



**UNIVERSIDAD LAICA VICENTE ROCAFUERTE
DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y
CONSTRUCCIÓN
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO CIVIL**

TEMA

**ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE LOS EQUIPOS DE
MEDICIÓN RTK (REAL TIME KINEMATIC) Y ESTACIÓN
TOTAL, REALIZANDO UN LEVANTAMIENTO EN LA
COMUNA DE ENGABAO**

TUTOR

MGTR. TEOFILO FERNANDO VALLEJO REMACHE

AUTORES

**MARIO DAVID CARRIEL GUTIERREZ
MICHAEL ALEJANDRO VELOZ CORNEJO**

GUAYAQUIL

2024

REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA

FICHA DE REGISTRO DE TESIS

TÍTULO Y SUBTÍTULO:

Levantamiento de la zona Puerto engabao. Implementando los equipos RTK Y GNSS: análisis comparativo.

AUTOR/ES:

MARIO DAVID CARRIEL GUTIERREZ
MICHAEL ALEJANDRO VELOZ CORNEJO

TUTOR:

Vallejo Remache Teofilo Fernando

INSTITUCIÓN:

**Universidad Laica Vicente
Rocafuerte de Guayaquil**

Grado obtenido:

INGENIERO CIVIL

FACULTAD:

FACULTAD DE INGENIERÍA,
INDUSTRIA Y
CONSTRUCCIÓN

CARRERA:

INGENIERIA

FECHA DE PUBLICACIÓN:

2024

N. DE PÁGS:

108

ÁREAS TEMÁTICAS: Arquitectura y Construcción

PALABRAS CLAVE: Topografía, Rendimiento, Medición

RESUMEN:

El texto aborda un análisis comparativo entre dos tecnologías topográficas: el Sistema RTK (Real Time Kinematic) y la Estación Total. El RTK, que utiliza receptores GNSS, ofrece datos en tiempo real con alta precisión, mientras que la Estación Total, un instrumento óptico-electrónico, ha sido una opción confiable para mediciones precisas. El propósito del estudio es evaluar cuál de estas tecnologías es más adecuada en diferentes condiciones de campo y contextos específicos. Los objetivos incluyen la evaluación de la precisión de ambas tecnologías, la gestión de costos en trabajos de campo, y la elaboración de planos para comparación. La hipótesis plantea que la comparación de los

resultados altimétricos y planimétricos de ambas herramientas permitirá determinar su aplicabilidad en la ingeniería civil, asegurando que los resultados cumplan con los requerimientos necesarios para un levantamiento topográfico preciso.

N. DE REGISTRO (en base de datos):

N. DE CLASIFICACIÓN:

DIRECCIÓN URL (Web):

ADJUNTO PDF:

SI

NO

CONTACTO CON AUTOR/ES:

Carriel Gutiérrez Mario David
Veloz Cornejo Michael Alejandro

Teléfono:

0998935865
0999297152

E-mail:

mcarriegl@ulvr.edu.ec
mvelozco@ulvr.edu.ec

CONTACTO EN LA INSTITUCIÓN:

PHD. Marcial Calero Amores

Teléfono: (04) 259 6500 **Ext.** 241

E-mail: mcaleroa@ulvr.edu.ec

Mgtr. Jorge Enrique Torres Rodríguez

Teléfono: (04) 259 6500 **Ext.** 242

E-mail: etorresr@ulvr.edu.ec

CERTIFICADO DE SIMILITUD

GADVAY-TRIGUERO TURNI.pdf

INFORME DE ORIGINALIDAD

6% INDICE DE SIMILITUD	5% FUENTES DE INTERNET	1% PUBLICACIONES	3% TRABAJOS DEL ESTUDIANTE
----------------------------------	----------------------------------	----------------------------	--------------------------------------

FUENTES PRIMARIAS

1	upc.aws.openrepository.com Fuente de Internet	1%
2	repositorio.upse.edu.ec Fuente de Internet	1%
3	vsip.info Fuente de Internet	1%
4	www.revistasocialfronteriza.com Fuente de Internet	1%
5	www.corporacioncartografica.com Fuente de Internet	1%
6	Submitted to Universidad Politecnica Salesiana del Ecuador Trabajo del estudiante	1%

Excluir citas Apagado Excluir coincidencias < 1%
Excluir bibliografía Apagado



Firmado electrónicamente por:
**TEOFILO
FERNANDO
VALLEJO
REMACHE**

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS PATRIMONIALES

Los estudiantes egresados Michael Alejandro Veloz Cornejo, declaramos bajo juramento, que la autoría del presente Trabajo de Titulación, ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE LOS EQUIPOS DE MEDICIÓN RTK (REAL TIME KINEMATIC) Y ESTACIÓN TOTAL, REALIZANDO UN LEVANTAMIENTO EN LA COMUNA DE ENGABAO

, corresponde totalmente a los suscritos y nos responsabilizamos con los criterios y opiniones científicas que en el mismo se declaran, como producto de la investigación realizada.

De la misma forma, cedemos los derechos patrimoniales y de titularidad a la Universidad Laica VICENTE ROCAFUERTE de Guayaquil, según lo establece la normativa vigente.

Autor(es)

Firma: *Mario Carriel G.*

Carriel Gutiérrez Mario David

C.I. 1250884192

Firma: *Michael Veloz*

Veloz Cornejo Michael Alejandro

C.I.0924193642

CERTIFICACIÓN DE ACEPTACIÓN DEL DOCENTE TUTOR

En mi calidad de docente Tutor del Trabajo de Titulación ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE LOS EQUIPOS DE MEDICIÓN RTK (REAL TIME KINEMATIC) Y ESTACIÓN TOTAL, REALIZANDO UN LEVANTAMIENTO EN LA COMUNA DE ENGABAO,

Designado por el Consejo Directivo de la Facultad de ingeniería industria y construcción de la Universidad Laica VICENTE ROCAFUERTE de Guayaquil.

CERTIFICO:

Haber dirigido, revisado y aprobado en todas sus partes el Trabajo de Titulación, titulado: ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE LOS EQUIPOS DE MEDICIÓN RTK (REAL TIME KINEMATIC) Y ESTACIÓN TOTAL, REALIZANDO UN

LEVANTAMIENTO EN LA COMUNA DE ENGABAO presentado por los estudiantes Carriel Gutiérrez Mario David, Veloz Cornejo Michael Alejandro Como requisito previo, para optar al Título de Ingeniero Civil, encontrándose apto para su sustentación.

Firma:



Firmado electrónicamente por:
TEOFILO
FERNANDO
VALLEJO
REMACHE

Mgtr. Teófilo Fernando Vallejo Remache

C.C. 1204919227

AGRADECIMIENTO

Quisiera expresar mi más sincero agradecimiento a todas las personas que han hecho posible la realización de esta tesis.

En primer lugar, agradezco profundamente a mi director de tesis, el ING Vallejo Remache Teófilo Fernando, por su apoyo incondicional, orientación experta y paciencia durante todo el proceso. Su confianza y consejos han sido fundamentales para el desarrollo de este trabajo.

Agradezco también a mis colegas y grupo de estudio, por su colaboración y valiosos comentarios. Sus aportaciones han enriquecido significativamente este proyecto.

Mi gratitud se extiende a mi familia, cuya comprensión y aliento constante han sido una fuente de fortaleza. A mis padres, Milton Veloz y Adela Cornejo gracias por su apoyo incondicional y por estar siempre a mi lado sin ustedes nada de esto sería posible.

Finalmente, quiero agradecer a Universidad Laica Vicente Roca fuerte por proporcionar los recursos necesarios y el entorno académico propicio para llevar a cabo esta investigación.

A todos ustedes, gracias infinitas. Su contribución ha sido invaluable.

Michael Alejandro Veloz Cornejo.

DEDICATORIA

Dedico esta tesis a mis padres, Milton Veloz y Adela Cornejo, cuyo amor incondicional, apoyo constante y sacrificio han sido la fuente de mi fortaleza y motivación. Sin su aliento y comprensión, este logro no habría sido posible.

A mis amigos y colegas grupo de estudio, que me han brindado apoyo moral y académico en cada paso de este viaje. Su aliento y consejos han sido invaluable.

Finalmente, a todos aquellos que de alguna manera han contribuido a mi desarrollo personal y académico, les estoy profundamente agradecido

Michael Alejandro Veloz Cornejo.

AGRADECIMIENTO

Al concluir una de las etapas propuestas en mi vida quiero extender un profundo agradecimiento a quienes me ayudaron hacer esto posible quienes fueron mi inspiración, apoyo y fortaleza. Esta mención especial para DIOS, mis padres Mario Carriel y Elsa Gutiérrez, mi hijo y mis hermanos. Muchas gracias por que su apoyo fue incondicional en los momentos más difíciles que me toco pasar y demostraron su amor incondicional. Gracias infinitas a todos los amo.

Mario David Carriel Gutiérrez.

DEDICATORIA

A Dios por haberme dado salud para lograr este sueño tan anhelado. A mi madre Elsa Gutiérrez por poner en mi toda su fe, confianza y amor de ver este sueño hecho realidad. A mi padre Mario Carriel por su ejemplo de perseverancia y constancia que lo caracterizan. A mi hijo Tyler Carriel el motor y motivación para nunca rendirme. Muchas gracias por todo los amo.

Mario David Carriel Gutiérrez.

RESUMEN

El texto aborda un análisis comparativo entre dos tecnologías topográficas: el Sistema RTK (Real Time Kinematic) y la Estación Total. El RTK, que utiliza receptores GNSS, ofrece datos en tiempo real con alta precisión, mientras que la Estación Total, un instrumento óptico-electrónico, ha sido una opción confiable para mediciones precisas. El propósito del estudio es evaluar cuál de estas tecnologías es más adecuada en diferentes condiciones de campo y contextos específicos. Los objetivos incluyen la evaluación de la precisión de ambas tecnologías, la gestión de costos en trabajos de campo, y la elaboración de planos para comparación. La hipótesis plantea que la comparación de los resultados altimétricos y planimétricos de ambas herramientas permitirá determinar su aplicabilidad en la ingeniería civil, asegurando que los resultados cumplan con los requerimientos necesarios para un levantamiento topográfico preciso.

(Palabras Claves: Topografía, rendimiento, medición, análisis cuantitativo, análisis cualitativo)

ABSTRACT

The text addresses a comparative analysis between two topographic technologies: the RTK (Real Time Kinematic) System and the Total Station. The RTK, which uses GNSS receivers, delivers real-time data with high accuracy, while the Total Station, an optical-electronic instrument, has been a reliable choice for accurate measurements. The purpose of the study is to evaluate which of these technologies is most suitable in different field conditions and specific contexts. Objectives include evaluating the accuracy of both technologies, managing costs in field work, and drawing up drawings for comparison. The hypothesis states that the comparison of the altimetry and planimetric results of both tools will determine their applicability in civil engineering, ensuring that the results meet the necessary requirements for an accurate topographic survey.

(Keywords: Topography, yield, measurement, quantitative analysis, qualitative analysis)

ÍNDICE GENERAL

CAPÍTULO I	2
1.1 Tema	2
1.2 Planteamiento del Problema.....	2
1.3 Formulación del Problema:.....	2
1.4 Objetivo General.....	2
1.5 Objetivos Específicos	2
1.7 Línea de Investigación.....	3
CAPÍTULO II	4
2.1 Marco Teórico:.....	4
2.1.1 Antecedentes	4
2.1.2 Fundamentación Teórica	7
2.1.2.1 Topografía.	7
2.1.2.1.1 Sistemas de Información Geográfica.	17
2.1.2.2 RTK (Real Time Kinematic).....	21
2.1.2.3 Usos de la Estación Total.	23
2.1.2.4 Topografía en la Construcción.....	28
2.1.2.4 Fotogrametría.	34
2.1.2.5 Tecnologías GNSS.....	36
2.1.2.6 Precisión de los Sistemas.....	38
2.1.2.7 Geodesia.	39
2.2 Marco Legal.....	45
2.2.1 Constitución Nacional de la República del Ecuador.....	45
2.2.2 Ley Orgánica de Ordenamiento Territorial, Uso y Gestión de Suelo.....	45
2.2.3 Ley de Cartografía Nacional.....	47
CAPÍTULO III	49
3.1 Enfoque de la Investigación.....	49

3.2 Alcance de la Investigación	50
3.2.1 Descripción Específica del Proyecto	51
3.3 Técnica e Instrumentos para Obtener los Datos.....	52
3.3.1 Operacionalización de la Variable.....	52
3.3.2 Levantamiento Topográfico.....	53
3.3.2.1 RTK.	53
3.3.2.2 Estación Total.....	54
3.3.3 Presupuestación	55
3.3.4 Representación Gráfica.....	56
3.4 Población y Muestra	56
3.4.1 Definición de la Población	56
3.4.2 Definición de la Muestra.....	57
3.5 Tipos de Muestra en Investigación Cualitativa	57
CAPÍTULO IV	59
4.1 Presentación y Análisis de Resultados.....	59
4.1.1 Resultados del Levantamiento Topográfico	59
4.1.1.1 Estación Total.....	59
4.1.1.1.1 Interpretación de Resultados de Levantamiento con Estación Total.....	66
4.1.1.2 RTK.	67
4.1.1.2.1 Interpretación de Resultados de Levantamiento con RTK.....	74
4.1.2 Resultados de la Presupuestación.....	75
4.1.3 Resultados de la Representación Gráfica.....	77
4.1.3.1 Interpretación de la Representación Gráfica.	78
4.2 Propuesta	78
4.2.1 Análisis Comparativo	78
CONCLUSIONES.....	80

RECOMENDACIONES	81
BIBLIOGRAFÍA	82
ANEXOS	86
Anexo 1: Planimetría superpuesta – Manzana 1.	86
Anexo 2: Planimetría superpuesta – Manzana 2.	87
Anexo 3: Planimetría superpuesta – Manzana 3.	88
Anexo 4: Planimetría superpuesta – Manzana 4.	89
Anexo 5: Planimetría superpuesta – Manzana 5.	90
Anexo 6: Planimetría superpuesta – Manzana 6.	91
Anexo 7: Planimetría superpuesta – Manzana 7.	92

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	3
Tabla 2	20
Tabla 3	50
Tabla 4	52
Tabla 5	53
Tabla 6	56
Tabla 7	59
Tabla 8	60
Tabla 9	60
Tabla 10	61
Tabla 11	61
Tabla 12	62
Tabla 13	62
Tabla 14	63
Tabla 15	63
Tabla 16	64
Tabla 17	64
Tabla 18	65
Tabla 19	65
Tabla 20	66
Tabla 21	67
Tabla 22	67
Tabla 23	68
Tabla 24	68
Tabla 25	69
Tabla 26	69
Tabla 27	70
Tabla 28	71
Tabla 29	71
Tabla 30	72
Tabla 31	72
Tabla 32	73

Tabla 33	73
Tabla 34	74
Tabla 35	75
Tabla 36	76
Tabla 37	78

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	7
Figura 2	8
Figura 3	9
Figura 4	11
Figura 5	12
Figura 6	13
Figura 7	14
Figura 8	16
Figura 9	17
Figura 10	22
Figura 11	25
Figura 12	25
Figura 13	29
Figura 14	34
Figura 15	51
Figura 16	53
Figura 17	54
Figura 18	54
Figura 19	55
Figura 20	77

INTRODUCCIÓN

El constante avance tecnológico en posicionamiento satelital ha revolucionado la precisión de ubicación en diversas aplicaciones, desde agricultura hasta topografía. En este contexto, el presente proyecto de titulación se sumerge en el "Análisis Comparativo entre Sistemas RTK y GNSS". La necesidad de una ubicación precisa en tiempo real (RTK) y el uso global del sistema de navegación satelital (GNSS) se destaca como tema central.

La relevancia de este estudio se fundamenta en la mejora continua de sistemas de posicionamiento, esencial para una variedad de sectores, como agricultura de precisión, construcción y navegación. La alta demanda de información geoespacial precisa impulsa la investigación en tecnologías de posicionamiento satelital. Los sistemas GNSS, como el GPS, GLONASS y Galileo, han sido fundamentales, proporcionando cobertura global.

Sin embargo, la precisión en tiempo real ha emergido como un desafío, particularmente en entornos dinámicos. Aquí es donde entra en juego el RTK, ofreciendo correcciones en tiempo real para mejorar la precisión centimétrica en aplicaciones críticas.

Este análisis metodológico ayuda a optimizar los datos obtenidos y contribuye al avance tecnológico de los equipos en los levantamientos topográficos. Al investigar los dos equipos estudiados, hallaremos sus ventajas y desventajas para un mejor trabajo.

CAPÍTULO I

ENFOQUE DE LA PROPUESTA

1.1 Tema

Análisis comparativo entre los equipos de medición RTK (Real Time Kinematic) y Estación Total, realizando un levantamiento en la comuna de Engabao.

1.2 Planteamiento del Problema

En la actualidad, la obtención precisa de datos topográficos es esencial para diversas disciplinas, desde la ingeniería civil hasta la cartografía. Dos tecnologías prominentes utilizadas para este propósito son el Sistema RTK (Real Time Kinematic) y la Estación Total.

El Sistema RTK, basado en el uso de receptores GNSS (Global Navigation Satellite System), ofrece la ventaja de proporcionar datos en tiempo real con alta precisión. Por otro lado, la Estación Total, un instrumento óptico-electrónico, tradicionalmente ha sido una opción confiable para mediciones precisas en topografía.

A pesar de la existencia de ambas tecnologías, es crucial comprender sus ventajas y limitaciones en situaciones específicas. La elección entre el Sistema RTK y la Estación Total puede depender de factores como la naturaleza del terreno, la precisión requerida y las condiciones ambientales.

1.3 Formulación del Problema:

¿De qué forma se puede seleccionar un instrumento de medición de acuerdo con las condiciones del trabajo a realizar?

1.4 Objetivo General

Realizar un análisis comparativo entre el Sistema RTK y la Estación Total mediante la determinación de la tecnología más adecuada de acuerdo con los diferentes contextos y condiciones de campo para la evaluación de su desempeño en la obtención de datos topográficos

1.5 Objetivos Específicos

- Evaluar la precisión de las mediciones realizadas por el Sistema RTK y la Estación Total mediante la realización de trabajo de campo para la obtención de datos.

- Generar una bitácora valorada que permita llevar el control de gastos durante la realización de los trabajos de campo para la realización de un presupuesto referencial.
- Elaborar planos con cada bloque de datos obtenidos de ambos instrumentos mediante el uso de un procesador gráfico para la obtención de objetos de comparación.

1.6 Hipótesis

El uso y análisis de los equipos Estación Total y RTK para la obtención de datos y verificar su precisión en el campo de estudio el objetivo es analizar los resultados, logrando establecer las áreas de aplicación dentro de la ingeniería civil. En el proyecto se hace una comparación de los resultados altimétricos y planimétricos entre RTK GNSS, Estación Total para brindar resultados confiables que cumplan los requerimientos necesarios para un levantamiento topográfico.

1.7 Línea de Investigación

Tabla 1

Línea de investigación institucional y facultad.

Dominios ULVR	Línea de investigación institucional	Línea de investigación Facultad	Sub-línea de investigación Facultad
Urbanismo y ordenamiento territorial aplicando tecnología de construcción eco-amigable, industria y desarrollo de energías renovables	Territorio, medio ambiente y materiales innovadores para la construcción	Materiales de construcción	Tecnologías de construcción y materiales innovadores

Fuente: Universidad Laica VICENTE ROCAFUERTE de Guayaquil, (2024)

CAPÍTULO II

MARCO REFERENCIAL

2.1 Marco Teórico:

2.1.1 Antecedentes

Texto: Manual para la aplicación de sistemas GPS y estación total en las Empresas del Sector de la Construcción en la Provincia de Matanzas, Huynh, N., 2019.

El texto explicó la topografía como una ciencia aplicada que utiliza principios, métodos e instrumentos para representar gráficamente las formas naturales y artificiales de la superficie terrestre y determinar la posición de puntos. La definición que presentó el autor fue como una ciencia que representa formas terrestres y determina la posición de puntos en la Tierra.

El aporte de este trabajo a la investigación presente se enfocó principalmente en determinar el alcance de la topografía a nivel físico. El trabajo de la topografía, según dijo el autor, se limita en porciones pequeñas de tierra, obteniendo información a través de cartografía y mediciones directas, es decir, levantamientos. Estos últimos pueden ser de tipo planimétricos que determinan la posición horizontal de puntos, representados en una proyección horizontal, topográficos que determinan la posición de puntos para representar el relieve del terreno, altimétricos que determinan y representan la altura o cota de puntos respecto a un plano de referencia, representando el relieve del terreno, es decir, curvas de nivel, perfiles, etc.

Con respecto a la topografía convencional cuyo instrumento más moderno es la estación total, el autor se refirió a este como el método más utilizado, mide ángulos horizontales, verticales y distancias, permitiendo determinar las coordenadas tridimensionales de los puntos. Con las coordenadas obtenidas, se pueden dibujar y representar detalles del terreno y calcular distancias o desniveles entre puntos.

Texto: Comparación de precisión de levantamiento topográfico con la estación total y el drone en el tramo de la carretera caserío los Quispes al C.P. la Granja del distrito de Querocoto, provincia de Chota, departamento de Cajamarca, Guevara, M., 2021.

El autor analizó la influencia de la ingeniería en las innovaciones tecnológicas y se centró en cómo la topografía ha adoptado avances como los drones para mejorar

los levantamientos topográficos frente a los métodos más convencionales y hasta cierto punto tradicionales como la estación total. Muchas innovaciones tecnológicas que facilitan la vida diaria han sido posibles gracias a la ingeniería.

El estudio permitió obtener una perspectiva sobre la evolución de la topografía y cómo esta ha incorporado nuevos equipos como los drones, cuyo método de levantamiento es conocido técnicamente como fotogrametría, aunque su uso es limitado debido al desconocimiento. Además, el autor presentó los desafíos de la topografía tradicional que, a pesar de los avances con la estación total, persisten problemas en terrenos difíciles como sierra, selva, costa, donde el acceso puede ser complicado y peligroso; y frente a ello planteó las ventajas de los drones. Los drones pueden optimizar tiempo y costos, aunque la precisión requerida debe ser definida por cada ingeniero civil para maximizar estos beneficios.

Texto: Estudio comparativo entre la topografía clásica con estación total y la fotogrametría digital mediante vehículos aéreos no tripulados (VANT) en minería a cielo abierto, Ojeda, F., 2023.

El texto describe la adopción de nuevas tecnologías en la industria minera para el levantamiento de datos topográficos. Se destacan dos métodos emergentes: el LIDAR (Light Detection And Ranging) y la fotogrametría mediante drones o Vehículos Aéreos No Tripulados (VANT). El autor resaltó que los métodos LIDAR y fotogrametría con drones están ganando popularidad por su precisión y eficiencia.

Desde el punto de vista metodológico el aporte de este estudio a la presente investigación fue significativo para proveer un marco referencial que sirva de base para realizar un análisis comparativo. Además, el estudio resultó cercano considerando que existe un sistema común sobre el cual se analizaron sus características; dicho sistema fue la estación total. En este sentido, el autor mencionó las características de precisión y tiempo que son dos parámetros cruciales en la realización de topografía.

Texto: Topografía básica en español, Machado, J., 2022.

En este texto el autor describió la evolución de los instrumentos de medición topográfica desde los teodolitos mecánicos hasta las modernas estaciones totales y tecnologías GNSS, resaltando las mejoras en precisión y funcionalidad. De acuerdo con la narrativa teórica del autor, la evolución de instrumentos fue desde los teodolitos

mecánicos hasta los electrónicos en los años 80/90, seguidos por las estaciones totales y el uso avanzado de GNSS. Sin embargo, los avances recientes, según dijo, han marcado que estaciones totales hayan sido mejoradas en precisión, además, facilitan el trabajo con programas especializados y eliminan la necesidad de cuadernos de campo almacenando datos en memorias internas y transferibles.

Por otro lado, el autor se refirió a las GNSS y RTK, metodologías de vanguardia para mediciones precisas, así como a los drones y fotogrametría de alta resolución que ofrecen imágenes tridimensionales de alta resolución y capacidad de almacenamiento. El texto describió, además, los continuos avances en la tecnología topográfica, destacando las mejoras en los propios drones o bien conocidos también como vehículos aéreos no tripulados (VANTs) que son operados mediante control remoto y GNSS; y su principal característica es que utilizan la fotogrametría como principal método para medir y representar el terreno.

Texto: Evaluación técnica económica del levantamiento topográfico con estación total, GPS diferencial y dron, para el análisis geométrico de la carretera Baños del Inca – Otuzco, Cajamarca 2020, Urteaga, J. 2021.

El este texto se abordaron los avances tecnológicos en la ingeniería topográfica y agrimensura, enfatizando la necesidad de equipos más eficientes para realizar trabajos en menor tiempo y costo. Al respecto, el autor consideró que los levantamientos tradicionales utilizaban cinta métrica, nivel y teodolito. Actualmente, se usan estaciones totales y GPS, que son más precisos y eficientes. Además, sostuvo que conforme ha avanzado la tecnología, también lo han hecho los parámetros de eficiencia, costo y tiempo dado que, la topografía ha avanzado significativamente, incorporando herramientas modernas como estaciones totales, tecnologías GNSS, escaneo láser terrestre y aéreo, y fotogrametría. Estos últimos forman parte de los equipos GNSS como, por ejemplo, la tecnología GPS y el método RTK que permiten determinaciones rápidas y precisas de posiciones utilizando constelaciones de satélites y estaciones de referencia.

El estudio presentó relevancia para la actual investigación gracias a la teoría competente en el área topográfica y al respecto el autor sostuvo que un levantamiento topográfico es, de hecho, la primera fase del estudio técnico, considerando características físicas, geográficas y geológicas del terreno, así como modificaciones

humanas. Mientras, por el uso de Drones se refirió a que estos transforman la topografía al permitir modelar áreas completas y generar escenas 3D realistas, integrándose fácilmente con software estándar.

2.1.2 Fundamentación Teórica

2.1.2.1 Topografía.

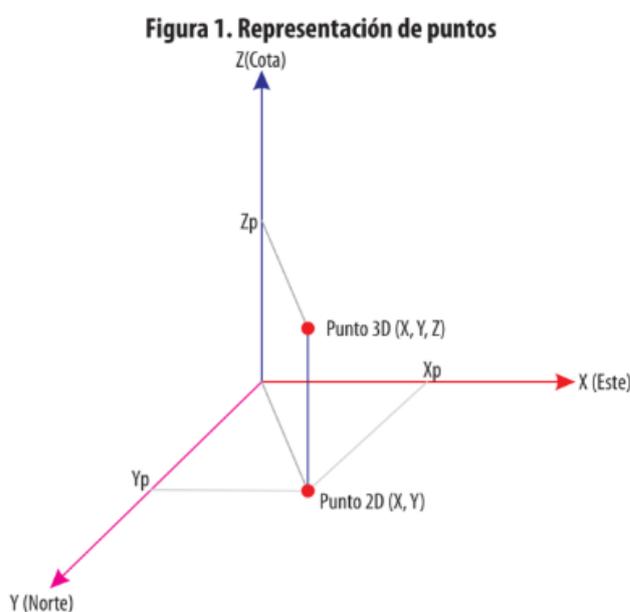
Es el conjunto de métodos encaminados a realizar una descripción y recopilación de información del estado actual del terreno.

Vargas (2023), sostuvo que la topografía, tradicionalmente definida como una ciencia aplicada, se encarga de determinar la posición relativa de puntos sobre la Tierra y de representar una porción de la superficie terrestre en un plano. En un sentido más amplio, abarca todos los métodos para recopilar información de partes físicas de la Tierra, como el relieve, los litorales y los cauces de corrientes hídricas, utilizando métodos clásicos de medición en terreno, fotogrametría y sensores remotos.

Desglosando la palabra topografía del griego: "topo" (lugar/región/sitio) y "grafía" (descripción), significa la técnica de descripción detallada de la superficie de un terreno en una región o lugar específico. Se puede definir acertadamente como la ciencia que establece las posiciones de puntos en la superficie terrestre, tanto encima como debajo de ella, mediante la medición de distancias, ángulos y elevaciones.

Figura 1

Representación espacial de puntos mediante sistema de referencia y ejes coordenados



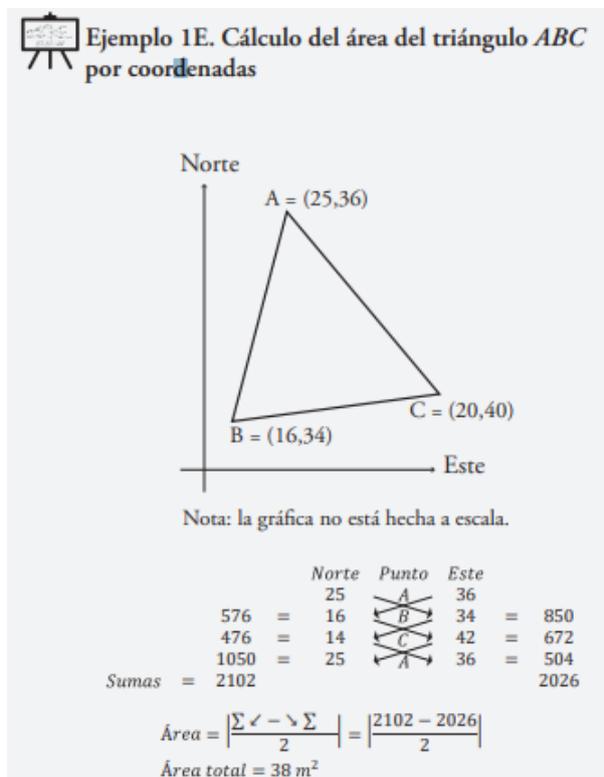
Fuente: Vargas, (2023)

Por otro lado, respecto de la instrumentación en topografía, Correa (2022), explicó que la topografía es una disciplina dinámica que requiere actualización continua debido a los avances tecnológicos. Entre estos avances han destacado el uso de sistemas de posicionamiento satelital (GPS), estaciones totales, niveles digitales automáticos y programas de computador especializados para el procesamiento de datos e imágenes, así como los sistemas de información geográfica (SIG).

Agregó también que los procedimientos topográficos pueden ser realizados de manera "manual" o utilizando software especializado. Todo levantamiento topográfico comienza con puntos definidos en el terreno llamados mojones o BM, con coordenadas conocidas. El proceso topográfico se desarrolla en varias etapas que van desde la localización de puntos, en donde se localizan nuevos puntos en el terreno a partir de puntos conocidos (mojones), utilizando coordenadas polares (ángulo y distancia), hasta la transformación a coordenadas cartesianas, en donde las coordenadas polares se transforman en coordenadas cartesianas (Norte y Este).

Figura 2

Cálculo de áreas por el método matricial



Fuente: Correa, (2022)

También mencionó que en la fase de postproceso intervienen la etapa de graficación de puntos en la cual se dibujan los puntos levantados en un plano cartesiano, típicamente en el primer cuadrante para facilitar su interpretación, cálculos adicionales como cuando se realizan cálculos como distancias entre puntos, ángulos entre líneas, áreas, etc., informe técnico cuando se elabora un informe detallado del levantamiento topográfico describiendo las actividades realizadas, conclusiones y recomendaciones.

Aunque los avances tecnológicos han cambiado los métodos y herramientas utilizadas en la topografía, los conceptos básicos siguen siendo fundamentales para la toma de decisiones acertadas en ingeniería.

Pedraza (2019), destacó la importancia de la topografía en la ejecución de múltiples proyectos, destacando su papel en la medición de ángulos, distancias y elevaciones para establecer las posiciones de detalles sobre la superficie terrestre. En ese sentido, la topografía es esencial para plasmar detalles de terreno en un plano, lo que facilita estudios de futuros proyectos y el control de parcelas y terrenos productivos.

Figura 3

Muestra de la medición de distancias con Estación Total Leica TS 06 plus.

Datos Técnicos		FlexLine,					
Medición de distancias con reflectores							
Alcance	Reflector	Alcance A		Alcance B		Alcance C	
		[m]	[ft]	[m]	[ft]	[m]	[ft]
	Prisma estándar (GPR1)	1800	6000	3000	10000	3500	12000
	3 prismas (GPR1)	2300	7500	4500	14700	5400	17700
	Prisma de 360° (GPZ4, GPZ122)	800	2600	1500	5000	2000	7000
	Prisma de dianas 60 mm x 60 mm	150	500	250	800	250	800
	Mini prisma (GMP101)	800	2600	1200	4000	2000	7000
	Miniprisma 360° (GRZ101)	450	1500	800	2600	1000	3300
Distancia mínima de medición:		1.5 m					
Condiciones atmosféricas	Alcance A: Muy brumoso, visibilidad 5 km; o mucho sol con fuerte centelleo por el calor						
	Alcance B: Poco brumoso, visibilidad aprox. 20 km; o parcialmente soleado y poco centelleo por el calor						
	Alcance C: Cubierto, sin bruma, visibilidad aprox. 40 km; sin centelleo del aire						

Fuente: Pedraza, (2019)

También agregó que la topografía se apoya en métodos específicos para levantar datos de la superficie terrestre, siendo fundamental en infraestructuras y proyectos de ingeniería civil. El levantamiento topográfico tradicional implica una serie de operaciones para determinar y representar la posición de puntos en un plano, incluyendo la selección de métodos, equipo, y la realización de mediciones en el terreno. Estas prácticas son cruciales en la ingeniería civil para crear planos topográficos detallados con curvas de nivel y puntos de superficie.

Además, el autor explicó que el método tradicional utilizaba mediciones de ángulos y distancias, aplicando métodos como la poligonal cerrada y la radiación para abarcar toda la zona de trabajo. Actualmente, se utiliza una estación total, un instrumento con un microprocesador y colectora electrónica de datos, que permite medir ángulos horizontales y verticales, así como distancias y pendientes.

Por otro lado, el autor también describió varios métodos tradicionales de levantamiento topográfico, detallando sus características y aplicaciones:

Método de Radiación: Utiliza equipo topográfico para tomar lecturas de puntos, distancias, ángulos y elevaciones, registrándolos en una libreta de campo. Este método es común para superficies medianas y grandes con topografía accidentada. Se apoya en una poligonal base y se realiza con teodolitos o estaciones totales, estas últimas permiten un registro automatizado de datos.

Método Poligonal: Consiste en una sucesión de líneas conectadas en los vértices, usado para establecer puntos de control y elaborar planos topográficos. Facilita la precisión y el ajuste de puntos medidos, es útil para grandes dimensiones y permite la compensación de errores angulares y lineales.

Medición de Puntos de Detalles del Terreno: Se basa en la medición de distancias y ángulos (horizontales, verticales e inclinadas). Utiliza instrumentos automatizados como estaciones totales para facilitar la toma de datos y su procesamiento.

Georreferenciación de Puntos de Control: Garantiza la correcta ubicación de todos los componentes en un plano topográfico. Consiste en relacionar posiciones en distintos sistemas de coordenadas para obtener precisión en los levantamientos.

Curvas de Nivel: Representan el relieve del terreno uniendo puntos con la misma cota respecto a una referencia (como el nivel del mar). Estas curvas combinan

planimetría y altimetría, proporcionando información sobre el relieve y las elevaciones del terreno.

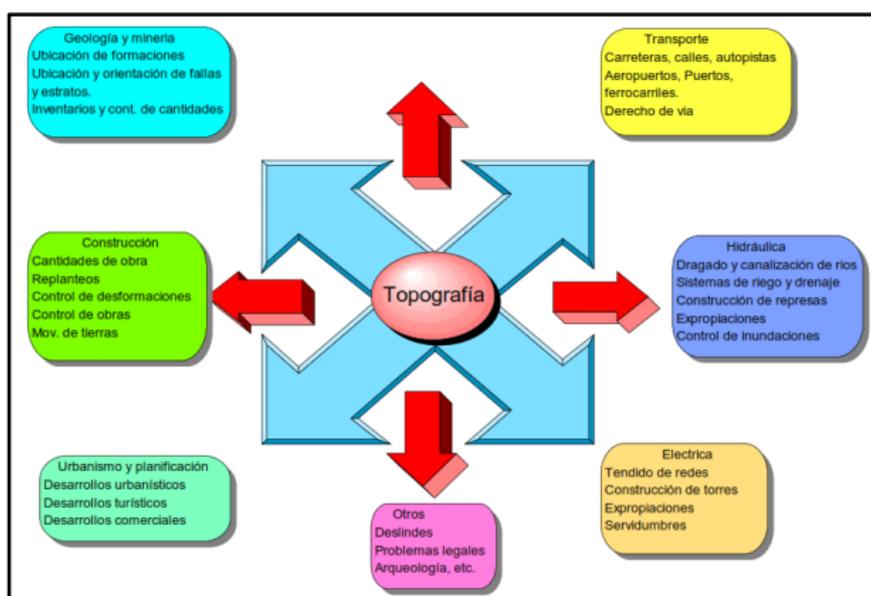
El texto de Lasluisa y Meneses (2022), destacó la importancia fundamental de la topografía en la ingeniería civil, ya que es la base para la planificación y diseño de cualquier proyecto, como obras viales, hidráulicas o sanitarias y estructurales,. Se enfatizó en la necesidad de conocer los métodos topográficos tradicionales y modernos, como el uso de GNSS, drones y sistemas LIDAR, y cómo estos deben complementarse en lugar de sustituirse. Además, es esencial manejar conceptos de cartografía, geodesia y sistemas de información geográfica (SIG) para realizar correcciones precisas en grandes distancias.

El avance tecnológico ha introducido nuevas metodologías que hacen más eficientes y productivos los trabajos topográficos, aunque la topografía tradicional sigue siendo relevante. Se subrayó la importancia de elegir el método topográfico adecuado según las necesidades específicas del proyecto, manejar correctamente los equipos y herramientas, y conocer los programas de procesamiento de datos.

También se mencionó la utilidad de herramientas de acceso público, como Google Earth y World Topo Map, para realizar estudios preliminares. Finalmente, se destacó la importancia de identificar en el terreno las obras planificadas y cumplir con la normativa vigente y los entregables requeridos al finalizar el proyecto.

Figura 4

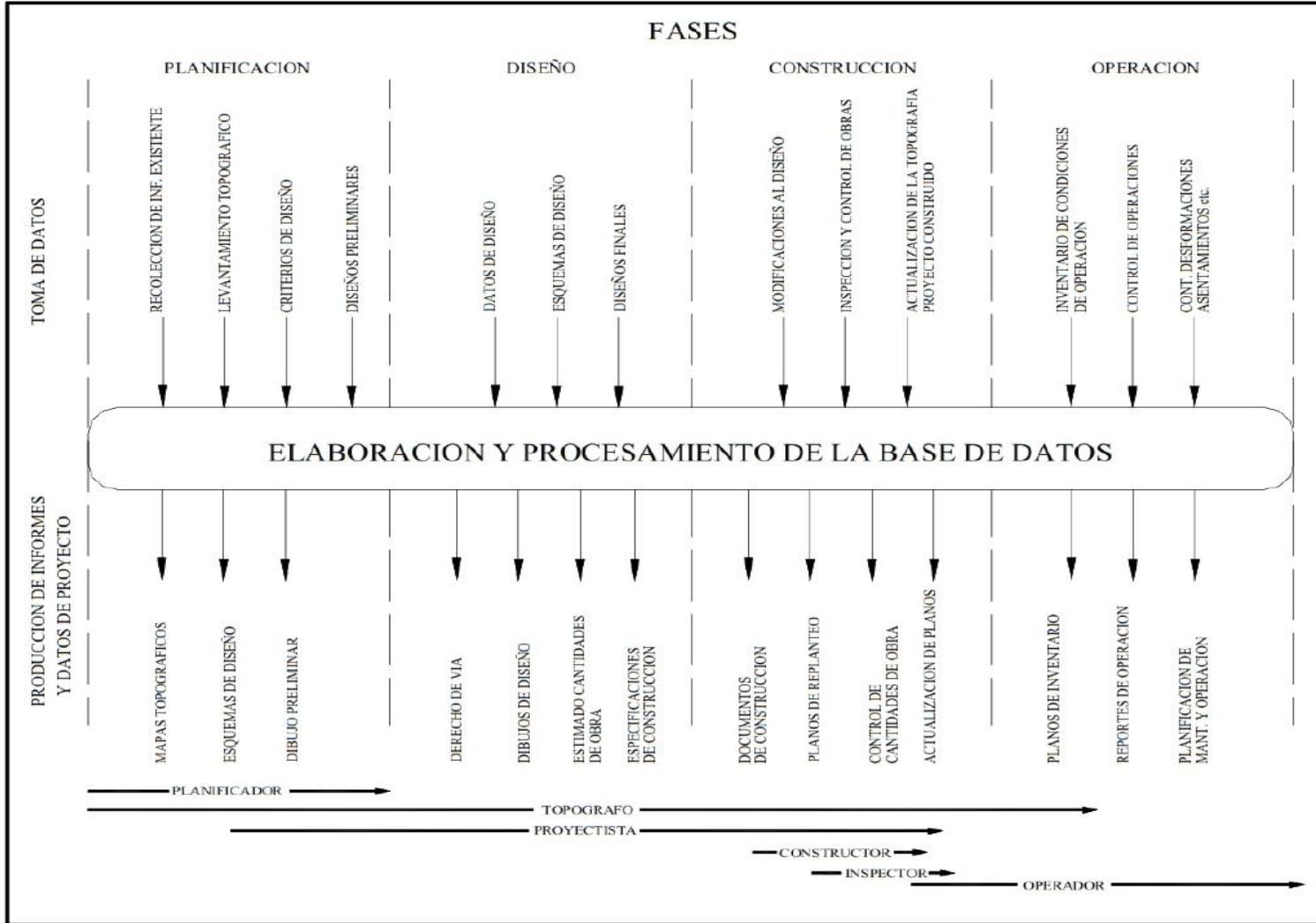
Relación que tiene la topografía con otras ciencias.



Fuente: Lasluisa y Meneses, (2022)

Figura 5

Esquema de las fases que contiene un proyecto de topografía.

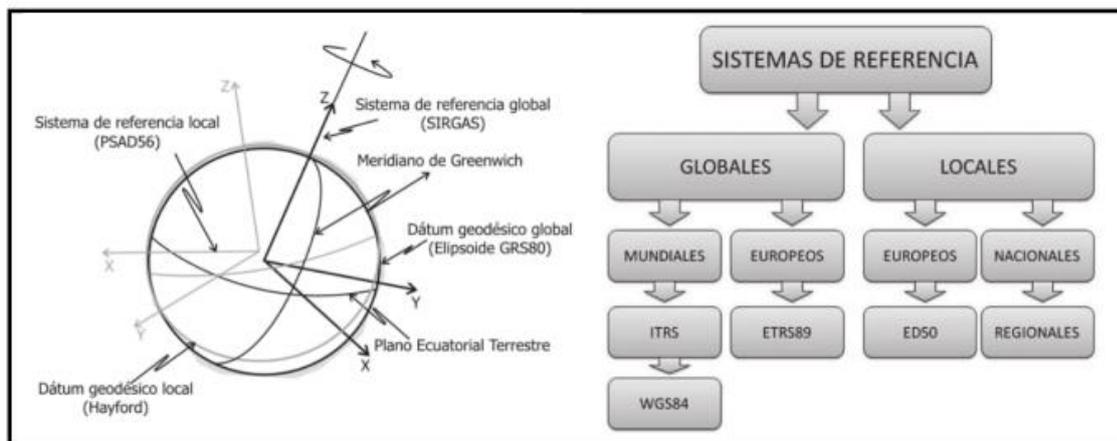


Fuente: Lasluisa y Meneses, (2022)

Según los investigadores, se debe considerar la importancia fundamental de la topografía en la ejecución de proyectos de ingeniería, destacando su papel en la planificación y diseño de construcciones al proporcionar una representación precisa del terreno. La topografía es crucial para asegurar la estabilidad, rigidez y seguridad del área de trabajo, y se utiliza tanto en el levantamiento como en el replanteamiento de obras, permitiendo la correcta localización de elementos en un lote según lo planeado.

Figura 6

Sistemas de referencia.



Fuente: Lasluisa y Meneses, (2022)

La topografía, una ciencia aplicada que combina geometría, trigonometría, física y astronomía, es esencial en diversas ramas de la ingeniería, como la civil, agrícola, eléctrica, mecánica, industrial, minera y geológica. Su aplicación permite proyectar y construir presas, puentes, canales, carreteras, trenes, inmuebles, plantas hidroeléctricas, túneles, entre otros. Además, los mapas topográficos son herramientas clave para analizar la viabilidad de terrenos para cultivos, edificaciones y otros usos, proporcionando información precisa sobre la forma y características del suelo en tres dimensiones.

Suarez (2022), dijo que la topografía es la ciencia y arte de representar y trazar posiciones y elevaciones de objetos en la superficie terrestre, y es fundamental en proyectos de ingeniería como civil, minas, geológica, entre otras. Cada área de ingeniería requiere procedimientos y equipos específicos. En proyectos de construcción, la topografía es crucial desde el inicio hasta el final, determinando la planimetría y altimetría del terreno. En el montaje mecánico, el uso de equipos

topográficos avanzados, como la Estación Total y el Nivel Automático con Micrómetro, es vital para asegurar precisión.

El autor siguió profundizando en las generalidades y al respecto de la topografía mecánica especializada sostuvo que es una ciencia fundamental en la Ingeniería Civil, esencial para cualquier proyecto de construcción. Su objetivo principal es determinar y plasmar el posicionamiento y las alturas de puntos sobre la superficie terrestre, mediante planimetría y altimetría, lo que permite la creación de ejes, planos y mapas cartográficos precisos.

Esta disciplina es crucial en la ejecución de diseños arquitectónicos e ingenieriles, ya que proporciona la base necesaria para desarrollar proyectos a escala precisa, y es vital para tareas como el replanteo de ejes en edificaciones, carreteras, montajes mecánicos, entre otros.

Con los avances tecnológicos y automatización, la topografía ha mejorado en precisión y exactitud, lo que es esencial para cumplir con las tolerancias requeridas en diversos proyectos.

Figura 7

Topografía para obras civiles.



Fuente: Suarez, (2022)

La topografía también tiene aplicaciones en la Ingeniería Mecánica, donde se utiliza para la instalación precisa de máquinas y equipos industriales, como en

fábricas de papel, siderúrgicas, plantas de energía hidroeléctrica, cementeras, y más. En la Ingeniería Eléctrica, es crucial para levantamientos de terreno, construcción de subestaciones y montaje de equipos en plantas nucleares. Además, en la Ingeniería Civil, es necesaria en todas las etapas de construcción de infraestructuras como túneles, carreteras, ferrocarriles, edificios y presas.

En el trabajo del autor, desde el punto de vista topográfico, se trató el tema de la construcción de un tanque de almacenamiento de Hidrosulfuro de Sodio (NaHS), un material peligroso, requiere un control riguroso y una correcta interpretación de planos. El estudio se enfocó en la aplicación de topografía mecánica para el montaje del tanque dentro de las tolerancias de diseño. Se utilizaron equipos de alta precisión, evaluando las diferencias entre la topografía convencional y la automatizada.

La topografía automatizada ha ganado importancia en la construcción de grandes proyectos, donde el manejo adecuado de todas las áreas involucradas es crucial. El montaje del tanque debió considerar posibles riesgos, como sobrepresión o vacío, que puedan causar explosiones o daños estructurales. Fue esencial implementar medidas de seguridad para evitar estos riesgos. La precisión en la topografía y la correcta evaluación de interferencias fueron clave para el éxito del montaje.

Al realizar el montaje de una estructura o equipo, es esencial llevar a cabo un levantamiento topográfico post-montaje para identificar posibles desfases en los anclajes y elevaciones. Durante el montaje de un tanque, se deben realizar controles topográficos simultáneos de redondez y verticalidad en cada anillo del tanque, comparando las medidas reales con las de diseño.

Se aplicaron normas como API 650 y API 653, que establecen los requisitos mínimos de construcción y control para asegurar la correcta simetría, verticalidad y redondez del tanque. Los resultados mostraron que los desfases en el posicionamiento, redondez y verticalidad del tanque estaban dentro de las tolerancias permitidas por las normas.

Utilizando equipos como la Estación Total LEICA ts06, se demostró eficacia en asegurar la precisión y exactitud necesarias para cumplir con los estándares de ingeniería y diseño durante todo el proceso constructivo, desde el pre hasta el post montaje. Se verificó la precisión y estabilidad de los equipos topográficos utilizados,

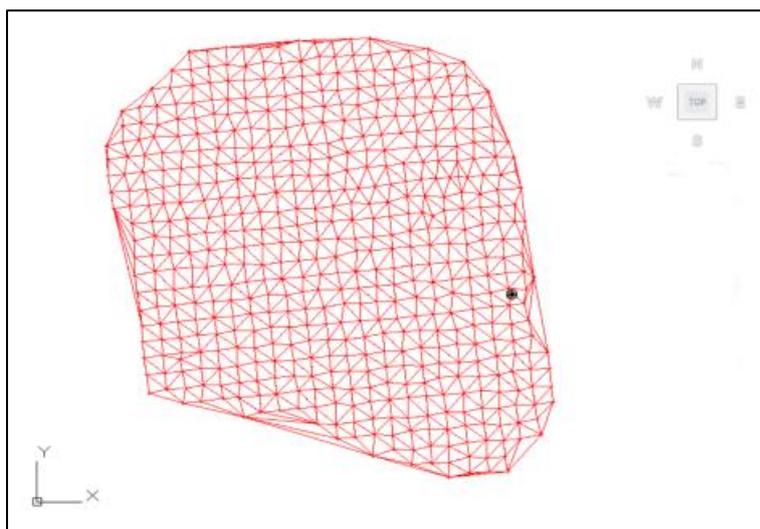
asegurando que todas las mediciones estuvieran dentro de las tolerancias establecidas.

Belette et al., (2020), abordaron la evolución tecnológica en la topografía, destacando el impacto positivo de instrumentos avanzados como estaciones totales, GPS y software como AutoCAD Civil 3D en la productividad, calidad y eficiencia de los levantamientos topográficos. Se resaltó la importancia de estas tecnologías en campos como la geología, la minería y la construcción, donde los cálculos precisos de volúmenes de material son cruciales. Sin embargo, también se mencionó la falta de una determinación óptima de la red de levantamiento topográfico, lo que afecta la precisión de los cálculos de volumen. El trabajo de investigación propuesto buscó utilizar AutoCAD Civil 3D para mejorar estos cálculos y generalizar los resultados en diversos proyectos de movimientos de tierra.

Los datos fueron filtrados para eliminar errores, y se crearon cuadrículas para levantamientos de 5, 10 y 15 metros. A partir de estos datos, se confeccionó un modelo digital del terreno (MDT) y se calculó el volumen. Las bases de datos incluyeron áreas de la mina denominada Ernesto Che Guevara, Yagrumaje Sur de Moa, y varios terrenos en la provincia de Guantánamo. Los resultados se obtuvieron siguiendo procedimientos específicos, como la importación de datos de puntos y la creación de una superficie TIN.

Figura 8

Superficie TIN.



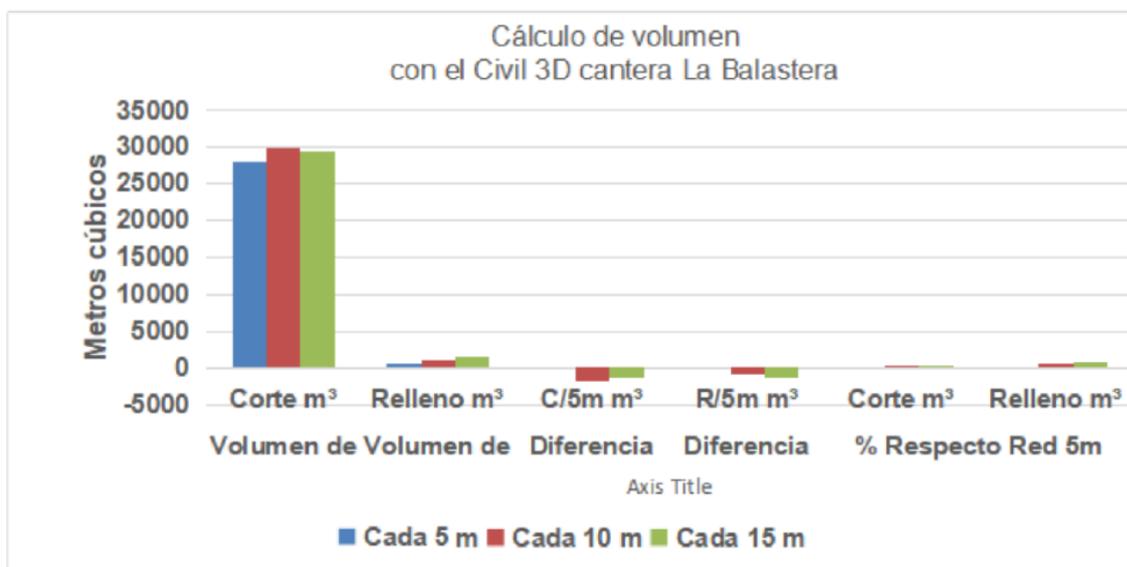
Fuente: Belette et al., (2020)

En cuanto a los costos los autores del texto destacaron la importancia de considerar la reducción de costos al usar estaciones totales para levantamientos topográficos, especialmente en terrenos con pendientes menores al 4 %. Se analizó el caso específico de 21 viviendas biplantas, donde se presentaron los costos asociados a redes de levantamiento a diferentes distancias: cada 5 metros cuesta 87.97 USD, cada 10 metros cuesta 68.61 USD, y cada 15 metros cuesta 66.8 USD. Esto sugiere que la elección de la distancia en la red de levantamiento puede influir significativamente en los costos del proyecto.

El texto describió la metodología utilizada para calcular volúmenes en terrenos con diferentes pendientes mediante el software AutoCAD Civil 3D. Los autores desarrollaron una metodología que procesó datos obtenidos de levantamientos topográficos en áreas de minería y construcción. Se recopilaron y procesaron bases de datos de diversas áreas con diferentes condiciones físico-geográficas, utilizando levantamientos topográficos a escala 1:200 realizados con Estaciones Totales Leica TPS 805.

Figura 9

Ejemplo de cálculo de volumen.



Fuente: Belette et al., (2021)

2.1.2.1.1 Sistemas de Información Geográfica.

Los investigadores también abordaron una de las herramientas fundamentales en la topografía de post-proceso la cual la constituyen los Sistemas de Información Geográfica (SIG). El texto destacó la importancia de los SIG en la ingeniería civil, donde sirven como herramientas clave para el manejo de datos espaciales

relacionados con topografía, geodesia y cartografía. Los SIG permiten almacenar, manipular y representar datos geoespaciales de manera precisa, lo que es fundamental para la planificación y gestión de proyectos en áreas como el uso del suelo, recursos naturales, medio ambiente, transporte e infraestructura urbana.

Los SIG se pueden entender desde tres perspectivas: como herramientas para crear modelos digitales de la realidad, como extensiones de bases de datos geoespaciales, y como sistemas organizativos que involucran a personas y tecnologías. Estos sistemas realizan diversas operaciones, incluyendo la lectura, edición, almacenamiento y análisis de datos espaciales, así como la generación de resultados en forma de mapas, informes y gráficos.

Un SIG está compuesto por tres subsistemas principales: el de datos, que maneja la entrada, salida y gestión de información; el de visualización y creación cartográfica, que genera representaciones gráficas; y el de análisis, que procesa los datos geográficos. Además, los cinco componentes básicos de un SIG incluyen datos, análisis, visualización, tecnología (software y hardware) y el factor organizativo, que coordina todos los elementos. En conjunto, los SIG permiten representar digitalmente datos geográficos, facilitar consultas complejas y generar productos finales útiles para una variedad de usuarios.

Según Pérez et al., (2022), el avance tecnológico reciente ha permitido la incorporación de Sistemas Aéreos No Tripulados (UAS) como alternativa a los métodos tradicionales de topografía y aerofotogrametría. Los UAS, equipados con receptores GNSS, Unidades de Navegación Inercial (IMU) y cámaras, junto con software de bajo coste basado en algoritmos como Structure for Motion (SfM) y Multi-View Stereo (MVS), han mejorado significativamente la fotogrametría, haciéndola competitiva frente a los levantamientos topográficos tradicionales para superficies pequeñas y medianas.

Estos sistemas se utilizan en diversos campos de la ingeniería, como la creación de mapas, detección de objetos, monitoreo de líneas de costa y dunas, y en la construcción. A pesar de las ventajas de los UAS, como la reducción de costos, flexibilidad y mejora en la resolución espacial y temporal, la calidad de los datos obtenidos debe cumplir con los estándares cartográficos actuales.

El estudio comparó un Modelo Digital del Terreno (MDT) obtenido mediante topografía clásica con uno derivado de información capturada por UAS, enfocándose en la componente altimétrica, donde suelen ocurrir mayores errores. El objetivo es evaluar el potencial de las herramientas UAS en la ingeniería civil, específicamente para la captura topográfica necesaria en el diseño de una carretera. La investigación se llevará a cabo en la provincia de Badajoz, España, para el proyecto de construcción de la variante EX-103 en Llerena, un área con diversas características geográficas adecuadas para el análisis.

Los modelos digitales obtenidos a partir de datos generados con Sistemas Aéreos No Tripulados (UAS) han demostrado tener mejores precisiones comparados con los obtenidos mediante topografía clásica, especialmente cuando se utilizan líneas de rotura y se eliminan puntos intermedios. Estas líneas de rotura mejoran la precisión de los Modelos Digitales del Terreno (MDT), y aunque se pueden especular y definir a partir de ortofotos, la toma directa de datos en campo es crucial para una definición correcta, especialmente en áreas cubiertas por vegetación, como arroyos.

En terrenos con vegetación, como las cabezas y pies de taludes en carreteras, es necesario realizar trabajo de campo para obtener una representación precisa de la geometría. Sin embargo, en áreas sin vegetación, la ortofoto generada puede ser suficiente para definir la geometría del terreno.

Los algoritmos de Structure for Motion (SfM) y Multi-View Stereo (MVS) pueden introducir ruido, especialmente en superficies no homogéneas o con bajos contrastes. Esto se comprobó al comparar perfiles longitudinales generados a partir de ejes en carreteras principales con resultados obtenidos de modelos topográficos generados por UAS. Los perfiles mostraron variaciones significativas y ruidos en los datos, evidenciando diferencias en la definición de las secciones longitudinales y transversales de las carreteras. Aunque los UAS ofrecen ventajas en términos de precisión y eficiencia, su integración con la topografía clásica sigue siendo necesaria para obtener modelos digitales del terreno más precisos, especialmente en terrenos complejos o cubiertos por vegetación.

Tabla 2

Resumen comparativo de los levantamientos.

PK	MTC Z(m)	Caso 1 Z(m)	Dif. (cm)	Caso 2 Z(m)	Dif. (cm)	Caso 3 Z(m)	Dif. (cm)	Caso 4 Z(m)	Dif. (cm)	Caso 5 Z(m)	Dif. (cm)
0+000	599,94	599,96	2	599,94	0	599,94	0	599,95	1	599,94	0
0+020	598,16	598,32	16	598,32	16	598,32	16	598,32	16	598,32	16
0+040	598,06	598,17	11	598,17	11	598,17	11	598,17	11	598,17	11
0+060	597,73	598,03	30	598,08	35	598,08	35	597,97	25	597,73	0
0+080	598,19	597,95	-24	597,95	-24	597,95	-24	597,95	-24	597,95	-24
0+100	598,42	598,44	2	598,44	2	598,44	2	598,44	2	598,44	2
0+120	600,38	600,64	26	600,64	26	600,64	26	600,64	26	600,64	26
0+140	602,56	602,93	37	602,93	37	602,93	37	602,93	37	602,93	37
0+160	604,87	604,98	11	604,98	11	604,98	11	604,98	11	604,98	11
0+180	606,44	606,53	9	606,54	10	606,54	10	606,54	10	606,54	10
0+200	608,93	608,83	-11	608,83	-11	608,83	-11	608,83	-11	608,83	-11

Fuente: Pérez et al., (2022)

El trabajo mostró que la combinación de técnicas fotogramétricas con UAS (Sistemas Aéreos No Tripulados) permite generar productos fotogramétricos como ortofotos, nubes de puntos, Modelos Digitales de Elevación (MDE) y Modelos Digitales del Terreno (MDT) que son útiles como documentos topográficos base para proyectos de ingeniería civil. Estos productos proporcionan una alta resolución y precisión en la medición de coordenadas planimétricas, distancias, y localización de objetos, mejorando la exploración de elementos que podrían estar ocultos con métodos tradicionales.

Sin embargo, la precisión planimétrica de las ortofotos pudo verse afectada por errores en la componente altimétrica del modelo digital. Por lo tanto, es crucial una correcta elección y tratamiento de las componentes altimétricas para asegurar la calidad geométrica de la ortoimagen. Los errores más significativos suelen ocurrir en la componente altimétrica, y es necesario interpretar y depurar adecuadamente las nubes de puntos densas para mejorar la representación del terreno.

El estudio sugirió que no es necesario usar todos los puntos de la nube densa; una resolución media de un metro puede ser suficiente, lo que reduce significativamente los recursos de software y hardware. También se observa que las nubes de puntos filtradas pueden contener ruido, especialmente en áreas con vegetación densa. Incorporar líneas de rotura a estos modelos puede mejorar la precisión.

Finalmente, se recomendó combinar las técnicas de captura masiva de puntos mediante UAS con la toma de datos topográficos tradicionales para lograr una

modelización tridimensional más precisa del terreno. Esta combinación permite una definición adecuada del terreno con menos trabajo de campo y reducción de costos.

2.1.2.2 RTK (Real Time Kinematic)

Baque et al., (2022), explicaron la creciente importancia de la tecnología en la topografía, destacando el uso de drones, el sistema RTK GNSS y la Estación Total para realizar levantamientos topográficos. Los drones, especialmente, están revolucionando el sector al permitir capturar imágenes y videos de áreas de difícil acceso y cubrir grandes extensiones de terreno en menor tiempo. Se mencionaron dos tipos de drones: uno semiprofesional que costaba alrededor de 1800 dólares y podía cubrir 100 hectáreas en un día, y otro más avanzado que costaba 15000 dólares y cubría hasta 5000 hectáreas.

Además, se describió el método RTK GNSS, que emplea un receptor fijo y uno móvil para determinar coordenadas en tiempo real, y se resaltaó la importancia de la precisión en la medición, especialmente en una ciudad en desarrollo como Manta, donde los estudios topográficos son esenciales para la construcción.

El proyecto de investigación propuesto se centró en comparar la precisión y efectividad del RTK GNSS, la Estación Total y los drones en diferentes terrenos de Manta. Se buscó determinar cuál de estos métodos es más óptimo en términos de tiempo y costos, con el objetivo de proporcionar resultados confiables que cumplan con los requisitos necesarios para un levantamiento topográfico.

Se realizó un levantamiento de poligonales con un dron a 80-100 metros de altura, obteniendo coordenadas planas mediante fotogrametría y procesando los datos con software como Agisoft PhotoScan para generar ortomosaicos, nubes de puntos y modelos digitales de superficie (DSM). Para comparar visualmente los polígonos generados por los tres métodos, se empleó AutoCAD Civil 3D, que mostró mínimas diferencias en terrenos llanos pero mayor variación en áreas con construcciones y obstrucciones que afectan la señal del RTK.

En terrenos llanos, el RTK GNSS es la mejor opción, con un margen de error muy bajo. En terrenos con edificaciones, la Estación Total es preferible, ya que los edificios pueden interferir con la señal del RTK. En áreas boscosas, aunque la Estación Total es más precisa, el uso del dron en combinación con otros equipos mejora los resultados.

En cuanto a costos, el uso del dron Mavic Pro y la Estación Total resultó más económico, mientras que el RTK fue más costoso. En términos de tiempo, el RTK fue más eficiente para cubrir áreas más amplias y recopilar datos rápidamente. Sin embargo, en terrenos con interferencias, como áreas boscosas o con construcciones, la precisión del RTK disminuyó. La precisión de los métodos fue evaluada utilizando la desviación estándar, calculada con Microsoft Excel, para determinar la reproducibilidad de los resultados.

El estudio concluyó que, si bien los tres métodos ofrecen alta precisión, la combinación de un dron con la Estación Total es recomendable para una mejor precisión, especialmente en terrenos complejos. En resumen, la elección del equipo depende del tipo de terreno: RTK GNSS para terrenos llanos, Estación Total para áreas con edificaciones o vegetación, y el uso combinado de drones para mejorar la precisión general.

Pinto (2019), abordó la teoría de los errores en mediciones topográficas, explorando su origen, características y cómo estos errores pueden clasificarse y propagarse. Los errores en topografía pueden ser resultado de fallas en los instrumentos, errores humanos o condiciones externas, y se clasifican en equivocaciones, sistemáticos y accidentales.

La topografía busca minimizar estos errores para acercarse lo más posible a la realidad, lo que impacta directamente en los costos de los proyectos. La tecnología RTK (Real-Time Kinematic) se destaca por su capacidad de proporcionar mediciones altamente precisas a costos más bajos en comparación con técnicas convencionales, como el GNSS estático rápido.

Figura 10

Esquemización del proceso de levantamiento topográfico.



Fuente: Pinto, (2019)

El documento también examinó el uso del RTK en levantamientos topográficos, detallando su origen, normativas relevantes en Colombia y ejemplos de redes nacionales de estaciones permanentes que apoyan su uso. Además, se describen procesos metodológicos para la ejecución de levantamientos con RTK, incluyendo recomendaciones prácticas y formatos para el registro y control de la información durante las mediciones.

Además, el texto describió los principios y procedimientos metodológicos del levantamiento topográfico, destacando que, aunque la tecnología haya avanzado, los fundamentos permanecen inalterados. La calidad de los datos depende tanto de la tecnología utilizada como de las condiciones del entorno. Si bien la tecnología RTK (Real-Time Kinematic) ha ganado popularidad debido a su capacidad de obtener mediciones precisas y eficientes, no sustituye por completo las técnicas convencionales, que siguen siendo necesarias en ciertos contextos, como áreas urbanas densamente construidas o trabajos bajo cubierta.

El levantamiento topográfico con RTK requiere una cuidadosa revisión preliminar de la zona para identificar posibles dificultades de comunicación entre el equipo base y el rover. En algunas situaciones, puede ser necesario combinar RTK con tecnología convencional para asegurar la precisión. Durante el proceso, es crucial mantener el control de los parámetros de calidad de las mediciones, garantizar la verticalidad del bastón utilizado, y estar preparado para suspender las actividades en caso de condiciones climáticas adversas.

El texto también resaltó la importancia de la planificación, incluyendo la consideración de tiempos, la hidratación y alimentación del personal, y la adecuada manipulación y transporte del equipo para evitar daños.

2.1.2.3 Usos de la Estación Total.

Es un aparato electro-óptico utilizado en topografía que combina un distanciómetro y un microprocesador con un teodolito electrónico. Al respecto, Bejarano y Palomino (2022), describieron cómo la incorporación de distanciómetros y microprocesadores en los teodolitos electrónicos ha llevado al desarrollo de las estaciones totales, herramientas clave en topografía. Estas estaciones permiten medir distancias y ángulos horizontales y verticales, y calcular coordenadas topográficas (elevación, este y norte) de puntos específicos. También incluyen tarjetas

magnéticas para almacenamiento de datos, que pueden gestionarse mediante programas de computadora.

También dijeron que las estaciones totales pueden medir ángulos verticales desde el zenit y ángulos horizontales en ambas direcciones. Para obtener datos precisos, es crucial que los ejes vertical y horizontal estén correctamente alineados y perpendiculares entre sí. Errores en la medición de ángulos pueden ocurrir debido a desviaciones en los ejes, pero pueden minimizarse mediante mediciones en ambas posiciones del anteojo y ajustes del instrumento.

Además, según los autores las estaciones totales avanzadas cuentan con servo motores de rastreo y unidades de control remoto, permitiendo la recolección de datos mediante ondas de radio, incluso en condiciones de poca luz. Estos equipos robóticos facilitan los levantamientos topográficos y los replanteos sin necesidad de múltiples operadores, reduciendo costos significativamente.

En realidad, un levantamiento topográfico consiste en un acopio de datos para poder realizar, posteriormente, un plano que refleje el mayor detalle y exactitud posible del terreno en cuestión. Además de ser vital para la elaboración del plano del terreno, el levantamiento topográfico es una herramienta muy importante durante los trabajos de edificación porque con ellos se van poniendo las marcas en el terreno que sirven como guía en la construcción. Por tal razón, si se va a realizar cualquier tipo de obra en un terreno, es fundamental contar con un buen equipo de trabajo con el fin de obtener resultados confiables y un buen levantamiento topográfico.

Tipos de Levantamientos Topográficos Existen varios tipos de levantamientos topográficos, entre los cuales se destacan dos, el levantamiento topográfico con estación total y el levantamiento topográfico con RTK.

Levantamiento Topográfico con Estación Total Es el tipo de levantamiento más común en la actualidad y se caracteriza principalmente por el uso de la estación total como herramienta primordial (Figura 1), este instrumento integra en un sólo equipo las funciones realizadas por el teodolito electrónico, un medidor electrónico de distancias y un microprocesador para realizar los cálculos que sean necesarios para determinar las coordenadas rectangulares de los puntos del terreno.

Figura 11

Estación Total Leica FlexLine TS10



Fuente: Grupoacre, (2024)

NSS RTK es una forma de levantamiento bastante versátil en espacios donde la visual de los espacios es limitada y demanda la posición de múltiples puntos “Delta” para el levantamiento con Estación total, aunque es un limitante de la precisión en los datos cuando se encuentra en una zona con presencia de árboles o áreas no despejada. Cuando nos encontramos en terrenos sin las dificultades antes mencionadas podemos encontrar variaciones promedio de precisión de 29 milímetros de diferencia en referencia a los puntos de Estación Total, haciéndolo una técnica viable para tomar valores altimétricos en labor topográfica.

Figura 12

NSS RTK



Fuente: Acnovo, (2024)

Por otra parte, el texto de Herrera y Montejo (2019), describió el esfuerzo en el contexto cubano por recuperar su infraestructura vial, especialmente en la provincia de Ciego de Ávila, como parte del desarrollo sostenible del país. A pesar de estos esfuerzos, la calidad y eficiencia de los trabajos topográficos, esenciales para la construcción de carreteras, se han visto comprometidas debido a la falta de estrategias metodológicas, la subutilización de nuevas tecnologías, y la insuficiente capacitación de los técnicos.

El principal problema identificado fue que estas deficiencias en los trabajos topográficos estaban limitando la calidad de las obras viales. Se subrayó la necesidad de desarrollar nuevas metodologías y mejorar la formación de especialistas en geodesia para asegurar que las construcciones cumplan con los estándares requeridos.

Por esta razón, en el texto se evidenció la importancia de desarrollar una metodología para el uso de las Estaciones Totales Leica TPS 800 en estudios geométricos y trazados de obras viales. Se destacó la evolución de la topografía como una ciencia esencial para diversas áreas del desarrollo social, desde la antigüedad hasta la actualidad. La topografía, que comenzó con la medición de límites de propiedad en Egipto, ha evolucionado significativamente con la incorporación de tecnologías avanzadas como el CAD y sistemas de posicionamiento por satélites (GPS, GLONASS, GALILEO).

El desarrollo de instrumentos como las Estaciones Totales ha revolucionado la precisión y eficiencia en la construcción de obras viales. Estos instrumentos integrados combinan la medición electrónica con el procesamiento de datos, mejorando la calidad y rapidez de los trabajos topográficos. La creación de una metodología adecuada para su uso es crucial para satisfacer las exigencias modernas en la construcción vial.

El texto resaltó la importancia de la Estación Total, un instrumento topográfico avanzado que combina la medición electrónica de distancias y ángulos con la capacidad de realizar cálculos en tiempo real y almacenar datos. La incorporación de estas herramientas en la topografía ha mejorado significativamente la productividad y la calidad en el diseño y trazado de obras viales. Sin embargo, la adopción de estas tecnologías requiere la implementación de metodologías estandarizadas para

garantizar procesos eficientes, comunicación uniforme entre organizaciones, y competitividad en el ámbito tecnológico. En Ciego de Ávila, Cuba, la falta de una metodología adecuada para el uso de Estaciones Totales ha generado problemas técnicos en la construcción de obras viales, lo que subraya la necesidad de desarrollar y aplicar procedimientos específicos para mejorar la calidad y eficiencia de estos trabajos.

El texto ha descrito los métodos y técnicas científicas utilizados en un proyecto de investigación para desarrollar una metodología relacionada con el uso de Estaciones Totales en obras viales. Se emplearon varios métodos:

Método histórico-lógico: para analizar la evolución de los fenómenos y su impacto en la topografía y geodesia.

Método inductivo-deductivo: para identificar patrones comunes y generalizar teorías a partir de fenómenos específicos.

Método de experto: para evaluar el uso e impacto de la Estación Total, seleccionando a especialistas competentes en geodesia y topografía mediante un muestreo intencional.

Además, se utilizaron técnicas como la observación, entrevistas y estudio de documentos. La empresa GEOCUBA Camagüey – Ciego de Ávila colaboró con los trabajos de campo, aportando la Estación Total y asegurando que se cumplieran las normas técnicas vigentes sin dañar el medio ambiente. Finalmente, para validar la metodología propuesta, se empleó un método comparativo, analizando cualitativamente los resultados obtenidos.

Los autores describieron el uso de materiales y métodos en el diseño y estructura de una metodología para utilizar Estaciones Totales de la serie Leica TPS800 en trazados y estudios geométricos de obras viales. También se mencionó la validación de esta metodología a través de un proyecto de ejecución del trazado vial en la Universidad de Ciego de Ávila, utilizando tanto métodos clásicos (teodolito y cinta) como la Estación Total Leica TPS 805.

Se emplearon varios métodos científicos, como el método histórico-lógico para analizar la evolución de los fenómenos, el método inductivo-deductivo para generalizar teorías a partir de fenómenos específicos, y el método de experto para evaluar el impacto de la Estación Total. Además, se utilizaron técnicas como

observación, entrevistas y estudio de documentos, con la colaboración de la empresa GEOCUBA.

El texto describió el uso de una red planimétrica de puntos de alta precisión para realizar trabajos de trazado vial en la Universidad de Ciego de Ávila. La red "Polígono topo-geodésico de la universidad de Ciego de Ávila" fue utilizada como base de apoyo. Las coordenadas de los puntos fueron determinadas mediante un sistema de posicionamiento global (GPS) en modo diferencial o relativo. Para esto, se midió una línea base desde un punto fijo conocido (estación de referencia) hacia los otros puntos de la red. Las coordenadas finales se obtuvieron tras un ajuste preliminar. Los puntos de la red fueron marcados permanentemente en el terreno con hitos de hormigón y chapas de bronce, asegurando su durabilidad y precisión en los trabajos futuros.

2.1.2.4 Topografía en la Construcción.

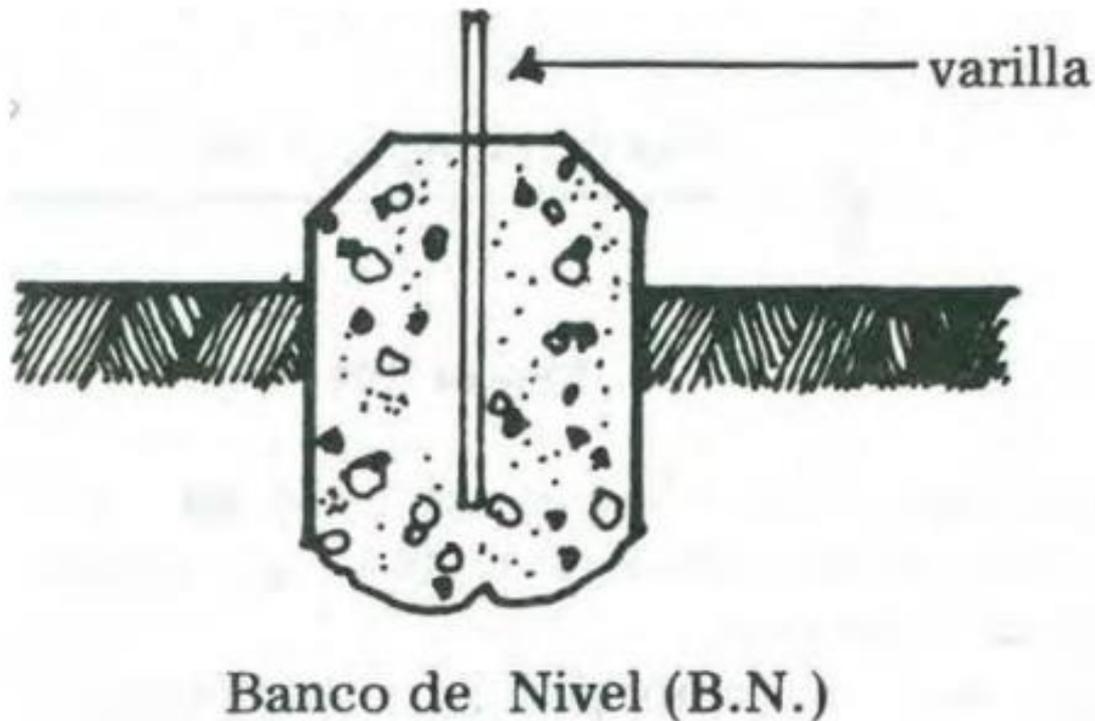
Es el conjunto de procedimientos, tecnologías, entidades productoras, distribuidoras, así como todas las entidades corporativas e individuos que participan en la planificación, ejecución y conclusión de una diversidad extensa de iniciativas constructivas. Estos proyectos pueden variar en escala, dependiendo de su tipología, pero, en líneas generales, involucran el levantamiento de edificaciones e infraestructuras destinadas a cubrir las demandas de los diversos sectores poblacionales de una nación.

García (2019), subrayó la importancia fundamental de la topografía en la construcción, especialmente en proyectos como la construcción de un puente vehicular. Aunque a menudo subestimada, la topografía es esencial en todas las etapas de una obra, desde la planificación hasta la ejecución y el control final. Se la describe como "la radiografía de una obra", proporcionando la información necesaria para el diseño y la funcionalidad de las construcciones.

El autor destacó la importancia de la topografía basándose en la experiencia profesional acumulada durante ocho años como ingeniero topógrafo. El objetivo fue convertir esta experiencia en una guía útil para estudiantes de ingeniería topográfica, subrayando la necesidad de combinar conocimientos teóricos y prácticos para el desarrollo profesional.

Figura 13

Banco de nivel habitual en obra como punto de referencia.



Fuente: García, (2019)

La topografía es presentada como un elemento crucial en todas las etapas de la construcción de puentes: antes, durante y después de la obra, influenciando aspectos técnicos, económicos y sociales. Se enfatiza que un buen trabajo topográfico es esencial para la correcta ejecución de una obra, optimizando el uso de recursos y asegurando el éxito del proyecto. Además, se destaca la importancia de una planificación adecuada para prevenir problemas relacionados con recursos, personal, tiempo y condiciones climáticas.

El documento destacó que los ingenieros topógrafos y geomáticos deben contar con un sólido conocimiento teórico y práctico para realizar trabajos con precisión, rapidez y responsabilidad. Se mencionaron criterios y recomendaciones para levantamientos topo-hidráulicos, necesarios para la ubicación y construcción del puente, incluyendo la creación de planos topográficos, perfiles y secciones transversales.

También se enfatizó el papel crucial del ingeniero topógrafo durante todo el proceso constructivo, desde el levantamiento preliminar hasta el replanteo y control de la obra, asegurando que el puente vehicular se construya de acuerdo con las especificaciones y funcione adecuadamente.

Además, también se resaltó cómo el avance tecnológico ha revolucionado el campo de la topografía, abriendo nuevas áreas de investigación y mejorando la eficiencia, precisión y rapidez en los levantamientos topográficos. Instrumentos modernos como la Estación Total y software como AutoCAD y CivilCAD han optimizado tanto el trabajo de campo como el de gabinete, siendo especialmente relevantes en proyectos de infraestructura, como la construcción de puentes vehiculares.

A pesar de su importancia crítica en todas las etapas de un proyecto, desde la planificación hasta la ejecución y el control final, la topografía a menudo es subestimada en el ámbito de la construcción. Factores como el tipo de equipo, la ubicación de la obra y las condiciones climáticas pueden influir significativamente en los resultados topográficos. El texto subraya la necesidad de reconocer y valorar el papel esencial de la topografía en la correcta construcción y funcionalidad de infraestructuras como los puentes vehiculares.

El texto describió la reconstrucción de un puente vehicular en la localidad de Nuevo León, Municipio de Teopisca, Chiapas, que era esencial para mantener la continuidad de la vía. El puente original fue destruido por una creciente del río durante una temporada de lluvias intensas, lo que llevó a la construcción de un paso provisional con tubos de concreto y muros de mampostería. Si el puente no hubiera sido reconstruido, la conexión entre la cabecera municipal y la localidad habría sido gravemente afectada, perjudicando el comercio, la salud, la educación, el transporte y otras actividades esenciales para la comunidad.

El autor también se dio espacio para definir a la topografía y dijo que este es derivada del griego "topos" (lugar) y "graphein" (describir), es la ciencia que se encarga de determinar las posiciones relativas de puntos en la superficie terrestre mediante medidas y tres elementos del espacio: distancias y elevaciones. Esta ciencia estudia la superficie terrestre y sus accidentes naturales o artificiales, representándolos gráficamente.

A diferencia de la astronomía y la geodesia, que estudian la tierra desde perspectivas más amplias, la topografía se enfoca en detalles específicos de áreas determinadas, esenciales para la planificación y construcción de obras. Se aplica en

diversas áreas como la localización de propiedades, el diseño de viviendas, caminos, ríos, ferrocarriles y puentes.

Las actividades clave en topografía incluyen el trazo, que replantea condiciones establecidas en planos sobre el terreno, y el levantamiento, que recopila datos de campo para representar el terreno en un plano. La topografía tiene aplicaciones extensas: desde levantamientos de terrenos y localización de linderos hasta el diseño y construcción de infraestructuras y sistemas de drenaje. También abarca áreas específicas como la topografía de minas, catastral, urbana y hidrográfica, cada una con objetivos y técnicas particulares para resolver problemas específicos de su campo.

Otra actividad muy importante descrita por el autor fue el levantamiento topográfico. El levantamiento topográfico es una técnica antigua y esencial que implica medir y representar las posiciones de puntos en la superficie terrestre. Se clasifica en dos tipos principales:

Levantamientos Topográficos: Para áreas pequeñas donde la curvatura de la Tierra se puede ignorar, típicamente en zonas de hasta 30 km de diámetro. Se utilizan técnicas como triangulaciones o poligonales de precisión para trabajos como la delimitación de propiedades o el trazado de caminos.

Levantamientos Geodésicos: Se utilizan para grandes extensiones y toman en cuenta la curvatura de la Tierra, apropiados para fijar límites entre naciones o estados.

En la construcción de puentes vehiculares, se realizan tres tipos de levantamientos clave:

Levantamiento Preliminar: Se realiza antes de la construcción para determinar la ubicación de la estructura y puede incluir secciones transversales y representación de la carretera.

Levantamiento para el Proyecto: Después de ubicar la estructura, se recopilan datos topográficos detallados que incluyen planos de ubicación, curvas de nivel, secciones transversales, y perfiles longitudinales. El levantamiento topo-hidráulico, que combina detalles topográficos con características hidráulicas del cruce, es fundamental para el diseño del drenaje y otras obras auxiliares.

Levantamiento Definitivo: Se lleva a cabo al final de la construcción para verificar la ubicación exacta de todos los elementos del puente y comparar con los volúmenes proyectados.

Estos levantamientos aseguran la precisión en la planificación y ejecución de la obra, garantizando que el puente funcione adecuadamente y cumpla con las especificaciones del proyecto.

Luego, el autor describió la nivelación, la cual también es conocida como altimetría, es una técnica en topografía que se enfoca en medir y determinar las alturas y formas del terreno en dirección vertical. Los puntos de referencia en estos trabajos se comparan con un plano base de elevación, llamado plano de comparación, que se establece a menudo como el nivel medio del mar, aunque en trabajos de corta extensión, se puede elegir un plano de comparación arbitrario para simplificar los cálculos.

El nivel medio del mar se obtiene a través de observaciones a largo plazo utilizando mareógrafos, pero en trabajos topográficos locales, se selecciona un plano de comparación conveniente para mantener las cotas positivas y facilitar los cálculos. En la práctica, el plano de comparación es tratado como una superficie de nivel ya que, en la realidad, se ajusta a la dirección de la gravedad. El desnivel entre dos puntos se mide como la distancia vertical entre sus respectivas superficies de nivel.

Los bancos de nivel (BN) son puntos fijos y permanentes con elevaciones conocidas que se utilizan como referencias en trabajos de nivelación. Estos puntos se colocan en lugares estables, como roca fija o monumentos de concreto, y se usan para iniciar trabajos de nivelación o para verificar resultados. La elevación de un BN puede referirse al nivel medio del mar o asumirse como un valor convencional (por ejemplo, cero o cien) para facilitar el proceso.

El investigador aterrizó sus conceptos de topografía para profundizar aún más en la aplicación de estos últimos sobre la construcción de un puente y al respecto mencionó que en Chiapas, los puentes son cruciales para la infraestructura vial y el desarrollo del estado, incluyendo puentes internacionales en la frontera. La conservación de estos puentes es vital para cualquier administración de carreteras.

Es fundamental que los futuros ingenieros comprendan la topografía y los elementos principales de un puente para realizar adecuadamente trabajos

preliminares, de campo, de gabinete, trazo y nivelación durante la construcción. A pesar de la importancia de la topografía en la construcción de puentes vehiculares y otras obras civiles, a menudo se le da poca relevancia. Este trabajo busca resaltar la importancia de la topografía en estos proyectos, demostrando que es crucial para la correcta proyección, construcción y funcionalidad de un puente.

Se debe conocer el levantamiento topo-hidráulico, que incluye datos como el ancho total del área hidráulica y las secciones transversales a lo largo del río y los accesos del puente. Además, es importante establecer correctamente los bancos de nivel y referencias en la zona de construcción. Durante el replanteo y la construcción del puente, se debe evaluar la mejor ubicación para evitar problemas sociales y comprometer la integridad estructural. Conocer las partes del puente y revisar los planos son esenciales para el control de la construcción. El equipo topográfico debe estar bien calibrado y en buenas condiciones para asegurar la precisión en el trazo de ejes y nivelaciones.

Stalliviere (2021), publicó un libro de topografía aplicada a la ingeniería civil. en el texto el autor entró del todo y directamente a la explicación de los procesos inmersos en el levantamiento topográfico el cual consiste en recolectar la información de las dimensiones del terreno en su estado actual. Sin embargo, las teorías utilizadas por el autor fueron de gran relevancia, sobre todo aquellas relacionadas al proceso de ubicación y determinación del sistema de coordenadas .

Al respecto, el autor dijo que al proyectar la superficie de la Tierra en un plano, no se pueden conservar simultáneamente las verdaderas distancias, ángulos, áreas y relaciones entre estos elementos. Por lo tanto, se utilizan diferentes métodos de proyección que implican secciones de la superficie terrestre sobre figuras geométricas que pueden extenderse en un plano. Las superficies comúnmente utilizadas son el cilindro, el cono y el plano.

La elección de la proyección depende del propósito específico:

Proyección equivalente: Mantiene la proporción exacta entre las áreas de la Tierra y las representadas.

Proyección conforme: Mantiene la forma de las pequeñas áreas geográficas.

Proyección azimutal: Mantiene las direcciones correctas desde un punto específico.

El Sistema Universal Transversal de Mercator (UTM) usa un cilindro como figura de proyección y es adecuado para propósitos militares. La navegación marítima emplea la proyección de Mercator, mientras que la proyección azimutal es ideal para áreas polares y mapas aéreos.

2.1.2.4 Fotogrametría.

De acuerdo con Hinostraza (2021), la fotogrametría, que evoluciona con la tecnología, se utiliza hoy en levantamientos con drones para obtener información en 3D y se integra en BIM para comparar modelos con construcciones reales. Inicialmente, la fotogrametría se basa en proyectar ortogonalmente sobre un plano de referencia la imagen de una fotografía, proyectada sobre un negativo mediante proyección central.

Según el autor las ventajas de la fotogrametría son:

- Precisión en capturas: Permite realizar desplazamientos y zoom en levantamientos topográficos gracias a la visión estereoscópica, facilitando la identificación de detalles topográficos, digitalización de polígonos y correcta georreferenciación de líneas resultantes.
- Información tridimensional: Proporciona detalles en laderas y taludes, sin inconvenientes por la forma del terreno.
- Reducción de tiempo y costo: Manipulación fácil y rápida.
- Accesibilidad: Adecuada para todo tipo de terreno, incluso con pendientes extremas.
- Reducción de procesamiento de datos: Eficiente en términos de procesamiento.

Figura 14

Fotogrametría con dron



Fuente: Hinostraza, (2021)

Oropeza (2023), sostuvo que el uso de información geoespacial ha avanzado considerablemente en los últimos años, especialmente con la fotogrametría mediante RPAS (drones), lo que ha optimizado la generación de productos topográficos y cartográficos. Aunque inicialmente se cuestionó la precisión de esta técnica, se han desarrollado metodologías y normativas en Perú, como la NTC 001-2015 y la Resolución Jefatural N° 053-2021/IGN/DIG/SDNGC, que regulan su aplicación y buscan estandarizar los procesos para garantizar resultados precisos.

Actualmente, técnicas modernas como el procesamiento cinemático en post proceso (PPK) han mejorado la eficiencia y precisión de los levantamientos topográficos, eliminando la necesidad de puntos de apoyo fotogramétricos y permitiendo la creación de modelos digitales con alta precisión. Este método ha demostrado ser competitivo con técnicas consolidadas como el uso de estaciones totales o receptores GNSS en modo RTK.

La tesis mencionada analiza la viabilidad de estas técnicas de fotogrametría con RPAS en comparación con métodos tradicionales, buscando establecer su idoneidad para productos cartográficos a escala 1:1000.

La distribución óptima de puntos de apoyo fotogramétrico en un área de estudio es perimetral con un punto central, lo que reduce significativamente los errores promedio horizontal y vertical en el modelo fotogramétrico. Aumentar el número de estos puntos en campo disminuye la desviación estándar del modelo, mejorando la confiabilidad del producto cartográfico. Para áreas de 60 hectáreas con pendientes promedio del 40%, se requieren al menos 7 puntos de apoyo para cumplir con las especificaciones del Instituto Geográfico Nacional para cartografía 1:1000, con una resolución mínima de 4 cm/píxel.

Las aeronaves con tecnología PPK pueden producir cartografía precisa a esta escala sin puntos de apoyo fotogramétrico, especialmente en terrenos con pendientes iguales o menores al 40%, aunque se recomiendan puntos de validación. La interpolación de eventos es clave para obtener coordenadas precisas durante los vuelos con PPK. Además, es importante conocer el tipo de sensor de la cámara del RPAS y aplicar correcciones adecuadas en el software de fotogrametría, así como incluir un modelo geoidal para ajustar las coordenadas globales en el proceso de elaboración cartográfica.

2.1.2.5 Tecnologías GNSS.

Berné et al., (2023), en su texto describieron la importancia y evolución de los Sistemas Globales de Navegación por Satélite (GNSS), destacando su papel fundamental en la tecnología moderna. Los GNSS, que incluyen sistemas como GPS, Galileo, GLONASS y Beidou, han evolucionado gracias a avances en navegación, medición del tiempo y la distancia, y en la exploración espacial. Aunque inicialmente concebidos para aplicaciones militares, los GNSS ahora se utilizan en numerosos campos, desde geodesia y topografía hasta vehículos autónomos y agricultura.

En el texto los investigadores resaltaron cómo la precisión en posicionamiento y tiempo de los GNSS ha ampliado su uso en aplicaciones que impactan directamente la vida diaria. Además, en el texto se menciona un libro especializado en GNSS, escrito por un destacado académico e investigador de la Universitat Politècnica de València, que recopila y explica exhaustivamente los fundamentos, métodos y aplicaciones del GNSS. Este libro, en constante actualización para seguir el ritmo de la evolución tecnológica, ha abarcado desde las bases de la geodesia hasta las aplicaciones más complejas de GNSS, y detalla los avances en la corrección y precisión de posicionamiento en tiempo casi real.

El texto, además, destacó la importancia crucial de los sistemas GNSS (Sistemas Globales de Navegación por Satélite) en nuestra sociedad actual, comparándolos con la dependencia de la electricidad y las telecomunicaciones. Los GNSS, que incluyen sistemas como GPS, Galileo, GLONASS y BeiDou, son esenciales para el Posicionamiento, Navegación y Temporización (PNT) de más de seis mil millones de usuarios en todo el mundo, siendo fundamentales en la Cuarta Revolución Industrial.

El libro mencionado abordó en detalle los sistemas GNSS, sus señales, constelaciones y marcos de referencia, incluyendo el tratamiento de errores, especialmente los atmosféricos, y métodos de posicionamiento. También se exploraron técnicas como la altimetría satelital y el uso de smartphones como receptores GNSS.

Además, se destacó cómo la geolocalización y el geoposicionamiento están integrados en la infraestructura digital y son clave para la toma de decisiones en diversas industrias. El texto subrayó que en la era digital, la ubicación es central para

casi todas las decisiones, reflejando la creciente importancia del posicionamiento preciso en todos los aspectos de la vida cotidiana y los negocios.

Moyano et al., (2020), hicieron un descripción de los Sistemas Globales de Navegación por Satélite (GNSS) como un conjunto de sistemas que utilizan satélites en órbita para enviar información a receptores en la Tierra, permitiendo calcular la posición geográfica mediante trilateración. Sin embargo, el posicionamiento tiene un margen de error debido a diversos factores, como la incertidumbre en las órbitas y relojes de los satélites, así como los retrasos atmosféricos y el ruido.

Para mejorar la precisión, se empleó la técnica Real Time Kinematic (RTK), que usa dos receptores GNSS para calcular correcciones y lograr una exactitud en el orden de centímetros. Una de las estaciones receptoras, conocida como estación base (BS), envía correcciones al receptor móvil (rover) para ajustar su posición.

El uso de estaciones base tiene limitaciones, especialmente en áreas grandes, por lo que se implementan redes de estaciones CORS (Continuos Operation Reference Stations) para proporcionar correcciones a través de internet. Sin embargo, el costo de las estaciones base y servicios CORS puede ser una barrera para la adopción masiva de esta tecnología.

RTKLIB es una biblioteca de software que permite generar y utilizar correcciones de RTK a bajo costo. El texto también menciona un estudio que analiza las debilidades en el diseño cliente-servidor de RTKLIB, proponiendo mejoras para lograr un alto rendimiento en su implementación.

El texto describió las responsabilidades y características de los clientes y servidores en un sistema de RTK (Real Time Kinematic). El cliente, que generalmente es el rover, es un "cliente pesado" que solicita, procesa la información de corrección y genera una solución precisa de posicionamiento. En un sistema cubierto por varias estaciones base (BS), el cliente debe seleccionar la BS más adecuada en función de su cercanía, calidad de información y carga.

El servidor, representado por la BS, tuvo la función de generar y transmitir información de corrección, pero no realiza un procesamiento intensivo. Este servidor es típicamente un "servidor liviano" que no requiere mantener un estado con el cliente, excepto cuando se necesita restringir el acceso a la información mediante cifrado y credenciales.

El texto señaló que las implementaciones actuales de bajo costo suelen enfocarse en soportar uno o dos clientes, sin considerar un sistema que pueda manejar un gran número de dispositivos, como los dispositivos IoT. El objetivo del trabajo es desarrollar una solución de RTK basada en una arquitectura cliente-servidor de alto rendimiento, que pueda entregar correcciones precisas a múltiples clientes y mejorar la capacidad de RTKLIB para soportar varias conexiones.

La topología tradicional de RTK, con un solo cliente y servidor, se utiliza principalmente en agrimensura y geodesia, pero no aprovecha la capacidad de una BS para atender a múltiples rovers. En cambio, una arquitectura con múltiples clientes y servidores permite escalar el servicio, mejorando la cobertura al instalar más servidores para ofrecer correcciones a clientes cercanos, lo que es esencial para ampliar el área de cobertura y mantener la calidad de los datos de corrección.

El texto destacó la omnipresencia de sistemas electrónicos y de software en diversas áreas, desde dispositivos móviles hasta sistemas de Internet de las Cosas (IoT), los cuales requieren con frecuencia determinar la ubicación con precisión. La tecnología RTK ofrece una solución para obtener posicionamiento con precisión de centímetros en tiempo real, utilizando receptores y antenas GNSS comerciales, siempre que se disponga de un servicio de corrección.

Aunque existen servicios gubernamentales de NRTK, estos suelen estar limitados en cobertura y acceso, especialmente para aplicaciones fuera de la agrimensura. RTKLIB surge como una herramienta que permite implementar soluciones RTK de bajo costo con hardware genérico, generando un interés creciente en la comunidad científica y tecnológica.

El trabajo propuso los primeros pasos hacia la creación de un servicio RTK de alta disponibilidad y escalable, basado en software libre, para lograr un posicionamiento satelital de alta precisión aplicable en el ámbito del IoT.

2.1.2.6 Precisión de los Sistemas.

Cabada (2019), explicó que la ingeniería de la construcción ha avanzado significativamente en los últimos años para satisfacer la demanda de infraestructuras como carreteras, puentes y alcantarillado, las cuales requieren un conocimiento preciso de la topografía del terreno, obtenido mediante levantamientos topográficos. Señaló que los equipos actuales permiten precisiones centimétricas mediante el uso

de puntos de control medidos con GPS diferencial. En el caso de la investigación del autor, la estación total utilizada contó con una precisión angular de 5" y se sabe que normalmente, una estación total cuenta con exactitud de puntos del orden de milímetros.

Sin embargo, el análisis comparativo entre los levantamientos topográficos realizados con estación total y drones (RPA) revela que el uso de drones ofrece una mayor precisión, siendo 10 veces más preciso en general, 5 veces más en la dirección norte y 51 veces más en elevación. La precisión superior del dron se debe a la utilización de puntos de control medidos con GPS diferencial. En términos de costos, el levantamiento con drones resulta ser un 8.59% más económico por hectárea, lo que se traduce en un ahorro significativo en proyectos más grandes.

Diversas investigaciones respaldan estos hallazgos, destacando que los drones no solo ofrecen precisión comparable o superior a los métodos tradicionales, sino que también son más eficientes en términos de tiempo y costo. Por ejemplo, la tesis de Villarreal Moncayo concluye que la correcta ubicación de los puntos de control es crucial para la precisión de los levantamientos topográficos con drones. Asimismo, la investigación de Corredor D. demostró que los modelos digitales obtenidos mediante drones son altamente precisos y adecuados para proyectos de consultoría en ingeniería civil.

2.1.2.7 Geodesia.

Pérez Díaz et al., (2021), sostuvieron que desde tiempos antiguos, el hombre ha intentado describir la forma del mundo, con teorías que iban desde una Tierra plana hasta la idea esférica propuesta por los griegos, como Aristóteles y Eratóstenes. Este último calculó el tamaño de la Tierra con una pequeña discrepancia respecto al valor real.

La Geodesia, como ciencia, ha evolucionado a partir de estos estudios. Richard H. Rapp la define como una ciencia interdisciplinaria que utiliza técnicas espaciales y aéreas para estudiar la forma y el tamaño de la Tierra, los planetas y sus satélites, así como para determinar posiciones y velocidades precisas en la superficie terrestre y en órbita. La Geodesia se basa en matemáticas, física, astronomía y computación, y es fundamental en aplicaciones científicas y de ingeniería.

La cartografía se define como el conjunto de estudios y técnicas para crear y analizar mapas, modelos en relieve y globos que representan la Tierra o partes del Universo. Entre las proyecciones cartográficas comunes se encuentran: Mercator, Gauss-Kruger, Universal Transverse Mercator (UTM), Cónica de Lambert y Estereográfica (UPS).

Este trabajo se centró en la proyección UTM, ampliamente utilizada globalmente y en sistemas GPS. La superficie terrestre se modela como un elipsoide de revolución, con un radio ecuatorial (semi eje mayor) de aproximadamente 6,378,137 metros y un radio polar (semi eje menor) de aproximadamente 6,356,752 metros. Aunque la Tierra no es perfectamente plana, su curvatura es pequeña en comparación con su tamaño, permitiendo que las mediciones topográficas sean prácticas sin considerar la curvatura globalmente para áreas reducidas.

Se distingue entre el elipsoide, un modelo geométrico de la Tierra, y el geoide, que representa el equilibrio físico de la fuerza gravitacional del planeta. El elipsoide de revolución es el modelo usado en el Sistema de Posicionamiento Global (GPS) y en el sistema WGS84, que proporciona parámetros precisos para la geolocalización.

El sistema de coordenadas Universal Transverse Mercator (UTM) es una proyección cilíndrica que convierte coordenadas geográficas (longitudes y latitudes en grados) a coordenadas métricas (en metros), utilizando el elipsoide de referencia WGS84. Desarrollada por Gerardus Mercator en 1569, la proyección Transversa de Mercator es una variante que emplea un plano secante a un meridiano central, en lugar de un plano tangente al ecuador, dividiendo la Tierra en 60 husos de 6° de longitud cada uno.

En el sistema UTM, los ángulos y las distancias se conservan cerca del ecuador, pero presentan un factor de escala menor a 1 en latitudes mayores. Los meridianos se proyectan equidistantemente, mientras que los paralelos se separan a medida que se alejan del ecuador. Cada huso tiene un meridiano central y se numeran del 1 al 60, comenzando en el meridiano 180° y avanzando hacia el Este. La conversión entre coordenadas esféricas y planas en UTM se basa en técnicas matemáticas de mapeo.

El estudio de la representación de la superficie terrestre mediante modelos o mapas en un plano bidimensional se realiza a través de proyecciones cartográficas,

que requieren técnicas matemáticas avanzadas. Estas técnicas son parte de la formación básica en ingeniería y permiten la construcción de modelos de representación como UTM, Gauss-Kruger, Cónica de Lambert, Estereográfica (UPS) y Transversa Modificada Ejidal (TME) utilizada por el INEGI en México.

Comprender estos modelos y sus aplicaciones es crucial para interpretar y elaborar planos ingenieriles, realizar levantamientos topográficos, y trazar líneas de conducción o transmisión. El manejo de la convergencia angular y la conversión de coordenadas son esenciales para el procesamiento de datos en ingeniería, topografía y arquitectura.

Aunque herramientas digitales como Google Maps y dispositivos GPS ofrecen soluciones interactivas y portátiles, la cartografía y las proyecciones cartográficas siguen siendo fundamentales para la precisión y fundamentación de los datos en los planos. Como señaló Claudio Ptolomeo, la cartografía representa una de las más nobles aventuras intelectuales, demostrando la capacidad humana a través de las matemáticas.

García et al., (2023), sostuvo que en la última década, el avance tecnológico ha diversificado los productos en el campo de la Geodesia y la Topografía, cada uno con múltiples documentos técnicos y normas, incluyendo DTN, NPT, NR, NC, y normas ISO. Estos documentos, que regulan cómo se deben elaborar los productos, se han multiplicado a tal punto que su manejo se ha vuelto complejo y requiere expertos para su interpretación y aplicación. Sin embargo, la disponibilidad de estos expertos es limitada y a menudo no son efectivos en la comunicación.

Para abordar esta problemática, se recurre a la Inteligencia Artificial (IA), especialmente a los Sistemas Expertos (SE), que imitan el comportamiento de expertos humanos en áreas específicas. Los SE pueden mejorar significativamente la producción y los servicios en empresas, pero su implementación está limitada por la falta de ingenieros especializados, el alto costo y tiempo de desarrollo, y la complejidad del diseño.

Los SE comenzaron a desarrollarse en la década de 1970. Por ejemplo, el sistema DENDRAL, creado en Stanford para el análisis de estructuras químicas, tomó 10 años en completarse. PROSPECTOR, otro SE de Stanford para predecir yacimientos de recursos, también recibió financiación significativa. MYCIN, un

sistema para el diagnóstico médico, fue desarrollado en 2 años con un equipo de 20 personas. Estos ejemplos ilustran el potencial de los SE para resolver problemas complejos en distintos dominios, aunque su desarrollo y aplicación aún enfrentan desafíos.

La implementación de un Sistema Experto (SE) ofrece considerables beneficios para una empresa, especialmente en la Geodesia. Un Sistema Experto Geodésico (SEG) permite acceder a información especializada directamente desde un celular en el campo, lo que facilita el trabajo de las brigadas de topografía. Este software de IA amplifica las capacidades de los expertos en diversas tareas relacionadas con la Geodesia y es adaptable para crear SE en otros dominios, requiriendo solo la creación de una base de conocimiento específica y ajustes menores en la interfaz y el motor de inferencia. Así, surge un nuevo producto: el Desarrollo de Sistemas Expertos.

El trabajo de Mackern (2022), describió el desarrollo y evolución de la infraestructura geodésica en Argentina desde 1991, cuando comenzaron los primeros relevamientos con GPS. En esa época, el marco de referencia oficial era el Campo Inchauspe 69 (CAI69), pero la creciente demanda de un marco de referencia geocéntrico y global impulsó la creación de POSGAR94, el primer marco pasivo con coordenadas geocéntricas globales del país. Posteriormente, la instalación de estaciones activas y la cooperación internacional, como la red SIRGAS-CON y la red activa RAMSAC, fortalecieron la precisión y el mantenimiento de las coordenadas geodésicas en Argentina. Este avance ha permitido que el país cuente hoy con una infraestructura geodésica de alta precisión, reconocida a nivel internacional, apoyada por la docencia universitaria y la especialización profesional.

El texto detalla la evolución de la geodesia en Argentina en el contexto de la creación y desarrollo de marcos de referencia internacionales. En 1987 se estableció el IERS (Servicio Internacional de Rotación de la Tierra y Sistemas de Referencia), cuya misión era coordinar la geodesia global y definir los marcos de referencia terrestres y celestes. En 1991, la IUGG adoptó el Sistema de Referencia Terrestre Internacional (ITRS). Argentina comenzó a instalar sus primeras estaciones GPS continuas en la década de 1990, gracias a proyectos liderados por investigadores de universidades nacionales. Estas estaciones, inicialmente no públicas, se integraron en la red internacional IGS, permitiendo la publicación de sus datos y reportes en

bases de datos internacionales. Esto marcó un avance significativo en la geodesia argentina, alineándola con los estándares internacionales.

Durante la primera década de los años 2000 en Argentina, no se calcularon coordenadas para estaciones GPS como parte de una red geodésica nacional o regional vinculada al Sistema de Referencia Terrestre Internacional (ITRF). La primera solución rigurosa, denominada POSGAR98, fue desarrollada en la tesis doctoral de Juan F. Moirano en el 2000, siguiendo las metodologías propuestas por el IERS y el IGS. A nivel continental, se realizaron campañas GPS en América del Sur en 1995 y 2000, con el objetivo de monitorear desplazamientos geodinámicos. A partir de estas experiencias, se decidió dejar de realizar mediciones en puntos pasivos y enfocarse en la instalación de estaciones GPS continuas, lo que llevó a la creación y densificación de la red SIRGAS-CON, que actualmente cuenta con más de 440 estaciones en todo el continente.

El éxito de la red SIRGAS-CON se debe a la colaboración coordinada entre diversas organizaciones geodésicas de América. Desde la segunda campaña SIRGAS en 2000 hasta la actualidad, se ha trabajado intensamente en América Latina para instalar más estaciones GNSS continuas, mejorar el equipamiento con tecnologías más avanzadas (incluyendo GPS, GLONASS y Galileo), y establecer Centros de Datos Nacionales para garantizar la disponibilidad de registros bajo estándares internacionales. Además, se crearon Centros de Análisis regionales, que han crecido de 3 a 8 activos, contribuyendo a la implementación de marcos de referencia que densifican el ITRF en el continente. Este esfuerzo colaborativo, junto con la formación de recursos humanos a través de reuniones científicas y talleres de capacitación, permitió que las redes activas GNSS reemplazaran a las redes pasivas, estableciéndose como la principal herramienta de georreferenciación en la región.

Además, el texto describió la evolución de las primeras estaciones GNSS en Argentina hasta la creación de la red RAMSAC en 2006. Menciona a los pioneros de la geodesia satelital en el país, como los doctores Víctor Haar, Juan Carlos Usandivaras y Eduardo Patiño, quienes junto con otros científicos y profesionales argentinos, impulsaron la capacitación y desarrollo de marcos de referencia geocéntricos precisos, como POSGAR94. A través de diversas campañas de medición y talleres nacionales, se formaron profesionales en todo el país y se fortalecieron los vínculos entre instituciones, lo que finalmente llevó a la creación de

la red RAMSAC. Esta red unifica y monitorea estaciones GNSS continuas en Argentina, proporcionando una base de datos nacional accesible a usuarios en todo el país, bajo un concepto federal.

En la segunda década del 2000 al 2010, Argentina ya contaba con una red de observaciones GPS, lo que llevó al siguiente desafío: establecer una estrategia rigurosa para calcular coordenadas y velocidades con el fin de mantener la precisión del marco de referencia nacional. Gracias al liderazgo de SIRGAS en América Latina y la participación activa de argentinos en su comité, se crearon tres centros de procesamiento en Argentina: CEPLAT, CIMA, y GNA. Estos centros, junto con la red RAMSAC, permitieron incorporar un marco de referencia internacional y mantener su monitoreo. Además, desde 2006 se realizan cálculos diarios en GNA para monitorear la actividad geodinámica en Argentina, lo que ha permitido documentar los desplazamientos causados por sismos significativos y desarrollar modelos como VELAr para la actualización precisa de coordenadas en la región.

Entre 2010 y 2020, la red de estaciones GNSS en Argentina amplió su función para incluir el monitoreo atmosférico. Los centros de análisis en la Universidad de La Plata y Mendoza lideraron investigaciones para monitorear el contenido de electrones en la ionosfera y el retardo troposférico. Estos esfuerzos produjeron mapas y grillas de contenido total de electrones vertical (VTEC) y retardos cenitales troposféricos (ZTD), disponibles públicamente. Además, se implementó el cálculo del vapor de agua integrado (IWV), contribuyendo a un monitoreo atmosférico más detallado. La promulgación de la Ley Federal del Catastro (Ley 26209) fue clave en la actualización y oficialización del marco de referencia POSGAR2007, vinculando la red nacional RAMSAC a los marcos internacionales. Además, se desarrolló e implementó el servicio RAMSAC-NTRIP para georreferenciación en tiempo real, mejorando la precisión y eficiencia de las mediciones geodésicas en el país.

Argentina ha desarrollado una infraestructura geodésica avanzada con la red RAMSAC, fruto de más de 30 años de esfuerzo, cooperación y capacitación. Sin embargo, enfrenta nuevos desafíos: integrar diversas constelaciones GNSS, combinar la red GNSS con estaciones SLR y desarrollar aplicaciones que integren técnicas como SLR, DORIS y VLBI. La comunidad académica y geodésica debe formar más especialistas y prepararse para estos desafíos, abordando preguntas sobre la instalación y operación de nuevas estaciones, la vinculación entre técnicas y

el procesamiento de observaciones. La clave del éxito radicarán en continuar con la cooperación internacional y la colaboración entre los diferentes actores involucrados.

2.2 Marco Legal

2.2.1 Constitución Nacional de la República del Ecuador

Cabe recalcar que la presente investigación encontró su sustento legal dentro de la constitución dentro de una parte constitutiva de su amplio ámbito de desenvolvimiento técnico. Dentro de las labores de topografía se encuentra el servicio prestado a las municipalidades para el área de catastro y urbanismo; y en este sentido los estudios topográficos son de carácter crucial para que las administraciones municipales puedan regir su control y regulación del territorio bajo su jurisdicción. Al respecto, el artículo 264 de la Constitución de la República, en su numeral 9 exclamó “Los gobiernos municipales tendrán las siguientes competencias exclusivas sin perjuicio de otras que determine la ley: 9. Formar y administrar los catastros inmobiliarios urbanos y rurales” (Asamblea Constituyente, 2008).

En este mismo ámbito de aplicación, es decir, sobre el área de catastros, el artículo 375 en su numeral 2 fue también importante y aún más amplio desde el punto de vista legal, al declarar una responsabilidad del Estado sobre el catastro a una escala nacional. El artículo mencionó “El Estado, en todos sus niveles de gobierno, garantizará el derecho al hábitat y a la vivienda digna, para lo cual: 2. Mantendrá un catastro nacional integrado georreferenciado, de hábitat y vivienda” (Asamblea Constituyente, 2008).

Este artículo y cualquier a partir de él que incluya la georreferenciación en algún aspecto, hará alusión técnicamente explícita a la labora topográfica dado que es la topografía la disciplina llamada a generar información de con referencias espaciales.

2.2.2 Ley Orgánica de Ordenamiento Territorial, Uso y Gestión de Suelo

Dentro de este cuerpo normativo existieron algunos artículos que siguieron la línea de la Constitución con respecto a la información de catastros y declararon a través del artículo 100 la obligatoriedad del ente gubernamental rector del sector de hábitat y vivienda a nivel nacional de mantener actualizado el catastro de manera constante. Además, volvió a hacer alusión a la georreferenciación puesto que, el

artículo se refirió al Catastro Nacional Integrado Georreferenciado. De ahí en más el artículo mencionó en su párrafo segundo:

El Catastro Nacional Integrado Georreferenciado deberá actualizarse de manera continua y permanente, y será administrado por el ente rector de hábitat y vivienda, el cual regulará la conformación y funciones del Sistema y establecerá normas, estándares, protocolos, plazos y procedimientos para el levantamiento de la información catastral y la valoración de los bienes inmuebles tomando en cuenta la clasificación, usos del suelo, entre otros. Asimismo, podrá requerir información adicional a otras entidades públicas y privadas. Sus atribuciones serán definidas en el Reglamento de esta Ley.

El siguiente artículo, es decir, el número 101 la obligación de los GAD municipales de compartir la información catastrada mediante el sistema nacional de catastro. Reafirmando así la responsabilidad de los GAD municipales para con la administración y gestión operativa de la información catastral. Este artículo fue enfático sosteniendo:

Los Gobiernos Autónomos Descentralizados y las instituciones que generen información relacionada con catastros y ordenamiento territorial compartirán los datos a través del sistema del Catastro Nacional Integrado Georreferenciado, bajo los insumos, metodología y lineamientos que establezca la entidad encargada de su administración. (Asamblea Nacional, 2016)

Si bien es cierto, el catastro constituye el inventario municipal de los bienes inmuebles de la ciudad, existe información a escala más específica dentro del cuerpo normativo estudiado al respecto de un plano más particular con los inmuebles y no tan general como la gestión del catastro. Esto se pudo evidenciar en el artículo 66 el cual se expresó en su párrafo segundo acerca de los instrumentos que se requieren para regular el llamado mercado del suelo y al respecto de los proyectos que impliquen la gestión del suelo dijo, específicamente, sobre los anuncios de proyecto:

El anuncio será obligatorio y se realizará mediante acto administrativo que será publicado en un diario de amplia circulación en la localidad donde se realizará la obra, en la página electrónica institucional, y será notificado al propietario del predio, la dependencia de avalúos y catastros del respectivo Gobierno

Autónomo Descentralizado municipal o metropolitano y al registrador de la propiedad, en el que se establecerá el área de influencia del proyecto y su plazo de inicio, que no será superior a tres años desde su notificación. (Asamblea Nacional, 2016)

La gestión del catastro resulta ser un tema coyuntural para Estado. Ello se pudo evidenciar en la catalogación que este cuerpo normativo le dio a la no actualización del catastro como una infracción grave. Esto se dio a través del artículo 107 que expresó en su numeral 7 lo siguiente: “Son infracciones graves: 7. No subir la información actualizada del Catastro Nacional Integrado Georreferenciado, de conformidad con lo señalado en esta Ley y con las normas, estándares, protocolos, plazos y procedimientos que el ente administrador establezca para el efecto” (Asamblea Nacional, 2016).

2.2.3 Ley de Cartografía Nacional

El documento completo por sí mismo respalda las actividades de topografía dado que se trata de un texto que regula y permite el desarrollo de cartografía, un contexto incluso más amplio que la topografía, pero que también la engloba. Este documento constituyó un base muy grande de normativas específicas para darle soporte jurídico a la presente tesis, por lo cual resultó bastante complicada la tarea de elegir los artículos más importantes. Sin, embargo, aquí se analizaron aquellos que más relevancia tuvieron de entre todos.

Empezando por el artículo 2 que estableció:

El Instituto Geográfico Militar realizará toda actividad cartográfica referente a la elaboración de mapas y levantamiento de cartas oficiales del territorio nacional.

A solicitud de los interesados, ejecutará trabajos de levantamientos especiales y planos de ciudades del país.

La cartografía contratada y ejecutada por el Instituto Geográfico Militar está exenta del requisito de Licitación. (Presidencia de la República, 2009)

Este artículo hizo alusión directa al trabajo realizado para la elaboración de planos y el ente institucional regido para el efecto. El Instituto Geográfico Militar, el cual es la institución que gestiona administrativa y operativamente las actividades de

cartografía a nivel nacional, está plenamente autorizado y facultado para ejercer topografía dentro del marco de la cartografía.

Un artículo en el que intervino el derecho privado en conjunción y complemento de las labores de cartografía fue el artículo 24 el cual expresó lo siguiente:

Las personas naturales o jurídicas autorizadas para ejecutar trabajos cartográficos, una vez concluidos deberán entregar al IGM, los negativos de las películas, en caso de fotografía aérea, una copia de los correspondientes levantamientos aerofotogramétricos, así como los datos técnicos que sirvieron para ejecución del mismo. (Presidencia de la República, 2009)

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

3.1 Enfoque de la Investigación

El enfoque de investigación fue definido de acuerdo con el tipo de información que se planificó recolectar. Esta información comprendía parámetros de precisión, costo y rendimiento, los cuales son valores que permiten diferenciar y caracterizar cada tipo de levantamiento topográfico según el instrumento que se utilice.

En ese aspecto, la información de precisión y costo fue de tipo cuantitativa puesto que, esta guardaba valores numéricos tanto por las mediciones en unidades de metros al denotar ubicaciones en un sistema de coordenadas, como valores económicos de precios por la realización del trabajo de campo. Por otro lado, la representación gráfica incluye la inserción de técnicas gráficas no necesariamente cuantitativas, sino más bien de tipo cualitativas considerando que el objetivo general implica realizar un cuadro comparativo.

El cuadro comparativo que se presentó en el objetivo general no solo contuvo datos de tipo cuantificable, sino también incluyó una parte cualitativa al considerar datos de naturaleza subjetiva tales como la facilidad de transporte, uso y comodidad del topógrafo. Por lo tanto, se pudo establecer el enfoque como un **enfoque mixto**.

Oyarvide y Ramírez (2023), se centraron en un proyecto de investigación cuantitativa, basada en la recopilación de información a través de la topografía y su análisis mediante cálculos y cuadros estadísticos. Al respecto de un estudio comparativo de tipo cuantitativo dijeron que para comparar los sistemas medición en topografía, primero se debían recolectar datos detallados sobre cada uno, incluyendo su funcionamiento, precisión, alcance y limitaciones, utilizando documentos técnicos, investigaciones previas, artículos científicos y especificaciones técnicas de los fabricantes.

Luego, los autores explicaron que se deben diseñar experimentos comparativos para evaluar el rendimiento de ambos sistemas en distintos escenarios. Esto podría incluir la medición de puntos de control y demás requerimientos de acuerdo con los tipos de sistemas utilizados y todo esto seguido de un análisis de la calidad y precisión de los resultados obtenidos.

Enfatizaron que en el análisis de los resultados debe considerarse aspectos como precisión, eficiencia, facilidad de uso, cobertura geográfica, aplicabilidad en diferentes entornos y costos. Este análisis debe ser objetivo y basarse en métricas cuantificables, presentando los resultados en tablas comparativas, gráficos y conclusiones claras que resalten las fortalezas y debilidades de cada sistema desde una perspectiva cuantitativa.

En su investigación, los autores Ruíz et al., (2013), emplearon el enfoque cuantitativo para obtener resultados numéricos a través de encuestas, y el enfoque cualitativo mediante el estudio de caso y entrevistas abiertas, lo que permitió confirmar el marco teórico y alcanzar los objetivos del estudio. La intención era explicar, describir y explorar información de un programa específico de política pública. En los estudios fiscales, es esencial que los resultados reflejen confiabilidad y validez. Aunque el enfoque cualitativo puede ser suficiente para alcanzar los objetivos, si no se tiene la certeza necesaria, se recomienda complementar con el enfoque cuantitativo para asegurar la claridad y confianza en los resultados.

Tabla 3

Ejemplo de tablas comparativas entre mediciones realizadas con instrumentos de medición topográfica distintos.

	FOTOGRAMETRIA	NTRIP
Área(m ²)	460,05	459,43
Perímetro(m)	90,65	90,78

Fuente: Oyarvide y Ramírez, (2023)

3.2 Alcance de la Investigación

En el aspecto más general referido al alcance de una investigación, los límites de la misma, es decir, tanto los resultados esperados como la delimitación de la metodología, marcan el alcance de una investigación. Esto sucede dentro del desarrollo de la planificación del proyecto y define hasta dónde va a llegar el estudio.

En el caso de la presente investigación, el alcance planificado fue de tipo **descriptivo** y fue fundamentado en base a la intención de los investigadores para ofrecer un proyecto que se centrara en destacar las características de dos sistemas de medición topográfica ya conocidos. Esto último, también define el tipo de alcance dado que un alcance descriptivo guarda la propiedad de realizar estudios con objetos

de investigación ya conocidos de los cuales existen teorías e investigaciones con una larga lista de antecedentes en cuanto a referencias teóricas.

El artículo de Ochoa y Yunkor (2021), se centró en aclarar las características de los estudios descriptivos en la investigación científica. Según los autores, a menudo estos estudios se confunden con los estudios relacionales o correlacionales, lo cual puede desorientar a los investigadores novatos y dificultar la identificación de las singularidades de las investigaciones descriptivas. Además, según la interpretación de los autores, dado que los estudios descriptivos son univariados, es decir, se centran en una sola variable de interés pese a que algunos tutores y asesores intentan erróneamente identificar variables dependientes e independientes en ellos. Incluso se refirieron a que la elección de un estadístico para contrastar la hipótesis en una investigación descriptiva depende de la intención del investigador, por lo que es crucial comprender las características del nivel de investigación que se desea desarrollar.

3.2.1 Descripción Específica del Proyecto

Dentro de la planificación del presente proyecto de titulación se contempló la realización de un levantamiento planimétrico en la comuna Engabao en un área de aproximadamente 70 mil metros cuadrados. Mediante la medición del área de los predios presentes en el mencionado sector y mediante el uso de los instrumentos topográficos RTK y estación total, de tal manera que los resultados puedan proporcionar objetos de comparación para realizar un análisis comparativo considerando tres aspectos fundamentales en las mediciones: precisión, tiempo y rendimiento.

Figura 15

Sector objetivo: Fracción del barrio de la zona de Puerto Engabao.



Elaborado por: Carriel y Veloz, (2024)

De forma muy específica, se realizaron levantamientos planimétricos a las manadas de predios existentes dentro de la zona menciona con ambos equipos, RTK y estación total. Esto servirá de material de análisis para generar una comparación entre los dos instrumentos utilizados enfocándose en los aspectos de precisión, tiempo y rendimiento. Además, ee realizaron 2 bloques de mediciones por cada instrumento.

La zona estudiada correspondió a una fracción de del barrio que se encuentra dentro de la comuna Engabao, específicamente cercana a la zona conocida como Puerto Engabao. Para poder realizar las mediciones de planificó establecer un perímetro limitado por las siguientes coordenadas dentro de este espacio seleccionado.

Tabla 4

Fracción de superficie de la zona de Puerto Engabao estudiada.

Fracción estudiada del sector Puerto Engabao			
Coordenadas			Coordenadas concatenadas
	X	Y	
Punto	Este	Norte	
P.E. 1	554410.63	9717406.44	554410.63,9717406.44
P.E. 2	554570.05	9717253.50	554570.05,9717253.5
P.E. 3	554783.05	9717387.47	554783.05,9717387.47
P.E. 4	554551.17	9717601.22	554551.17,9717601.22

Elaborado por: Carriel y Veloz, (2024)

3.3 Técnica e Instrumentos para Obtener los Datos

3.3.1 Operacionalización de la Variable

La herramienta de operacionalización facilitó la elección de los instrumentos para ejecutar las técnicas previamente determinadas. Además, permitió disminuir el nivel abstracción de los conceptos relacionados a la variable de investigación. En general, la operacionalización de variables es el proceso mediante el cual se definen y describen las variables de un estudio de manera que puedan ser medida y evaluadas de forma precisa.

Tabla 5

Operacionalización de la variable.

Variable	Definición	Dimensión	Indicadores	Instrumentos
Topografía	La topografía es la ciencia que estudia el conjunto de principios y procedimientos que tienen por objeto la representación gráfica de la Tierra, con sus formas y detalles; tanto naturales como artificiales	Relevamiento Topográfico	- Precisión - Costo - Rendimiento	- RTK - Estación Total - Bitácora valorada - Representación gráfica

Elaborado por: Carriel y Veloz, (2024)

3.3.2 Levantamiento Topográfico

Para poder dar cumplimiento al primer objetivo específico se procedió a levantar información georreferenciada del terreno objeto de estudio. Para ello, mediante la utilización de los instrumentos RTK y la estación total.

3.3.2.1 RTK.

Por sus siglas en inglés “Real Time Kinematic” es un sistema de posicionamiento y navegación que entrega precisión centimétrica.

En general para cualquier levantamiento topográfico, el primer paso siempre es establecer un punto de control inicialmente para contar con una referencia posicional en campo. La técnica de levantamiento de cinemática en tiempo real no es una excepción a esta regla. Para empezar el levantamiento usando la estación fija y el rover, que son instrumentos de RTK, se estableció el punto de control en una ubicación que permitiera la comunicación ininterrumpida entre ambos equipos.

Figura 16

Calado de la base fija RTK.



Elaborado por: Carriel y Veloz, (2024)

Posterior a ello, el siguiente paso implicó la nivelación y puesta a punto del equipo. Lo que usualmente se conoce como calado del instrumento que en este caso se trataba de la estación fija. Una vez realizado este paso se procedió a configurar el equipo para proceder a la toma de puntos en campo. Cabe recalcar que este proceso no conlleva más de 10 minutos desde la instalación de los equipos en campo, hasta el momento en donde los instrumentos se encuentran listos para realizar el levantamiento.

Figura 17

Puntos de control RTK.



Elaborado por: Carriel y Veloz, (2024)

3.3.2.2 Estación Total.

Instrumento topográfico óptico conformado por componentes electrónicos que permiten realizar cálculos para lograr medir de forma precisa ángulos horizontales, verticales y distancias.

Figura 18



Elaborado por: Carriel y Veloz, (2024)

El proceso de levantamiento a través de la estación total implicó el calado del instrumento en un punto de coordenadas conocidas, para posteriormente orientar el equipo dentro del sistema de coordenadas que se hayan elegido para continuar con el proceso.

Para orientar el equipo existen dos opciones: Orientar el equipo con otro punto conocido y orientarlo mediante norte magnético. La orientación con norte magnético se realiza cuando no se posee un segundo punto de coordenadas conocidas. Para el caso del presente trabajo, se realizó bajo la modalidad de puntos conocidos. Una vez orientado el instrumento, este se encuentra listo para realizar el levantamiento y en este proceso el tiempo desde la configuración del equipo hasta que se encuentre listo tomó alrededor de 15 min.

Figura 19

Puntos de orientación para la estación total.



Elaborado por: Carriel y Veloz, (2024)

3.3.3 Presupuestación

A través del registro de actividades y su correspondiente costo de operación, se planificó realizar una recolección de datos referidos al desempeño económico de cada tipo de levantamiento topográfico. El propósito fue el de dar cumplimiento al tercer objetivo específico llevando una bitácora valorada que pudiere brindar información en la etapa de post-proceso luego de la utilización de cada instrumento topográfico.

Tabla 6

Lista de procedimientos a ser valorados económicamente.

Bitácora valorada de procedimientos					
Codigo	Rubro	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Subtotal
				Subtotal	0.00
				Costos indirectos (22%)	0.00
				Total	0.00
Nota:					

Elaborado por: Carriel y Veloz, (2024)

3.3.4 Representación Gráfica

Mediante la realización de un modelo digital del terreno se planificó extraer información referida a los factores que afectaron la representación gráfica y la variación en las mediciones que proporcionasen ambos instrumentos. La idea principal de este apartado fue el de verificar las distorsiones entre planos para poder establecer diferencias o similitudes que puedan evidenciarse en un cuadro comparativo posteriormente. Para este propósito fue necesaria la generación de planos mediante el uso de la herramienta gráfica AutoCAD. Esto, en aras del cumplimiento del segundo objetivo específico.

3.4 Población y Muestra

3.4.1 Definición de la Población

Para poder definir la población se realizó inicialmente la pregunta clave basada en las investigaciones consultadas: ¿Sobre qué o quién se desea saber algo? En dicho sentido, se llegó a la conclusión de que se deseaba conocer la relación costo-beneficio de los instrumentos de topografía. Por ello, **se estableció una población de objetos que en este caso serían los instrumentos de medición topográfica.** De forma más específica, la población estuvo comprendida por todos los instrumentos RTK y estaciones totales existentes actualmente en el mercado.

Esta conclusión se consideró coherente ya que, en investigaciones cuantitativas necesariamente, de acuerdo con los textos y autores consultados, debe existir una población, un conjunto muestral y una técnica de muestreo. Por lo tanto, el conjunto poblacional se fijó como aquel conjunto que contenía el grupo de instrumentos de medición topográfica.

Del texto de Argibay (2009), se pudo interpretar que el conjunto población es aquel grupo de elementos para los cuales está destinada una generalización y representatividad de los resultados. La validez externa permite extender los hallazgos de la muestra a una población más amplia. Además, se mencionó la validez ecológica, que se refiere a la capacidad de generalizar los resultados de una situación artificial a una natural. Así, la representatividad de la muestra es crucial para que los resultados obtenidos sean aplicables a otros sujetos y contextos.

3.4.2 Definición de la Muestra

Por otra parte, fue evidente que el conjunto poblacional se constituía como un grupo de elementos realmente grande. Sin embargo, en una investigación de enfoque mixto se pueden aplicar técnicas de muestreo cualitativas. Por lo tanto, **el conjunto muestral quedó establecido como el grupo de elementos constituido por los equipos topográficos a los cuales los autores del presente trabajo tenían acceso, es decir, los instrumentos de su propiedad.** Cabe recalcar que los equipos debían estar debidamente calibrados para que constituyan un grupo de instrumentos lo suficientemente representativos de una población cuyas características comunes principalmente eran estar calibrados y en buen estado, es decir, que no contengan averías.

Argibay (2009) también abordó cómo asegurar que una muestra sea representativa en un estudio, enfocándose en las técnicas de muestreo. Estas técnicas se dividen en dos grandes grupos: muestreos probabilísticos (aleatorios) y muestreos no probabilísticos (no aleatorios). La diferencia clave es el uso del azar en la selección de los sujetos. Los muestreos probabilísticos, como el muestreo al azar simple, sistemático, estratificado y por conglomerados, son más confiables para obtener una muestra representativa. Se destacan métodos adicionales para mejorar la representatividad, como la estratificación y la proporcionalidad. Sin embargo, una de las cosas más relevantes del autor en aporte con la presente investigación que el hecho de mencionar que, más allá de que los muestreos probabilísticos garantizan una mejor representatividad, los muestreos no probabilísticos, aunque más propensos a sesgos, pueden ocasionalmente resultar representativos.

3.5 Tipos de Muestra en Investigación Cualitativa

La técnica de muestreo que se utilizó para determinar el conjunto muestral fue el tipo de muestreo por conveniencia. Este muestro permitió a los autores del presente

trabajo a poder realizar los estudios y aplicar las técnicas de investigación sobre los objetos que conformaron la población de una manera más accesible tanto por disponibilidad de los instrumentos como por costo beneficio al ser instrumentos propios.

Al respecto de este tipo de muestreo Casal y Mateu (2003), dijeron que se trata de un método de muestreo no aleatorio, donde la muestra se selecciona por su similitud con la población objetivo de manera subjetiva, lo que limita la cuantificación de su representatividad y a menudo introduce sesgos. Este método se usa solo cuando no hay alternativas, especialmente en estudios que requieren colaboración estrecha, como con ganaderos o veterinarios, o en estudios longitudinales en granjas de confianza. También es útil para primeras prospecciones o cuando no hay un marco de encuesta definido. Sin embargo, este muestreo rara vez representa la variabilidad de la población, que generalmente se subestima.

**CAPÍTULO IV
PROPUESTA O INFORME**

4.1 Presentación y Análisis de Resultados

4.1.1 Resultados del Levantamiento Topográfico

Luego de realizada la parte del estudio en campo, se procedió a completar la fase de post-proceso en donde los datos de coordenadas levantadas en el sistema UTM con datum WGS-84, obteniendo la siguiente información:

4.1.1.1 Estación Total.

Tabla 7

Lecturas con estación total I.

Primer bloque de medición - Primera manzana analizada (Estación Total)				
Coordenadas				Coordenadas concatenadas
	X	Y	Z	
Punto	Este	Norte	Elevación	
P1	554451.523	9717445.783		554451.523,9717445.783
P2	554476.582	9717473.833		554476.582,9717473.833
P3	554519.133	9717439.423		554519.133,9717439.423
P4	554493.293	9717406.363		554493.293,9717406.363

Elaborado por: Carriel y Veloz, (2024)

Tabla 8

Lecturas con estación total II.

Primer bloque de medición - Segunda manzana analizada (Estación Total)				
Coordenadas				Coordenadas concatenadas
	X	Y	Z	
Punto	Este	Norte	Elevación	
P1	554476.352	9717352.542		554476.352,9717352.542
P2	554533.982	9717433.462		554533.982,9717433.462
P3	554593.221	9717386.922		554593.221,9717386.922
P4	554547.913	9717302.582		554547.913,9717302.582

Elaborado por: Carriel y Veloz, (2024)

Tabla 9

Lecturas con estación total III.

Primer bloque de medición - Tercera manzana analizada (Estación Total)				
Coordenadas				Coordenadas concatenadas
	X	Y	Z	
Punto	Este	Norte	Elevación	
P1	554574.911	9717408.152		554574.911,9717408.152
P2	554601.853	9717391.972		554601.853,9717391.972
P3	554629.122	9717409.691		554629.122,9717409.691
P4	554608.562	9717441.632		554608.562,9717441.632

Elaborado por: Carriel y Veloz, (2024)

Tabla 10

Lecturas con estación total IV.

Primer bloque de medición - Cuarta manzana analizada (Estación Total)				
Coordenadas				Coordenadas concatenadas
	X	Y	Z	
Punto	Este	Norte	Elevación	
P1	554567.313	9717418.342		554567.313,9717418.342
P2	554605.251	9717453.071		554605.251,9717453.071
P3	554588.812	9717479.423		554588.812,9717479.423
P4	554571.061	9717491.261		554571.061,9717491.261
P5	554538.492	9717441.051		554538.492,9717441.051

Elaborado por: Carriel y Veloz, (2024)

Tabla 11

Lecturas con estación total V.

Primer bloque de medición - Quinta manzana analizada (Estación Total)				
Coordenadas				Coordenadas concatenadas
	X	Y	Z	
Punto	Este	Norte	Elevación	
P1	554485.781	9717486.371		554485.781,9717486.371
P2	554525.602	9717452.313		554525.602,9717452.313
P3	554561.192	9717503.732		554561.192,9717503.732
P4	554527.602	9717529.463		554527.602,9717529.463

Elaborado por: Carriel y Veloz, (2024)

Tabla 12

Lecturas con estación total VI.

Primer bloque de medición - Sexta manzana analizada (Estación Total)				
Coordenadas				Coordenadas concatenadas
	X	Y	Z	
Punto	Este	Norte	Elevación	
P1	554596.551	9717567.473		554596.551,9717567.473
P2	554563.382	9717515.773		554563.382,9717515.773
P3	554534.291	9717537.182		554534.291,9717537.182
P4	554562.003	9717586.412		554562.003,9717586.412

Elaborado por: Carriel y Veloz, (2024)

Tabla 13

Lecturas con estación total VII.

Primer bloque de medición - Séptima manzana analizada (Estación Total)				
Coordenadas				Coordenadas concatenadas
	X	Y	Z	
Punto	Este	Norte	Elevación	
P1	554660.162	9717526.122		554660.162,9717526.122
P2	554610.802	9717479.131		554610.802,9717479.131
P3	554576.731	9717504.983		554576.731,9717504.983
P4	554611.933	9717564.823		554611.933,9717564.823

Elaborado por: Carriel y Veloz, (2024)

Partiendo del primer bloque de datos obtenidos de la medición topográfica con estación total se realizó una segunda medición con el mismo instrumento. El propósito de esta repetición de actividades fue comprobar la calibración del equipo y, además, medir el nivel de coincidencias internas bajo una misma modalidad de realización de las mediciones. Al respecto del segundo bloque de datos obtenidos, se pudieron rescatar las siguientes coordenadas:

Tabla 14

Lecturas con estación total VIII.

Segundo bloque de medición - Primera manzana analizada (Estación Total)				
Coordenadas				Coordenadas concatenadas
X	Y	Z		
Punto	Este	Norte	Elevación	
P1	554451.523	9717445.782		554451.523,9717445.782
P2	554476.582	9717473.831		554476.582,9717473.831
P3	554519.132	9717439.422		554519.132,9717439.422
P4	554493.291	9717406.363		554493.291,9717406.363

Elaborado por: Carriel y Veloz, (2024)

Tabla 15

Lecturas con estación total IX.

Segundo bloque de medición - Segunda manzana analizada (Estación Total)				
Coordenadas				Coordenadas concatenadas
X	Y	Z		
Punto	Este	Norte	Elevación	
P1	554476.352	9717352.542		554476.352,9717352.542
P2	554533.981	9717433.462		554533.981,9717433.462
P3	554593.223	9717386.922		554593.223,9717386.922
P4	554547.911	9717302.582		554547.911,9717302.582

Elaborado por: Carriel y Veloz, (2024)

Tabla 16

Lecturas con estación total X.

Segundo bloque de medición - Tercera manzana analizada (Estación Total)				
Coordenadas				Coordenadas concatenadas
	X	Y	Z	
Punto	Este	Norte	Elevación	
P1	554574.912	9717408.153		554574.912,9717408.153
P2	554601.852	9717391.971		554601.852,9717391.971
P3	554629.122	9717409.693		554629.122,9717409.693
P4	554608.562	9717441.632		554608.562,9717441.632

Elaborado por: Carriel y Veloz, (2024)

Tabla 17

Lecturas con estación total XI.

Segundo bloque de medición - Cuarta manzana analizada (Estación Total)				
Coordenadas				Coordenadas concatenadas
	X	Y	Z	
Punto	Este	Norte	Elevación	
P1	554567.311	9717418.342		554567.311,9717418.342
P2	554605.253	9717453.073		554605.253,9717453.073
P3	554588.812	9717479.422		554588.812,9717479.422
P4	554571.063	9717491.262		554571.063,9717491.262
P5	554538.492	9717441.052		554538.492,9717441.052

Elaborado por: Carriel y Veloz, (2024)

Tabla 18

Lecturas con estación total XII.

Segundo bloque de medición - Quinta manzana analizada (Estación Total)				
Coordenadas				Coordenadas concatenadas
	X	Y	Z	
Punto	Este	Norte	Elevación	
P1	554485.782	9717486.372		554485.782,9717486.372
P2	554525.602	9717452.312		554525.602,9717452.312
P3	554561.192	9717503.733		554561.192,9717503.733
P4	554527.601	9717529.461		554527.601,9717529.461

Elaborado por: Carriel y Veloz, (2024)

Tabla 19

Lecturas con estación total XIII.

Segundo bloque de medición - Sexta manzana analizada (Estación Total)				
Coordenadas				Coordenadas concatenadas
	X	Y	Z	
Punto	Este	Norte	Elevación	
P1	554596.552	9717567.473		554596.552,9717567.473
P2	554563.383	9717515.771		554563.383,9717515.771
P3	554534.292	9717537.182		554534.292,9717537.182
P4	554562.003	9717586.413		554562.003,9717586.413

Elaborado por: Carriel y Veloz, (2024)

Tabla 20

Lecturas con estación total XIV.

Segundo bloque de medición - Séptima manzana analizada (Estación Total)				
Coordenadas				Coordenadas concatenadas
	X	Y	Z	
Punto	Este	Norte	Elevación	
P1	554660.161	9717526.122		554660.161,9717526.122
P2	554610.803	9717479.133		554610.803,9717479.133
P3	554576.733	9717504.982		554576.733,9717504.982
P4	554611.931	9717564.822		554611.931,9717564.822

Elaborado por: Carriel y Veloz, (2024)

4.1.1.1 Interpretación de Resultados de Levantamiento con Estación Total.

De acuerdo con el análisis realizado, al momento de obtener los resultados del segundo bloque de datos se pudo concretar la comparación con los valores previamente medidos con la estación total. Las coordenadas mostradas en el segundo bloque difirieron con respecto al primero, en general, por alrededor de 1.00 mm a 3.00 mm. Esto fue congruente con la calibración del equipo y su precisión de fábrica puesto que, se conocía previamente que el fabricante proporcionaba una ficha técnica cuya especificación de precisión era de ± 1.00 mm. Esto llevó a la conclusión de que tanto el uso continuo a lo largo del tiempo como la precisión en el calado del instrumento tuvo incidencia sobre la precisión final. Sin embargo, se declaró como un rango de precisión normal y aceptable según las condiciones mostradas en campo.

4.1.1.2 RTK.

Tabla 21

Lecturas con RTK I.

Primer bloque de medición - Primera manzana analizada (RTK)				
Coordenadas				Coordenadas concatenadas
X	Y	Z		
Punto	Este	Norte	Elevación	
P1	554451.550	9717445.800		554451.55,9717445.8
P2	554476.610	9717473.840		554476.61,9717473.84
P3	554519.150	9717439.430		554519.15,9717439.43
P4	554493.310	9717406.390		554493.31,9717406.39

Elaborado por: Carriel y Veloz, (2024)

Tabla 22

Lecturas con RTK II.

Primer bloque de medición - Segunda manzana analizada (RTK)				
Coordenadas				Coordenadas concatenadas
X	Y	Z		
Punto	Este	Norte	Elevación	
P1	554476.360	9717352.570		554476.36,9717352.57
P2	554534.010	9717433.490		554534.01,9717433.49
P3	554593.240	9717386.940		554593.24,9717386.94
P4	554547.940	9717302.610		554547.94,9717302.61

Elaborado por: Carriel y Veloz, (2024)

Tabla 23

Lecturas con RTK III.

Primer bloque de medición - Tercera manzana analizada (RTK)				
Coordenadas				Coordenadas concatenadas
	X	Y	Z	
Punto	Este	Norte	Elevación	
P1	554574.930	9717408.15		554574.93,9717408.15
P2	554601.85	9717391.97		554601.85,9717391.97
P3	554629.12	9717409.69		554629.12,9717409.69
P4	554608.56	9717441.63		554608.56,9717441.63

Elaborado por: Carriel y Veloz, (2024)

Tabla 24

Lecturas con RTK IV.

Primer bloque de medición - Cuarta manzana analizada (RTK)				
Coordenadas				Coordenadas concatenadas
	X	Y	Z	
Punto	Este	Norte	Elevación	
P1	554567.340	9717418.34		554567.34,9717418.34
P2	554605.25	9717453.07		554605.25,9717453.07
P3	554588.81	9717479.42		554588.81,9717479.42
P4	554571.06	9717491.26		554571.06,9717491.26
P5	554538.49	9717441.05		554538.49,9717441.05

Elaborado por: Carriel y Veloz, (2024)

Tabla 25

Lecturas con RTK V.

Primer bloque de medición - Quinta manzana analizada (RTK)				
Coordenadas				Coordenadas concatenadas
	X	Y	Z	
Punto	Este	Norte	Elevación	
P1	554485.810	9717486.37		554485.81,9717486.37
P2	554525.60	9717452.31		554525.6,9717452.31
P3	554561.19	9717503.73		554561.19,9717503.73
P4	554527.60	9717529.46		554527.6,9717529.46

Elaborado por: Carriel y Veloz, (2024)

Tabla 26

Lecturas con RTK VI.

Primer bloque de medición - Sexta manzana analizada (RTK)				
Coordenadas				Coordenadas concatenadas
	X	Y	Z	
Punto	Este	Norte	Elevación	
P1	554596.580	9717567.47		554596.58,9717567.47
P2	554563.38	9717515.77		554563.38,9717515.77
P3	554534.29	9717537.18		554534.29,9717537.18
P4	554562.00	9717586.41		554562,9717586.41

Elaborado por: Carriel y Veloz, (2024)

Tabla 27

Lecturas con RTK VII.

Primer bloque de medición - Séptima manzana analizada (RTK)				
Coordenadas				Coordenadas concatenadas
	X	Y	Z	
Punto	Este	Norte	Elevación	
P1	554660.190	9717526.12		554660.19,9717526.12
P2	554610.80	9717479.13		554610.8,9717479.13
P3	554576.73	9717504.98		554576.73,9717504.98
P4	554611.93	9717564.82		554611.93,9717564.82

Elaborado por: Carriel y Veloz, (2024)

Al igual que se ejecutaron las mediciones con estación total, se repitieron también las mediciones con el equipo RTK. Partiendo del primer bloque de datos obtenidos de la medición topográfica con RTK se realizó una segunda medición con el mismo instrumento. El propósito de esta repetición de actividades, para el particular caso del RTK, fue comprobar el nivel de coincidencias internas bajo una misma modalidad de realización de las mediciones. Al respecto del segundo bloque de datos obtenidos, se pudieron rescatar las siguientes coordenadas:

Tabla 28

Lecturas con RTK VIII.

Segundo bloque de medición - Primera manzana analizada (RTK)				
Coordenadas				Coordenadas concatenadas
	X	Y	Z	
Punto	Este	Norte	Elevación	
P1	554451.540	9717445.790		554451.54,9717445.79
P2	554476.610	9717473.840		554476.61,9717473.84
P3	554519.160	9717439.450		554519.16,9717439.45
P4	554493.310	9717406.380		554493.31,9717406.38

Elaborado por: Carriel y Veloz, (2024)

Tabla 29

Lecturas con RTK IX.

Segundo bloque de medición - Segunda manzana analizada (RTK)				
Coordenadas				Coordenadas concatenadas
	X	Y	Z	
Punto	Este	Norte	Elevación	
P1	554476.380	9717352.570		554476.38,9717352.57
P2	554534.010	9717433.490		554534.01,9717433.49
P3	554593.250	9717386.940		554593.25,9717386.94
P4	554547.940	9717302.600		554547.94,9717302.6

Elaborado por: Carriel y Veloz, (2024)

Tabla 30

Lecturas con RTK X.

Segundo bloque de medición - Tercera manzana analizada (RTK)				
Coordenadas				Coordenadas concatenadas
	X	Y	Z	
Punto	Este	Norte	Elevación	
P1	554574.920	9717408.160		554574.92,9717408.16
P2	554601.860	9717392.000		554601.86,9717392
P3	554629.140	9717409.710		554629.14,9717409.71
P4	554608.590	9717441.660		554608.59,9717441.66

Elaborado por: Carriel y Veloz, (2024)

Tabla 31

Lecturas con RTK XI.

Segundo bloque de medición - Cuarta manzana analizada (RTK)				
Coordenadas				Coordenadas concatenadas
	X	Y	Z	
Punto	Este	Norte	Elevación	
P1	554567.330	9717418.370		554567.33,9717418.37
P2	554605.270	9717453.090		554605.27,9717453.09
P3	554588.830	9717479.450		554588.83,9717479.45
P4	554571.080	9717491.280		554571.08,9717491.28
P5	554538.520	9717441.060		554538.52,9717441.06

Elaborado por: Carriel y Veloz, (2024)

Tabla 32

Lecturas con RTK XII.

Segundo bloque de medición - Quinta manzana analizada (RTK)				
Coordenadas				Coordenadas concatenadas
	X	Y	Z	
Punto	Este	Norte	Elevación	
P1	554485.800	9717486.390		554485.8,9717486.39
P2	554525.620	9717452.340		554525.62,9717452.34
P3	554561.220	9717503.760		554561.22,9717503.76
P4	554527.630	9717529.470		554527.63,9717529.47

Elaborado por: Carriel y Veloz, (2024)

Tabla 33

Lecturas con RTK XIII.

Segundo bloque de medición - Sexta manzana analizada (RTK)				
Coordenadas				Coordenadas concatenadas
	X	Y	Z	
Punto	Este	Norte	Elevación	
P1	554596.580	9717567.500		554596.58,9717567.5
P2	554563.390	9717515.790		554563.39,9717515.79
P3	554534.320	9717537.210		554534.32,9717537.21
P4	554562.020	9717586.440		554562.02,9717586.44

Elaborado por: Carriel y Veloz, (2024)

Tabla 34

Lecturas con RTK XIV.

Segundo bloque de medición - Séptima manzana analizada (RTK)				
Coordenadas				Coordenadas concatenadas
	X	Y	Z	
Punto	Este	Norte	Elevación	
P1	554660.180	9717526.140		554660.18,9717526.14
P2	554610.820	9717479.150		554610.82,9717479.15
P3	554576.750	9717505.010		554576.75,9717505.01
P4	554611.940	9717564.850		554611.94,9717564.85

Elaborado por: Carriel y Veloz, (2024)

4.1.1.2.1 Interpretación de Resultados de Levantamiento con RTK.

De acuerdo con el análisis realizado, al momento de obtener los resultados del segundo bloque de datos se pudo concretar la comparación con los valores previamente medidos con equipo RTK. Las coordenadas mostradas en el segundo bloque difirieron con respecto al primero, en general, por alrededor de 1.00 cm a 3.00 cm. Esto fue congruente con la precisión de fábrica puesto que, se conocía previamente que el fabricante proporcionaba una ficha técnica cuya especificación de precisión era de ± 3.00 cm. Esto llevó a la conclusión de que dado el tiempo de uso relativamente corto del RTK desde que se compró, los rangos de precisión del equipo se han mantenido dentro del rango especificado por el fabricante. Por ello, se declaró como un rango de precisión normal y aceptable según las condiciones mostradas en campo.

Como dato de cierre en este apartado, fue necesario el registro del tiempo empleado para realizar la planimetría con las repeticiones incluidas el cual fue de 1/2 jornada laborable (6 horas) para el RTK, mientras que para la estación total las mediciones tomaron 1 día y medio laborables (14 horas) para la estación total.

4.1.2 Resultados de la Presupuestación

Los valores correspondientes a las actividades realizadas fueron registradas considerando los valores actuales de mercado extraoficiales, es decir, a boca de los proveedores. Esto permitió generar un presupuesto de tal forma que en la casilla “cantidad” colocaron valores de acuerdo con los días que fueron utilizados los equipos, es decir, en el caso de la estación total al haber sido usada durante 2 días, la casilla “cantidad” en su tabla de valores tendrá la cantidad 2.

Tabla 35

Bitácora valorada registrada para ESTACIÓN TOTAL.

Bitácora valorada de procedimientos (ESTACION TOTAL)					
Codigo	Rubro	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Subtotal
001	Alquiler ESTACION TOTAL	und	2.00	40.00	80.00
002	Cadenero	und	2.00	25.00	50.00
003	Combustible	gal	14.55	2.75	40.00
004	Alimentación	und	8.00	3.00	24.00
				Subtotal	194.00
				Costos indirectos (22%)	42.68
				Total	236.68

Nota:

Son DOSCIENTOS TREINTA Y SEIS CON SESENTA Y OCHO dólares de los Estados Unidos de América.

Valores referenciales a fecha 21/JULIO/2024.

Precio no incluye I.V.A.

Elaborado por: Carriel y Veloz, (2024)

Tabla 36

Bitácora valorada registrada para RTK.

Bitácora valorada de procedimientos (RTK)					
Código	Rubro	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Subtotal
001	Alquiler RTK	und	1.00	90.00	90.00
002	Cadenero	und	1.00	25.00	25.00
003	Combustible	gal	7.27	2.75	20.00
004	Alimentación	und	4.00	3.00	12.00
				Subtotal	147.00
				Costos indirectos (22%)	32.34
				Total	179.34

Nota:
 Son CIENTO SETENTA Y NUEVE CON TREINTA Y CUATRO dólares de los Estados Unidos de América.
 Valores referenciales a fecha 21/JULIO/2024.
 Precio no incluye I.V.A.

Elaborado por: Carriel y Veloz, (2024)

Estos resultados fueron el producto de llevar un registro de actividades junto con su respectivo valor de costo económico. Para ello se realizó una hoja de ruta en borrador donde se detallaron las actividades con su correspondiente orden jerárquico para completar el registro y posteriormente ejecutarlas en campo. Cabe recalcar que para este levantamiento, en una obra de ingeniería habitualmente se consideran los costes de un cadenero que constituye el personal de apoyo para sostener el instrumentos prisma que es parte del equipo ESTACIÓN TOTAL. Por otro lado, el RTK no requiere este tipo de apoyo puesto que el topógrafo puede realizar el levantamiento de los puntos controlando él mismo el instrumento ROVER que es parte del equipo RTK.

Sin embargo, habitualmente se necesita de personal de apoyo para la realizar las laborales de topografía en otros aspectos como, por ejemplo, un chofer. Por ello se incluyó en ambas valoraciones el precio habitual por jornada laboral que se maneja de forma extraoficial por parte de proveedores.

4.1.3 Resultados de la Representación Gráfica

Figura 20

Plano general comparativo de ambas técnicas de levantamiento topográfico.



Elaborado por: Carriel y Veloz, (2024)

4.1.3.1 Interpretación de la Representación Gráfica.

Se realizó una superposición de las coordenadas, tanto aquellas que fueron tomadas por el equipo RTK como con la estación total. Ante ello, se pudo observar que a simple vista no se nota una diferencia considerable y que prácticamente los perímetros se confunden cuando la escala aumenta. Las diferencias solo son visibles virtualmente en el programa AutoCAD al hacer un zoom lo suficientemente cercano para poder observar el desfase de líneas existentes.

Los planos resultado de esta representación de las mensuras realizadas han sido clasificados en el orden de la medición realizada en la sección de anexos.

4.2 Propuesta

4.2.1 Análisis Comparativo

El análisis comparativo que se presenta en esta sección es un método utilizado para evaluar y contrastar dos o más elementos, sistemas, procesos, datos, o fenómenos, con el fin de identificar similitudes, diferencias y relaciones entre ellos. Este análisis se utilizó como una herramienta para proporcionar datos generales y relevantes a manera de principios a tener en cuenta y considerar seriamente al momento de realizar un levantamiento topográfico.

Tabla 37

Análisis comparativo de propuesta.

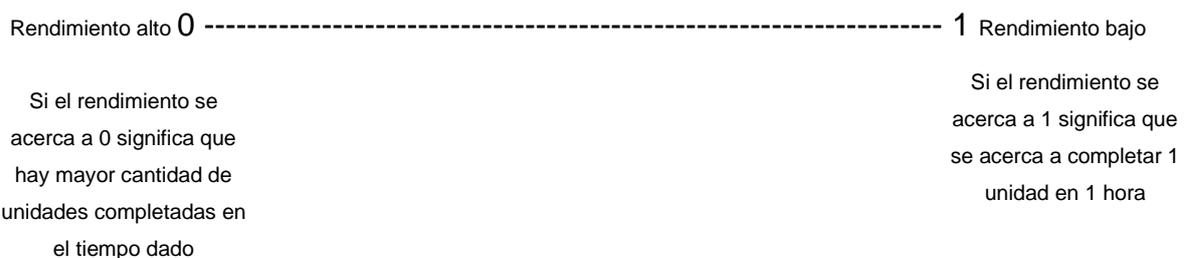
Análisis Comparativo		
Criterio	ESTACION TOTAL	RTK
Tiempo	14 horas	6 horas
Precisión	Precisión \pm 3 mm	Precisión \pm 3 cm
Costo	\$40/día	\$90/día
Area barrida	70 000 m ²	70 000 m ²
Rendimiento	0.00020	0.00009

Elaborado por: Carriel y Veloz, (2024)

El propósito del análisis comparativo girará en torno a la identificación de patrones al comparar diferentes equipos de levantamiento topográfico como la ESTACIÓN TOTAL y el RTK. También se enfocará el análisis a la evaluación de la eficiencia al comparar estas dos técnicas diferentes para determinar cuál es más eficiente o efectiva. Además, al proveer esta información se pretende generar unas mejores tomas de decisiones Informadas a los lectores ya que, el análisis proporciona una base sólida para tomar decisiones basadas en datos y evidencias.

Los valores de rendimiento fueron calculados dividiendo el número de horas trabajadas sobre la cantidad de área barrida con cada instrumento, es decir, para el caso de la estación total la fórmula fue $8/15000 = 0.00053$, mientras que para el RTK fue $8/70000 = 0.00011$. Estos valores de rendimiento son importantes considerando que al momento de presupuestar se realizan los conocidos análisis de precio unitario y se trabaja con un valor global de rendimiento para el rubro “topografía”. Con este valor se pueden calcular el resto de los valores monetarios de equipos y mano de obra. Algo de suma relevancia al momento de gestionar proyectos de construcción.

La manera en la que la fórmula está estructurada indica que para un valor de rendimiento más bajo se obtiene una mejor ganancia. Esto se debe a que el rendimiento está en función del tiempo: **rendimiento = horas/unidades**.



CONCLUSIONES

- Mediante el desarrollo de las labores de campo y el levantamiento topográfico realizado se logró completar el objetivo específico primero. La precisión observada en campo de acuerdo con las condiciones climáticas y los instrumentos utilizados brindó la facilidad de generar inferencias a las observaciones realizadas y permitió generar un esbozo anticipado de la planimetría del post-proceso. Los instrumentos contaron con monitores gráficos para mostrar la medición de los puntos, de manera que se logró observar empíricamente la precisión de ambos en tiempo real de acuerdo con sus propias mediciones. Esto se logró al medir cada punto un mínimo de dos veces y realizar comparación directa de los resultados reflejados en pantallas por los instrumentos electrónicos.
- Por su parte, el objetivo segundo fue alcanzado mediante el registro riguroso de las actividades de campo junto con la asignación económica/monetaria que se les dieron. Esto permitió generar luego un presupuesto ajustado a la perspectiva del topógrafo para la realización del trabajo de campo, es decir, no fue un presupuesto referencial habitual por consultoría, sino más bien se intentó brindar al topógrafo una referencia económica del valor monetario que se requieren en las labores descritas en la presente investigación.
- Mediante el uso del programa AutoCAD y el complemento operativo de Microsoft Excel se logró procesar la información recopilada de manera que se pudo generar información gráfica georreferenciada. Los resultados fueron planos que constituyeron un producto para ser la base de un análisis comparativo posterior y de esta forma poder llegar a cumplir el objetivo general.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda revisar presupuestos de consultorías de contratación pública para realizar un análisis comparativo propio del presupuesto elaborado en esta investigación con los costos de las labores topográficas a nivel de derecho público. Esto permitiría a lectores especializados a poder dimensionar el costo-beneficio de la actividad de topografía.
- Se recomienda revisar información georreferenciada de entes locales como GAD municipales o en su defecto levantamientos realizados por el IGM para mejorar los cuadros comparativos de ser el caso que se pretendan replicar los resultados observados en la presente investigación.
- Se recomienda ampliar la información contenida en esta investigación para generar una base para la actualización catastral en beneficio de la comuna Engabao, la cual al ser un territorio regido bajo leyes específicas dentro del ordenamiento territorial para el efecto, no forman parte del alcance de las gestiones en cuestión de catastro por parte del GAD municipal de Playas.

BIBLIOGRAFÍA

- Andrade Valle, A. I., y Arellano Escobar, K. M. (2020). *Evaluación del nivel de uso de Building Information Modeling (BIM) en la fase de planificación y diseño en la industria Architecture, Engineering & Construction (AEC) del Ecuador*. Universidad Nacional de Chimborazo.
- Argibay, J. C. (2009). *Muestra en investigación cuantitativa*. SciELO:
http://www.scielo.org.ar/scielo.php?pid=S1852-73102009000100001&script=sci_arttext&tIng=en
- Baque Solís, J. E., Cuadrado Torres, L. M., y Palacios Paredes, B. G. (2022). *Análisis comparativo topográfico sobre levantamientos altimétricos con RTK GNSS, Estación Total y Drone en Manta*. Dialnet:
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9227632>
- Bejarano Velásquez, J. D., y Palomino Cedeño, J. F. (2022). *Análisis comparativo del levantamiento fotogramétrico y estación total en el diseño geométrico de la carretera de evitamiento progresiva 0+000 al 3+837.26 KM - Otuzco, La Libertad, Perú 2021*. Repositorio de Tesis - Universidad Privada Antenor Orrego: <https://repositorio.upao.edu.pe/handle/20.500.12759/9003>
- Belette Fuentes, O., Maceo Marcheco, A., y Batista Legrá, Y. E. (2021). *Determinación de la red óptima de levantamiento topográfico con estación total para el cálculo de volumen*. Revista Topográfica Azimut:
<https://revistas.udistrital.edu.co/index.php/azimut/article/view/13091>
- Berné Valero, J. L., Garrido Villén, N., y Capilla Roma, R. (2023). *GNSS. Geodesia espacial y Geomática*. Repositorio Institucional UPV:
<https://riunet.upv.es/handle/10251/193985>
- Cabada Quiliche, J. J. (2019). *Evaluación de precisión y costo en un levantamiento topográfico con estación total y aeronave pilotada remotamente (RPA-DRON) en el centro poblado Cashapampa – Cajamarca 2018*. Repositorio Institucional - UPN: <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/22186>
- Casal, J., y Mateu, E. (2003). *Tipos de muestreo*. Epidem:
https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/55524032/TiposMuestreo1-libre.pdf?1515813042=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DTIPOS_DE_MUESTREO.pdf&Expires=1

722233963&Signature=TD8asY18Y0QvcUzZJfTWd~koGesL2M9pGNE6Y4~
MPlll3stFHVUMV6cuXpljghx61Dvk8-

Correa Perdomo, A. (2022). *Prácticas de topografía: Guía didáctica*. Universidad de La Salle:

https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1026&context=eduni_salle_ciencias-basicas-ingenieria

García Díaz, J., Acosta Gutiérrez, R., y Rodríguez Roche, E. (2023). Inteligencia artificial y sistemas expertos en la geodesia. *Revista Cubana de Geometría*.

García García, B. E. (2019). *La importancia de la topografía en la construcción de puentes vehiculares*. RI-UNICACH:

<https://repositorio.unicach.mx/handle/20.500.12753/2451>

Guevara Díaz, M. R. (2021). *Comparación de precisión de levantamiento topográfico con la estación total y el dron en el tramo de la carretera caserío los Quispes al C.P. la Granja del distrito de Querocoto, provincia de Chota, departamento de Cajamarca*. Repositorio de Tesis - USAT:

<https://tesis.usat.edu.pe/handle/20.500.12423/4546>

Hagó González, J. S. (2023). *Evaluación del desempeño de la pila del puente a desnivel que conecta la Av. Juan Tanca Marengo con la av. Gómez Gault, ubicado en Guayaquil*. Universidad de Guayaquil - Facultad de Ciencias Matemáticas y Físicas - Carrera de Ingeniería Civil.

Herrera Coterá, Y., y Montejó Cabrera, M. (2019). Metodología para el empleo de estaciones totales de la serie Leica TPS 800 en trazados y estudios geométricos de obras viales. *INGENIERÍA: Ciencia, Tecnología e Innovación*.

Hinostroza Quijada, P. S. (2021). *Evaluación de errores máximos permisibles entre levantamiento topográfico empleando dron y sistema de posicionamiento global diferencial*. Repositorio Institucional - UPLA:

<https://repositorio.upla.edu.pe/handle/20.500.12848/2073>

Huỳnh Duy Bảo, N. (2019). *Manual para la aplicación de sistemas GPS y estación total en las Empresas del Sector de la Construcción en la Provincia de Matanzas*. Repositorio Institucional de la Universidad de Matanzas:

<https://rein.umcc.cu/handle/123456789/3442>

Lasluisa Quishpe, L. J., y Meneses Rodríguez, J. F. (2022). *Topografía práctica para estudiantes de ingeniería civil*. Repositorio Nacional - PUCE:

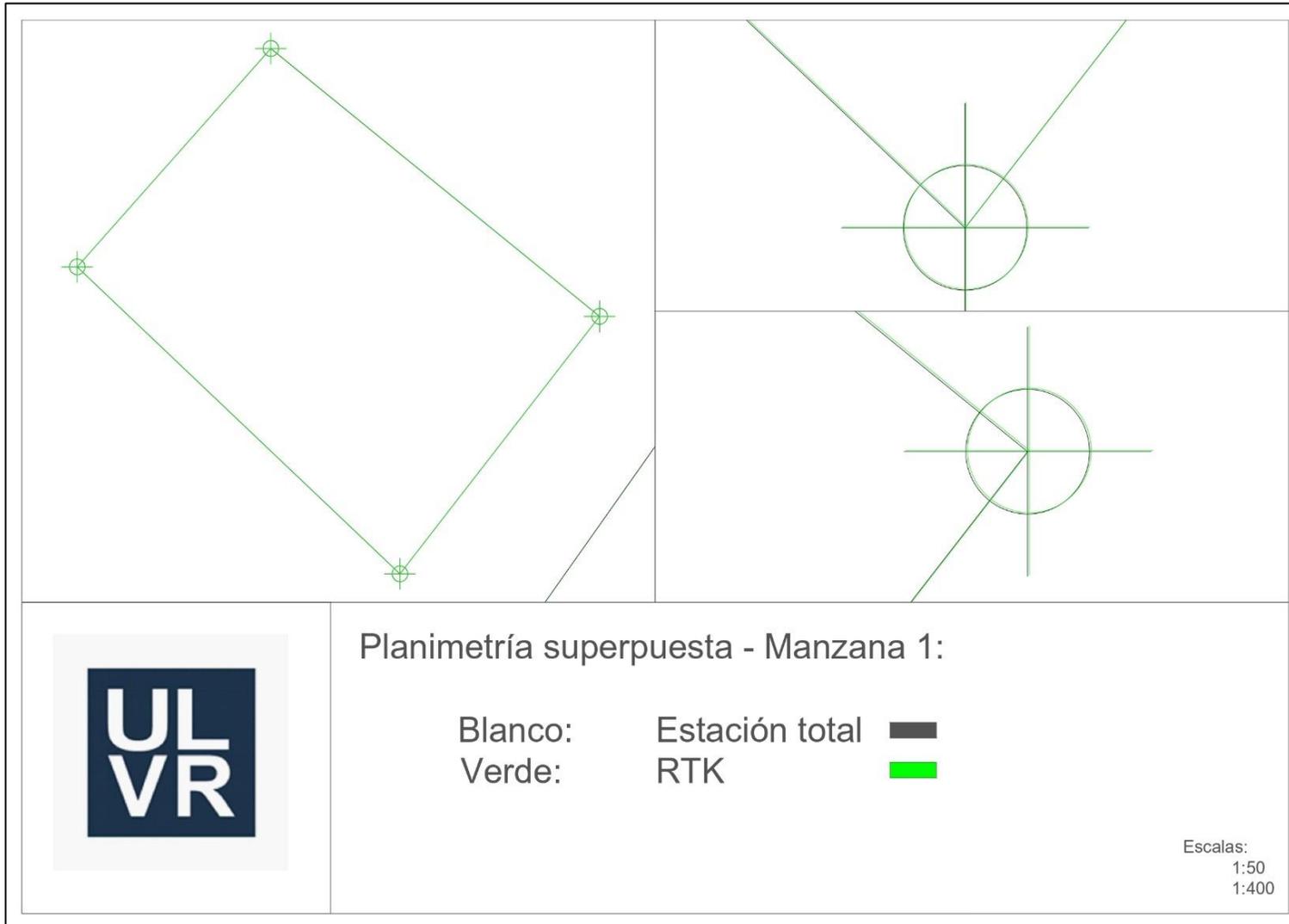
<https://repositorio.puce.edu.ec/items/cf81721b-5000-4ab2-b6cd-5b2699cb1936>

- Machado Júnior, J. (2022). *Topografía Básica en Español*. Recife.
- Mackern, M. V. (2022). LAS ESTACIONES PERMANENTES GNSS, UN GRAN PARADIGMA EN LA GEODESIA. Una mirada desde Argentina y América Latina, en los últimos 30 años. *Geoacta*.
- Moyano, J., Cenci, K., y Ardenghi, J. (2020). *Arquitectura Cliente-Servidor de Alto Rendimiento para servicio RTK*. Repositorio Institucional de la UNLP - SEDICI: <https://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/114094>
- Ochoa, J., y Yunkor, Y. (2021). *El estudio descriptivo en la investigación científica*. Repositorio PUCP: <http://201.234.119.250/index.php/ajp/article/view/224>
- Ojeda Molina, F. A. (2023). *Estudio comparativo entre la topografía clásica con estación total y la fotogrametría digital mediante vehiculos aereos no tripulados (VANT) en minería a cielo abierto*. Dirección de Bibliotecas - Universidad de Concepción: <http://repositorio.udec.cl/handle/11594/11127>
- Oropeza Julcarima, J. (2023). *Análisis comparativo de productos cartográficos elaborados a escala grande, obtenidos mediante fotogrametría con RPAS y topografía con tecnología GNSS - RTK*. Universidad Nacional Mayor de San Marco:
<https://cybertesis.unmsm.edu.pe/backend/api/core/bitstreams/07fda774-7c68-4141-9d31-989b12e64e35/content>
- Oyarvide Cornejo, N. A., & Ramírez Jalca, F. O. (2023). *Análisis comparativo de sistemas NTRIP y fotogrametría para el catastro de la comuna Engabao*. Repositorio Digital ULVR: <http://repositorio.ulvr.edu.ec/handle/44000/6645>
- Palma Plaza, D. A., y Ortiz Muñoz, V. M. (2023). *Aplicación de la Metodología Lean Construction en el Diagnostico de Desperdicios de Materiales de Construcción para las Viviendas de Interés Social en El Canton Babahoyo*. Universidad de Guayaquil - Facultad de Ciencias Matemáticas y Físicas - Carrera de Ingeniería Civil.
- Pedraza Santos, A. (2019). *Análisis comparativo del levantamiento topográfico tradicional y el levantamiento topográfico con RPAS en la Huaca Aznapuquio, Los Olivos - 2019*. Universidad César Vallejo - Repositorio Digital Institucional: <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/36819>

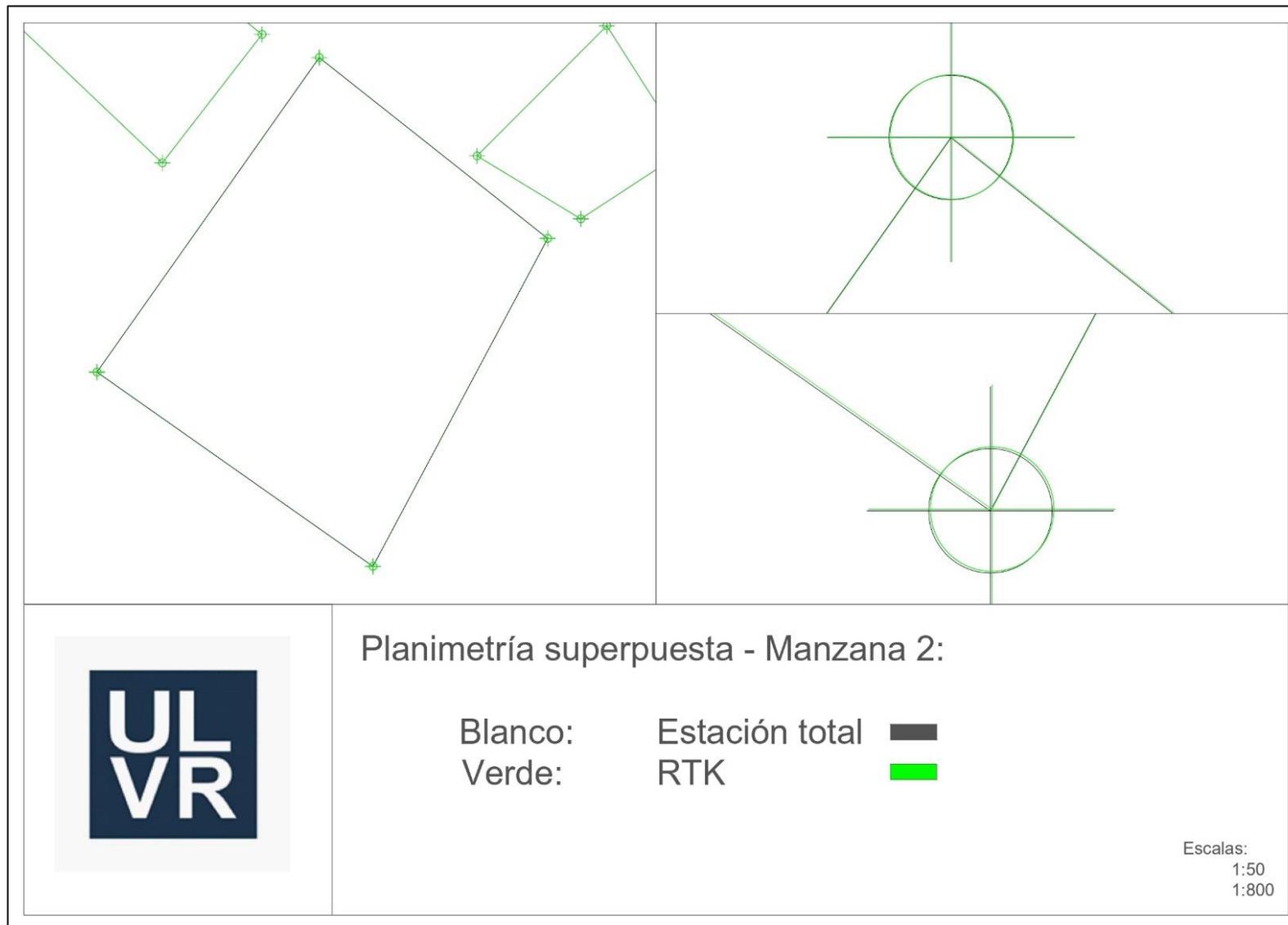
- Peña Ortega, L. C., y Serpa Calderón, M. J. (2023). *“Propuesta de diseño geométrico para el mejoramiento del intercambiador de tránsito del sector de Chacapamba, de la ciudad de Azogues”*. Universidad Católica de Cuenca.
- Pérez Díaz, J. L., Cabrera Madrid, J. A., Godínez Domínguez, E. A., y Henánadez Valencia, L. (2021). ELEMENTOS DE CARTOGRAFÍA Y GEODESIA PARA INGENIEROS CIVILES. *Pakbal*. Revista Digital Pakbal.
- Pérez, J., Rito Goncalves, G., y Montilla Galván, J. (2022). *Análisis comparativo del levantamiento del terreno mediante UAS y topografía clásica en proyectos de trazado de carreteras*. Informes de la Construcción:
<https://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es/index.php/informesdelaconstruccion/article/view/6122>
- Pinto, S. (2019). *LEVANTAMIENTO TOPOGRAFICO CON RTK*. Repositorio Institucional - Univeridad Distrital Francisco José de Caldas:
<https://repository.udistrital.edu.co/items/a9336464-3d12-455f-8170-2716c9691e2d>
- Ruíz Medina, M. I., Borboa Quintero, M. d., y Rodríguez Valdez, J. C. (2013). *El enfoque mixto de investigación en los estudios fiscales*. Dialnet:
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7325416>
- Stalliviere Corrêa, I. C. (2021). *Topografía Aplicada a Ingeniería Civil*. Instituto de Geociencias - Universidad Federal de Río Grande Do Sul.
- Suarez Camacho, C. (2022). *Topografía automatizada aplicada en el control de obras civiles para el montaje del nuevo tanque de almacenamiento de nahs para la planta moly, proyecto “optimización de planta de procesos en la minera mmg las bambas”, región apurímac*. Repositorio Institucional de la Universidad Peruana del Centro:
<https://repositorio.upecen.edu.pe/handle/20.500.14127/306>
- Urteaga Montoya, J. A. (2021). *Evaluación técnica económica del levantamiento topográfico con estación total, GPS diferencial y dron, para el análisis geométrico de la carretera Baños del Inca – Otuzco, Cajamarca 2020*. Repositorio Institucional UPN:
<https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/30529>
- Vargas Vargas, W. E. (2023). *Topografía*.

ANEXOS

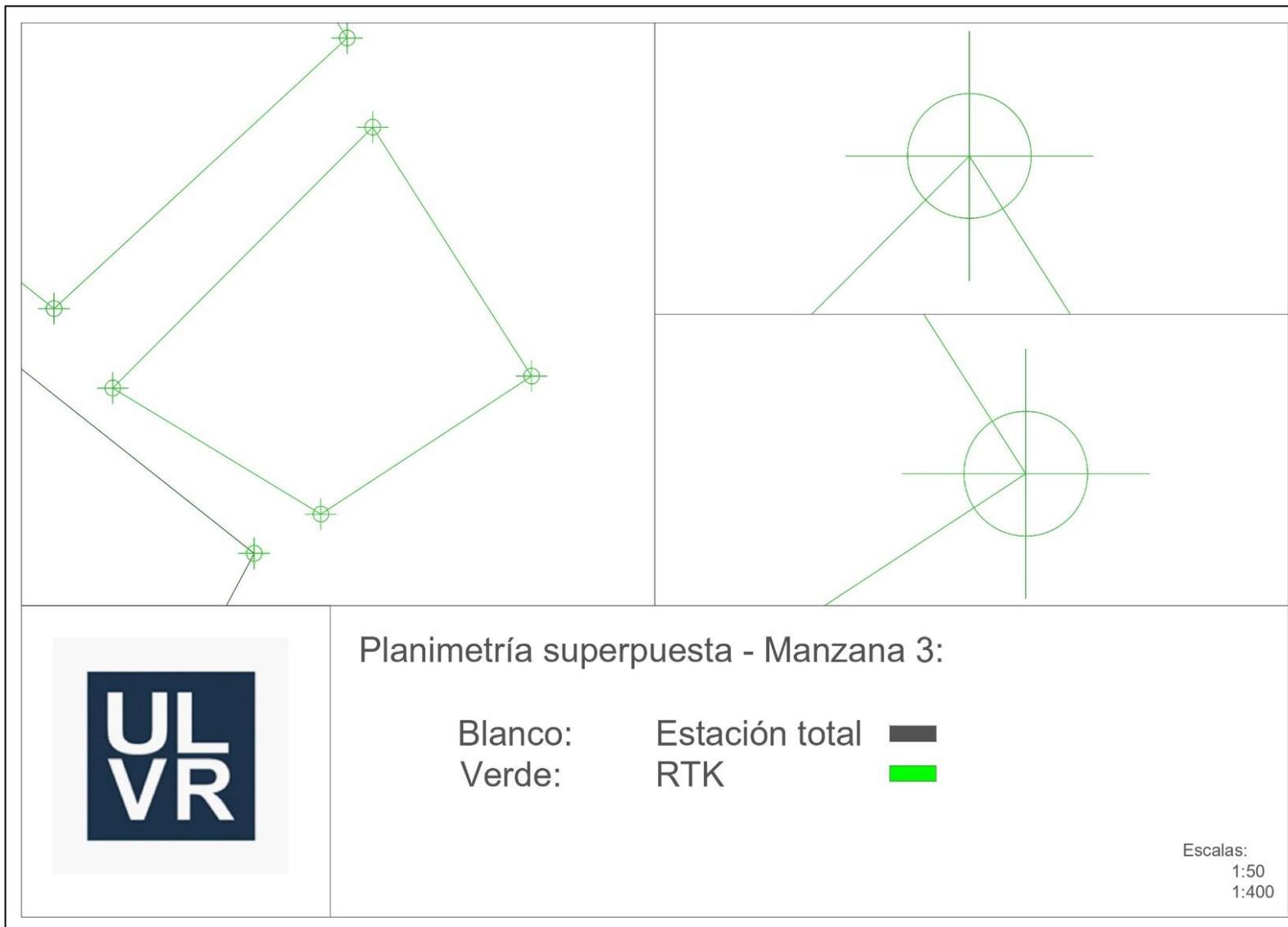
Anexo 1: Planimetría superpuesta – Manzana 1.



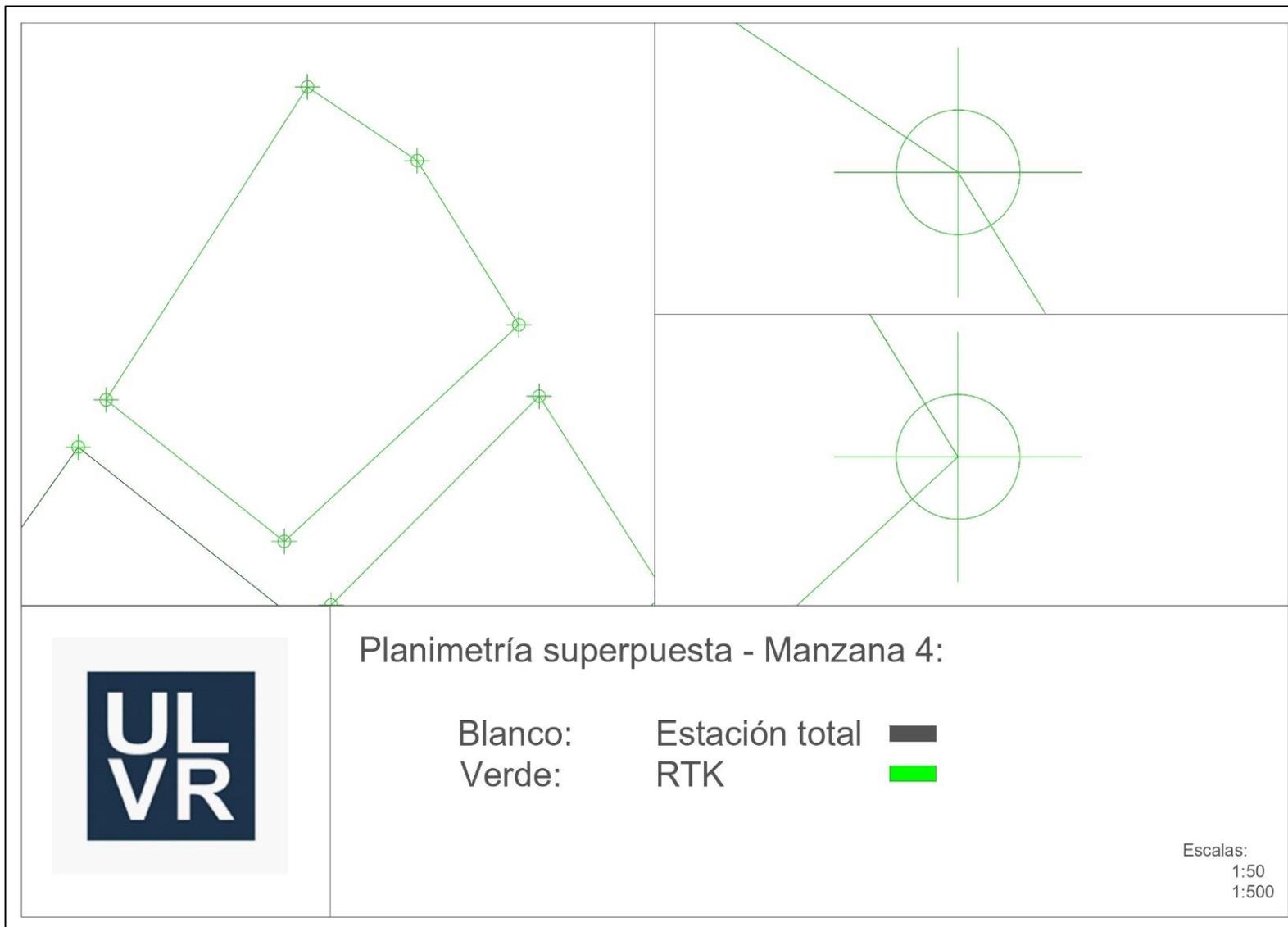
Anexo 2: Planimetría superpuesta – Manzana 2.



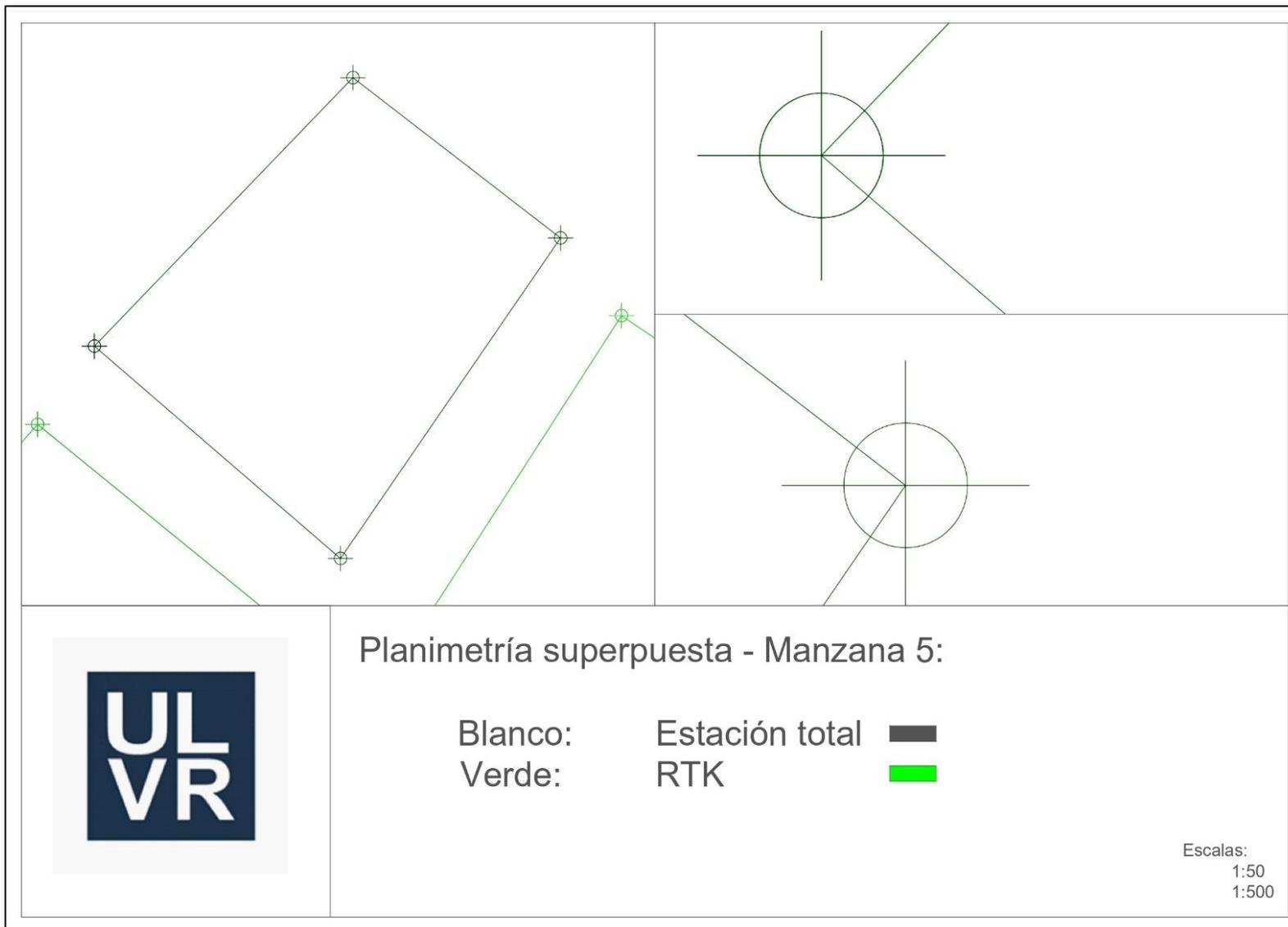
Anexo 3: Planimetría superpuesta – Manzana 3.



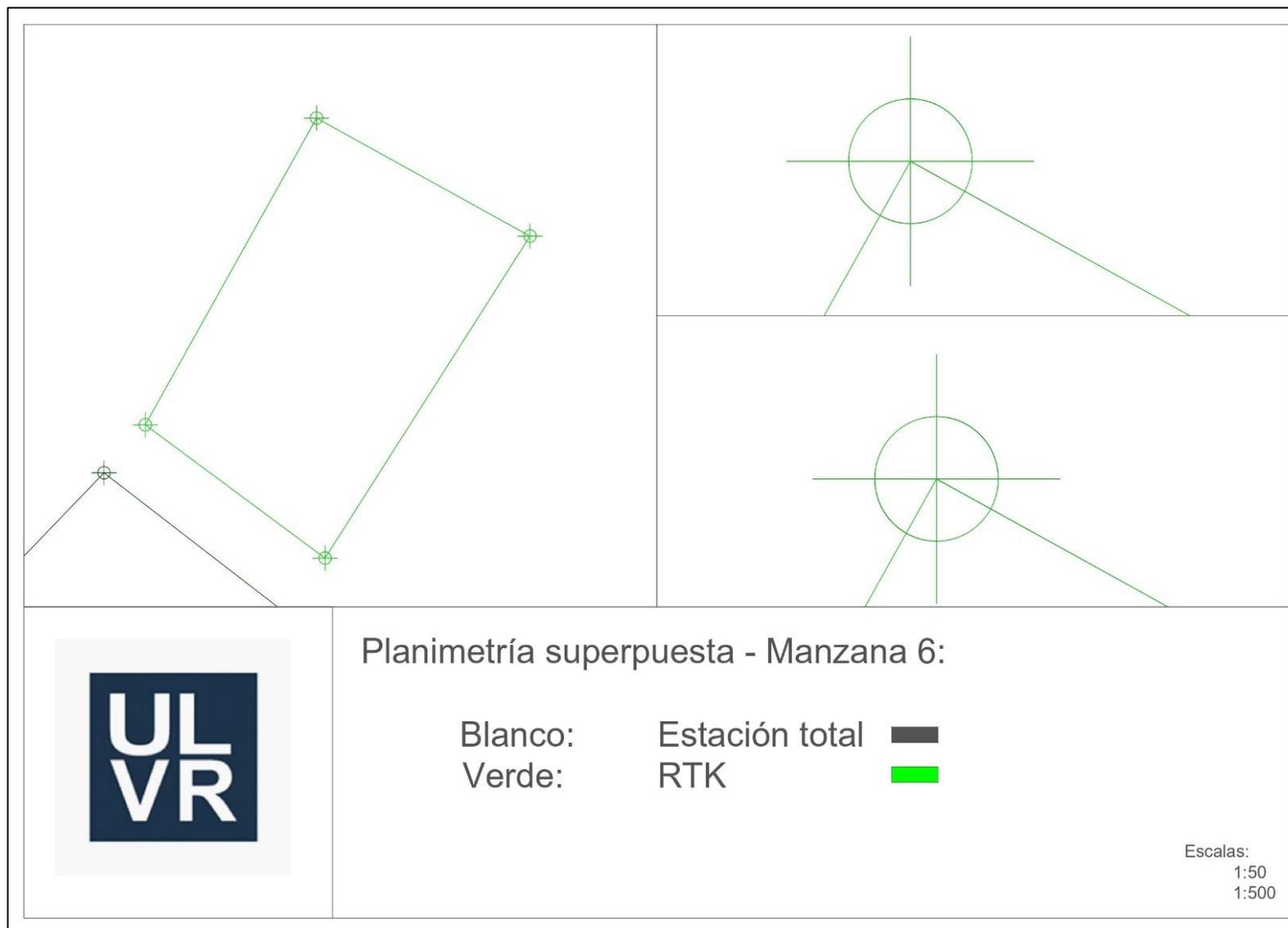
Anexo 4: Planimetría superpuesta – Manzana 4.



Anexo 5: Planimetría superpuesta – Manzana 5.



Anexo 6: Planimetría superpuesta – Manzana 6.



Anexo 7: Planimetría superpuesta – Manzana 7.

