

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL  
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
SECCIÓN INGENIERIA CIVIL**



**CURSO DE ESPECIALIZACIÓN EN POSICIONAMIENTO POR SATÉLITE Y  
TOPOGRAFÍA MODERNA**

**ESTUDIO ANALÓGICO, TÉCNICO, ECONÓMICO Y OPERATIVO DE LOS  
SISTEMAS GNSS Y ESTACIONES TOTALES, PARA LEVANTAMIENTOS  
TOPOGRAFICOS**

**PARA OPTAR AL GRADO ACADÉMICO DE:**

**INGENIERIA CIVIL**

**PRESENTADO POR:**

**BR. RICARDO JOSUÉ MAJANO LOVO N.º CARNET ML13003**

**DOCENTE ASESOR:**

**ING WILFREDO AMAYA ZELAYA**

**NOVIEMBRE DE 2023**

**SAN MIGUEL, EL SALVADOR, CENTROAMÉRICA**

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**

**AUTORIDADES**



**RECTOR:**

MSC. JUAN ROSA QUINTANILLA

**VICERRECTOR ACADÉMICO**

DR. EVELYN BEATRIZ FARFÁN

**VICERRECTOR ADMINISTRATIVO**

MSC. ROGER ARMANDO ARIAS

**SECRETARIO GENERAL**

ING. FRANCISCO ALARCÓN

**DEFENSOR DE LOS DERECHOS UNIVERSITARIO**

LICDO LUIS ANTONIO MEJIA LIPE

**FISCAL GENERAL**

LICDO. RAFAEL ANTONIO PEÑA MARIN

**FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL**

**AUTORIDADES**



**DECANO**

MSC. CARLOS IVAN HERNÁNDEZ FRANCO

**VICEDECANA**

DRA. NORMA AZUCENA FLORES RETANA

**SECRETARIO**

**DIRECTOR GENERAL DE PROCESOS DE GRADO**

**DIRECTOR DE LA ESCUELA O JEFE DE DEPARTAMENTO**

ING. RIGOBERTO LOPEZ

**COORDINADOR GENERAL DE PROCESOS DE GRADO**

ING MILAGRO DE MARIA ROMERO DE GARCIA

## Contenido

Estudio Analógico, Técnico, Económico y Operativo de los Sistemas GNSS y Estación Total, Para levantamientos Topográficos.....	6
Resumen.....	6
Abstrac.....	8
Introducción.....	9
Metodología.....	11
Desarrollo.....	12
Referentes Conceptuales Básicos de El Sistema Global de Navegación por Satélite (GNSS), Real-Time Kinematic (RTK), y Estación Total, Así Como Sus Características, Ventajas y Desventajas.....	12
El Sistema Global de Navegación por Satélite (GNSS) .....	12
Real-Time Kinematic (RTK).....	13
El GNSS (Sistema Global de Navegación por Satélite) y el RTK (Cinemática en Tiempo Real).....	13
La Estación Total .....	15
Analogías técnicas entre GNSS usando el método RTK Y Estación Total .....	16
Analogía Económica.....	17
Factores que influyen en la medición GNSS y Estación Total. ....	21
Analogía de precisión y tiempo de la Estación total y el GNSS utilizando el método RTK.....	24
Entrevista .....	28
Precisión y exactitud .....	28
Costos y eficiencia económica .....	29
Operatividad y versatilidad. ....	30
Capacidades y limitaciones .....	31
Experiencia de usuario .....	32
Matriz de evaluación .....	34
Hallazgos.....	35
Criterios técnicos.....	35
Criterios Económicos:.....	36
Criterios Operativos.....	36
Conclusiones.....	37
Recomendaciones.....	39
Glosario de Palabras .....	40
Referencias.....	42

**Índice de tablas.**

**TABLA 1** ERROR DE DIRECCIÓN Y DISTANCIA ESTACIÓN TOTAL..... 27

**TABLA 2** ERROR HORIZONTAL ..... 27

**TABLA 3** MATRIZ DE EVALUACIÓN QUE PONDERA LOS CRITERIOS TÉCNICOS, ECONÓMICOS, CALIDAD DE SEÑALES Y OPERATIVOS..... 34

## **Estudio Analógico, Técnico, Económico y Operativo de los Sistemas GNSS y Estación Total, Para levantamientos Topográficos.**

### **Resumen.**

Este documento establece una analogía entre los sistemas GNSS (Sistema Global de Navegación por Satélite) y las Estaciones Totales, centrándose en el análisis de los aspectos siguientes; la precisión, el costo y los factores determinantes para la elección del sistema más apropiado, para el logro de los objetivos en un levantamiento topográfico. Ambos sistemas poseen capacidades similares para realizar un levantamiento; sin embargo, presentan diferencias significativas en términos de precisión, velocidad de medición, alcance de medición y resistencia a condiciones climáticas adversas.

En la perspectiva anterior, el perfil de ambos sistemas permite hacerse el siguiente planteamiento de interés profesional: La ausencia o insuficiencia de conocimientos analógicos precisos para seleccionar el sistema GNSS o Estación Total, les dificulta a los profesionales de la ingeniería la toma de decisiones fundamentadas para elegir la mejor opción de acuerdo con los requerimientos de sus proyectos. La afirmación previa invita a formular el siguiente cuestionamiento: ¿Cómo afecta a los profesionales de la ingeniería la toma de decisiones, con poco o ningún fundamento, para seleccionar un equipo GNSS o Estación Total para llevar a cabo sus proyectos?

Desde una perspectiva económica y técnica se sugiere que, aunque los sistemas GNSS requieren una inversión inicial más alta que los de Estación Total, pueden ser más rentables a largo plazo, debido a sus menores costos de mantenimiento y reparación, así como a su mayor valor de reventa; sin embargo, la elección de uno u otro sistema tiene que basarse en más de dos factores,

incluyendo aspectos operativos, las condiciones del terreno, la necesidad de precisión y la capacidad para manejar obstrucciones, principalmente.

**Palabras clave:** Sistema Global de Navegación por Satélite (GNSS); Real-Time Kinematic (RTK); Estación Total; Estudio Analógico.

**Abstrac.**

This document establishes an analogy between GNSS (Global Navigation Satellite System) and Total Stations, focusing on the analysis of the following aspects: accuracy, cost, and determining factors for choosing the most appropriate system to achieve the objectives in a topographic survey. Both systems have similar capabilities to carry out a survey; however, they present significant differences in terms of accuracy, measurement speed, measurement range, and resistance to adverse weather conditions.

From the previous perspective, the profile of both systems allows the following professional interest statement: The absence or insufficiency of precise analog knowledge to select the GNSS or Total Station system makes it difficult for engineering professionals to make informed decisions to choose the best option according to the requirements of their projects. The previous statement invites to formulate the following question: How does the decision-making of engineering professionals, with little or no foundation, to select a GNSS or Total Station equipment to carry out their projects affect them?

From an economic and technical perspective, it is suggested that, although GNSS systems require a higher initial investment than Total Station systems, they can be more profitable in the long term, due to their lower maintenance and repair costs, as well as their higher resale value; however, the choice of one system or another has to be based on more than two factors, including operational aspects, terrain conditions, the need for accuracy, and the ability to handle obstructions, mainly.

**Keywords:** Global Navigation Satellite System (GNSS); Real-Time Kinematic (RTK); Total Station; Analog Study.



## **Introducción.**

Con propósitos topográficos, la elección entre el uso de Sistemas GNSS (Sistema Global de Navegación por Satélite) y Estaciones Totales para las mediciones es un dilema común. Ambos sistemas presentan ventajas y desventajas en términos de precisión, costo, facilidad de uso y flexibilidad. La elección puede depender de factores específicos del proyecto, como el entorno de trabajo, el presupuesto y los requisitos de precisión. Este artículo proporciona una comparación técnica, económica y operativa de ambos sistemas para ayudar a los profesionales a tomar una decisión informada.

La literatura existente y las recomendaciones profesionales sugieren que los sistemas GNSS son altamente eficientes en términos de tiempo y esfuerzo, proporcionando mediciones precisas en tiempo real. Sin embargo, su rendimiento puede verse afectado por factores como la obstrucción del cielo, edificios y árboles. Por otro lado, las estaciones totales son conocidas por su alta precisión en la medición de ángulos y distancias, pero requieren de un operador experimentado y su configuración puede ser más lenta en comparación con los sistemas GNSS.

En la práctica, el uso de sistemas GNSS puede ser más eficiente en áreas abiertas donde la señal del satélite es fuerte y constante. En áreas urbanas densas o boscosas, una estación total puede ser más eficiente a pesar de la necesidad de un operador experimentado. En términos de rentabilidad, los sistemas GNSS pueden tener un costo inicial más alto, pero pueden ser más rentables a largo plazo debido a su eficiencia y menor necesidad de personal. Las estaciones totales, aunque menos costosas inicialmente, pueden requerir más tiempo y personal, lo que puede aumentar los costos a largo plazo.

Este estudio tuvo como objetivo realizar una comparación técnica, económica y operativa de los Sistemas GNSS y las Estaciones Totales para proporcionar lineamientos para la toma de decisiones informadas por parte de los profesionales de la topografía. Se basó, básicamente, en los trabajos de Solís, J. E. B., Torres, L. M. C., y Paredes, B. G. P. (2022) y el artículo de Hussein, S. K., & Abdulla, K. Y. (2021). Para el logro del objetivo mencionado se empleó la metodología denominada meta-analítica testimonial.

El hallazgo principal de este estudio es que, aunque los Sistemas GNSS y las Estaciones Totales tienen sus propias ventajas y desventajas, ambos sistemas tienen un rendimiento similar en términos técnicos. Las Estaciones Totales tienen una ligera ventaja en términos de precisión, mientras que los Sistemas GNSS superan a las Estaciones Totales en velocidad de medición y rango de medición. Este hallazgo proporciona una comprensión más matizada de las fortalezas y debilidades de estos dos sistemas ampliamente utilizados en el campo de la topografía.

Este estudio destaca la relevancia de considerar aspectos técnicos, operativos y económicos al seleccionar un sistema de medición. Proporciona una comparación basada en evidencia de los Sistemas GNSS y las Estaciones Totales, llenando un vacío en la literatura existente. Los hallazgos podrán ayudar a los profesionales en topografía a seleccionar el sistema más adecuado para sus necesidades, mejorando la precisión, eficiencia y rentabilidad de las mediciones y mapeo. Además, podría influir en la formación y educación en estos campos.

## **Metodología.**

La metodología empleada en este artículo se fundamentó en un enfoque meta-analítico testimonial. Con este enfoque se integró el estudio de la documentación relevante y las entrevistas semi estructuradas de profesionales con amplia experiencia en el manejo de ambos sistemas comparados.

- **Análisis documental:** Se realizaron estudios de caso basados en la revisión de diversas experiencias documentadas de topografía y artículos de investigaciones, en cuyo contenido están los reportes de la utilización de los Sistemas GNSS método RTK y Estaciones Totales. Este análisis documental proporcionó una visión detallada de la aplicación práctica de estos sistemas, así como de sus ventajas y desventajas en diferentes contextos. Se recopilaron datos cualitativos a través de las entrevistas mencionadas, enfocándose en los resultados obtenidos con ambos sistemas.
- **Análisis de datos:** Se recogieron y analizaron datos sobre el costo, la precisión, la facilidad de uso y la flexibilidad de los Sistemas GNSS y las Estaciones Totales. Esto implicó la recopilación de datos de diferentes fuentes, como catálogos de productos, manuales de usuario, estudios de investigación publicados, etc. Los datos se analizaron utilizando un análisis comparativo para identificar y analizar las fortalezas y debilidades de cada sistema.

**Desarrollo.****Referentes Conceptuales Básicos de El Sistema Global de Navegación por Satélite (GNSS), Real-Time Kinematic (RTK), y Estación Total, Así Como Sus Características, Ventajas y Desventajas*****El Sistema Global de Navegación por Satélite (GNSS)***

Es una red de satélites que permite determinar la posición tridimensional en tiempo real en cualquier lugar del mundo. Incluye sistemas como GLONASS, Galileo, BeiDou y GPS. Los satélites emiten señales codificadas con la hora atómica, y el receptor calcula la distancia entre él y los satélites para determinar su posición mediante una técnica llamada trilateración.

En un sistema tridimensional, se necesitan al menos cuatro satélites para determinar la latitud, longitud y altitud del receptor. Sin embargo, el sistema GNSS tiene varios errores de medida, principalmente debido al efecto atmosférico en la propagación de la señal, especialmente en la ionosfera y la troposfera. Otros errores menores pueden ser causados por la desviación en los relojes de los receptores y de los satélites, el efecto multipath y el ruido.

Para las aplicaciones que requieren un margen de error estrecho, se utilizan técnicas que reducen el error, como la técnica Real-Time Kinematic (RTK), que corrige las perturbaciones de la ionosfera y la troposfera.

### ***Real-Time Kinematic (RTK)***

Es una técnica que mejora la precisión de los sistemas de navegación por satélite. Los receptores RTK comparan una señal enviada desde el satélite con una copia interna generada por la misma señal. El retraso entre las dos señales permite calcular la distancia al satélite.

Sin embargo, alinear correctamente las señales es un desafío debido a la codificación de las señales de navegación. Este problema de ambigüedad de un número entero puede abordarse hasta cierto grado con métodos estadísticos.

En la práctica, los sistemas de GNSS utilizan un solo receptor como estación base y varias unidades móviles. La estación base retransmite las mediciones de la fase del portador y las unidades móviles comparan sus propias medidas de fase con las recibidas de la estación base. Esto permite calcular la posición relativa con una precisión de milímetros.

La técnica RTK es especialmente útil para fines topográficos. En este caso, la estación base se sitúa en una ubicación predeterminada y bien referenciada, y las unidades móviles pueden producir un mapa con alta precisión al hacer correcciones en relación con ese punto. La exactitud nominal típica para estos sistemas de doble frecuencia es de 1 centímetro  $\pm$  2 partes por millón (ppm) horizontalmente y 2 centímetros  $\pm$  2 ppm verticalmente.

### ***El GNSS (Sistema Global de Navegación por Satélite) y el RTK (Cinemática en Tiempo Real)***

Son dos técnicas que permiten obtener información de posición a través de sistemas basados en satélites.

- **Precisión:** El GNSS ofrece una precisión de varios metros, adecuada para navegación y servicios basados en ubicación. En cambio, el RTK es una técnica que mejora la precisión del GNSS hasta el orden de centímetros, lo cual es necesario para aplicaciones como topografía, construcción, agricultura, logística, robótica y navegación de vehículos autónomos.
- **Metodología:** El GNSS determina la posición del usuario midiendo el tiempo que tardan las señales de los satélites en llegar al receptor. El RTK mejora esta precisión utilizando una red de estaciones de referencia fijas con posiciones conocidas que observan continuamente las señales de los satélites y calculan correcciones de los errores. Un receptor RTK móvil aplica estas correcciones en tiempo real para mejorar su precisión posicional.
- **Aplicaciones de GNSS con el método RTK:** Se utiliza en muchos campos, incluyendo topografía, construcción, agricultura, minería, transporte, medio ambiente y otros. Sus capacidades van desde la creación de redes geodésicas precisas hasta la optimización de la gestión de campo, el control de la construcción, el posicionamiento de vehículos y el monitoreo de recursos naturales.
- **Características de GNSS utilizando el método RTK:** Proporciona alta precisión, modo en tiempo real, alta tasa de actualización y tiene muchas aplicaciones. La alta precisión permite mediciones más precisas y modelos de terreno más precisos. El modo en tiempo real permite una respuesta rápida a los cambios en el entorno. La alta tasa de actualización permite rastrear con mayor precisión el movimiento de los objetos.

En resumen, GNSS RTK es una tecnología poderosa y versátil que está revolucionando muchas industrias y aplicaciones. Su capacidad para proporcionar posicionamiento en tiempo real de alta precisión es inigualable, y su uso continuará creciendo a medida que más industrias reconozcan su valor.

### ***La Estación Total***

Es un instrumento topográfico que integra varios equipos en uno solo para facilitar y hacer eficiente los procesos topográficos de campo. Estos equipos son el distanciómetro láser, el teodolito, una computadora y un nivel de precisión.

En la topografía, se miden dos variables: ángulos y distancias (horizontales y verticales). La Estación Total ofrece una precisión láser en distancias y una precisión digital en los ángulos, a diferencia del teodolito y el nivel que utilizan una precisión óptica para medición de ángulos y distancias.

Además, la Estación Total calcula y almacena las coordenadas geográficas de cada punto observado (N, E, Z), eliminando la necesidad de realizar cálculos complejos para digitalizar el levantamiento en un software CAD.

Este instrumento es esencial en la ingeniería de alta precisión topográfica, como en la construcción de carreteras, puentes, edificios, redes de tuberías o conductos, represas, etc. Cumple con dos funciones esenciales: el levantamiento, que es la medición y representación de la realidad física existente en el terreno, y el replanteo, que es trazar sobre el terreno el diseño de una obra ya estudiada y proyectada.

La estación total es un dispositivo de medición electroóptico que ofrece varias características y ventajas, pero también tiene algunas desventajas. Aquí te dejo un resumen:

- **Precisión:** La estación total es muy precisa ya que los ángulos se miden mediante exploración electroóptica con un alto grado de precisión.
- **Productividad:** Permite realizar mediciones más rápidas y detalladas, lo que aumenta la productividad.
- **Facilidad de manejo:** Las estaciones totales modernas son fáciles de usar gracias a sus pantallas digitales y programas integrados.

En cuanto a las ventajas de la estación total, proporciona mediciones altamente precisas y detalladas. Además, permite realizar mediciones automáticamente con la ayuda de un ordenador gracias a sistemas como el reconocimiento automático de objetivos.

Sin embargo, también tiene algunas desventajas. Aunque las estaciones totales ofrecen alta precisión y productividad, su rendimiento puede verse afectado por factores como la obstrucción visual del objetivo o las condiciones atmosféricas.

#### ***Analogías Técnicas Entre GNSS Usando el Método RTK Y Estación Total***

- **Precisión:** Las estaciones totales pueden tener una precisión de 5-10 mm por km en la medición de distancias, algunas incluso pueden alcanzar una precisión angular de 0.5" y una precisión de distancia de 0.6mm + 1ppm. Por otro lado, los sistemas



GNSS RTK pueden proporcionar un posicionamiento en tiempo real de alta precisión, con una precisión de posicionamiento de unos pocos centímetros.

- **Velocidad de medición:** Las estaciones totales pueden ser más rápidas para mediciones de corta distancia en áreas con visibilidad clara, ya que no requieren de la señal de los satélites. Sin embargo, para mediciones de larga distancia o en áreas sin obstrucciones, un GNSS método RTK puede ser más rápido ya que puede recibir señales de satélites desde múltiples direcciones.
- **Rango de medición:** La Estación Total es más precisa a cortas distancias (<2 – 5km) y puede medir puntos que el RTK no logra alcanzar, como en túneles. Mientras que el GNSS método RTK, respecto a distancias cortas alcanza una precisión de 2 – 3 cm, y en largas distancias puede llegar hasta los 20 kilómetros.
- **Facilidad de uso:** Los sistemas GNSS suelen ser más fáciles de configurar y usar, especialmente para los usuarios menos experimentados. Sin embargo, pueden tener dificultades en áreas con obstrucciones al cielo, como edificios altos o árboles densos. Por otro lado, las estaciones totales son extremadamente precisas y pueden ser la mejor opción para trabajos que requieren una alta precisión. Aunque pueden ser más difíciles de configurar y usar, especialmente para los usuarios menos experimentados.

### *Analogía Económica*

**Costo inicial.** El precio de una Estación Total y un GNSS puede variar considerablemente según su marca y características técnicas. Por ejemplo, la marca South ofrece en El Salvador una Estación Total a un precio de \$4,100 y un GNSS a \$8,575 como su opción más económica. Por

otro lado, la marca Stonex tiene un GNSS S900+ disponible por \$11,000 y una Estación Total R20 por \$3,620.

**Costo de operación.** Ambos equipos requieren de un operador capacitado para su uso. El costo de este operador puede variar dependiendo de su nivel de experiencia y las tarifas del mercado.

El costo de operación de una estación total incluye el salario del operador, el transporte y la alimentación. Además, se debe considerar el tiempo que se invierte en el levantamiento y el procesamiento de los datos. El costo de operación de un GNSS incluye los mismos conceptos que una estación total, pero con la ventaja de que se puede reducir el tiempo de levantamiento y el procesamiento de los datos gracias a la mayor rapidez y precisión del sistema.

**Valor residual.** Método de la línea recta (lineal) o en base a tiempo: Este método considera que el activo se gasta o deteriora uniformemente con el paso del tiempo, sin importar que pueda estar siendo usado en mayor o menor medida. Para calcular la depreciación que corresponde en cada período, simplemente se divide el valor del bien entre el número de períodos (sean años o meses), de la vida útil del bien.

$$\text{Depreciacion anual} = \frac{\text{Valor del activo}}{\text{Vida Util}}$$

La vida útil de una estación total y un receptor GNSS depende de varios factores, como el mantenimiento, la calidad de fabricación y el uso. Por lo general, con un buen cuidado, una estación total puede durar entre 5 y 10 años, mientras que un receptor GNSS puede tener una vida útil similar o un poco más larga.

Suponiendo una vida Útil de 8 años para la estación total y 12 años para la GNSS.

Utilizando como ejemplo, la marca Stonex con un precio de \$3620 para la Estación Total y \$11,000 para la GNSS con una vida útil de 10 años para cada uno, y se espera vender a 6 años de uso tenemos:

Para GNSS:

$$\textit{Depreciacion anual} = \frac{\$11,000}{12 \text{ años}} = \$916.66$$

La fórmula para calcular la depreciación utilizando el método de la línea recta es:

$$\textit{Valor residual GNSS} = \textit{Costo del activo} - \textit{Depreciacion anual} \times \textit{Vida Util}$$

$$\textit{Valor residual GNSS} = \$11,000 - \$916.66 \times 6 \text{ años} = \$5,500$$

Para Estación Total:

$$\textit{Depreciacion anual} = \frac{\$3620}{8 \text{ años}} = \$452.50$$

$$\textit{Valor residual GNSS} = \$3620 - \$452.5 \times 6 \text{ años} = \$905.00$$

En este ejemplo, se estima que la GNSS pierde el 50% de su valor después de 6 años, mientras que la Estación Total pierde el 75% de su valor en el mismo período de tiempo.

### ***Costos de Mantenimiento.***

#### **Estación Total:**

- **Mantenimiento preventivo:** Consiste en limpiar, engrasar, eliminar humedad de los mecanismos, ajuste y calibración de piezas.
- **Comprobación angular y de distanciómetro:** Dos efectivas maneras de comprobar si tu estación total se encuentra en óptimas condiciones o requiere servicio de mantenimiento.
- **Servicio de mantenimiento:** Incluye revisión general del instrumento, ajuste de niveles, limpieza y ajuste de óptica, mecánica y electrónica, entre otros. El costo total del servicio, mantenimiento, reparación de tu estación total es necesario hacer un diagnóstico personalmente.

El Buen manejo y transporte es esencial a la hora de usar una estación total, debido a que este tipo de descuidos son la causa más común de fallos y, por lo tanto, la razón de la mayoría de los errores topográficos.

#### **GNSS:**

- **Mantenimientos preventivos:** Basta con limpieza del equipo.
- **Actualización de firmware:** Proceso de instalación de una versión más reciente del software interno que controla el dispositivo GNSS.

## **Factores que Influyen en la Medición GNSS y Estación Total.**

El sistema global de navegación satelital puede experimentar alteraciones en la comunicación entre los satélites y los receptores GNSS debido a las obstrucciones, que son elementos que interrumpen la señal emitida por los satélites y condiciones ambientales.

Estas obstrucciones pueden ser causadas por:

- **Edificaciones en zonas urbanas:** Cuando realizamos posicionamientos en zona urbana uno de los principales factores que producen ruido en la precisión es que la señal se encuentra obstruida por la presencia de alguna edificación o cualquier rasgo de urbanización ubicado por encima de la antena y en una proximidad horizontal y/o vertical notable, ante eso sugerimos ubicar nuestra base en zonas lo más descubiertas posibles, así como el receptor móvil.
- **Vegetación:** Al realizar posicionamientos en zonas rústicas es común trabajar en zonas donde la vegetación y arbolado están densamente concentrados, puesto que muchas de estas zonas tienen poca o nula actividad humana, debemos recordar que al igual que en el caso de las edificaciones cualquier interferencia en aproximación horizontal o vertical hacia nuestro receptor causará pérdida en la estabilidad de la señal motivo por el cual al presentar este problema en un posicionamiento en estas zonas la inestabilidad se puede atribuir a este factor, de ser posible dentro de los requerimientos del posicionamiento, sugerimos cambiar la ubicación de nuestros receptores.

Para evitar estas interrupciones, se utiliza una máscara de observación, que es un cono con su vértice en el receptor y su eje alineado con la vertical del sitio. Se recomienda que el ángulo entre el plano horizontal del sitio y la generatriz del cono esté entre  $5^\circ$  y  $25^\circ$ .

Una pérdida de ciclo, que es la pérdida de señal durante una sesión de rastreo, puede ser causada por obstrucciones en la máscara de observación, baja intensidad de señal del satélite o un procesamiento incorrecto de la señal.

Entre las condiciones ambientales tenemos la precipitación, es la caída de agua líquida o sólida desde la atmósfera. La precipitación puede afectar a las señales de los satélites de dos formas:

1. **Atenuación o una pérdida de potencia:** Puede dificultar la recepción y el rastreo de los satélites.
2. **Dispersión de las señales:** Puede provocar errores en la medición del tiempo de vuelo y la fase de las señales. Estos efectos son más notables para las señales de alta frecuencia, como las de los sistemas Galileo y BeiDou.

Para mitigar los efectos del clima en las mediciones con GNSS RTK, se pueden emplear varias técnicas:

- **Receptores de doble frecuencia:** Estos receptores captan señales de dos frecuencias distintas de los satélites, permitiendo estimar y corregir errores ionosféricos. Además, mejoran la precisión y confiabilidad de las mediciones al tener más señales disponibles para el posicionamiento.

- **Redes de referencia:** Son conjuntos de estaciones fijas con posiciones conocidas que envían correcciones en tiempo real a los receptores móviles. Estas correcciones pueden incluir errores ionosféricos, troposféricos y orbitales de los satélites, así como parámetros de ambigüedad de fase. Las redes de referencia mejoran la precisión y rapidez de las mediciones con GNSS RTK.
- **Antenas de alta calidad:** Mejoran la recepción y el rastreo de las señales de los satélites, aumentando la precisión y robustez de las mediciones. También reducen los errores de trayectos múltiples y pueden tener un sistema de calibración que corrige los errores causados por la propia antena.

Para la estación total podemos encontrarnos con los siguientes errores:

- **Error instrumental:** Es el error debido a la limitación en la precisión del instrumento. Se expresa en dos partes: un valor fijo y una cantidad relativa dependiente del error de escala. Un ejemplo sería  $\pm (2 \text{ mm} + 2 \text{ ppm} \times D \text{ mm})$ .
- **Error en el estacionamiento:** Se produce cuando la estación no está situada exactamente sobre el punto de estación.
- **Error en la señal:** Ocurre cuando el jalón del prisma no se encuentra exactamente sobre el otro extremo de la distancia a medir.
- **Error por inclinación del jalón:** La limitación en la precisión del nivel esférico que va acoplado al jalón provoca una cierta inclinación del jalón en el momento de la medición.

- **Reflector:** Los reflectores son esenciales para la medición de distancias. La calidad de estos puede influir en la precisión de las mediciones.
- **Refracción:** Es el cambio de dirección que experimenta una onda al pasar de un medio material a otro. La refracción atmosférica puede influir en la determinación de la distancia con una estación total.

Es importante tener en cuenta estos factores al realizar mediciones con una estación total para garantizar la precisión y confiabilidad de los resultados.

### **Analogía de Precisión y Tiempo de la Estación Total y el GNSS Utilizando el Método RTK.**

En un artículo realizado por Solís, J. E. B., Torres, L. M. C., y Paredes, B. G. P. (2022), titulado “Análisis comparativo topográfico sobre levantamientos altimétricos con GNSS método RTK, Estación Total y Drones en Manta”, se obtuvieron resultados de tres pruebas distintas. En estas pruebas, se realizaron levantamientos topográficos en tres terrenos diferentes en Manta: playa, zona urbana y zona boscosa, utilizando GNSS, Estación Total y Drones.

Los resultados de estas mediciones fueron los siguientes: En terreno plano (playa), los tres métodos obtuvieron alta precisión, siendo el GNSS el más rápido. En terreno urbano (edificios), la Estación Total obtuvo mejor precisión debido a interferencias en la señal del GNSS. En terreno boscoso, nuevamente, la Estación Total fue más precisa debido a las interferencias al GNSS.

En cuanto al tiempo que se llevó realizar la medición, el GNSS resultó ser el método más rápido y eficiente. Sin embargo, en términos de precisión, la Estación Total fue más precisa en terrenos complejos.



Otro estudio donde se comparó el tiempo y la precisión fue el realizado por Hussein, S. K., & Abdulla, K. Y. (2021). Levantamiento con GNSS y estación total: un estudio comparativo. Se establecieron dos puntos de referencia (BM) dentro del campus de la Facultad de Tecnología de la Universidad Politécnica de Erbil (EPU), que se utilizan como líneas de base para el establecimiento de una red de referencia compuesta por 20 puntos de control. Cada punto se midió cinco veces utilizando la estación total Topcon 105 y sirvió como valor de referencia para comparar con GNSS método RTK, instrumento GPS.

De acuerdo con los resultados obtenidos, los puntos de la red de referencia medidos con TS se determinaron con precisiones de Este de 13 mm, Norte de 11 mm y Elevación de 15 mm para coordenadas horizontales y verticales. Cuando se utiliza el método RTK-GNSS en los mismos puntos de la red de referencia, que se expresa mediante RMSE, la precisión obtenida para el este fue de 8 mm, para el norte fue de 10,6 mm y se logró 8,4 mm en elevación. Las mediciones RTK-GNSS, que se midieron cinco veces, se determinaron con una desviación estándar máxima de Este 0,9 mm, Norte 0,96 mm y Elevación 0,93 mm para coordenadas horizontales y verticales, respectivamente. La precisión de los puntos de control restantes está por debajo de estos niveles.

La línea central de la carretera (120 m) se proyectó (trazó) usando TS, luego los puntos se midieron con GNSS. La diferencia máxima entre ambos métodos en Este fue de 19 mm, en Norte fue de 22 mm y en Elevación fue de 30 mm. Por lo tanto, las diferencias se consideraron pequeñas ya que estaban en un rango aceptable.

En cuanto al gasto de tiempo (196 minutos) se consumió para la medición de TS y en el método Estático-GNSS, pero se consumió un tiempo casi similar (167 minutos para GNSS método RTK)

En ambas investigaciones el patrón es el mismo, la estación total tiende a ser más precisa pero la GNSS con el método RTK es la que consume menos tiempo.

El GNSS y la Estación total se recomiendan según el trabajo a desempeñar, como mencionamos anteriormente, un sitio con mayor obstrucción vegetal o edificaciones puede generar fallas en la calidad de las señales, pero también es importante analizar la distancia que estos equipos pueden alcanzar.

En un ejercicio realizado por Geodesta. (16 de junio del 2021) ¿Cuál es más preciso? GNSS método RTK o Estación total. Se tomó lectura en 5 veces en posición uno y posición dos, los resultados obtenidos se les aplicó el cálculo de la desviación estándar a una dirección medida a 1 km de distancia donde el resultado de error de dirección promedio es de 3 mm. Para el error de distancia podemos tomar los datos del constructor "Una constante + parte por millón".

**Tabla**  
*Error de dirección y distancia Estación Total*

1

<b>Distancia</b>	<b>Error de ángulo/dirección</b>	<b>Error de distancia</b>
10 m	±0.05 mm	± 1 mm
100 m	±05mm	1.1 mm
500 m	±2.5 mm	±1.5 mm
1km	±5mm	±2 mm
5 km	±24 mm	±6 mm

Para poder comparar los resultados obtenidos en tabla, nos podemos apoyar con las especificaciones del equipo GNSS Leica GS18T

**Tabla**  
*Error horizontal*

2

<b>Distancia</b>	<b>Error de GNSS método RTK horizontal</b>
10m	±8.0 mm
100 m	±8.1 mm
500 m	±8.5 mm
1 km	±9.0 mm
5 km	±13.0 mm

En horizontal hasta un kilómetro la estación total es más precisa mientras que después de un kilómetro RTK es más precisa.

La precisión de una estación total es inferior a 8 milímetros hasta un poco más de un kilómetro, pero luego su precisión aumenta excesivamente a partir de un kilómetro el GNSS RTK es más preciso.

## **Entrevista**

### ***Precisión y exactitud***

- 1. ¿Cuál es tu experiencia con la precisión de las mediciones obtenidas mediante GNSS y la Estación Total?**

**Ing. Javier González**

R// Mi experiencia con GNSS ha sido buena debido a la precisión y rapidez con la que ejecuto los levantamientos cuando la señal es buena

**Ing. Herberth Amaya**

R// El equipo GNSS puede alcanzar precisiones milimétricas, pero en condiciones no favorables, se queda en precisiones centimétricas, en cambio la estación total, es menos exigente en cuanto a los factores del entorno para alcanzar precisiones milimétricas.

- 2. ¿En qué situaciones has notado diferencias significativas en la precisión entre ambas tecnologías?**

**Ing. Javier González**

R// Con la estación total para mi es aún mucho mejor, ya que independientemente del clima y del terreno la estación siempre me da buena precisión

**Ing. Herberth Amaya**

R// A veces, hay que medir grandes extensiones de tierra (donde el GNSS es el mejor aliado) y a su vez ir levantando un centenar de detalles constructivos (donde es mejor hacerlo con la estación total) por lo que hemos recurrido a iniciar el equipo GNSS y colocar dos puntos de salida para la estación, para que ambos levantamientos vayan con las mismas coordenadas. Y pues, al estacionarse en esos dos puntos colocados con GNSS, la estación presenta errores a veces de hasta 2 centímetros, que si bien, son permisibles

### *Costos y eficiencia económica*

#### **3. ¿Cómo evalúas el costo asociado con el uso de GNSS frente a la Estación Total en términos de alquiler y pago a personal q te ayuda?**

**Ing. Javier González**

R// El costo asociado al trabajo con GNSS en términos de alquiler es menor comparado a la estación total debido a que no se necesita de mucho personal y la ejecución del levantamiento es en menor tiempo

**Ing. Herberth Amaya**

R// Este es un contraste bien interesante, el equipo GNSS es más costoso de alquilar que una estación, y sus precios para adquirirlo en el mercado, pueden sobrepasar el doble del costo de una estación promedio. Con equipo GNSS puedes trabajar con un solo ayudante o incluso tu solo si tienes la seguridad de poder dejar la base sola, y poder hacer enormes levantamientos en un solo día. Levantamientos que con la estación te tardarías varios días y tendrías que pagarle a al menos, dos ayudantes como mínimo. Entonces, es más caro alquilar un GNSS, el precio oscila desde los 80 hasta los 120 dólares por día, según el proveedor, y el alquiler de la estación oscila de 25 a 40 dolores el día, pero los costos del personal auxiliar compensan un precio con el otro. Claro que es hay que tener el criterio suficiente para poder decidir cuándo conviene invertir en alquilar un equipo GNSS, y cuando se puede sacar el trabajo con la estación total, para no incurrir en gastos innecesarios.

#### **4. ¿Has notado alguna diferencia significativa en los costos operativos entre ambas tecnologías a lo largo del tiempo?**

**Ing. Javier González**

R// Si la diferencia es bastante la que he podido observar a lo largo de los años. Definitivamente la tecnología del GNSS nos ahorra tiempo y costos para la ejecución del levantamiento

**Ing. Herberth Amaya**

Si, por supuesto. Los equipos GNSS no se calibran, por ejemplo, y las estaciones totales con uso continuo, se recomienda calibrarlas cada 6 meses, entonces es una inversión continua. La diferencia es que el GNSS al tener desperfectos, hay que reemplazar las piezas y eso es, si hay en el país, si no, toca pedir las de otro país y no es nada barato. Eso si tiene reemplazo, porque la mayoría de las veces cuando un GNSS viene a dar problemas, es definitivo y ya no tiene solución.

*Operatividad y versatilidad.*

- 5. ¿Cuál consideras que es la principal ventaja operativa de la Estación Total sobre el GNSS RTK, y viceversa?**

**Ing. Javier González**

R// La principal ventaja que considero de la estación total es la eficiencia es decir si hay un clima nuboso o, aunque este con vegetación (llámese árboles grandes o pequeños) siempre se puede medir.

**Ing. Herberth Amaya**

R// La principal ventaja de la estación total sobre el GNSS son las precisiones que logra alcanzar, y que puede trabajar en cualquier entorno salvo la lluvia. Y el GNSS sería la facilidad de utilización y la reducción de los tiempos de operación en comparación con la estación total, también el alcance de señal que posee, puedes moverte a kilómetros de un punto y levantar algo ahí, mientras que en la estación tendrías que ir haciendo poligonales en todo ese trayecto, algo que te podría tomar muchas horas de trabajo.

- 6. ¿En términos de versatilidad para diferentes entornos o condiciones climáticas, ¿cuál de las dos tecnologías prefieres y por qué?**

**Ing. Javier González**

R// En lo personal prefiero la estación total, debido a que en los trabajos que he ejecutado, he tenido situaciones donde una buena cortina de vegetación me ha debilitado la señal del GNSS y el tiempo de toma de puntos aumenta, en cambio la estación total siempre puede medir independientemente de lo que esté en el terreno

**Ing. Herberth Amaya.**

R// Definitivamente es más versátil la estación total. Con la estación puedes trabajar bajo techo, en medio de una arboleda, bajo líneas telefónicas y con los GNSS no. Con los GNSS puedes levantar, trazar, e incluso nivelar, pero este último no lo recomiendo por la fluctuación de las precisiones. En mi opinión, elijo el instrumento de acuerdo a que trabajo se vaya a realizar, cada uno tiene su aplicación y sus desventajas, no es que uno sea mejor que el otro. Así que puedo elegir de acuerdo con lo que vaya a realizar.

### *Capacidades y limitaciones*

#### **7. ¿Hay alguna limitación específica que hayas experimentado con el uso de GNSS o la Estación Total en tus levantamientos?**

**Ing. Javier González**

R// Si la limitación del GNSS generalmente es la señal satélite, es un factor que afectan. Con la estación total ninguna, siempre y cuando sea visible los mojones

**Ing. Herberth Amaya.**

R// Si, por mencionar una limitación podría ser que el equipo GNSS en modo RTK fijo, bajo una arboleda o entre matorrales, los errores de precisión son muy altos. He visto que marque errores de hasta 60cm, lo cual es excesivo para un levantamiento a detalle. Y con la estación una limitación podría ser que necesitas coordenadas de salida cada vez que vas a trabajar, y que tienes que tener una correcta orientación, o el levantamiento sale girado, en cambio con el GNSS el giro es mínimo.

**8. ¿Puedes mencionar alguna situación en la que una de las tecnologías destacara significativamente sobre la otra en términos de capacidad de medición o funcionalidades adicionales?**

**Ing. Javier González**

R// El tiempo de medición en un trabajo, lo que con la Estación Total me hubiera requiero de horas, con la GNSS puede sacarlo en un tiempo menor.

**Ing. Herberth Amaya.**

R// En este aspecto si es para levantamientos topográficos, destaca por mucho el GNSS por el enorme alcance que tiene y la rapidez con la que puedes hacer grandes levantamientos en comparación con la estación total. Por ejemplo, medir varias manzanas de terreno en un cerro, te facilitaría mucho el trabajo hacerlo con GNSS.

*Experiencia de usuario*

**9. ¿Cómo describirías la facilidad de uso de ambas tecnologías en el campo?**

**Ing. Javier González**

R// Definitivamente el uso del GNSS tiene mayor facilidad puesto que el manejo únicamente se enfoca en la captura de datos en campo.

**Ing. Herberth Amaya**

R// Ambos instrumentos se prestan para poder facilitar su manejo en campo, ambos tienen su grado de complejidad, pero ambos son muy sencillos de usar una vez que estás bien capacitado. Decir que uno es más fácil de utilizar en campo que el otro es relativo, pues depende de las habilidades y preferencias del operador. Es más práctico transportar el GNSS sí, pero con la estación puedes recolectar un sinnúmero de puntos sin necesidad de moverte del mismo lugar donde estás estacionado, entonces, como en su mayoría de características, se contrastan.



**10. ¿Has encontrado diferencias significativas en la facilidad de aprendizaje o la curva de dominio entre GNSS y la Estación Total?**

**Ing. Javier González**

R// En el caso el uso de la estación es un poco más completo debido a que hay que nivelar el equipo, calibrarlo y ubicarlo conforme a un punto conocido para poder medir

**Ing. Herberth Amaya**

R// En lo personal, considero mucho más práctico y sencillo aprender a utilizar el equipo GNSS en comparación con la estación total, esto da apertura a que muchos usuarios puedan aprender esta tecnología sin complicación y puedan preferirla, porque todos estamos familiarizados con el uso de sistemas operativos, y los colectores de GNSS tienen softwares muy similares a apps, con las que cualquiera se puede familiarizar

## Matriz de Evaluación

**Tabla**

3

*Matriz de evaluación que pondera los criterios técnicos, económicos, calidad de señales y operativos.*

<b>Criterio</b>	<b>Ponderación</b>	<b>GNSS método RTK</b>	<b>Estación Total</b>
<b>Técnicos</b>	<b>40%</b>	<b>33%</b>	<b>32%</b>
Precisión	10%	6	9
Velocidad de medición	10%	9	7
Rango de medición	10%	9	7
Facilidad de uso	10%	9	9
<b>Económicos</b>	<b>30%</b>	<b>20%</b>	<b>23%</b>
Costo inicial del equipo	10%	3	9
Costo de mantenimiento y reparación	10%	9	7
Valor de reventa del equipo usado	10%	8	7
<b>Calidad de las señales</b>	<b>20%</b>	<b>14%</b>	<b>18%</b>
Factores ambientales	10%	9	9
Obstrucciones	10%	5	9
<b>Operativos</b>	<b>10%</b>	<b>10%</b>	<b>7%</b>
Resistencia a condiciones climáticas adversas y durabilidad del equipo en el campo de trabajo	10%	10	7
<b>TOTAL</b>	<b>100%</b>	<b>77%</b>	<b>80%</b>

## Hallazgos.

### *Crterios técnicos.*

- **Precisión:** La precisión de una estación total es notablemente superior hasta una distancia de poco más de un kilómetro. Sin embargo, más allá de ese punto, su precisión disminuye significativamente. En contraste, el GNSS utilizando el método RTK mantiene una mayor precisión a distancias superiores a un kilómetro.
- **Velocidad de medición.** Para mediciones de larga distancia sin obstrucciones, tales como arboledas y edificaciones, el GNSS utilizando el método RTK recopila datos de manera significativamente, más rápida que una estación total. Esto contribuye a la reducción del tiempo requerido para realizar un levantamiento topográfico.
- **Rango de medición:** El GNSS tiene un rango de medición de hasta 20 km, lo cual supera considerablemente a la estación total, cuyo alcance máximo es de 5 km.
- **Facilidad de uso:** Los sistemas GNSS son generalmente más sencillos de configurar y utilizar, aunque pueden presentar dificultades en áreas con obstrucciones al cielo, como edificios altos o arboledas densas. En contraste, las estaciones totales, aunque pueden ser más difíciles de configurar y usar, ofrecen una precisión extremadamente alta, lo que las hace ideales para trabajos que requieren alta precisión.

***Criterios Económicos:***

- **Costo inicial:** La Estación Total es considerablemente más asequible en comparación con un GNSS.
- **Costo de operación:** Ambos equipos requieren un operador capacitado. El costo de operación incluye el salario del operador, el transporte, la alimentación y el tiempo invertido en el levantamiento y procesamiento de datos. El GNSS puede reducir el tiempo de levantamiento y procesamiento de datos gracias a su mayor rapidez y precisión.
- **Valor residual:** Se utiliza el método de la línea recta para calcular la depreciación. Suponiendo una vida útil de 8 años para la estación total y 12 años para el GNSS, la GNSS pierde el 50% de su valor después de 6 años, mientras que la Estación Total pierde el 75% de su valor en el mismo período de tiempo.
- **Costos de Mantenimiento:** Ambos equipos requieren mantenimiento preventivo. La Estación Total también requiere comprobación angular y de distanciómetro, y puede necesitar servicio de mantenimiento que incluye revisión general del instrumento, ajuste de niveles, limpieza y ajuste de óptica, mecánica y electrónica.

***Criterios Operativos***

La resistencia del GNSS a condiciones climáticas adversas y su durabilidad son muy superiores a las de la Estación Total, lo que lo hace considerablemente más eficaz al momento de operar.

## **Conclusiones.**

- En términos técnicos, los Sistemas GNSS con el método RTK y las Estaciones Totales tienen un rendimiento similar, con una ligera ventaja para las Estaciones Totales en términos de precisión. Sin embargo, los Sistemas GNSS superan a las Estaciones Totales en velocidad de medición y rango de medición.
- Desde una perspectiva económica, aunque el costo inicial del equipo para los Sistemas GNSS es significativamente mayor, estos sistemas tienen menores costos de mantenimiento y reparación y un valor de reventa más alto para el equipo usado.
- En cuanto a la calidad de las señales, las Estaciones Totales tienen una ligera ventaja sobre los Sistemas GNSS. Ambos sistemas se ven afectados por factores ambientales de manera similar, pero las Estaciones Totales manejan mejor las obstrucciones.
- En términos operativos, los Sistemas GNSS son más resistentes a condiciones climáticas adversas y tienen una mayor durabilidad en el campo de trabajo.
- En general, aunque los Sistemas GNSS y las Estaciones Totales tienen sus propias ventajas y desventajas, las Estaciones Totales obtuvieron una puntuación total ligeramente más alta en este estudio.
- Estas conclusiones pueden ayudar a los profesionales en el campo de la geodesia y la topografía a tomar decisiones informadas al seleccionar el sistema más adecuado para sus necesidades específicas. Sin embargo, es

importante tener en cuenta que la elección del sistema puede variar dependiendo de los factores específicos del proyecto, como el entorno de trabajo, el presupuesto y los requisitos de precisión.

## Recomendaciones.

- **Elección del equipo:** Dado que los Sistemas GNSS y las Estaciones Totales tienen un rendimiento similar en términos técnicos, la elección entre los dos puede depender más de factores operativos y económicos. Si la velocidad de medición y el rango de medición son más importantes para tu proyecto, entonces los Sistemas GNSS pueden ser una mejor opción. Sin embargo, si la precisión es más crítica, entonces las Estaciones Totales podrían ser preferibles.
- **Consideraciones económicas:** Aunque los Sistemas GNSS tienen un costo inicial más alto, sus menores costos de mantenimiento y reparación y un mayor valor de reventa pueden hacerlos más rentables a largo plazo. Por lo tanto, podría ser beneficioso considerar no solo el costo inicial del equipo sino también los costos a largo plazo al tomar una decisión.
- **Factores ambientales:** Dado que las Estaciones Totales manejan mejor las obstrucciones y los Sistemas GNSS son más resistentes a condiciones climáticas adversas, la elección entre los dos puede depender del entorno de trabajo específico de tu proyecto.
- **Necesidades específicas del proyecto:** Finalmente, es importante tener en cuenta que la elección del sistema puede variar dependiendo de los factores específicos del proyecto, como el presupuesto y los requisitos de precisión. Por lo tanto, te recomendaría que evalúes cuidadosamente las necesidades específicas de tu proyecto antes de tomar una decisión.

## Glosario de Palabras

- **BEIDOU:** BeiDou significa Osa Mayor en chino, y es el sistema global de navegación por satélite creado por China como alternativa al GPS. Su nombre oficial es Sistema Experimental de Navegación por Satélite BeiDou, y cuenta con un total de 30 satélites en órbita.
- **Estación Total (ET):** Una estación total es un instrumento electroóptico que integra un teodolito electrónico, un distanciómetro y un microprocesador. Se utiliza en topografía y construcción para medir distancias, ángulos y niveles de objetos. Los datos que recoge se pueden guardar y transferir a una computadora.
- **GALILEO:** Galileo es un sistema global de navegación por satélite desarrollado por la Unión Europea y la Agencia Espacial Europea.
- **GLONASS:** Las siglas Glonass provienen de Global'naya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema, unas palabras que traducidas del ruso vienen a significar algo como Sistema de Navegación Global por Satélite. Así pues, este sistema no es más que el homólogo ruso del GPS.
- **GNSS:** GNSS significa Sistema global de navegación por satélite y se utiliza para describir cualquier sistema de navegación por satélite con cobertura global. Los sistemas de navegación por satélite transmiten información de geolocalización altamente precisa a los dispositivos y receptores GNSS para determinar su ubicación actual.
- **GPS:** El Sistema de Posicionamiento Global (Global Positioning System o GPS) es un sistema desarrollado, instalado y utilizado por el Departamento de



Defensa de Estados Unidos, y actualmente es propiedad de la Fuerza Espacial de los Estados Unidos. Su objetivo es poder determinar la posición de un objeto en cualquier parte del mundo con una precisión que puede llegar a ser de centímetros si se utiliza el GPS diferencial, aunque por lo general suele ser de algunos metros.

- **MULTIPATH:** Multi-path es una técnica que se utiliza para conectar un servidor a un dispositivo de almacenamiento con dos conexiones en lugar de una. Esto proporciona una vía alternativa de conexión en caso de fallo, lo que permite una mayor disponibilidad del almacenamiento y una alternativa de acceso a la misma
- **RTK:** RTK (del inglés Real Time Kinematic) o navegación cinética satelital en tiempo real, es una técnica usada para la topografía, maquinaria agrícola y navegación marina basado en el uso de medidas de fase de navegadores con señales GPS, GLONASS y/o de Galileo, donde una sola estación de referencia proporciona correcciones en tiempo real, obteniendo una exactitud submétrica.
- **Software CAD:** El software de diseño asistido por ordenador, mayormente conocido por las siglas CAD que provienen del inglés Computer-Aided Design, es un software para crear y editar modelos bidimensionales y tridimensionales de objetos físicos.

**Referencias.**

- Geodesta. (16 de junio del 2021) ¿Cuál es más preciso? GNSS RTK o Estación total.
- Hussein, S. K., & Abdulla, K. Y. (2021). Levantamiento con GNSS y estación total: un estudio comparativo.
- Solís, J. E. B., Torres, L. M. C., y Paredes, B. G. P. (2022), titulado “Análisis comparativo topográfico sobre levantamientos altimétricos con RTK GNSS, Estación Total y Drones en Manta”