



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE LAS CIENCIAS DE LA TIERRA Y LA
CONSTRUCCIÓN**

CARRERA DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA Y DEL MEDIO AMBIENTE

TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO

DE INGENIERA GEÓGRAFA Y DEL MEDIO AMBIENTE

TEMA: “INVENTARIO DE INFRAESTRUCTURA VIAL EN UN TRAMO

DE LA AVENIDA SIMÓN BOLÍVAR UTILIZANDO UN SISTEMA

MULTICÁMARAS DE RÁPIDA CAPTURA COMO HERRAMIENTA

PARA LA PLANIFICACIÓN”

AUTORA: ZAMBRANO CAMPAÑA, NIDIA ALICIA

DIRECTOR: PhD.: PADILLA, OSWALDO VINICIO

SANGOLQUÍ - ECUADOR

2018



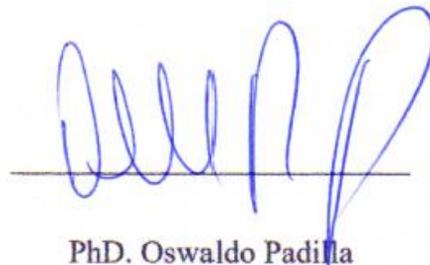
**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y LA
CONSTRUCCIÓN**

CARRERA DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA Y DEL MEDIO AMBIENTE

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, **“INVENTARIO DE INFRAESTRUCTURA VIAL EN UN TRAMO DE LA AVENIDA SIMÓN BOLÍVAR UTILIZANDO UN SISTEMA MULTICÁMARAS DE RÁPIDA CAPTURA COMO HERRAMIENTA PARA LA PLANIFICACIÓN”** fue realizado por la Srta. Zambrano Campaña, Nidia Alicia el mismo que ha sido revisado en su totalidad, analizado por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Sangolquí, 3 de diciembre del 2018



PhD. Oswaldo Padilla

C.C.: 1709776650



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y LA
CONSTRUCCIÓN**

CARRERA DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA Y DEL MEDIO AMBIENTE

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Yo, ZAMBRANO CAMPAÑA, NIDIA ALICIA, declaro que el contenido, idea y criterios del trabajo de titulación: **“Inventario de infraestructura vial en un tramo de la Avenida Simón Bolívar utilizando un sistema multicámaras de rápida captura como herramienta para la planificación”**, es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Consecuentemente el contenido de la investigación mencionada es veraz.

Sangolquí, 3 de diciembre del 2018

Alicia Zambrano

C.C.: 1724471212



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y LA
CONSTRUCCIÓN**

CARRERA DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA Y DEL MEDIO AMBIENTE

AUTORIZACIÓN

Yo, ZAMBRANO CAMPAÑA, NIDIA ALICIA, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: **“Inventario de infraestructura vial en un tramo de la Avenida Simón Bolívar utilizando un sistema multicámaras de rápida captura como herramienta para la planificación”**, en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi autoría y responsabilidad.

Sangolquí, 3 de diciembre del 2018

A handwritten signature in blue ink, which appears to read 'Alicia Zambrano', is positioned above a horizontal line.

Alicia Zambrano

C.C.: 1724471212

DEDICATORIA

A mi mami Nancy

Por estar todo el tiempo presente en mi formación no solo académica, sino personal. Por ser un apoyo constante y tener las palabras adecuadas en todo momento. Por hacerme levantar en las madrugadas diciéndome “Zuquita, ¿no tenías que hacer la tesis?”.

A mi papi Freddy

Por ser un ejemplo de trabajo y lucha, dándome ánimos y valentía a través de nuestras conversaciones. Por darme la posibilidad del estudio y sobre todo por su amor.

A mi ñaña y al Benja

A mi ñaña Caro por ser un constante ejemplo de lucha y constancia, de querer salir adelante y que en todo este proceso a pesar de que haya dificultades, la familia siempre estará presente, siempre se podrá obtener algo bueno como el Benja que es el amor más puro que he sentido y que me han dado.

A la Shunga

Porque sin ella ni siquiera terminaría de escribir el perfil de tesis. Por ser un apoyo a lo largo de toda la carrera y en especial en este último gran paso. Por darme la mano en todo momento y no dejarme caer.

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi gratitud a la empresa “Instrumental y Óptica”, especialmente al Ing. Iván Pazmiño que supo brindarme la confianza, apoyo y dedicación durante la elaboración de la tesis.

Mi más sincero agradecimiento a mi tutor PhD. Oswaldo Padilla que me brindó toda la guía y apoyo posible para la finalización de este proyecto. Gracias también al Dr. Rodolfo Jaime Fernando Salazar Martínez que pudo brindarme su guía y consejo.

Así mismo me gustaría agradecer a la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE y a la mayoría de maestros que supieron darme las pautas para formarme en lo académico.

Gracias a todas mis chicas del fútbol Gaby, Alex, Joha, Daniba, Danio, Raque, Angie, Vane que hicieron de la Universidad algo hermoso. A Rosa y Yesenia que estuvieron siempre presentes, aunque fuera en la distancia. Todas supieron alentarme durante este proceso.

ÍNDICE DE CONTENIDO

CERTIFICACIÓN	i
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD	ii
AUTORIZACIÓN	iii
DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTO	v
ÍNDICE DE CONTENIDO	vi
ÍNDICE DE TABLAS	x
ÍNDICE DE FIGURAS	xi
RESUMEN	xiii
PALABRAS CLAVE:	xiii
ABSTRACT	xiv
KEY WORDS:	xiv
CAPÍTULO I	1
Aspectos Generales	1
1.1 Planteamiento del problema	1
1.2 Antecedentes.....	2
1.3 Justificación e importancia	3

1.4	Objetivos.....	4
1.4.1	Objetivo general	4
1.4.2	Objetivos específicos.....	4
1.5	Metas	4
1.6	Zona de Estudio	4
CAPÍTULO II.....		6
2.1	Inventario de infraestructura vial.....	6
2.2	Elementos del inventario	6
2.3	Planificación de la vialidad.....	7
2.4	Fotogrametría.....	8
2.4.1	Fotogrametría terrestre	8
2.5	Sistema Mobile Mapping.....	8
2.5.1	MX7	9
2.5.2	Sistema Global de Navegación por Satélite (GNSS)	10
2.5.3	Real Time Kinetic (RTK).....	11
2.5.4	Networked Transport of RTCM vía Internet Protocol N-Trip	11
2.5.5	Inertial Measurement Unit (IMU)	12
2.5.6	Inertial Navigation Systems (INS)	13
2.5.7	Applanix IN-Fusion.....	14

2.6	Software.....	14
2.6.1	Applanix-Trimble POSPac.....	15
2.6.2	Trimble Trident	16
2.7	Estadística.....	17
2.7.1	Tamaño de la muestra	17
2.7.2	Media.....	18
2.7.3	Desviación Estándar	18
CAPÍTULO III	.....	19
3.1	Investigación.....	20
3.1.1	Equipo	21
3.2	Planificación.....	24
3.3	Campo.....	26
3.3.1	Levantamiento.....	26
3.3.2	Puntos de control.....	27
3.4	Gabinete.....	28
3.4.1	Estación Base de Referencia	29
3.4.2	POSPac.....	29
3.4.3	Trimble Trident	31
3.4.4	Validación información.....	32

3.4.5	Inventario	36
CAPÍTULO IV	.....	40
Resultados y discusión	.....	40
4.1	Levantamiento de la información	40
4.2	Marcas	42
4.3	Puntos de control	43
4.4	Inventario vial.....	45
4.4.1	Señalización Vertical.....	47
4.4.2	Señalización Horizontal	51
4.4.3	Señalización Complementaria.....	52
CAPÍTULO V	.....	53
Conclusiones	.....	53
Recomendaciones	.....	54
Referencias	.....	56

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. <i>Detalles Trimble MX7</i>	21
Tabla 2. <i>Rangos de aceptación para iniciar la captura</i>	23
Tabla 3. <i>Parámetros de captura</i>	26
Tabla 4. <i>Puntos de control</i>	28
Tabla 5. <i>Características de la Estación Base INOP</i>	29
Tabla 6. <i>Mediciones de las marcas colocadas</i>	33
Tabla 7. <i>Distancia entre coordenadas</i>	35
Tabla 8. <i>Tabla de atributos de la Señalización vertical</i>	36
Tabla 9. <i>Tabla de atributos de la Señalización Horizontal</i>	38
Tabla 10. <i>Tabla de atributos de la Señalización Complementaria</i>	39
Tabla 11. <i>Diferencia de medidas respecto al valor verdadero</i>	42
Tabla 12. <i>Puntos de control, diferencia con los puntos pinchados</i>	44
Tabla 13. <i>Cantidad de entidades extraídas</i>	46
Tabla 14. <i>Cantidad de tipos de señalética</i>	47
Tabla 15. <i>Cantidad de entidades según color</i>	48

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1.</i> Ubicación Zona de Estudio.....	5
<i>Figura 2.</i> Trimble MX7 montado en un vehículo	9
<i>Figura 3.</i> Trimble MX7	10
<i>Figura 4.</i> Segmento GNSS	11
<i>Figura 5.</i> Componentes N-Trip	12
<i>Figura 6.</i> Combinación GNSS/INS	14
<i>Figura 7.</i> Proceso de corrección RTX	16
<i>Figura 8.</i> Interfaz del software	16
<i>Figura 9.</i> Metodología.....	19
<i>Figura 10.</i> Elementos Trimble MX7	21
<i>Figura 11.</i> Altura del equipo	22
<i>Figura 12.</i> Formas de captura.....	22
<i>Figura 13.</i> Inicialización de los sensores.....	23
<i>Figura 14.</i> Archivos descargados del levantamiento.....	24
<i>Figura 15.</i> Marcas con la medida establecida	25
<i>Figura 16.</i> Ruta de estudio seleccionada	25
<i>Figura 17.</i> Captura y descarga de la información.	27
<i>Figura 18.</i> Toma de puntos mediante N-Trip.....	28
<i>Figura 19.</i> Características de la Estación Base.....	30
<i>Figura 20.</i> Corrección de la trayectoria.....	31
<i>Figura 21.</i> Medición de las marcas en las imágenes	32

<i>Figura 22.</i> Identificación puntos	35
<i>Figura 23.</i> Variación PDOP a lo largo del recorrido.....	40
<i>Figura 24.</i> Errores medios de posicionamiento Este y Norte.....	41
<i>Figura 25.</i> Precisión de Posicionamiento	42
<i>Figura 26.</i> Puntos de control a lo largo de la Av. Simón Bolívar	44
<i>Figura 27.</i> Señalización vertical en Trident.	45
<i>Figura 28.</i> Visualización Inventario en ArcMap.....	46
<i>Figura 29.</i> Tipo de entidades extraídas	46
<i>Figura 30.</i> Tipo de señales	47
<i>Figura 31.</i> Colores de señalética	48
<i>Figura 32.</i> Estado de Señalización Vertical	50
<i>Figura 33.</i> Visibilidad de Señalización Vertical	50
<i>Figura 34.</i> Desgaste de Señalización Vertical.....	51
<i>Figura 35.</i> Tipos de Señalización Horizontal.....	51
<i>Figura 36.</i> Ojos de Gato	52

RESUMEN

Los inventarios de infraestructura vial requieren tiempo y varios componentes para su elaboración. En este proyecto se estableció la utilización de un sistema multicámaras de mapeo móvil para realizar el inventario a lo largo de un tramo de la Avenida Simón Bolívar, para determinar el estado de su señalización horizontal, vertical y complementaria con la finalidad de dejar un registro que sirva para la toma de decisiones. Se colocaron 4 marcas con medidas establecidas para determinar su precisión dando como resultado que el promedio de las diferencias fue de 0,005 m. También se colocaron 6 puntos GNSS y se pincharon en las imágenes dando una diferencia promedio de 0,0719 m. Se extrajo la información de un total de 1374 entidades. Se determinó que la señalización vertical de la Avenida se encuentra en su mayoría en buen estado, siendo necesaria la intervención del 19,15%. A pesar de que el 32,3% de la señalización horizontal no cumple con el ancho establecido en el reglamento, ésta se encuentra en buen estado. Y en cuanto a la señalización complementaria, el 18,7% está ausente. Se pudo establecer que el sistema multicámaras de mapeo móvil, puede sustituir a todos los componentes utilizados en la realización de un inventario vial, disminuyendo el tiempo y los errores que se podrían producir.

PALABRAS CLAVE:

- **INVENTARIO DE INFRAESTRUCTURA VIAL**
- **MAPEO MÓVIL**
- **FOTOGRAMETRÍA TERRESTRE**

ABSTRACT

Road infrastructure inventories require time and several components for their preparation. This project established the use of a mobile mapping multi-camera system to carry out the inventory along a section of Simón Bolívar Avenue, to determine the status of its horizontal, vertical and complementary signaling in order to leave a record that serve for decision making. Four marks with established measures were placed to determine their precision, resulting in the average of the differences being 0.005 m. Six GNSS points were also placed and punctured in the images giving an average difference of 0.0719 m. Information was extracted from a total of 1374 entities. It was determined that the vertical signage of the Avenue is mostly in good condition, requiring the intervention of 19.15%. Despite the fact that 32.3% of the horizontal signage does not comply with the width established in the regulation, it is in good condition. And as for the complementary signage, 18.7% is absent. It was established that the mobile mapping multi-camera system can replace all the components used in the realization of a road inventory, reducing the time and errors that could occur.

KEY WORDS:

- **INVENTORY OF ROAD INFRASTRUCTURE**
- **MOBILE MAPPING**
- **TERRESTRIAL PHOTOGRAMMETRY**

CAPÍTULO I

Aspectos Generales

En este capítulo se mencionará el problema a tratar, los antecedentes, la justificación e importancia, así como también los objetivos y las metas que se pretenderá alcanzar en la realización de esta investigación. Se presenta también el tramo de la Avenida Simón Bolívar que será la zona de estudio.

1.1 Planteamiento del problema

La infraestructura vial es una base fundamental para el desarrollo del país, siendo ésta importante no solo porque permite el desplazamiento de la gente sino también porque permiten ampliar mercados, acceder a servicios y a una educación de calidad (Pérez V., 2005). Los datos recopilados en la elaboración de estos inventarios son fundamentales en los proyectos viales y de transporte, además es una herramienta práctica para el diagnóstico de las condiciones existentes en un sitio (Quintero González, 2011). Por este motivo que en Ecuador se ha desarrollado un plan estratégico para mejorar los proyectos viales denominada la Norma Ecuatoriana Vial NEVI-12, que pretende tener un sistema mejorado dentro del sector del transporte vial y garantizar los principios del Buen Vivir (Ministerio de Transporte y Obras Públicas del Ecuador, 2013).

La actualización de los inventarios debe ser periódica para tener un control permanente sobre las vías y así brindar información pertinente sobre su estado en el país. El MTOP ha actualizado el inventario de las principales vías del Ecuador (MTOP, 2018), obteniendo una información general que no permite tomar decisiones sobre las intervenciones que podrían realizarse para mejorar la vialidad y seguridad tanto de transeúntes como de conductores. En

consecuencia a lo largo de la Av. Simón Bolívar se han registrado 501 accidentes durante el 2017 según las estadísticas de la Agencia Metropolitana de Tránsito (Landeta, 2018). Para llevar a cabo la recolección de la información del inventario se utiliza como mínimo odómetros digitales, receptores GPS submétricos y navegadores, altímetros, cámara de vídeo, cámara fotográfica y computadora portátil, adecuadamente calibrados (MTyC, 2013), lo que lo vuelve una tarea complicada y que toma tiempo. Por esto, se ha planteado la utilización de un sistema móvil multicámaras fotogramétrico que va a hacer las veces de todos los instrumentos antes mencionados, disminuyendo el tiempo en campo y aumentando la precisión de la información recolectada.

1.2 Antecedentes

La metodología para realizar inventarios ha ido evolucionando en el transcurso de tres generaciones, la primera se basa en la inspección visual y medición con instrumentos tradicionales para su posterior registro en papel; la segunda implementa la fotografía y se utiliza instrumentación y procesos electrónicos limitados y la tercera automatiza la toma de información al utilizar equipos de precisión y procesos informáticos (Bravo Castro, 2009).

El tiempo y labor que toma realizar un inventario se puede observar en los trabajos realizados anteriormente como el de Mera Campos (2017) denominado “Inventario vial del Valle de los Chillos (Parroquia de Conocoto)” en donde se utilizaron técnicas básicas como la cintas métricas y Google Earth, así como también hojas de Excel, Palacios Domínguez (2015) usó ortofotos para la posterior digitalización. Se han desarrollado manuales en otros países, como en Perú en donde el equipo necesario para realizar un inventario consta de odómetros, receptor GPS submétrico, GPS navegador y altímetro además de cámaras fotográficas y de video y computadoras portátiles, debiendo estar calibrados y tener la precisión adecuada (MTyC, 2015a). Se añadió el

manejo de un equipo junto con su software fotogramétrico para la captura y procesamiento de la información de las rutas, denominados Imajbox e Imajview respectivamente para poder obtener una localización y orientación precisa de la ruta (MTyC, 2015).

1.3 Justificación e importancia

Las carreteras del Ecuador han tenido que soportar afectaciones tanto por las condiciones climáticas como por su uso inadecuado, haciendo que los Gobiernos no puedan solucionar de forma adecuada los daños sino tomar medidas inmediatas, provocando que el proceso de desarrollo económico y productivo del Ecuador se vea afectado (MTyOP, 2013). Por esta razón los inventarios viales deben realizarse periódicamente para que pueda cumplirse lo que establece la Ley del Sistema Nacional de Infraestructura vial Transporte Terrestre del 5 de mayo del 2017 en su Art 15. “Administrar la red vial estatal realizando las acciones de planificación, diseño, construcción, rehabilitación, señalización, conservación, mantenimiento, operación y financiamiento, considerando el mínimo impacto ambiental” (Registro Oficial Suplemento 998, 2017).

Este proyecto es de importancia debido a que se analizará la posibilidad de implementar la utilización de un solo equipo que hará las funciones de todos los instrumentos empleados tradicionalmente para el levantamiento de información de un inventario, haciendo que el trabajo en campo y los recursos se optimicen. Los resultados obtenidos podrán ser utilizados como base para la toma de decisiones y al mismo tiempo se podrá conocer la confiabilidad y precisión de la información.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Realizar un inventario de infraestructura vial en un tramo de la Avenida Simón Bolívar utilizando un sistema multicámaras de rápida captura como herramienta para la planificación.

1.4.2 Objetivos específicos

Implementar el sistema multicámaras móvil para la captura de información en la zona de estudio.

Corregir la trayectoria y procesar la información para obtener una base de datos para el inventario vial.

Validar la información recolectada mediante comprobación en campo.

1.5 Metas

Levantamiento de información con los parámetros adecuados.

Inventario vial de la zona de estudio.

Informe de calidad del trabajo realizado.

1.6 Zona de Estudio

El inventario vial corresponde a un tramo de la Avenida Simón Bolívar que se encuentra en el Cantón Quito, Provincia Pichincha de la República del Ecuador, como se visualiza en la *Figura 1*.

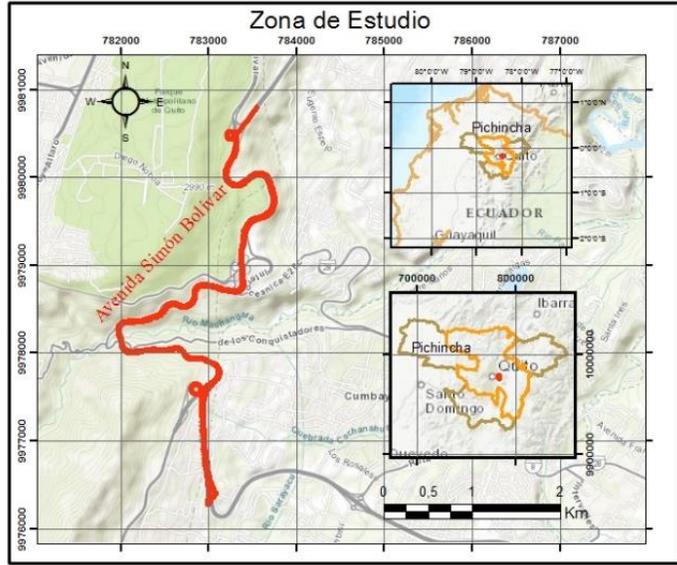


Figura 1. Ubicación Zona de Estudio

CAPÍTULO II

Fundamento Teórico

El inventario de caminos es un proceso común que proporciona la base para una gestión eficaz. Un registro digital del inventario generalmente se almacena en un sistema de información geográfica en forma de capas de cobertura. Estas coberturas describen la posición/forma de los objetos que se toman en el inventario, así como sus propiedades (por ejemplo, estado o descripción exacta). En general, este proceso implica una cantidad sustancial de trabajo manual (mediciones de campo), procesamiento posterior de datos, entre otros. Por lo tanto, lleva mucho tiempo y es costoso (Landa & Prochazka, 2014). Es por eso que en este capítulo se detallaran algunos conceptos para poder entender el desarrollo de la investigación.

2.1 Inventario de infraestructura vial

El inventario vial que se realizó estuvo enfocado hacia la planificación es por esto que se ha tomado la definición de (Quintero González, 2011) la cual se basa en Descripción detallada de las condiciones físicas, geométricas y de diseño de una vía, se emplea para conocer las condiciones de operatividad y funcionalidad. Usualmente se elabora a través de inspección visual a lo largo del tramo de estudio.

2.2 Elementos del inventario

Los elementos de la vía a inventariar se tomaron del Manual: Norma Ecuatoriana Vial NEVI-12-MTOP, Volumen N°6, Conservación vial, y se modificaron según El Reglamento Técnico Ecuatoriano RTE INEN 004-1:2011 Primera Revisión. SEÑALIZACIÓN VIAL. PARTE 1. SEÑALIZACIÓN VERTICAL. En este documento se menciona que las entidades a inventariar

serán las tres clases de señalización: vertical, horizontal y complementaria, así como también las secciones de la vía.

a) En la señalización vertical se observa el tipo según su ubicación, dimensiones (ancho, largo y altura), color, estado de conservación, arcén donde se sitúa, sentido de colocación, visibilidad, el tipo de desgaste (cuarteado, fisurado, erosionado, oxidado, pintado, doblado) y el código asignado según se establece en la norma INEN antes mencionada.

b) En la señalización horizontal se observa el tipo según su forma (líneas longitudinales, transversales, símbolos y leyendas), el largo, ancho, color; si es línea transversal también se deberá indicar el tipo (de borde o de continuidad).

c) En la señalización complementaria constan los denominados “ojos de gato”; se indicó la ubicación, color, lugar de la vía en dónde se encuentre.

d) En las secciones de la vía, se observa la anchura media tanto de la calzada como de los carriles.

2.3 Planificación de la vialidad

El proyecto se enfocó en realizar un inventario vial para la planificación, que se menciona en la Ley Orgánica del Sistema Nacional de Infraestructura Vial del Transporte Terrestre, 2017 según Oficio No. SAN-2017-0475 como un instrumento de ordenamiento territorial y deberá constar de la infraestructura vial existente y la proyectada. La planificación se define como un método de intervención con el cual se producirá un cambio en la tendencia de los eventos. (SENPLADES, 2012)

2.4 Fotogrametría

Fotogrametría forma parte de las tecnologías espaciales para obtener información confiable de imágenes de la Tierra, y otros objetos y procesos físicos mediante el registro, la medición, el análisis y la representación (ISPRS, 2018). La fotogrametría fue inventada en 1851 por el Coronel Aimé Laussedat, y ha seguido desarrollándose durante los últimos 150 años. Con el tiempo, el desarrollo de la fotogrametría ha pasado por las fases de fotogrametría en plano, fotogrametría analógica, fotogrametría analítica, y ahora ha entrado en la fase de fotogrametría digital. (ERDAS, 2010)

2.4.1 Fotogrametría terrestre

La fotogrametría terrestre es la aplicación de tecnologías fotogramétricas con equipo terrestre. (Hélicéo, 2018) Su principio es la captura de fotografías al ras del suelo, la posición del objeto y la cámara es perfectamente conocida. (Centro de Geociencias Aplicadas, 2014) El método que utiliza se basa en la intersección en el cual se determina la posición de un punto en el terreno mediante intersección directa de dos puntos correlacionados. (UPV, 2009)

2.5 Sistema Mobile Mapping

Un sistema Mobile Mapping integra sensores de navegación y algoritmos junto con sensores remotos que puedan ser utilizados para determinar la posición de un punto. Todos éstos están rígidamente montados en una plataforma localizada en un vehículo. Los primeros determinan la posición y orientación de la plataforma mientras que los segundos, la posición de los puntos

externos a la plataforma siendo éstos predominantemente sensores fotográficos a los que se los denomina sensores imagen (Shi, 2014).

El sistema Mobile Mapping que se utilizó para el desarrollo del trabajo corresponde al MX7 de Trimble como se observa en la *Figura 2*, instalado sobre un vehículo.

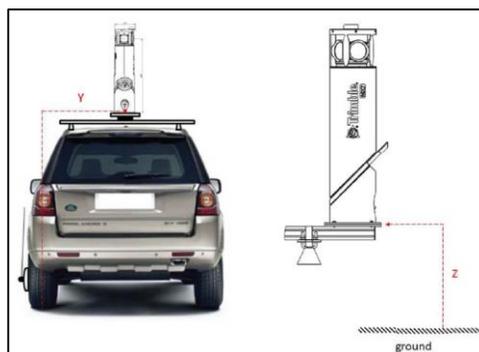


Figura 2. Trimble MX7 montado en un vehículo
Fuente: Trimble

2.5.1 MX7

Este equipo es utilizado para mapeo móvil. Es un sistema fotogramétrico que posee 6 sensores imagen como se puede visualizar en la *Figura 3*. Proporciona imágenes panorámicas de 30 megapíxeles y alcanza velocidades de hasta 110 km/h. Puede alcanzar precisiones de 2 a 5 cm con postprocesamiento. Consta de la tecnología Applanix IN-Fusion que integra GNSS e INS; además posee sistema Inercial IMU. (Trimble, MX7 Mobile Mapping Trimble Geospatial, 2018).



Figura 3. Trimble MX7

Fuente: Trimble

2.5.2 Sistema Global de Navegación por Satélite (GNSS)

Sistema de satélites utilizado para determinar con precisión la ubicación geográfica de un objeto, éstos son GPS, GLONASS, Galileo y Compass. Está conformado por tres segmentos: espacial, de control y de usuarios como se puede ver en la *Figura 4*.

a) El *segmento espacial* consiste en los satélites orbitando a cerca de 20,000 km sobre la tierra. Cada GNSS tiene su propia “constelación” de satélites organizados en órbitas que proveen la cobertura deseada. Cada satélite en una constelación GNSS transmite una señal que lo identifica y proporciona su tiempo, órbita y estado.

b) El *segmento de control* comprende una red terrestre de estaciones de control maestras, estaciones de carga de datos y estaciones de monitoreo. En cada sistema GNSS, la estación de control maestra ajusta los parámetros de la órbita de los satélites y los relojes de alta precisión a bordo cuando es necesario, para mantener la precisión.

c) El *segmento del usuario* consiste en un equipo que procesa las señales recibidas de los satélites GNSS y las utiliza para derivar y aplicar información de ubicación y tiempo. (Jeffrey, 2010)

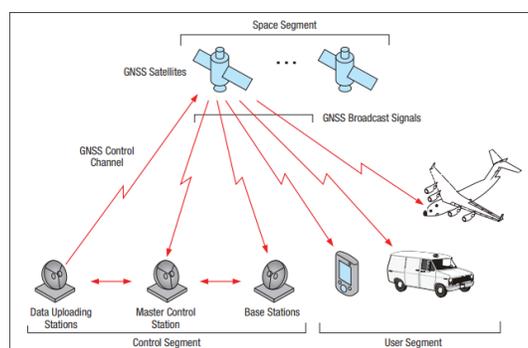


Figura 4. Segmento GNSS
Fuente: Jeffrey, 2010

2.5.3 Real Time Kinetic (RTK)

RTK es una técnica que permite obtener posicionamiento en tiempo real alcanzando precisión de centímetros. Tiene un receptor de estación base establecida en un punto conocido en algún lugar alrededor del sitio del proyecto. El receptor de la estación base envía datos de corrección, generalmente a través de radios de espectro expandido diseñados específicamente para la transferencia inalámbrica de datos (Resource Supply, 2018).

2.5.4 Networked Transport of RTCM vía Internet Protocol N-Trip

Es una técnica que se basa en transferir hipertexto HTTP mediante protocolo internet (IP), y mejorar así el flujo de datos GNSS en transmisión de correcciones RTK (Hoyer et al, 2016). Se compone de 4 elementos que se pueden visualizar en la *Figura 5*: NtripSource que son las estaciones de referencia; NtripServer que es el servidor que permite gestionar los datos hacia el

NtripCaster que funciona como un servidor real o separador (HTPP), y NtripClient que son los usuarios que reciben las correcciones disponibles (Márquez, 2007). Fue desarrollado para permitir el intercambio de datos GNSS y aquellos generados por productos relacionados a través de redes de internet y teléfono móvil para enviar correcciones. El uso de una red RTK, junto con correcciones de red de formato estándar, ofrece al usuario numerosas ventajas con respecto al posicionamiento RTK convencional: mejor cobertura, mayor confiabilidad, precisión más homogénea, inicio más rápido, mayor rentabilidad, etc. (Garrido et al, 2011).

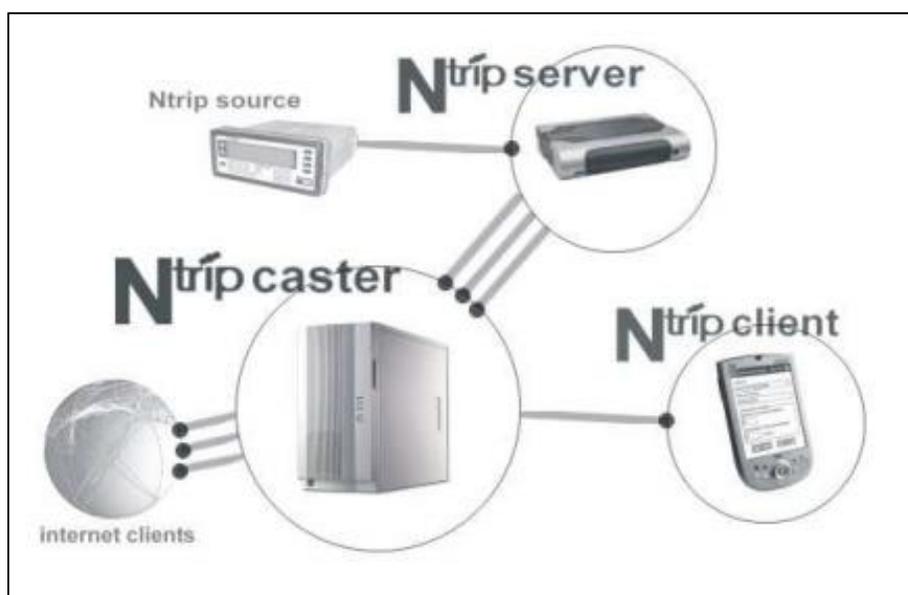


Figura 5. Componentes N-Trip

Autor: (Hoyer et al, 2016)

2.5.5 Inertial Measurement Unit (IMU)

IMU es un sensor de inercia en el sistema de navegación, y el principio básico radica en que la posición actual de un vehículo se obtiene integrando la aceleración medida cuando se proporciona la información sobre la posición inicial del vehículo. Un IMU generalmente consiste en un giroscopio que detecta la cantidad de rotación y un acelerómetro que detecta la aceleración;

puede detectar, calcular y generar la posición, la velocidad y la postura. El problema con el uso solo de una IMU es que el error de información de posicionamiento aumenta debido a los errores acumulados del sensor de inercia al recopilar la información de posición y postura de un objeto en movimiento contra un punto base al monitorear la aceleración y la velocidad angular. (Lee, Yun, & Sung, 2012)

2.5.6 Inertial Navigation Systems (INS)

Utiliza información de rotación y aceleración de un Inertial Measurement Unit (IMU) para calcular la posición exacta en el tiempo. Un INS también puede resolver la posición (balanceo, cabeceo y rumbo) de un vehículo y no depende de ninguna medida externa para calcular una solución. Sin embargo, en ausencia de una referencia externa, la solución del INS se desplaza con el tiempo debido a la acumulación de errores en los datos IMU. Cuando se combinan, las dos técnicas (GNSS e INS) se potencian entre sí para proporcionar una solución de navegación mejorada (Jeffrey, 2010), como se muestra en la *Figura 6*.

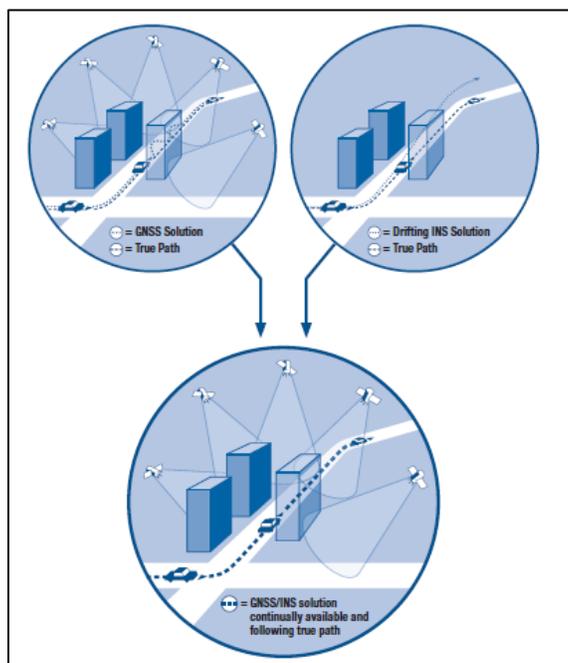


Figura 6. Combinación GNSS/INS

Fuente: Jeffrey, 2010

2.5.7 Applanix IN-Fusion

Esta tecnología que está implementada en el equipo utilizado, efectúa un algoritmo de Resolución de Ambigüedad Cinemática Inercialmente Ayudada (IAKAR) para calcular las ambigüedades GNSS. En este enfoque, los datos de inercia y las observaciones GNSS en bruto (mediciones de fase y rango) se procesan en un solo filtro de Kalman estrechamente integrado, que permite utilizar los datos de inercia para resolver las ambigüedades enteras. (Hutton et al, 2008)

2.6 Software

Las imágenes recolectadas son procesadas y tratadas mediante la utilización de dos Software: POSpac el cual corrige la trayectoria y Trident que permite el manejo de información.

2.6.1 Applanix-Trimble POSPac

Este software permite, a partir de datos brutos obtenidos en la captura de información, realizar a corrección en la trayectoria y conseguir una mayor precisión en los datos. Trabaja con la tecnología Trimble RTX que proporciona una alta precisión en el posicionamiento GNSS sin el uso tradicional de una estación base local. Al combinar datos en tiempo real de una infraestructura de estación de referencia global con algoritmos innovadores de posicionamiento y compresión, la tecnología Trimble RTX calcula posiciones a nivel de centímetro en base a la órbita del satélite y la información del reloj (Applanix, 2018).

a) RTX

Trimble RTX es capaz de proporcionar soluciones de posicionamiento precisas en tiempo real con tiempos de inicialización de menos de un minuto para grandes áreas de cobertura. La solución utiliza una transmisión con ancho de banda extremadamente optimizado, compatible con GPS y GLONASS, y admite redes grandes con 100 o más estaciones (Chen, et al, 2013). La información recolectada del área de estudio durante la misión se envía al servidor de Trimble RTX a través de POSPac. Los datos son utilizados para generar un conjunto de correcciones RTX únicas de la misión, que son transmitidas de regreso a POSPac, donde se procesa las correcciones junto con los datos brutos GNSS y el archivo IMU para generar un archivo SBET (Smoothed Best Estimate Trajectory) que tendrá un nivel de precisión centimétrica sin la necesidad de una estación base local, en la *Figura 7* se puede visualizar el proceso mencionado anteriormente. (Applanix b. , 2018)

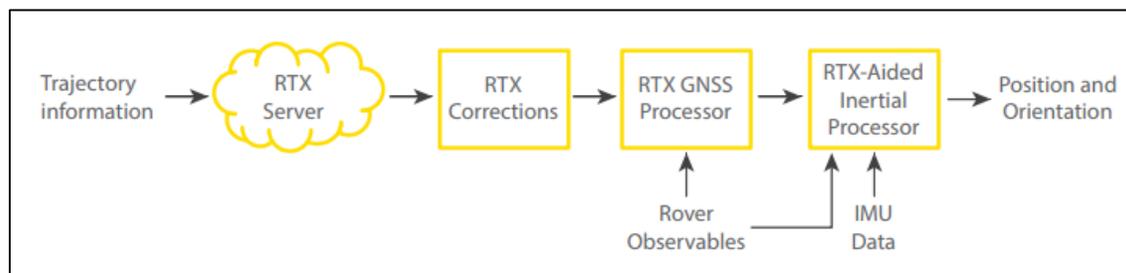


Figura 7. Proceso de corrección RTX

Autor: (Applanix b. , 2018)

2.6.2 Trimble Trident

El software Trimble Trident permite gestionar y procesar de forma efectiva la información recolectada con los sensores móviles terrestres. Admite el posicionamiento y medición de objetos, creación de capas y creación de bases de datos (Trimble, 2018), en la *Figura 8* se puede apreciar la interfaz del software.

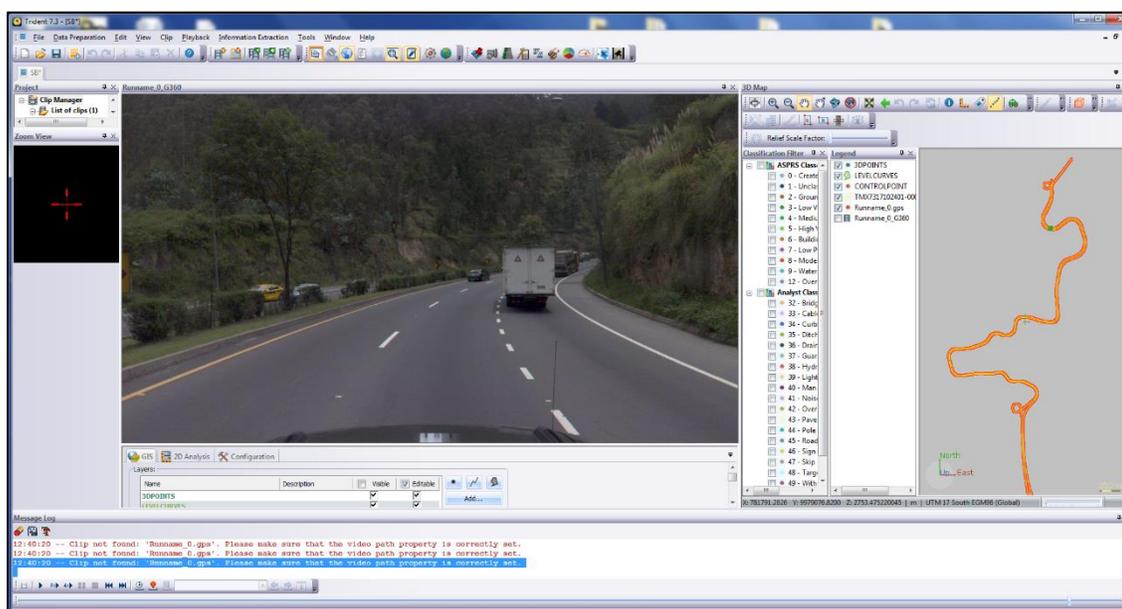


Figura 8. Interfaz del software

2.7 Estadística

Se realizó el análisis de los datos obtenidos mediante la utilización de la estadística, que es la metodología para recopilar, analizar, interpretar y sacar conclusiones de la información. Todo lo que se relaciona de manera remota con la recopilación, el procesamiento, la interpretación y la presentación de datos pertenece al dominio de las estadísticas. (Isotalo, 2008)

2.7.1 Tamaño de la muestra

El tamaño de la muestra es el número de elementos o unidades experimentales incluidas en un estudio. Uno de los primeros pasos prácticos al diseñar un ensayo es la elección del tamaño de la muestra para responder a la pregunta de investigación. (Noordzij et al, 2010) Para el cálculo del tamaño de la muestra se utilizó la siguiente fórmula:

$$n = \frac{N * Z_{\alpha}^2 * p * q}{d^2 * (N - 1) + Z_{\alpha}^2 * p * q}$$

Donde:

N=Total de la población

Z_{α}^2 = nivel de seguridad

p= Proporción esperada

q= 1-p

d= Precisión de la investigación

2.7.2 Media

La medida de centro más utilizada para la variable cuantitativa es la (aritmética) media de la muestra. Cuando las personas hablan de tomar un promedio, es a lo que se refieren a menudo. La media muestral de la variable es la suma de los valores observados en un dato dividido por el número de observaciones. Si el tamaño de la muestra es n , entonces el promedio de la variables x es: (Isotalo, 2008)

$$\frac{x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_n}{n}$$

2.7.3 Desviación Estándar

La desviación estándar de la muestra es la medida de variabilidad más frecuentemente utilizada. Se puede considerar como una especie de promedio de las desviaciones absolutas de los valores observados de la media de la variable en cuestión. Para una variable x la desviación estándar de la muestra, denotada por s_x es: (Isotalo, 2008)

$$s_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

Donde:

s_x = Desviación estándar

x_i = valores observados

\bar{x} = Promedio

n = número de elementos

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

En este capítulo, *Figura 9*, se describe la metodología que se utilizó para realización del proyecto.

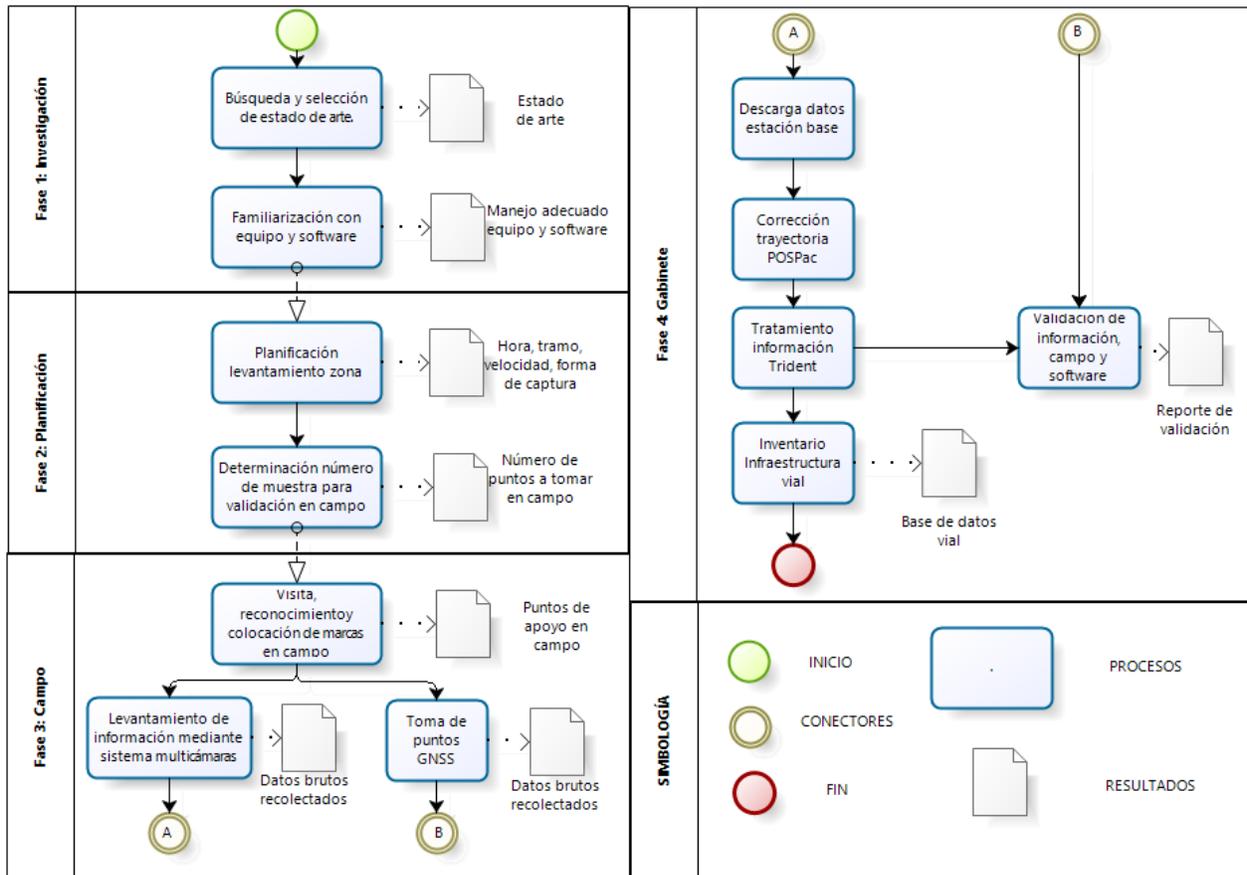


Figura 9. Metodología

FASE 1: INVESTIGACIÓN

En esta fase, el estado de arte quedará definido, siendo de ayuda para el desarrollo del trabajo. Además, el manejo y funcionamiento tanto del equipo como del software quedará definido.

FASE 2: PLANIFICACIÓN

Quedarán establecidas la hora, el tramo seleccionado de la Av. Simón Bolívar, la velocidad a la que irá el vehículo y la forma de captura del equipo. También se determinará la muestra a ser estudiada para la validación de los datos obtenidos, para su posterior análisis.

FASE 3: CAMPO

Se realizará una visita de campo para poder identificar y señalar los puntos que serán de apoyo. Posteriormente se hará el recorrido a lo largo de la vía y se tomarán los puntos anteriormente identificados y señalados.

FASE 4: GABINETE

Se procesarán los puntos de control. Para poder corregir la trayectoria se requiere una estación base, se utilizará la que se encuentra en las instalaciones de la empresa Instrumental y Óptica, éstos se descargarán al siguiente día de la captura, se utilizará POSPac MMS de Applanix. La manipulación de los datos se realizará con Trimble Trident que permitirá la digitalización de las características de la vía y la asignación de atributos para crear la base de datos.

En esta fase también se analizarán los datos obtenidos en campo y los post-procesados y se verificará la calidad de los mismos, para poder presentar los resultados finales.

3.1 Investigación

En esta primera etapa se buscó toda información disponible acerca del tema a desarrollar, y se realizaron algunas pruebas para la familiarización con el funcionamiento del equipo y software.

3.1.1 Equipo

El equipo que se utilizó para el levantamiento de la información fue el Trimble MX7 que cuenta con las especificaciones técnicas que se encuentran en la Tabla 1. Se instala con la ayuda de 4 pernos sobre un vehículo y se alimenta con su energía. Los elementos que sirven para la conexión e instalación se encuentran en la *Figura 10*.

Tabla 1 .
Detalles Trimble MX7

360° Cámara esférica	30MP (5MPx6 sensores)
Cámara	Ladybug 5 (5MP, 6CCDs)
Trimble AP15 GNSS-Inertial System	0,02 – 0,05 m Postprocesamiento 220 canales GNSS
Receptor GNSS	GPS L1, L2, L2c, L2E Glonass L1,L2 Galileo, Compass L-Band (OmniStar)
Antena GNSS	Asegura que el SNR (Signal to Noise Ratio) de L1 para el 90% de los satélites sea mayor que 40dB SNR de L2 es 10-20 dB menor Satélites con una máscara de elevación menor a 10° no deben ser consideraos.

Fuente: Trimble

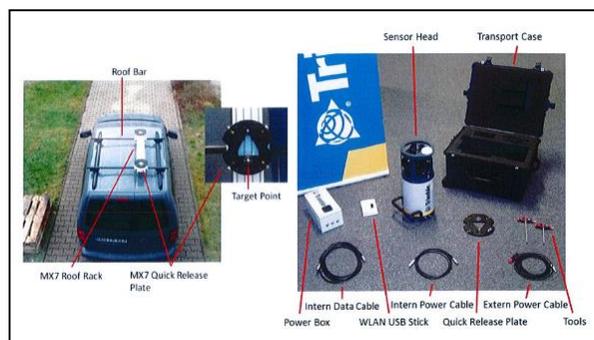


Figura 10. Elementos Trimble MX7
Fuente: Trimble

La conexión del equipo se realizó mediante un enlace Wi-Fi propio del mismo, utilizando el Power Box como router receptor de la señal, en el cual se encuentra la contraseña de ingreso para que el usuario pueda acceder por medio de un celular, tablet o PC, con la capacidad de establecer un enlace con una red.

a) Parámetros del automóvil

En esta sección, la altura a la que se encuentra el equipo fue medida, la misma debe ser tomada desde el suelo hasta la base del equipo, como se visualiza en la *Figura 11*.

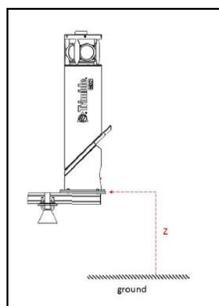


Figura 11. Altura del equipo

Fuente: Trimble

b) Forma de captura

Existen dos formas de capturar las imágenes: por distancia o por tiempo como se muestra en *Figura 12*, esto quiere decir el intervalo en metros o segundos en que se capturan las imágenes.

Una captura de pantalla de una interfaz de usuario. El título es 'Camera Trigger Type'. Hay dos opciones de radio button: 'Distance Based' (seleccionada) y 'Fixed Frame Rate'. Debajo de 'Distance Based' hay un campo de entrada etiquetado 'Trigger Distance:' con el número '3' escrito dentro.

Figura 12. Formas de captura

c) Inicialización de los sensores

Antes de empezar con el levantamiento, se debe tomar una distancia prudente para que los sistemas integrados en el equipo puedan inicializarse; para esto se requiere velocidad en el vehículo y si es posible algún movimiento brusco como se observa en la *Figura 13*.

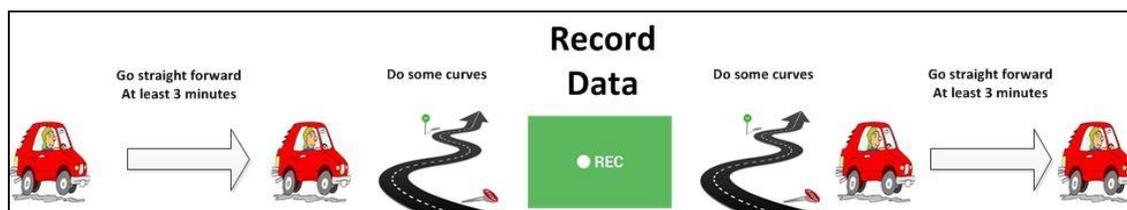


Figura 13. Inicialización de los sensores
Fuente: Trimble

Solo se permitirá la captura de la información si la calibración se encuentra en un rango aceptable, que está definido por colores rojo, naranja y verde; en rojo no empezará la captura, los valores aceptables son los que se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2.

Rangos de aceptación para iniciar la captura

Attitude RMS Accuracy	$\leq 0.2^\circ$
Heading RMS Accuracy	$\leq 0.75^\circ$
Position RMS Accuracy	$\leq 10.0\text{m}$
Velocity RMS Accuracy	$\leq 1.0 \text{ m/s}$

Fuente: Trimble

d) Descarga de datos

Una vez finalizado el levantamiento, se descargan los datos que estarán divididos en dos carpetas y un archivo .tridb como se pueda visualizar en la *Figura 14*. La carpeta Raw contiene los archivos en bruto que permitirán corregir la trayectoria, la carpeta Camera_1 contiene los

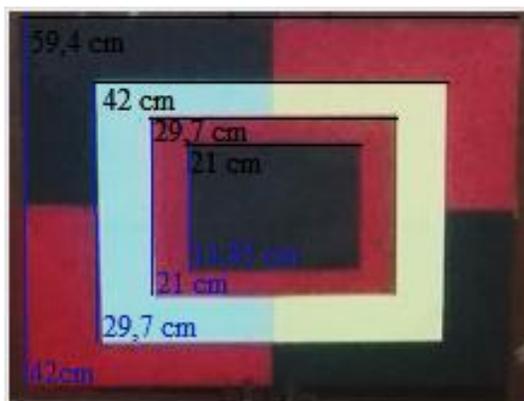


Figura 15. Marcas con la medida establecida

En la *Figura 16* se muestra el tramo seleccionado, la Estación base GNSS que se utilizó para realizar la corrección de la trayectoria que está ubicada en las instalaciones de la empresa “Instrumental y Óptica” y la ubicación de las 4 marcas mencionadas anteriormente.

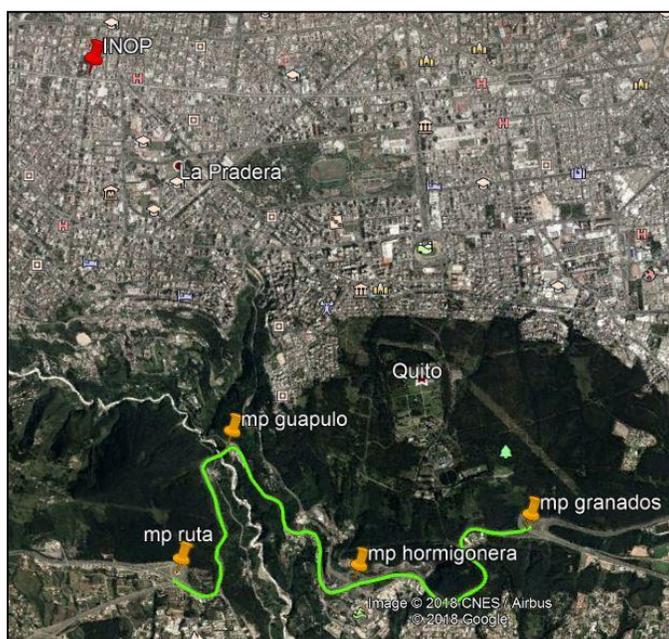


Figura 16. Ruta de estudio seleccionada

Aunque el recorrido se realizó en el tramo mencionado, el inventario fue realizado desde el desvío a Granados hasta el lugar conocido como “La Hormigonera”. La *Figura 16* define el

tramo entre los puntos “mp granados” y “mp hormigonera”. A lo largo de esta sección se identificaron 6 puntos, los cuales se tomarán mediante N-Trip en la etapa de campo y se pincharán en las imágenes capturadas, los mismos servirán para determinar su precisión.

3.3 Campo

3.3.1 Levantamiento

Una vez determinada la hora, sección de la carretera y definidos los lugares en dónde se colocarán las marcas se inició con la instalación y aseguramiento del equipo sobre el vehículo. Se colocaron las marcas a lo largo del trayecto y posteriormente se inició el levantamiento.

Se realizó la conexión del equipo mediante Wi-Fi y se colocaron los parámetros para el levantamiento como se puede visualizar en la Tabla 3.

Tabla 3.

Parámetros de captura

Altura del Vehículo	1.95 m
Forma de captura	Basado en distancia cada 2 m

Se recorrió una distancia aproximada de 4 km para que los sensores puedan inicializarse y estar en condiciones óptimas para capturar la información; es decir, que el botón de “Navigation” esté en amarillo o verde. Una vez que el levantamiento finalizó, se descargaron los datos para su posterior corrección. En la *Figura 17* se puede observar la pantalla en donde se encuentran los parámetros de navegación que están en el rango de aceptación (por esta razón el botón se encuentra en verde), las seis vistas de la cámara y la descarga de los datos.

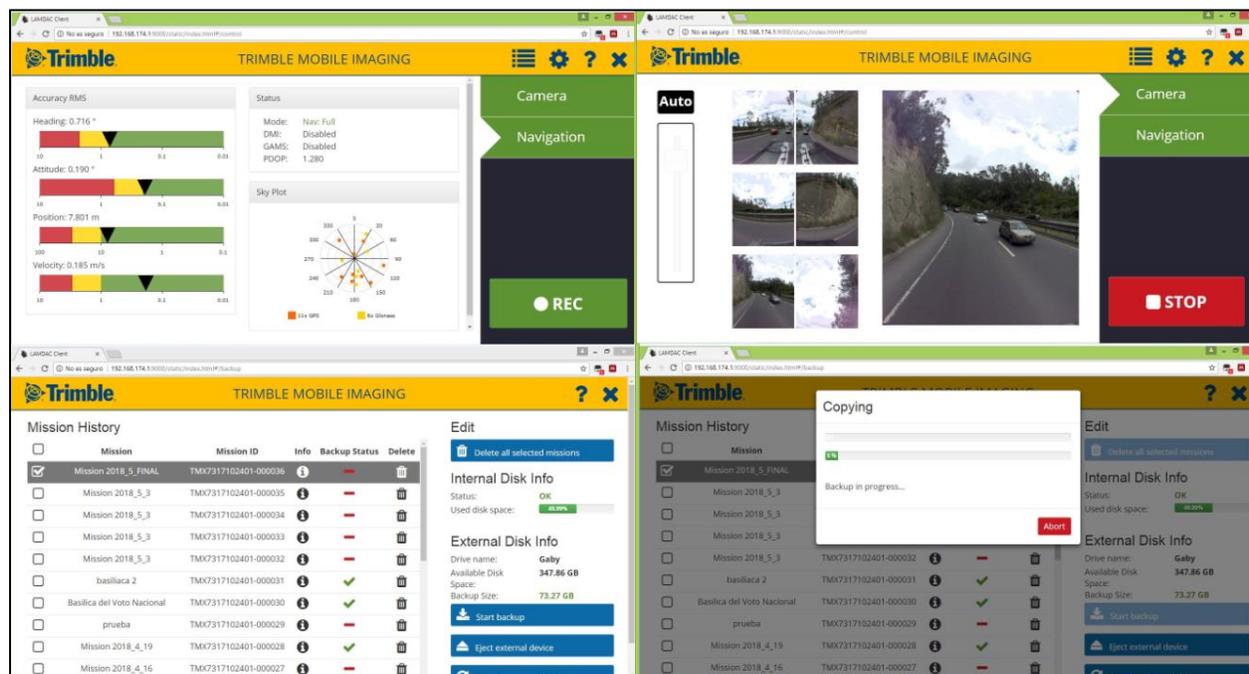


Figura 17. Captura y descarga de la información.

3.3.2 Puntos de control

Los puntos que fueron utilizados como control y ubicados a lo largo del tramo, fueron tomados en un día posterior mediante N-Trip, en la *Figura 18* se puede observar la toma de los mismos y en la *Tabla 4* se encuentran sus coordenadas.

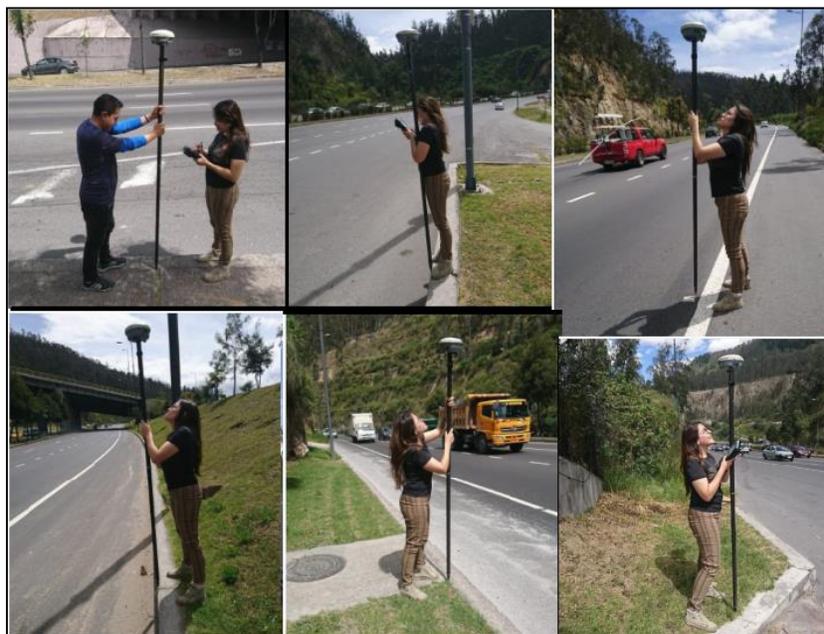


Figura 18. Toma de puntos mediante N-Trip

Tabla 4.
Puntos de control

Punto	N (m)	E (m)	h (m)
1	9978935,609	783391,616	2624,716
2	9979363,232	783418,568	2631,643
3	9979566,626	783678,873	2653,538
4	9979882,735	783721,304	2678,794
5	9980148,5	783246,598	2747,026
6	9980374,773	783323,773	2765,414

3.4 Gabinete

En esta fase los datos se procesaron mediante POSpac y Trimble Trident y analizados mediante estadística a fin de poder realizar la extracción de la información para el inventario vial.

3.4.1 Estación Base de Referencia

El ajuste de la trayectoria se la realizó mediante la ayuda de la estación Base, que se encuentra sobre las instalaciones de la empresa “Instrumental y Óptica”. Los detalles de la Estación se encuentran en la Tabla 5 y es necesario que los datos de la estación deben coincidir con la hora y fecha del levantamiento.

Tabla 5.

Características de la Estación Base INOP

Semana GPS	1999
Satélites Usados	GPS: 11 GLONASS: 7 SBAS: 2
Dimensión de posición	3D
Tipo de posición	Autónoma
Motor de posición	Kalman
Dilución de la precisión	PDOP: 1.2 HDOP: 0.5 VDOP: 1.0 TDOP: 0.6
Máscara de elevación	10°
Tipo de antena	Zephyr Geodetic 2
Método de medición de la antena	Base del soporte de la antena
Altura antena	0.000 m

Fuente: Instrumental & Óptica

3.4.2 POSPac

La trayectoria del levantamiento se corrigió mediante la ayuda de este software. Los datos brutos se añaden y se seleccionó el tipo de antena del equipo. Posteriormente se añadió la estación base de referencia cuyas características se muestran en la *Figura 19*.

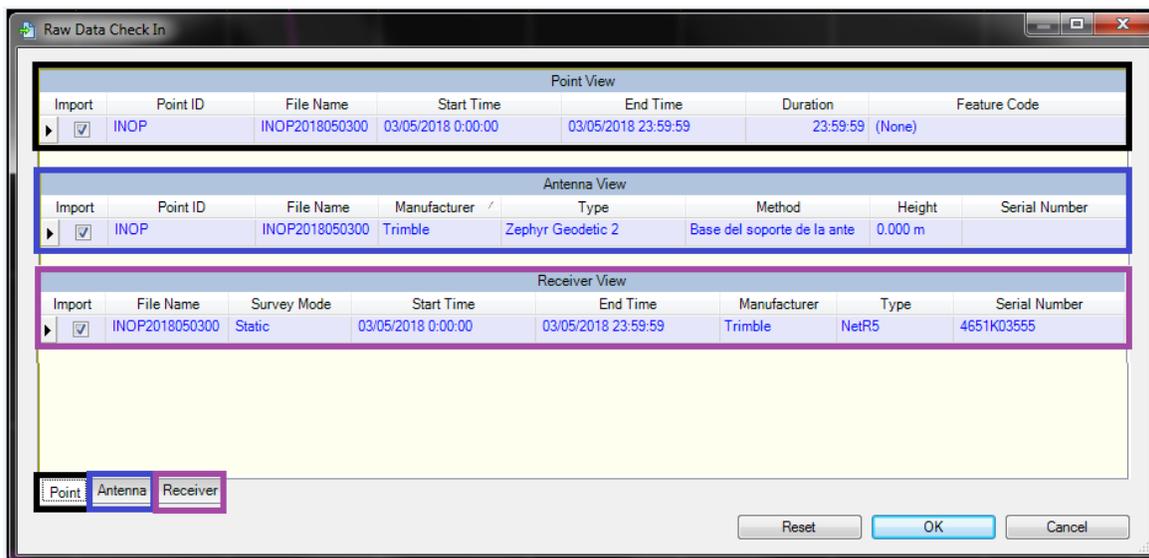


Figura 19. Características de la Estación Base

Se utilizó una sola estación de referencia, que fue la INOP, ubicada aproximadamente a 5km de distancia, por lo que la forma de cálculo de la trayectoria que se utilizó fue por BASE Simple (IN-Fusion Single Base), que dará una precisión final de 2 a 5cm. (Sáenz Aguirre, 2017). Se generó el archivo sbet.out que contiene la mejor corrección de trayectoria y sirve para la georreferenciación en Trimble Trident. En la *Figura 20* se observa en violeta la trayectoria y en verde la corrección. También se aprecia la cercanía con la Estación Base.

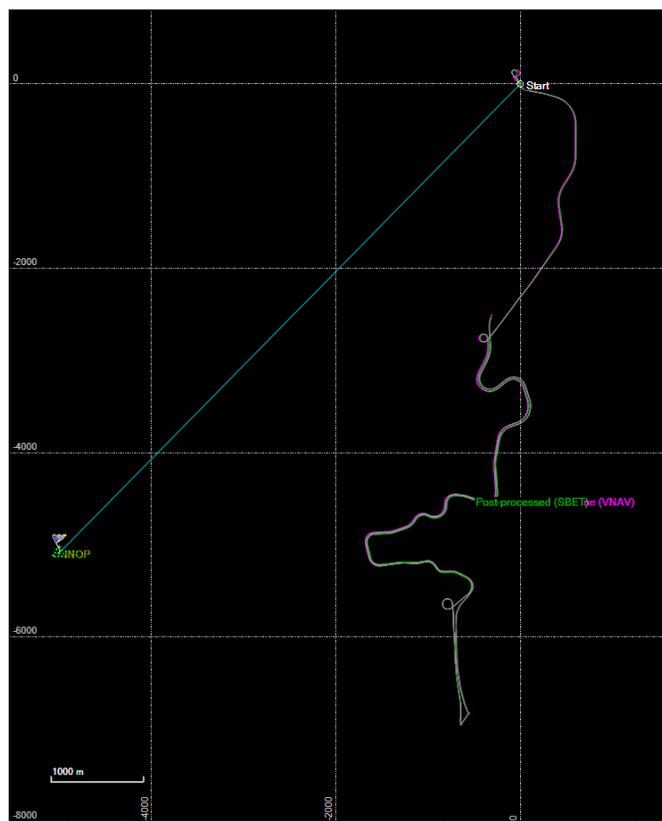


Figura 20. Corrección de la trayectoria

3.4.3 Trimble Trident

Este software permite realizar la georreferenciación y la extracción de la información. Para el efecto se configuró de manera adecuada el sistema coordinado: UTM 17 Sur, WGS84 y las características de la cámara Ladybug5, lentes 4.4 mm y tamaño del CCD 2448x2048.

Se cargaron las imágenes recolectadas del levantamiento y se ingresó los parámetros de calibración de la cámara. La corrección de la trayectoria se llevará a cabo con el archivo sbet.out previamente generado en POSPac. Las imágenes estarán listas para la extracción de la información.

3.4.4 Validación información

Para validar la información se tomó en cuenta dos parámetros: medidas y posicionamiento.

a) Medidas

Se colocó cuatro marcas a lo largo del trayecto de las cuales se conoce las medidas. Las marcas se identificaron en las imágenes y se procedió a medirlas. Cada marca tiene cuatro áreas y cada área fue medida ocho veces, para poder determinar su precisión. En la *Figura 21* se observa la marca y las mediciones.

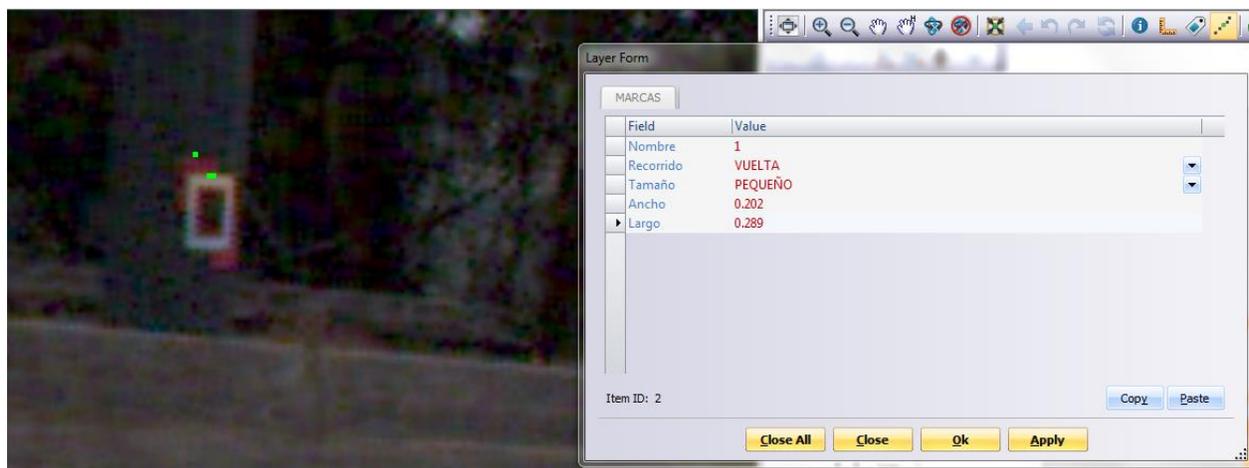


Figura 21. Medición de las marcas en las imágenes

En la Tabla 6 se observan las medidas realizadas sobre las marcas, la columna de “Medida” indica el número de veces que se realizó la medición, el tamaño muestra el área definida para la medición como se muestra en la *Figura 15. Marcas con la medida establecida.*

Tabla 6.
Mediciones de las marcas colocadas

Medida	Tamaño	Marca	Ancho (m)	Largo (m)	Medida	Tamaño	Marca	Ancho (m)	Largo (m)
1			0,403	0,592	1			0,202	0,289
2			0,417	0,606	2			0,209	0,297
3			0,428	0,592	3			0,223	0,286
4			0,400	0,596	4			0,201	0,286
5		1	0,419	0,608	5		1	0,206	0,299
6			0,429	0,595	6			0,225	0,287
7			0,405	0,594	7			0,204	0,287
8			0,415	0,607	8			0,207	0,294
1			0,407	0,591	1			0,210	0,295
2			0,433	0,578	2			0,195	0,298
3			0,422	0,593	3			0,206	0,286
4			0,410	0,593	4			0,208	0,294
5		2	0,432	0,576	5		2	0,193	0,297
6			0,425	0,596	6			0,208	0,288
7			0,405	0,594	7			0,213	0,293
8			0,433	0,577	8			0,197	0,297
1	1		0,419	0,598	1	3		0,214	0,303
2			0,424	0,586	2			0,190	0,283
3			0,433	0,580	3			0,205	0,285
4			0,415	0,599	4			0,213	0,304
5		3	0,422	0,587	5		3	0,192	0,285
6			0,434	0,582	6			0,207	0,283
7			0,417	0,596	7			0,216	0,304
8			0,425	0,587	8			0,192	0,284
1			0,419	0,583	1			0,201	0,293
2			0,419	0,594	2			0,206	0,298
3			0,422	0,589	3			0,209	0,286
4			0,414	0,584	4			0,202	0,296
5		4	0,417	0,593	5		4	0,207	0,299
6			0,424	0,587	6			0,205	0,283
7			0,417	0,585	7			0,203	0,295
8			0,417	0,595	8			0,208	0,296
1			0,282	0,428	1			0,171	0,222
2	2	1	0,293	0,434	2	4	1	0,133	0,209
3			0,284	0,435	3			0,142	0,210
4			0,280	0,431	4			0,173	0,223

CONTINÚA →

5		0,291	0,436	5		0,134	0,207
6		0,285	0,433	6		0,144	0,213
7		0,283	0,426	7		0,174	0,223
8		0,294	0,436	8		0,135	0,207
1		0,308	0,438	1		0,136	0,206
2		0,298	0,433	2		0,152	0,193
3		0,300	0,423	3		0,142	0,201
4	2	0,310	0,437	4	2	0,132	0,207
5		0,294	0,435	5		0,154	0,195
6		0,303	0,425	6		0,144	0,203
7		0,306	0,436	7		0,134	0,203
8		0,295	0,435	8		0,153	0,195
1		0,294	0,430	1		0,146	0,207
2		0,290	0,407	2		0,147	0,201
3		0,293	0,416	3		0,147	0,199
4	3	0,292	0,432	4	3	0,149	0,208
5		0,291	0,408	5		0,145	0,203
6		0,295	0,415	6		0,145	0,197
7		0,295	0,432	7		0,148	0,205
8		0,293	0,408	8		0,144	0,203
1		0,286	0,428	1		0,147	0,207
2		0,312	0,426	2		0,151	0,207
3		0,297	0,421	3		0,144	0,222
4	4	0,287	0,426	4	4	0,149	0,205
5		0,313	0,425	5		0,154	0,206
6		0,295	0,424	6		0,146	0,225
7		0,288	0,427	7		0,148	0,205
8		0,313	0,425	8		0,154	0,205

b) Posicionamiento

Como se puede observar en la *Figura 22*, los puntos tomados a lo largo de la vía fueron identificados y pinchados ocho veces en la imagen mediante la opción *Create Spatial Points*, con la cual se debe hacer clic en el mismo punto en dos imágenes diferentes. Posteriormente la capa

que contenía las coordenadas se exportó a ArcGIS conjuntamente con los puntos de control para poder calcular la distancia entre puntos, mostrándose las distancias obtenidas en la Tabla 7.



Figura 22. Identificación puntos

Tabla 7.
Distancia entre coordenadas

Punto	Medida	Distancia (m)	Punto	Medida	Distancia (m)	Punto	Medida	Distancia (m)
1	1	0,0197	3	1	0,0482	5	1	0,0933
	2	0,1854		2	0,0648		2	0,0891
	3	0,1977		3	0,0462		3	0,0958
	4	0,0415		4	0,1110		4	0,0964
	5	0,0558		5	0,1036		5	0,0962
	6	0,0373		6	0,0558		6	0,1005
	7	0,0512		7	0,1169		7	0,1029
	8	0,2185		8	0,0583		8	0,0703
2	1	0,0337	4	1	0,0918	6	1	0,0653
	2	0,0534		2	0,0458		2	0,0568
	3	0,0334		3	0,0867		3	0,0663
	4	0,0352		4	0,0446		4	0,0853
	5	0,0535		5	0,0481		5	0,0344
	6	0,0499		6	0,0467		6	0,0700
	7	0,0379		7	0,0471		7	0,0664
	8	0,0356		8	0,0468		8	0,0615

3.4.5 Inventario

Como se mencionó en el Apartado 2.2 *Elementos del inventario*, las entidades a inventariar son los tipos de señalización, siendo éstos verticales, horizontales y complementarios. Las secciones de la vía no se extraen como información, sino que se realiza las medidas de los anchos tanto de la calzada como de los carriles.

a) *Señalización Vertical*

Las entidades de la señalización vertical fueron representadas mediante puntos colocados en sus bases. Se crearon los atributos como se muestra en la Tabla 8 según el literal a del Apartado 2.2 *Elementos del inventario*

Tabla 8.
Tabla de atributos de la Señalización vertical

Field	Choices	Values
Ubicación longitudinal	DXY	0
X_UTM	X_UTM	0
Y_UTM	Y_UTM	0
Z_UTM	Z_UTM	0
Tipo	Regulatorias	R
	Preventivas	P
	Informativas	I
	Especiales delineadoras	D
	Trabajos en la vía y propósitos especiales	T
	Escolares	E
	Riesgos	SR
	Turísticas y de servicio	TS
Ancho	DXYZ	0
Largo	DXYZ	0
Altura	DXYZ	0
Color	Rojo	Rojo
	Negro	Negro
	Blanco	Blanco
	Amarillo	Amarillo
	Naranja	Naranja
	Verde	Verde
	Azul	Azul
Café	Café	

CONTINÚA →

	Verde Limón	Verde Limón
	Excelente	4
Estado conservación	Bueno	3
	Malo	2
	Intervención	1
Arcén donde se sitúa	Izquierdo	Izquierdo
	Derecho	Derecho
Visibilidad	Totalmente	3
	Media	2
	Obstruido	1
Desgastes	Cuarteado	Cuarteado
	Fisuración	Fisuración
	Erosión	Erosión
	Oxidación	Oxidación
	Pintadas	Pintadas
	Doblada	Doblada
Código	Codigo	nil
Snippet	Snippet	Snippet
Tramo	N-E	1
	E-N	2

Se creó la entidad, seleccionando el objeto en dos imágenes diferentes e inmediatamente se abrió una ventana que contiene la tabla de atributos anteriormente mencionada y se procedió a llenar los campos mediante la ayuda de las herramientas del software, entre las cuales se puede nombrar *Perform Lane Measures* y *Perform Spatial Measures*. La primera opción permite realizar medidas al nivel del suelo es decir en dos dimensiones; mientras que la segunda toma en cuenta las tres dimensiones. Además se realizó una extracción como imagen a través de la opción *Snippet*.

El código que se ingresó está basado en **REGLAMENTO TÉCNICO ECUATORIANO RTE INEN 004-1:2011 Primera revisión. SEÑALIZACIÓN VIAL. PARTE 1. SEÑALIZACIÓN VERTICAL**, que está establecido según el tipo de señalización y sus dimensiones.

b) Señalización Horizontal

La señalización horizontal será representada por líneas digitalizadas a lo largo y en la mitad de las marcas viales que se encuentran en la carretera. Se crearon los atributos como se muestra en la Tabla 9.

Tabla 9.
Tabla de atributos de la Señalización Horizontal

Field	Choices	Values
Tipo según forma	Líneas Longitudinales	Líneas Longitudinales
	Líneas transversales	Líneas transversales
	Símbolos y leyendas	Símbolos y leyendas
	Otras señalizaciones	Otras señalizaciones
	Elevadas	Elevadas
	Largo	P	0
Ancho	DXY	0
Color	Blanco	Blanco
	Amarillo	Amarillo
Tipo	Líneas de borde	Líneas de borde
	Líneas de continuidad	Líneas de continuidad
Tramo	N-E	N-E
	E-N	E-N
Snippet	Snippet	Snippet

Esta entidad fue digitalizada en medio de las líneas que conforman la señalización horizontal con la ayuda de la herramienta *Create Pavement Polyline*, que permite dibujar la línea en dos dimensiones. Al llenar la tabla de atributos, se encuentra que en el campo de Largo habrá un valor, esto es debido a que al ingresar “P” en las opciones irá registrando la distancia digitalizada. El resto de medidas se realizó ocupando herramientas anteriormente mencionadas

c) Señalización Complementaria

Se representa como entidad de puntos, y los atributos son los que se muestran en la Tabla 10. Son conocidos como “ojos de gato” y para su creación se utilizó la herramienta *Create Pavement Points*, la cual permitió crearlas al nivel del suelo.

Tabla 10.

Tabla de atributos de la Señalización Complementaria

Field	Choices	Values
X_UTM	X_UTM	0
Y_UTM	Y_UTM	0
Z_UTM	Z_UTM	0
Color	Blanco	Blanco
	Amarillo	Amarillo
	Rojo	Rojo
Tramo	N-E	N-E
	E-N	E-N
Ubicación	Derecha	Derecha
	Izquierda	Izquierda
	Centro	Centro

CAPÍTULO IV

Resultados y discusión

En este capítulo se muestra los resultados obtenidos tanto del levantamiento como de la verificación de la información.

4.1 Levantamiento de la información

La información recolectada en campo depende de la adecuada inicialización de los sensores como se indicó en el literal c del Apartado 3.1.1 *Levantamiento*. En la *Figura 23* visualiza la variación del PDOP durante el recorrido del levantamiento, mientras menor es el valor se obtendrá un mejor posicionamiento en ese momento. Existen momentos en donde el PDOP es muy elevado, esto se pudo producir debido a que la geometría de los satélites era muy mala; (es decir los satélites se encontraron muy separados), a una pérdida de señal. No se considera un problema grave debido a que el equipo también incluye el sensor INS, que ayudará a corregir la trayectoria en aquellos lugares en donde se haya perdido la señal de los satélites.

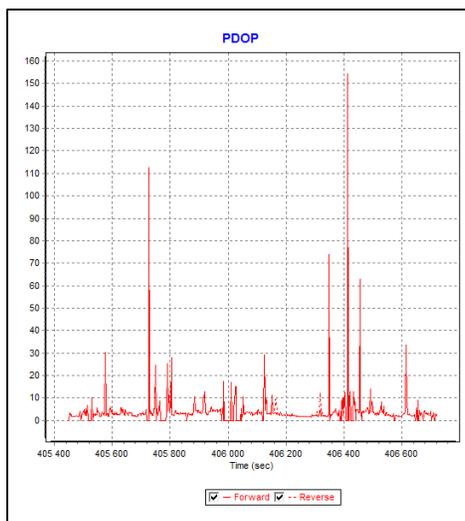


Figura 23. Variación PDOP a lo largo del recorrido

En la *Figura 24* se puede observar la variación de los errores medios de posicionamiento tanto para el Este como para el Norte. Se advierte que los errores máximos se encuentran al iniciar el levantamiento, es por esto que se debe tomar una distancia prudente de la zona de estudio para que los sensores puedan inicializarse. Se visualiza que los datos recolectados no sobrepasan los 4 m de error durante todo el recorrido.

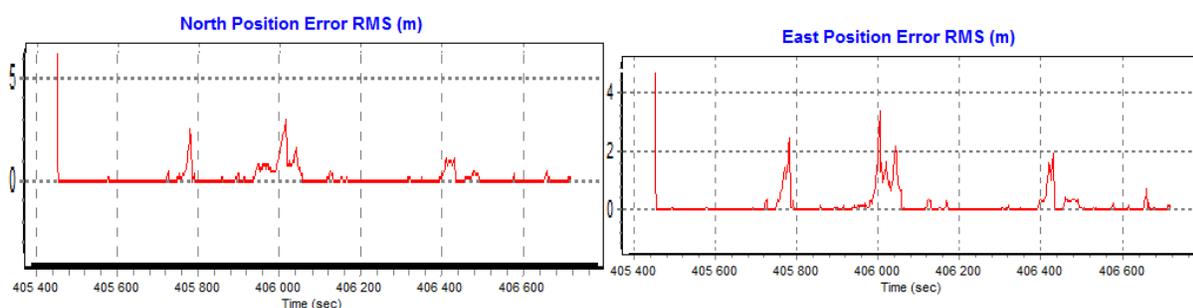


Figura 24. Errores medios de posicionamiento Este y Norte

De manera general la corrección de la trayectoria queda establecida con una precisión mayor a 10 cm en su posición, como muestra la *Figura 25*.

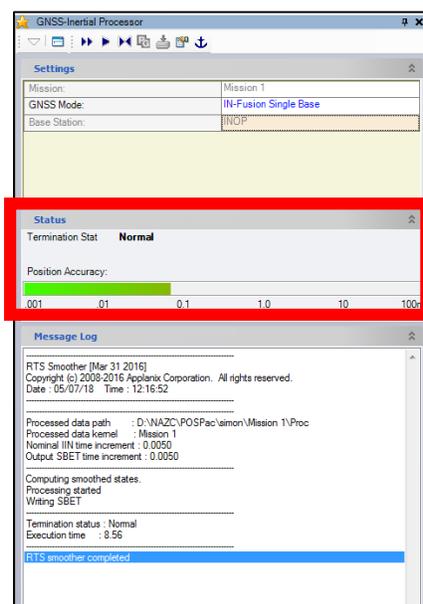


Figura 25. Precisión de Posicionamiento

4.2 Marcas

En la Tabla 11 se presentan las mediciones promedio obtenidas de la *Tabla 6. Marcas con la medida establecida* del capítulo III. Se puede observar los promedios, la diferencia así como también las desviaciones estándar. El mayor valor fue de 0,013m y un promedio de 0,005m. La dispersión de las diferencias de las medidas es de 0,003m, lo que quiere decir que las diferencias se encuentran aglomeradas y no sobrepasan las especificaciones.

Tabla 11.
Diferencia de medidas respecto al valor verdadero

Tamaño	Marca	Ancho (m)	Desviación	Largo (m)	Desviación	D.Ancho (m)	D.Largo (m)
1	1	0,415	0,011	0,599	0,007	0,006	0,005
	2	0,421	0,012	0,587	0,009	0,001	0,007
	3	0,424	0,007	0,589	0,007	0,004	0,005
	4	0,419	0,003	0,589	0,005	0,001	0,005
2	1	0,287	0,280	0,432	0,426	0,011	0,012
	2	0,302	0,006	0,433	0,006	0,005	0,013
	3	0,293	0,002	0,419	0,011	0,004	0,002

	4	0,299	0,012	0,425	0,002	0,002	0,005
3	1	0,210	0,009	0,291	0,005	0,000	0,006
	2	0,204	0,008	0,294	0,004	0,006	0,003
	3	0,204	0,011	0,291	0,010	0,006	0,006
	4	0,205	0,003	0,293	0,006	0,005	0,004
4	1	0,151	0,019	0,214	0,007	0,002	0,004
	2	0,143	0,009	0,200	0,005	0,005	0,010
	3	0,146	0,002	0,203	0,004	0,002	0,007
	4	0,149	0,004	0,210	0,008	0,001	0,000
						MAX	0,013
						MIN	0,000
						Promedio	0,005
						Desviación	0,0032

4.3 Puntos de control

El número de puntos de control tomados a lo largo de la vía se determinó con la ecuación del apartado 2.7.1, para lo cual se tomó como población los kilómetros recorridos y un nivel de confianza del 98%, dando como resultado que se debe tomar 6 puntos de control, los cuales se intentó colocar con una distancia de separación más o menos equidistantes como se muestra en la *Figura 26*. Se tomaron los puntos mediante N-Trip y se pincharon en las imágenes, la diferencia de distancia entre ambos puntos se encuentra en la Tabla 12, en donde se puede observar que la menor distancia fue de 0,04m y la mayor fue 0,10m, con un promedio de 0,07m. Comparando estos datos con las especificaciones del equipo, que mencionan que la precisión deberá estar entre 2 a 5 cm con Postprocesamiento, se obtuvo que las distancias entre puntos sobrepasan lo estimado anteriormente. Esto puede deberse a que en la zona existe vegetación alta, lo que pudo provocar una pérdida de la señal en la toma de los puntos.



Figura 26. Puntos de control a lo largo de la Av. Simón Bolívar

Tabla 12.

Puntos de control, diferencia con los puntos pinchados

Punto	Diferencia (m)	Desviación Estándar
1	0,1009	0,0837
2	0,0416	0,0090
3	0,0756	0,0297
4	0,0572	0,0198
5	0,0931	0,0101
6	0,0633	0,0143
Max	0,1009	
Min	0,0416	
Promedio	0,0719	
Desviación estándar	0,0224	

4.4 Inventario vial

Después de haber verificado que la información levantada tiene una buena calidad, se realizó la digitalización de la infraestructura vial con la ayuda del software Trimble Trident, se utilizaron puntos espaciales para la señalización vertical, puntos 2D para la señalización complementaria y líneas 2D para la señalización horizontal. En la *Figura 27* se puede observar la digitalización y el llenado de todos los campos de una señalética vertical.

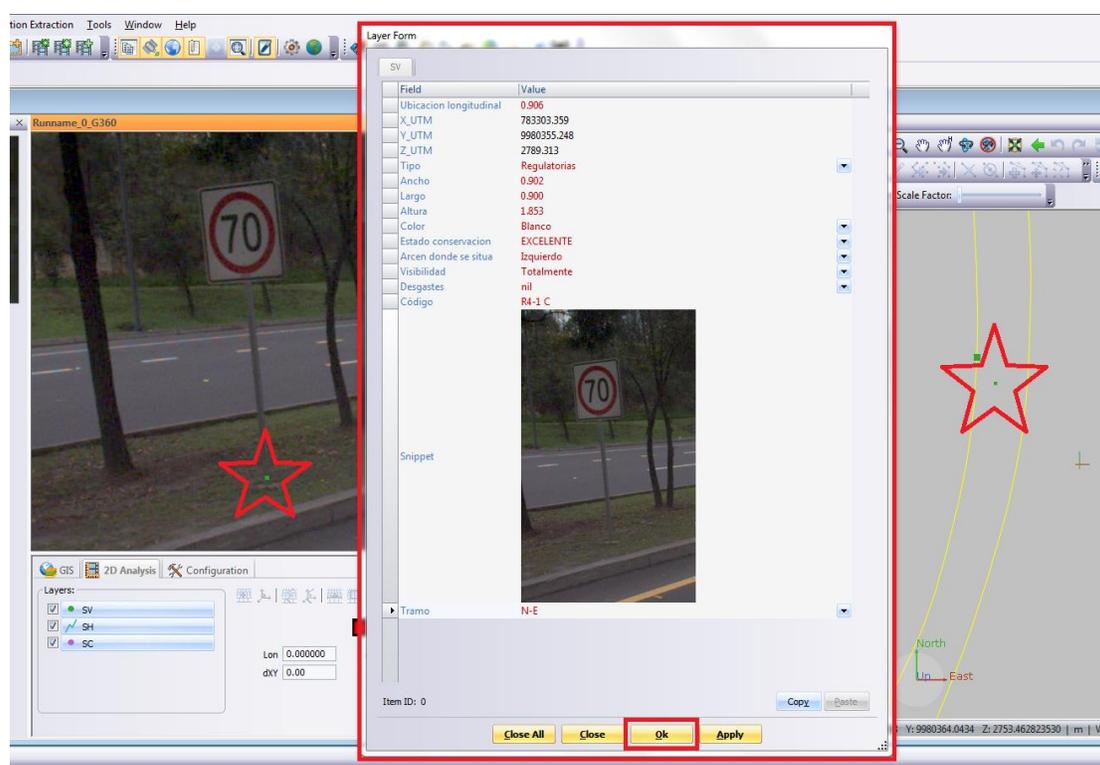


Figura 27. Señalización vertical en Trident.

Se formaron bases de datos con toda la señalización y se exportaron a formato shp. Para visualizar el inventario se utilizó ArcMap como se muestra en la *Figura 28*. En el **Anexo 1** se puede observar el Mapa del Inventario de Infraestructura Vial de un tramo de la Avenida Simón Bolívar.

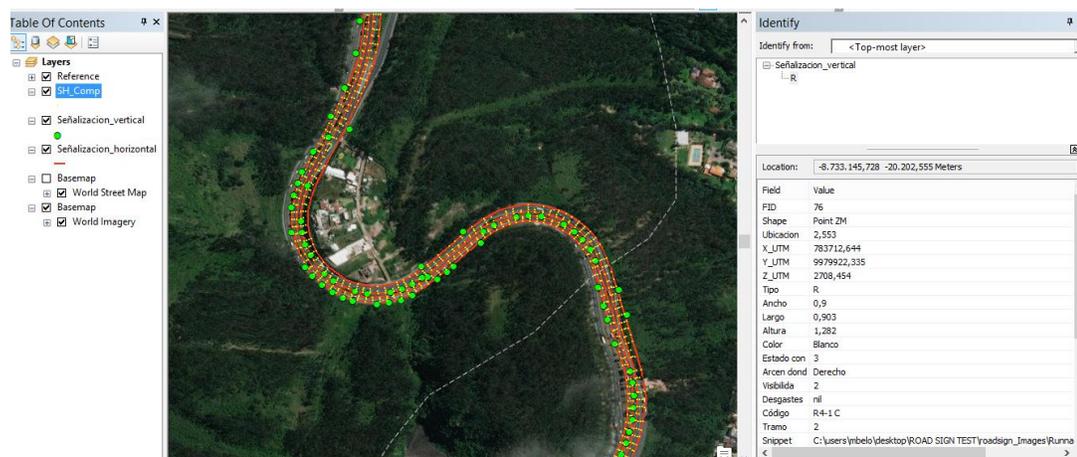


Figura 28. Visualización Inventario en ArcMap

En la *Figura 29* se observa el tipo de entidades que se extrajo y en la *Tabla 13* se encuentra la cantidad de las mismas extraídas de las imágenes para poder completar el Inventario de Infraestructura Vial.



Figura 29. Tipo de entidades extraídas

Tabla 13.
Cantidad de entidades extraídas

Entidades	Cantidad
Señalización Vertical	94
Señalización Horizontal	32
Señalización Complementaria	1248

4.4.1 Señalización Vertical

En el proyecto se buscó realizar un Inventario de Infraestructura Vial para determinar el estado en el que se encuentran sus elementos, que deben cumplir con los parámetros establecidos en el Reglamento Técnico Ecuatoriano RTE INEN 004-1:2011.

a) Tipo de señal

Según RTE INEN 004-1:2011 pueden existir señales de tipo: Regulatorias, preventivas, informativas, especiales delineadoras, señales y dispositivos para trabajos en la vías y propósitos especiales, escolares y de riesgos. En la *Figura 30* se observan los tipos de señales que se encontraron a lo largo del tramo seleccionado, mientras que en la Tabla 14 se muestra el número de ellas.



Figura 30. Tipo de señales

Tabla 14.
Cantidad de tipos de señalética

Tipo	Cantidad
Señales Regulatorias	19
Señales Preventivas	20
Señales informativas	5

CONTINÚA →

Señales delineadoras	Especiales	47
Otros		3

b) Ancho, largo, código

Al realizar las medidas de cada entidad, se pudo establecer el código de cada una de ellas. El código se conforma por la inicial del tipo de señalética, pueden ser: R, P, I, D; seguido del número dependiendo de la señal que se trate y para finalizar los dos dígitos corresponden a las dimensiones de la señal que se representan por letras. Un número de 17 entidades tienen dimensiones que no corresponden a ningún código establecido y no se encuentran bajo la norma RTE INEN 004-1:2011, representando el 18,09%.

c) Color

En la *Figura 31* se visualizan los colores de la señalética que se encontró. En la Tabla 15 se observa la cantidad de entidades correspondientes a cada color establecido en la RTE INEN 004-1:2011.



Figura 31. Colores de señalética

Tabla 15.
Cantidad de entidades según color

Color	Cantidad
Amarillo	67
Azul	1

CONTINÚA →

Blanco	19
Rojo	3
Verde	4

d) Arcén en donde se sitúa la señal

La RTE INEN 004-1:2011 indica que las señales debe estar ubicadas a la derecha, sin embargo se pueden localizar a la izquierda, pudiendo ser éstas duplicadas o corresponder al tipo de señales especiales delineadoras. El 58,51% de las entidades se encuentran en la derecha, mientras que el porcentaje restante se encuentra en la izquierda.

e) Ubicación lateral

En la RTE INEN 004-1:2011 se establece que para zonas urbanas la ubicación lateral de la señalética debe colocarse a mínimo 300 mm del filo del bordillo, en donde todas entidades cumplen con lo establecido, siendo la menor distancia de ubicación lateral 621 mm.

f) Altura

Para este apartado se menciona que la altura mínima debe ser de 1,50m desde la superficie del terreno hasta el borde inferior de la misma. De los cuales 47 entidades tienen una altura menor a 1,50m, lo cual representa al 50% de entidades que no cumplen con la RTE INEN 004-1:2011.

g) Estado

En la *Figura 32* se muestra el estado de señalización vertical. Con esto se puede determinar que la mayoría de la señalética se encuentra en buen estado, siendo necesaria la intervención en solamente tres de ellas.

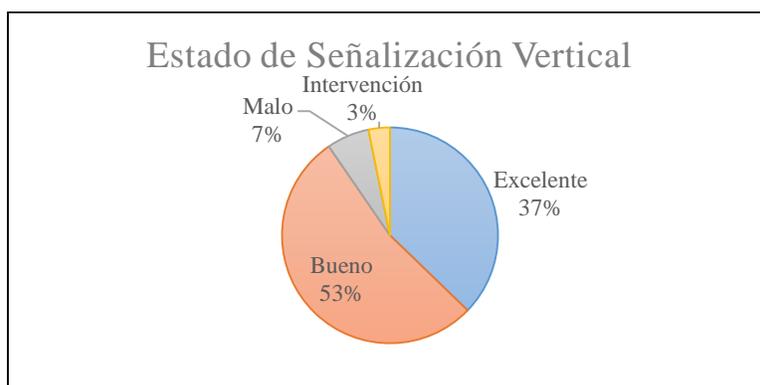


Figura 32. Estado de Señalización Vertical

h) Visibilidad

En la *Figura 33* se muestra la cantidad de entidades clasificadas según su visibilidad en la carretera. Se deberían tomar medidas correctivas con el 5,32% de la señalética ya que se encuentran obstruidas.

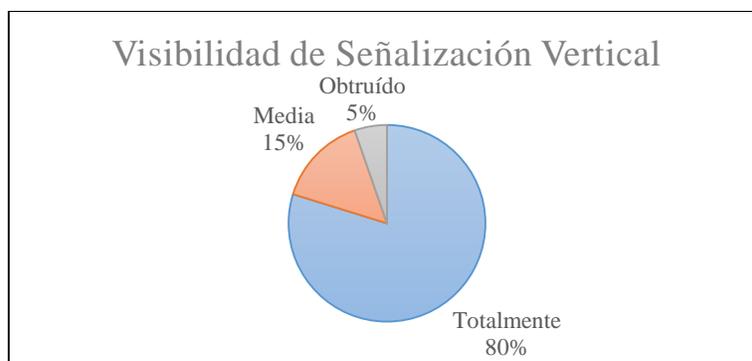


Figura 33. Visibilidad de Señalización Vertical

i) Desgastes

Los desgastes que se pueden presentar en las señales pueden afectar a la visibilidad de las mismas. 18 entidades presentaron alguna clase de desgaste, el detalle se presenta en la *Figura 34*. Esto significa que 19,15% requiere intervención.

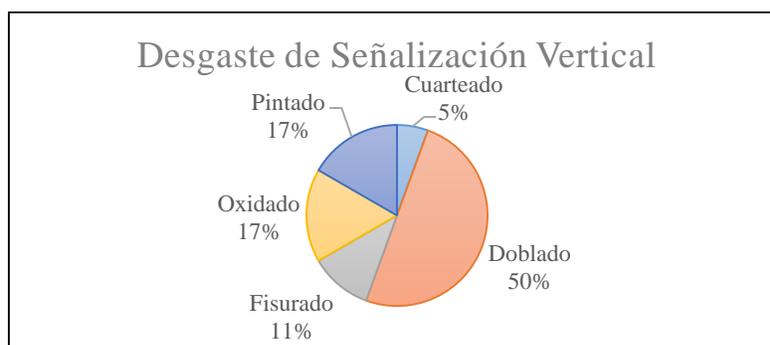


Figura 34. Desgaste de Señalización Vertical

4.4.2 Señalización Horizontal

Se digitalizó un total de 9608,09 metros de señalización horizontal. Existen dos tipos: líneas de borde y líneas de continuidad como se puede visualizar en la *Figura 35*. Un total de 8846,87 metros corresponde a las líneas de borde.



Figura 35. Tipos de Señalización Horizontal

Dentro de la RTE INEN 004-1:2011 se menciona que el ancho de las líneas deberá estar entre el rango de 100 a 150 mm. Del total de metros levantado, 5989,31 metros cumple con lo establecido. Significa que el 32,3% está fuera de la RTE INEN 004-1:2011.

4.4.3 Señalización Complementaria

Se encontró un total de 1248 señalización complementaria “ojos de gato” entre blancos y amarillos como se observa en la *Figura 36* , sin embargo este número debería ser mayor ya que algunos tramos carecían de ellos. Por lo que debe ser necesaria la colocación de un mayor número de elementos ya que el total de elementos ausentes es de 18,7%.



Figura 36. Ojos de Gato

Al observar las imágenes a lo largo del trayecto recorrido, se pudo visualizar que en la mayor parte del tramo analizado se encuentran fisuras, que deberían ser analizadas a profundidad ya que podría desembocar en “piel de cocodrilo” ocasionando daños a la carretera.

CAPÍTULO V

Conclusiones

El inventario de infraestructura vial es un proceso que requiere tiempo y recursos. Se utilizan una serie de instrumentos entre los cuales constan odómetros, cintas métricas, GPS, cámaras fotográficas, fichas técnicas, entre otros. En este proyecto se pudo establecer que, para la realización de un inventario, se puede reducir todos los elementos mencionados anteriormente a la utilización de un sistema multicámaras de mapeo móvil. Se reduce el tiempo en campo y los errores que se podrían producir. Además, se asegura una mejor precisión de los datos obtenidos y de las mediciones realizadas. Se realizó el levantamiento de la información como se menciona en el *Apartado 3.3.1 Levantamiento* y se obtuvieron los datos crudos de la ruta para su posterior procesamiento.

Con la ayuda de la Estación Base que se presenta en el *Apartado 3.4.1 Estación Base de Referencia*, se pudo corregir la trayectoria del levantamiento como muestra el *Apartado 3.4.2 POSPAC* y se alcanzó una precisión mayor a 10 cm en posición como se muestra en la *Figura 25* del *Apartado 4.1*.

Se pudo validar la información recolectada mediante la colocación de marcas y puntos como se menciona en el *Apartado 3.4.4* y se obtuvieron las diferencias de medidas y posicionamiento (ver Tabla 11 y Tabla 12 del *Apartado 4.2* y *4.3* respectivamente). En las marcas se observó que la mayor diferencia fue de 0,013 metros. Sin embargo, en la verificación del posicionamiento, la mayor diferencia de distancia entre puntos fue de 0,10m y la menor de 0,04. No existe un registro que establezca la precisión posicional de los puntos tomados en el inventario, por lo cual no se puede establecer que la precisión obtenida sea mala o buena, sin embargo, si se

toma en cuenta que los inventarios son realizados con GPS submétricos, se llega a la conclusión de que la precisión es mejor.

La Avenida Simón Bolívar es una vía muy transitada, por lo que se requiere que toda la señalización que la conforma esté en un buen estado. Así los usuarios de la vía podrán movilizarse a través de la misma de una manera óptima. Se extrajo la información de un total de 1374 entidades, las cuales varían entre Señalización vertical, horizontal y complementaria (Ver Tabla 13 del *Apartado 4.4*). En cuanto a la primera, a pesar de que el 18,09% del total de entidades no cumpla con la normativa (Ver literal b del apartado 4.4.1), la mayoría se encuentra en excelente y buen estado (Ver *Figura 32* del *literal g* del *Apartado 4.4*), se requiere la intervención solamente en el 19,15% de la señalética (ver *Figura 34* del *literal i* del *Apartado 4.4*). A la par, la Señalización Horizontal, a pesar de que el 32,3% no cumple con el ancho requerido dentro de la norma (Ver *Apartado 4.4.2*) la señalética se encuentra en buen estado. Y la Señalización complementaria requiere atención debido a que el 18,7% está ausente en la vía (Ver *Apartado 4.4.3*).

Recomendaciones

Al realizar el levantamiento y colocar los parámetros de captura, se debe considerar que dependiendo de la distancia de toma entre fotos se generará el tamaño del archivo a exportar. Por lo que se recomienda que los valores varíen entre 2m y 5m.

Se debe tomar en cuenta que la Estación Base debe estar a máximo 30 km de distancia. Si la distancia del recorrido es muy larga, se recomienda colocar una segunda Base con una distancia prudente para poder abarcar todo el recorrido.

Se recomienda colocar marcas no solo con las medidas establecidas, sino también con una distancia horizontal aceptable, para poder determinar la distancia a la cual las imágenes empiezan a perder precisión en las medidas.

La Avenida Simón Bolívar, al ser muy transitada, debería ser monitoreada de manera constante para poder aplicar medidas correctivas en cuanto a su infraestructura. Con una base de datos ya establecida, este trabajo de determinar qué elementos requieren mantenimiento se facilitará.

Se recomienda realizar el estudio de programación en imágenes para la extracción automática de señalética. Este proceso es capaz a través de una nube de puntos, sin embargo, como solo se obtienen imágenes, se requeriría un estudio profundo de programación.

Referencias

- Applanix. (2018). *POSPac MMS*. Canadá: Applanix.
- Applanix, b. (2018). *POSPac8 Frequent Answer Questions*. Canadá: Applanix.
- Bravo Castro, M. F. (2009). *Evaluación del Pavimento de la Carretera Cumbre-Oña (Tramo I) de 20km de longitud, ubicada en la Provincia del Azuay mediante Equipos de Auscultación vial*. Quito: Facultad de ingeniería en Ciencias de la Tierra.
- Centro de Geociencias Aplicadas (Principios de fotogrametría 2014).
- Chen, X., Allison, T., Cao, W., Ferguson, K., Grünig, S., Gomez, V., . . . Talbot, N. (2013). *Trimble RTX, an Innovative New Approach for Network RTK*. Germany: Trimble TerraSat GmbH.
- ERDAS. (2010). *LPS Project Manager User`s Guide*. USA: ERDAS.
- Garrido, S., Giménez, E., de Lacy, C., & Gil, A. (2011). *Testing precise positioning using RTK and NRTK corrections provided by MAC and VS approaches in SE Spain*. España: Journal of Spatial Science.
- Hélicéo. (14 de Julio de 2018). *Herramientas para la fotogrametría*. Obtenido de Hélicéo - Geomatic Innovation & Technology: <http://www.heliceo.com/es/industrias/herramientas-para-la-fotogrametria-terrestre/>
- Hoyer, M., Arredondo, L., Cuellar, R., Aranibar, M., Lijeron, M., Echalar, A., & Sandoval, M. (2016). *Instalación de una RED de Correcciones GNSS en Tiempo Real mediante NTRIP en Bolivia*. Bolivia: LGFS, Universidad del Zulia, Instituto Geográfico Militar.
- Hutton, J., Ip, A., Bourke, T., Scherzinger, B., Gopaul, N., Canter, P., . . . Blankenberg, L. (2008). *Tigh Integration og GNSS Post-Processed Virtual Reference with Inertial data for Increased Accuracy and Productivity of Airborne Mapping* (Vol. XXXVII). Beijing: The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences.
- Isotalo, J. (2008). *Basics of Statistics*. Tampere: University of Tampere.
- ISPRS. (14 de Julio de 2018). *International Society for Photogrammetry and Remote Sensing*. Obtenido de <http://www.isprs.org/society/Default.aspx>
- Jeffrey, C. (2010). *An Introduction to GNSS. GPS, GLONASS, Galileo and other Global Navigaton Satellite Systems* (Primera ed.). Canadá: NovAtel Inc. .

- Landa, J., & Prochazka, D. (2014). *Automatic Road Inventory Using LiDAR*. Brno, República Checa: Elsevier.
- Landeta, D. (2018). Qué sucede en la Simón Bolívar, por qué hay tantos accidentes. *El Comercio*.
- Lee, J., Yun, D., & Sung, J. (2012). *Test of Global Positioning System-Inertial Measurement Unit Performance for Surveying Road Alignment*. Korea del Sur: Korea Institute of Construction Technology.
- Márquez, A. (2007). *NTRIP Herramienta Indispensable para la Cartografía y el Catastro*. Caracas: II Jornadas Nacionales de Geomática. Mediciones Científicas e Industriales C.A. MECINCA.
- Mera Campos, C. S. (2017). *Inventario Vial del Valle de los Chillos (Paroquia de Conocoto)*. Quito: Pontificia Universidad Católica del Ecuador.
- Ministerio de Transporte y Comunicaciones (Manual de Inventarios Viales Lima de 2013).
- Ministerio de Transporte y Obras Públicas del Ecuador (Norma Ecuatoriana Vial NEVI-12 - MTOP. Volumen N° 6 Conservación vial 2013).
- MTOP. (2018). *Estado de las vías de transporte*. Quito: MTOP.
- MTyC. (2015). *Manual de Inventario Viales PARTE IV Inventario vial para la planificación vial estratégica de la red vial vecinal o rural de los gobiernos locales*. Lima: Ministerio de Transporte y Comunicaciones.
- MTyC. (2015). *Resumen Ejecutivo. Actualización del inventario de Carácter Básico de la Red Vial Departamental o Regional*. Lima: Ministerio de Transporte y Comunicaciones.
- Noordzij, M., Tripepi, G., Dekker, F., Zoccali, C., Tanck, M., & Jager, K. (2010). *Sample size calculations: basic principles and common pitfalls*. Oxford: Oxford University - ERA-EDTA.
- Palacios Domínguez, J. (2015). *Modelo de Gestión e Inventario Vial de las Parroquias Rurales de la Provincia del Azuay*. Cuenca: Universidad del Azuay.
- Pérez V., G. J. (2005). *La infraestructura del transporte vial y la movilización de carga en Colombia*. Cartagena de Indias: Banco de la República - Sucursal Cartagena.
- Quintero González, J. R. (2011). *Inventarios viales y categorización de la red vial en estudios de Ingeniería de Tránsito y Transporte*. Tunja, Colombia: Faculta de Ingeniería, vol 20, núm 30, pp 65-77.

- Quintero González, J. R. (2011). *Inventarios viales y categorización de la red vial en estudios de Ingeniería de Tránsito y Transporte* (Vol. 20). Tunja, Colombia: Facultad de Ingeniería.
- Registro Oficial Suplemento 998 (Ley del Sistema Nacional de Infraestructura vial Transporte Terrestre 2017).
- Resource Supply (RTK (Real Time Kinematic) Basics for Surveying 2018).
- Sáenz Aguirre, C. (2017). *Inventario de Carreteras Mediante Tecnología Mobile Mapping: Extracción de Geometrías y de Información Tridimensional*. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid.
- SENPLADES. (2012). *Guía metodológica de planificación institucional*. Quito: Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo.
- Shi, Z. (2014). *Advanced Mobile Mapping System Development with Integration of Laser Data, Stereo Images and other Sensor Data*. Tokyo: Faculty of Environmental and Information Studies, Musashi Institute of Technology.
- Trimble. (2018). *MX7 Mobile Mapping Trimble Geospatial*. USA: Trimble.
- Trimble. (2018). *Trimble Trident Software*. EEUU: Trimble.
- UPV. (2009). *Proyecto Fotogramétrico Terrestre*. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia.