 20. Delimitación del terreno cada 25cm



Figura 21. Toma de los datos con la mira

Los cálculos realizados para el método topográfico son los siguientes.

VISADO	V+	VI	V-	COTA	AltINS
V6	1.862			2734.658	2736.52
C1			0.388	2736.132	2736.473
C1	0.341				
V6			1.815	2734.658	

Figura 22. Circuito de nivelación

Para poder tomar los datos se realizó un circuito de nivelación sencillo con un solo cambio ya que por la pendiente no se logró tomar todo desde un solo sitio. Así mismo, se puede observar que el circuito cerro en la contra nivelación en cero. Posteriormente se realizó el cálculo de las cotas tomadas en campo.

VISADO	V+	VI	V-	ALINSTR	COTA	VISADO	V+	VI	V-	ALINSTR	COTA
V6	1.954			2736.612	2734.658	C1	1.950			2736.082	2736.132
		1.056			2734.556			1.799	0.102		2736.283
		3.000			2734.612			1.697	0.069		2736.385
		1.945			2734.667			1.628	0.084		2736.454
		1.890			2734.722			1.544	0.031		2736.538
		1.843			2734.769			1.513			2736.569
		1.779			2734.833			1.469			2736.613
		1.718			2734.894			1.427			2736.655
		1.678			2734.934			1.385			2736.687
		1.635			2734.977			1.360			2736.722
		1.586			2735.026			1.331			2736.751
		1.562			2735.050			1.204			2736.678
		1.490			2735.122			1.176			2736.906
		1.435			2735.177			1.143			2736.939
		1.384			2735.228			1.118			2736.964
		1.339			2735.273			1.090			2736.992
		1.294			2735.318			1.067			2737.025
		1.258			2735.354			1.021			2737.061
		1.194			2735.418			0.988			2737.094
		1.158			2735.454			0.950			2737.132
		1.119			2735.493			0.920			2737.162
		1.066			2735.546			0.899			2737.189
									0.852		2737.230

Figura 23. Cálculos de la cartera.

5. Resultados

Al unir todas las sesiones tomadas con el escáner laser desde el software Excel podemos realizar una gráfica entre la distancia y la cota tomada, teniendo en cuenta que la distancia tiene un intervalo de 25 cm. Dándonos como resultado la figura 24

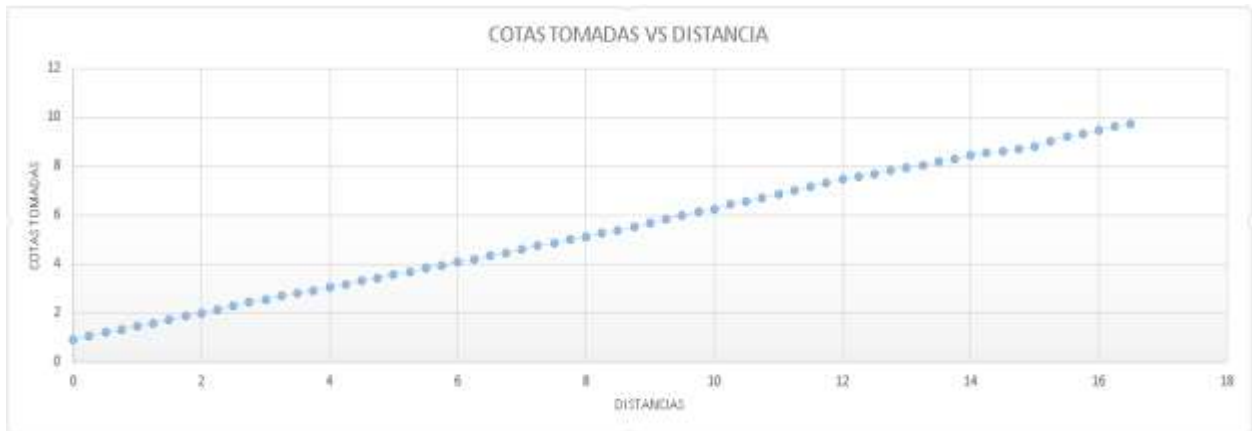


Figura 24. Distancia vs cota tomada método indirecto escáner laser LIVOX MID 40

Al mismo tiempo, graficamos los datos obtenidos con el método topográfico dándonos como resultado la figura 25

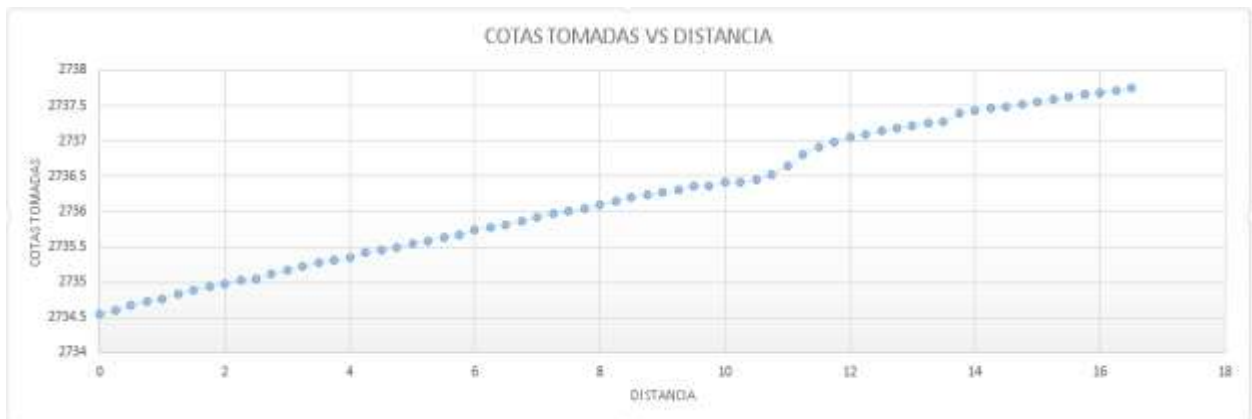


Figura 25. Distancia vs cota tomada método directo topográfico

Es clara la diferencia al comparar los perfiles que genera cada método, además de la pendiente. Ya que, el método directo son los datos más semejantes al terreno. Mientras que los datos tomados de forma indirecta con el escáner laser LIDAR LIVOX MID 40 son distancia proyectadas en los ejes X, Y y Z. Esto ocurre por el escáner no tiene un GPS integrado que permita conocer el punto exacto donde se encuentra, además de su respectiva elevación.

Es así que al momento de realizar el cálculo teniendo en cuenta los pasos mencionados en el apartado 6.5 Cálculos l apartado de del IRI con el escáner nos da como resultado 2.093 m/km, que se considera un IRI aceptable. Mientras que el IRI calculado por medio del método directo topográfico da como resultado 13.927 m/km, el cual es una superficie con desprendimiento de agregados y algunas profundidades. Al comparar el IRI de cada método nos da una diferencia de 11.834 m/km, llegando a las siguientes conclusiones.

6. Conclusiones y Recomendaciones

1. Al momento de realizar la configuración y calibración del escáner LIVOX MID 40, debemos de tener en cuenta el sistema de coordenadas en el que se encuentra. Ya que al momento de tomar los datos, el escáner siempre se va a ubicar en una misma posición la cual es cero en los tres ejes X, Y y Z para el sistema cartesiano. Se recomienda utilizar diferentes puntos de referencia como se muestra en los anexos del 1 al 4 con su respectiva calibración.
2. Para procesar los datos tomados con el escáner laser, se puede utilizar diferentes programas que nos brindan una gran variedad de herramientas. Pero recomiendo el uso del software Global Mapper, ya que es muy sencillo el proceso y permite exportar archivos para trabajar en Excel.
3. El escáner laser LIVOX MID 40 no funciona para determinar el IRI. Porque al comparar este método con el método topográfico, obtenemos una gran discrepancia entre ellos.
4. Se recomienda hacer uso de otro escáner laser que integren un GPS dentro de su sistema para poder tomar nuevamente los datos del terreno y compararlos con el método directo.
5. El escáner posee una precisión entre 3 mm a 4 mm según su ficha técnica, esto abre una gran posibilidad de uso para obtener modelos tridimensionales con una muy buena resolución para trabajos de diseño, arquitectura o topografía.

7. Bibliografía

- Alhasan, A., Younkin, K., & White, D. (2015). *COMPARISON OF ROADWAY ROUGHNESS DERIVED FROM LIDAR AND SFM 3D POINT CLOUDS*. Retrieved from Retrieved from IOWA STATE UNIVERSITY:
https://www.researchgate.net/publication/286290502_Comparison_of_Roadway_Roughness_Derived_from_Lidar_and_SFM_3D_Point_Clouds
- Amnon, R., Irit, S., & Arie, S. (2004). *IRI Validation Test During Quality Control Operation Using Error Estimation*. Retrieved from https://geokom.co.il/wp-Content/uploads/2020/09/IRI-Validation-Test-During-QC-Operation-Jan_8_2004_RP19-
- Arriaga Patiño, M., Garnica Anguas, P., & Rico Rodríguez, A. (1998). *ÍNDICE INTERNACIONAL DE RUGOSIDAD EN LA RED CARRETERA DE MÉXICO*. Retrieved from INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE:
<https://www.imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt108.pdf>
- Cheng, Y.-T., Patel, A., Bullock, D., & Habib, A. (2020). *LiDAR-based Lane Marking Extraction through Intensity Thresholding and Deep Learning Approaches: A Pavement-based Assessment*. Retrieved from Retrieved from The International Archives of the Photogrammetry: <https://www.int-arch-photogramm-remote-sens-spatial-inf-sci.net/XLIII-B3-2020/507/2020/isprs-archives-XLIII-B3-2020-507-2020.pdf>
- De Blasiis, M. R., Di Benedetto, A., Fiani, M., & Garozzo, M. (2021, 11 17). *Assessing of the Road Pavement Roughness by Means of LiDAR Technology*. Retrieved from Coatings: <https://dx.doi.org/10.3390/coatings11010017>

- de Oliveira Maciel, A. (2011, may 05). *Aplicações: Mapeamento Móvel utilizando tecnologia LIDAR*. Retrieved from Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto: <http://martesid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/marte/2011/07.18.14.18/doc/p0946.pdf>
- Gao, Y., Zhong, R., Tang, T., Wang, L., & Liu, X. (2017). *Automatic extraction of pavement markings on streets from point cloud data of mobile LiDAR*. Retrieved from <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1361-6501/aa76a3>
- Glennie, C., & Hartzell, P. (2020). *ACCURACY ASSESSMENT AND CALIBRATION OF LOW-COST AUTONOMOUS LIDAR SENSORS*. Retrieved from The International Archives of the Photogrammetry: <https://www.int-arch-photogramm-remote-sens-spatial-inf-sci.net/XLIIIB1-2020/371/2020/isprs-archives-XLIIIB1-2020-371-2020.pdf>
- Gonzales Vergara , C. J., Rincón Villalba , M. A., & Vargas Vargas , W. E. (2012). *Diseño geométrico de vías* . Bogotá : Universidad Distrital Francisco Jose de Caldas .
- Hernández Cáceres, J. C. (2018). *DETERMINAR EL INDICE DE RUGOSIDAD IRI Y DESARROLLAR UN MANUAL PARA EL EQUIPO MERLIN*. Retrieved from UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA: https://repository.upb.edu.co/bitstream/handle/20.500.11912/5627/digital_37574.pdf?sequence=1
- Holgado Barco, A. (2016). *Automatización en la extracción del trazado y el inventario geométrico de carreteras mediante sistemas de cartografiado móvil*. Retrieved from UNIVERSIDAD DE SALAMANCA:

https://gredos.usal.es/bitstream/10366/132947/1/DICT_HolgadoBarcoA_Automatizaci%C3%B3nextracci%C3%B3n.pdf

Porras Díaz, H., Sanabria Echeverry, D. Y., & Ortiz Ferreira, J. A. (2018, 06 11). *Tendencia mundial en tecnologías de sistemas de mapeo móvil implementadas con láser*. Retrieved from AVANCES: INVESTIGACIÓN: <https://doi.org/10.18041/1794-4953/avances.1.1361>

Pucha Aguinosa, P. A., & Zarate Torres, B. A. (2020). *Evaluación superficial de pavimentos rígidos en carreteras mediante ortoimágenes obtenidas mediante un vehículo aéreo no tripulado*. Retrieved from Universidad Libre de Colombia : <https://revistas.unilibre.edu.co/index.php/avances/article/view/6599/6275>

Quiroga Tavera , L. P. (2019). *INFRAESTRUCTURA VIAL EN COLOMBIA FRENTE A LOS PAISES MIEMBROS DE LA ALIANZA DEL PACIFICO PARA EL DESARROLLO DEL COMERCIO INTERNACIONAL* . Retrieved from REPOSICIONARIO UNIVERSIDAD CATOLICA DE COLOMBIA: https://repository.ucc.edu.co/bitstream/20.500.12494/16245/1/2019_infraestructura_vial_colombia.pdf

Sáez Aguirre, C. (2017, Feb). *inventario de carreras mediante tecnología mobile mapping: extracción de geometrías y de información tridimensional*. Retrieved from https://oa.upm.es/45807/1/TFG_CARLOS_SAEZ_AGUIRRE.pdf

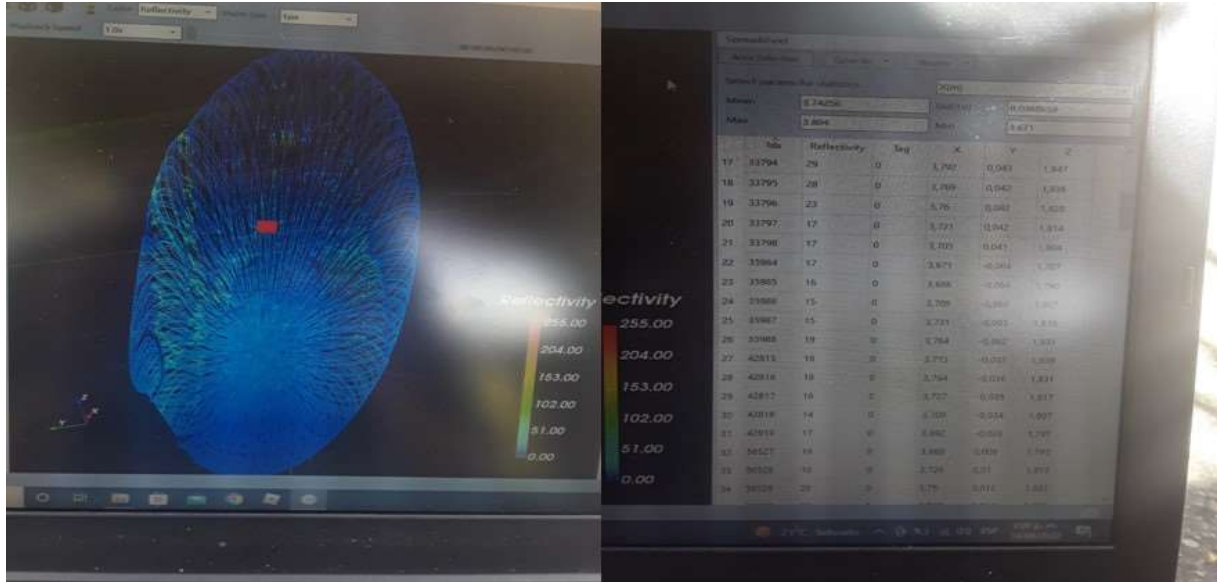
Saldaña M, D., Diaz T, R., Marquez, W., & Garrido S, R. (2017). *EVALUACIÓN COMPARATIVA DE LA MEDICIÓN DEL INDICE DE RUGOSIDAD INTERNACIONAL*

(IRI) EMPLEANDO TECNOLOGIA LASER DE TRES DIMENSIONES (LCMS) Y PERFILOMETRO LASER. Retrieved from http://www.apsa.cl/wp-content/uploads/2018/03/CILA_Texto_IRI_LCMS_PERFILOMETRO.pdf

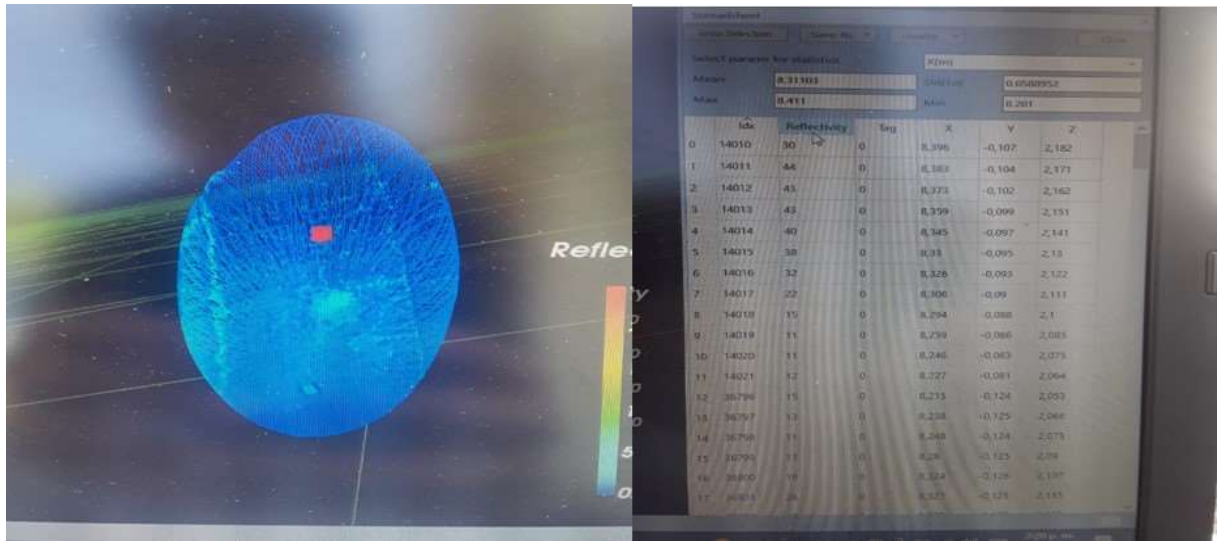
Zak, J. (2016). *On laser scanning, pavement surface roughness and international roughness index in highway construction.* Retrieved from Department of Road Structures: <https://www.h-a-d.hr/pubfile.php?id=1059>

Zhang, H., Li, J., Cheng, M., & Wang, C. (2016). *RAPID INSPECTION OF PAVEMENT MARKINGS USING MOBILE LIDAR POINT CLOUDS.* Retrieved from The International Archives of the Photogrammetry: <https://d-nb.info/114384386X/34>

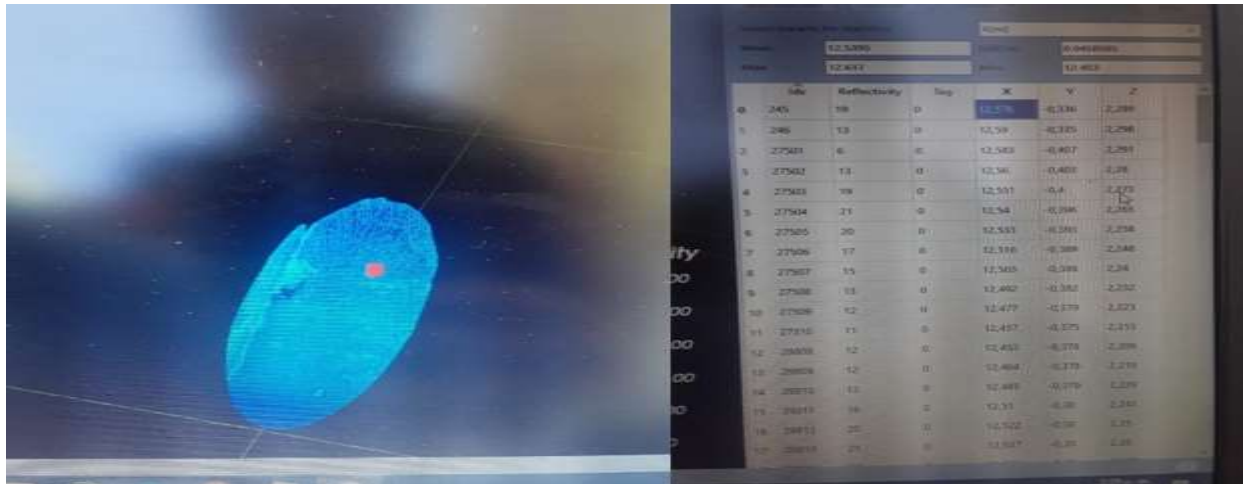
8. Anexos



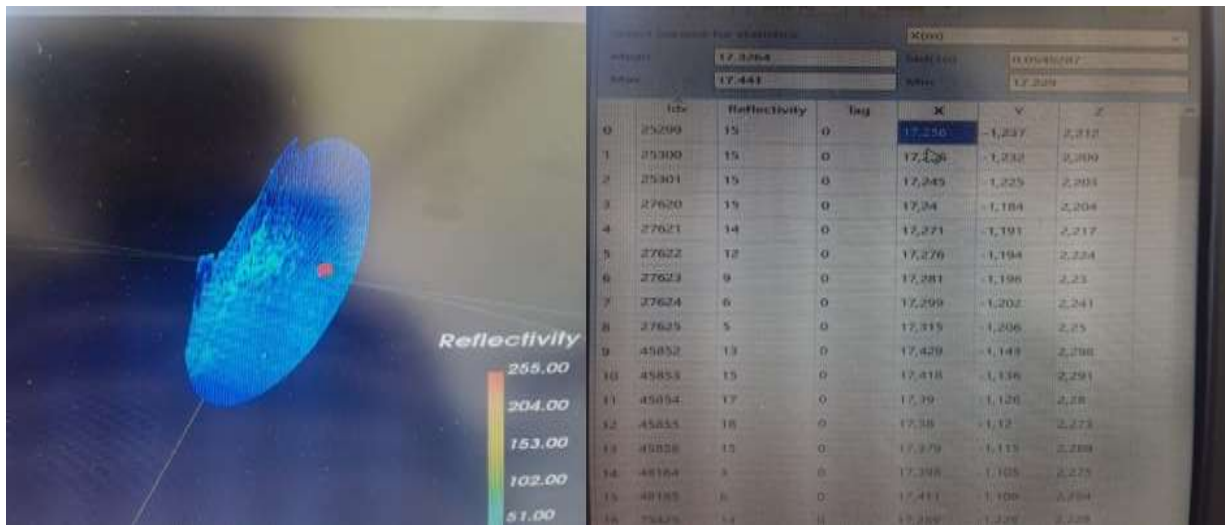
Anexo 1. Detalles del punto de control 1 en la sección 1.



Anexo 2. Detalles del punto de control 2 de la sección 2.



Anexo 3. Detalles del punto 3 en la sección 3.



Anexo 4. Detalles del punto 4 en la sección 4.