

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL



**ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE MEDICIONES
TOPOGRÁFICAS GNSS CON LA TÉCNICA RTK UHF Y
LA MODALIDAD NTRIP**

PRESENTADO POR:

KEVIN ALEXIS ARÉVALO HERNÁNDEZ

BAUDILIO CEAS PÉREZ

SANDRA CECILIA MUNGUÍA

PARA OPTAR AL TÍTULO DE:

INGENIERO(A) CIVIL

CIUDAD UNIVERSITARIA, MARZO 2025

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTOR :

M.Sc. JUAN ROSA QUINTANILLA

SECRETARIO GENERAL:

LIC. PEDRO ROSALÍO ESCOBAR CASTANEDA

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

DECANO :

ING. LUIS SALVADOR BARRERA MANCÍA

SECRETARIO :

ARQ. RAÚL ALEXANDER FABIÁN ORELLANA

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

DIRECTOR :
(Interino)

ING. CARLOS ALBERTO ESCOBAR FLORES

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

Trabajo de Graduación previo a la opción al Grado de:

INGENIERO(A) CIVIL

Título :

**ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE MEDICIONES
TOPOGRÁFICAS GNSS CON LA TÉCNICA RTK UHF Y
LA MODALIDAD NTRIP**

Presentado por :

KEVIN ALEXIS ARÉVALO HERNÁNDEZ

BAUDILIO CEAS PÉREZ

SANDRA CECILIA MUNGUÍA

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docente Asesor:

ING. WILFREDO AMAYA ZELAYA

San Salvador, marzo 2025

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docente Asesor :

ING. WILFREDO AMAYA ZELAYA

Dedicatoria por: Kevin Alexis Arévalo Hernández

A Dios, por ser el guía espiritual y el que me ha permitido finalizar esta etapa en mi vida, por sus bendiciones y protección durante todo el largo camino que está por finalizar y no quisiera que concluyera sin antes recordar y agradecer a todos los que estuvieron conmigo apoyándome.

Don Siriaco y doña Marisela, papá y mamá, los primeros en creer en este proyecto, estoy grandemente agradecido por la confianza y por su compromiso de nunca faltar en mi vida, por sus consejos, enseñanzas y palabras de aliento cuando más las necesitaba, nunca lograré devolverles todo lo que ustedes me han aportado como persona y profesional, pero intentaré seguir siendo su orgullo y Dios permita poder estar juntos por mucho tiempo y poder cumplir el sueño que tenemos junto con mis tres hermanos, que son parte esencial de este logro y el compromiso con ellos de dejar un precedente y compartir nuevas experiencias.

A mi vínculo irrompible, mi familia, la que está cerca y a la que se le extraña demasiado, no fue fácil el camino para llegar hasta donde estoy, pero gracias a su apoyo, a su amor incondicional, lo difícil se hizo más fácil, les agradezco.

A mi novia, que gran parte de este recorrido fue el pilar y principal fuente de motivación, gracias por tu acompañamiento, tus consejos y hacer de la vida acá en San Salvador un poco más llevadera. Espero seguir apoyándote en tu carrera tan bien como tú lo has hecho hasta el momento.

A mis amigos, por todas sus palabras de apoyo y creer en mi aun cuando no empezaba este reto, estaré grandemente agradecido por estar ahí, aunque pasaran los días. A mis compañeros de tesis: Sandra y Baudilio, gracias por toda la ayuda y apoyo para poder finalizar con éxito este trabajo.

Especialmente al Ingeniero Wilfredo Amaya por su orientación y coordinación en este trabajo de graduación.

A todos los que conocí en este camino y que no han sido mencionados. ¡Gracias!

Dedicatoria por: Baudilio Ceas Pérez

Esfuerzo, fortaleza, dedicación, perseverancia y otras cualidades que nacieron en mí en este camino para concluir esta etapa de mi vida, son gracias a Dios, que me guió desde el momento en que yo estaba eligiendo la carrera que iba a estudiar. Dedico este logro a Dios que ha estado junto a mí desde siempre y que estará en esta nueva etapa de mi vida.

Esfuerzo: Empleo enérgico del vigor o actividad del ánimo para conseguir algo, venciendo dificultades. Cada ser humano tiene que vencer las dificultades presentadas en su senda para lograr algo que desea, para mi caso fue vencer las barreras de inferioridad que creé en mi etapa de niñez y adolescencia, pues estas me llevaron a no seguir mis sueños de ser profesional cuando tuve la dificultad de no poder seguir mis estudios después de terminar el noveno grado, dejando de lado este sueño por 12 años. Las acciones pequeñas tienen sus consecuencias que resuenan con fuerza cuando son en dirección al objetivo deseado, la acción "voy a sacar el bachillerato a distancia para cambiar un poco mi rutina" ha resonado bastante y me llevó a conocer personas que ayudaron a modificar mi pensamiento, entre ellas puedo mencionar a Reina Ordoñez, Raúl Cañenguez además de Cristina, Wendy, Keren y Luis que fueron el grupo de estudio que conocí en la etapa de bachillerato, se les estima por su presencia, me ayudaron a creer en mí y a pensar en afrontar un nuevo reto al cabo de terminar ese ciclo.

Fortaleza: cualidad que nos permite seguir adelante con valor y firmeza, capacidad de superar los distintos retos que nos propone la vida. Dios está a nuestro lado y está en personas que llegan a nuestra vida para poder sostener el camino que queremos, a veces son personas que te brindan ayuda y en otros casos personas que llegan a poner en duda tus capacidades y desestabilizarte. El camino había iniciado sin darme cuenta cuando me puse el reto "iré a hacer el examen de admisión de la universidad para probar mis conocimientos", pues este solo era un capricho para mí, ya que no era mi intención seguir estudiando, porque yo no tenía un plan de cómo le haría para poder costearme la carrera. En el momento de verificar los resultados y ver el estado "APROBADO" hizo que me llenara de alegría, pero esto no hizo que cambiara mi pensamiento de "no seguir", pues yo mismo estaba poniendo esa barrera y es en ese punto donde mi familia, empezando por mi papá, mamá y mis hermanos tuvieron un papel importante; ellos me dieron su apoyo, sus ánimos y me hicieron ver que mi sueño era posible y las palabras de reclamo de mi hermana Marta Cristina Ceas Pérez "si no sigues, le quitaste la oportunidad a alguien que si quería estudiar" tuvieron tal peso en mí que me decidí afrontar este reto, que estoy culminando con este trabajo de graduación. Por eso mi fortaleza me la ha dado Dios por medio de mi familia y estoy acá por ellos.

Dedicación: la voluntad de dedicar mucho tiempo y energía a algo porque es importante. En mi pensamiento creo que esta cualidad es aprendida y depende principalmente de lo que nos enseñan nuestros padres, por lo que agradezco a

mi papá Felipe Ceas Parada y a mi mamá María Santana Pérez Canjura por enseñarme con el ejemplo que me dieron a lo largo de mi vida, pues mi papá a pesar de solo contar con una escolaridad de segundo grado ha trabajado en el campo asistiendo cultivos, en construcción, en transporte y otros trabajos, ha dedicado su fuerza y su vida a trabajar para mejorar el bienestar de la familia y esto gracias al apoyo que le ha dado mi mamá con la administración de la casa y con ventas de quesadillas y otros productos, ha dedicado su esfuerzo y vida a complementar el equipo que forma con mi papá, los admiro grandemente. Me lleno de orgullo al darme cuenta que los padres que Dios me dio son grandes personas que han resistido a muchas dificultades para poder mantener el bienestar de la familia.

Perseverancia: Se trata de un valor muy reconocido y apreciado en la sociedad. Cualquiera que se plantee un objetivo, y luche contra viento y marea para conseguirlo, tiene lo necesario para alcanzar el éxito. He llegado hasta este punto gracias a la colaboración de muchas personas que he conocido a lo largo de esta carrera, comenzando con cada maestro que he tenido en las diferentes asignaturas que he cursado y en especial a nuestro asesor de tesis el Ingeniero Wilfredo Amaya Zelaya que en este trabajo de graduación ha sido un gran apoyo para desarrollarlo de la mejor manera, es un honor el haber trabajado al lado de él y de mis compañeros de tesis Kevin Alexis Arévalo y Sandra Cecilia Munguía, formamos un equipo que ha perseverado para lograr culminar este trabajo de

graduación y esta etapa de nuestra vida, luchamos contra viento y marea para conseguirlo, tenemos lo necesario para alcanzar el éxito.

Cada año que he pasado en la Universidad de El Salvador quedará atrás, pero los recordaré con nostalgia y alegría, el haber pertenecido a la única universidad pública del país, en esta institución pasé muchas experiencias que me hacen decir ¡lo logré, si se pudo! Ser el primer miembro de la familia que tiene un título universitario, esto es algo que espero sirva como una inspiración para cualquiera de mis nueve sobrinos, para que opten por seguir estudiando, ya sea una carrera universitaria o una técnica, así que Diego, Melissa, Mariela, David, Cristina, Andrea, Gabriela, Luis Felipe y Felipe Aparicio, espero sean los siguientes profesionales de la familia, pues sus papás, o sea mis hermanos Juan Antonio Ceas Pérez, Ruth Elizabeth Ceas, Marta Cristina Ceas Pérez y Ana María Ceas Pérez me brindaron su apoyo a lo largo de la carrera y espero lo hagan por ustedes también.

En cada etapa de la vida se presentan personas que te ayudan de forma consciente o inconsciente a mejorar o cambiar algún aspecto de tu vida, en mi caso puedo mencionar compañeros como César y Fidel González que son grandes personas, también hago una mención de una compañera muy especial que algunos compañeros decían que éramos más que amigos por la gran amistad que surgió entre los dos, ella me ayudo a aprender a relacionarme con las demás personas y a ser más sociable, su nombre es Mirna Haydee Menjívar,

otra persona que no puedo dejar sin mencionar es Josué Salvador Clavel, nos conocimos y estudiamos juntos en la asignatura Comportamiento Estructural y desde ahí supe que era una buena persona y un gran apoyo para estudiar. Estoy agradecido con todos los mencionados y con muchos que olvidé y fueron parte del círculo de personas que pude conocer en la carrera y en la facultad.

Dedicatoria por: Sandra Cecilia Munguía

A Diosito, mi señor de Esquipulas y la Virgencita, no me cansaré de afirmar lo bendecida y mimada que soy, por brindarme un logro más, por darme una familia que me acompañó en uno de los retos más grandes que me ha tocado superar y por las amistades que me permitió crear.

A mi mamá Celina Munguía, gracias mami por escucharme, alentarme y confiar en que lo lograría, confío en Dios que nos dará la suficiente vida y fuerzas para poder retribuirte un poquito de lo que tú me has dado.

A mi papi Raúl Munguía, sé que desde el cielo me acompañaste; definitivamente tus enseñanzas, perseverancia y fuerza son cosas que deseo no caigan en saco roto.

A José Erick Jiménez, jamás podré pagarte el esfuerzo que hiciste por mí, gracias por tu apoyo y compañía, por velar porque tuviera lo necesario para mis clases incluso estando un paso delante de lo que yo creí necesitar, muchas gracias por poner una sonrisa cuando me era difícil.

A Félix Gutiérrez y Marvin Alvarenga, es un honor poder decirles colegas, en serio, sin ustedes no sé qué sería de mí, gracias por estudiar conmigo, por explicarme una y mil veces y por animarme a seguir adelante. Si de algo estoy segura es que he ganado un montón al tenerlos como amigos.

A mis compañeros en esta última etapa, Kevin Arévalo y Baudilio Ceas, gracias por soportar mis momentos de desesperación y por su compromiso para lograr que todo saliera bien.

Y no menos importante, muchísimas gracias ingeniero Wilfredo Amaya Zelaya, por sus enseñanzas y paciencia; si de algo estoy segura es que fuimos afortunados al tenerlo a usted como asesor; le deseo fuerzas para que logre difundir a las futuras generaciones todo el conocimiento que tiene por compartir.

ÍNDICE

Dedicatoria por: Kevin Alexis Arévalo Hernández.....	V
Dedicatoria por: Baudilio Ceas Pérez	VII
Dedicatoria por: Sandra Cecilia Munguía	XII
INTRODUCCIÓN	XXI
RESUMEN.....	1
CAPÍTULO I: GENERALIDADES.....	3
1.1 Antecedentes	3
1.2 Planteamiento del problema	5
1.3 Objetivos	6
1.3.1 Objetivo General	6
1.3.2 Objetivos Específicos.....	6
1.4 Alcances	7
1.5 Limitaciones	8
1.6 Justificaciones.....	9
CAPÍTULO II: SISTEMA DE COORDENADAS	11
2.1 Coordenadas Geográficas	12
2.2 Coordenadas Cartesianas	14
2.3 Coordenadas Planas.....	15
CAPÍTULO III: SISTEMA DE REFERENCIA GEODÉSICO.....	17
3.1 Sistema de referencia global.....	22
3.1.1 Elipsoide WGS-84.....	22

3.1.2 Datum WGS-84.....	23
3.2 Sistema de Referencia Local	24
3.2.1 Elipsoide Clarke 1866	24
3.2.2 Datum NAD27	25
3.3 Sistema de Referencia Local Moderno	27
3.3.1 Elipsoide WGS-84/GRS80/SIRGAS-ES2007.....	27
3.3.2 Datum WGS84	30
3.4 Proyección Cartográfica.....	30
3.4.1 Proyección Universal Transversal de Mercator.....	30
3.4.2 Cónica Conformal de Lambert	33
CAPÍTULO IV: SISTEMAS GLOBALES DE NAVEGACIÓN POR SATÉLITE (GNSS)	38
4.1 Sistema de Posicionamiento Global (GPS).....	42
4.2 Sistema Global de Navegación por Satélite (GLONASS)	51
4.3 Sistema Europeo de Radionavegación por Satélite (GALILEO)	54
4.4 Sistema de Navegación por Satélite (BEIDOU O COMMPASS)	57
CAPÍTULO V: TÉCNICAS DE MEDICIÓN SATELITAL.....	60
5.1 Estática	61
5.2 Estática Rápida.....	65
5.3 Cinemática	67
5.4 Cinemática RTK.....	70
CAPÍTULO VI: MEDICIONES CINEMÁTICAS RTK	73

6.1 Fundamentos	73
6.2 Técnica de medición RTK radio módem UHF	74
6.2.1 Definición de Radio Módem UHF	74
6.2.2 Componentes de Radio Módem UHF	76
6.3 Técnica de Medición RTK NTRIP	82
6.3.1 Definición NTRIP	82
6.3.2 Protocolos de Formatos RTCM NTRIP	83
6.3.3 Componentes del NTRIP	85
Obtención de datos de campo	88
CAPÍTULO VII. LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO RTK UHF	93
7.1 Análisis de resultados	108
CAPÍTULO VIII LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO NTRIP	111
8.1 Análisis de resultados	119
CUADRO RESUMEN MEDICIONES TOPOGRÁFICAS GPS RTK: UHF vs NTRIP	124
CAPÍTULO VIII: ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE LAS TÉCNICAS UHF Y NTRIP	125
Fichas descriptivas	128
CAPÍTULO X CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	141
Conclusiones	141
Recomendaciones	143
BIBLIOGRAFÍA	144

ANEXO	146
Plano de Vértices geodésicos levantados con RTK.....	146

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Valores de longitud y latitud de un punto sobre la esfera.	13
Figura 2. Elementos del sistema de coordenadas geográficas: paralelos (a), meridianos (b) y origen de coordenadas (c).	14
Figura 3. Coordenadas cartesianas.	15
Figura 4. Distribución de signos de las coordenadas X, Y en una malla del sistema de coordenadas proyectadas.....	16
Figura 5. Representación del geoide y elipsoide.	19
Figura 6. Parámetros de un elipsoide.	19
Figura 7. Representación del datum local.....	21
Figura 8. Datum geocéntrico.....	21
Figura 9. Elipsoide WGS-84.....	24
Figura 10. Datum NAD27.....	25
Figura 11. Red SIRGAS-COM	29
Figura 12. Red Geodésica Básica Nacional de El Salvador, SIRGAS-ES2007.30	
Figura 13. Separación de Husos del mapa en el globo terráqueo.	31
Figura 14. Superposición del cono sobre el globo terráqueo, Proyección Cónica Conformal de Lambert	34
Figura 15. Constitución de un Sistema GNSS.	39

Figura 16. Master Control Station.	43
Figura 17. Imágenes de waypoint.	44
Figura 18. GPS geodésicos de una frecuencia.	45
Figura 19. GPS geodésicos de una frecuencia.	45
Figura 20. Máscara de elevación y ventana de observación.	48
Figura 21. Efecto multitrayectoria (multipath).	54
Figura 22. Segmentos componentes de BEIDOU.	60
Figura 23. Red de triangulación resultante de una medición estática.	61
Figura 24. Medición del punto A al punto B utilizando en medición Estática	65
Figura 25. Modo de observación estática rápida	66
Figura 26. Proceso de inicialización.	68
Figura 27. Método de medición cinemático	68
Figura 28. Medición en tiempo real RTK.	70
Figura 29. Sistema de referencia (base)	76
Figura 30. Sistema móvil (Rover)	77
Figura 31. Azimut y máscara de elevación.	79
Figura 32. Componentes NTRIP.	85
Figura 33. Universidad de El Salvador.	89
Figura 34. Facultad de Ingeniería y Arquitectura	89
Figura 35. Reconocimiento de zona de estudio.	90
Figura 36. Elementos de los monumentos.	91
Figura 37. Construcción in-situ de los monumentos	92

Figura 38. Colocación de pines y recuperación de monumentos	93
Figura 39. Instalación de la base	95
Figura 40. Configuración del sistema.....	96
Figura 41. Parámetros del sistema LAMBERT SIRGAS ESA-2007.....	97
Figura 42. Configuración de colector	98
Figura 43. Parámetros del sistema.	98
Figura 44. Configuración de base.....	99
Figura 45. Establecimiento de conexión.	100
Figura 46. Parámetros de la antena.....	101
Figura 47. Parámetros de antena	102
Figura 48. Definiendo coordenadas conocidas.....	103
Figura 49. configuración del Rover.	104
Figura 50. Enlace entre base y móvil.....	105
Figura 51. Levantamiento de puntos.....	106
Figura 52. Importación de datos.	107
Figura 53. Exportación de datos.	108
Figura 54. Estación permanente de referencia.	111
Figura 55. Equipo Carlson: Rover BRx5 y Colector mini2 con Software SurvCE5.	112
Figura 56. Determinación de IP.	113
Figura 57. Instalación y configuración de internet.....	114
Figura 58. Inicio de proyecto.....	115

Figura 59. Configuración de la base.	115
Figura 60 Datos de antena del receptor.....	116
Figura 61. Configuración a internet.....	117
Figura 62. Conexión a la red de la estación de referencia NTRIP	117
Figura 63. Recolección de datos.....	118
Figura 64. Captura de datos	119

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Elipsoides y datum.....	26
Tabla 2. Parámetros de proyección UTM, zona 16.....	32
Tabla 3. Parámetros de Proyección Cónica Conformal de Lambert, NAD27.....	36
Tabla 4. Parámetros de Proyección Cónica Conformal de Lambert, SIRGAS ES2007.....	37
Tabla 5. Parámetros de medición estática.....	62
Tabla 6. Diferencias relacionadas con el tipo de equipo a utilizar en una medición	63
Tabla 7. Parámetros de Medición Estática Rápida Parámetros de Medición Estática	66
Tabla 8. Parámetros de Medición Cinemática	69
Tabla 9. Parámetros de Medición en Tiempo Real RTK.....	72
Tabla 10. Datos RTK UHF	108
Tabla 11. Datos RTK NTRIP	120
Tabla 12. Comparativa entre puntos.....	121

INTRODUCCIÓN

En el presente documento se realizará un estudio comparativo de dos técnicas de medición de terrenos como lo son la técnica RTK UHF y la técnica NTRIP, las cuales son fundamentales para obtener datos de posicionamiento con una precisión centimétrica o incluso milimétrica; esto las convierte en herramientas indispensables en diversas aplicaciones que requieren una alta exactitud espacial. Dicho estudio lo realizaremos apoyándonos en las redes geodésicas actualizadas en el país.

Se presentan las generalidades de la investigación y del tema en general, los antecedentes, planteamiento del problema, los objetivos, los alcances, limitaciones y la justificación de la investigación. Además, se presenta el contenido temático que se abordará en la investigación.

El fin primordial del estudio es proporcionar un documento con información precisa acerca de las ventajas de usos de cada técnica, englobando tanto economía como precisión obtenida en los datos de campo.

La metodología para desarrollar la investigación se estructura en nueve temas principales, los cuales se detallarán minuciosamente, empezando con una investigación bibliográfica, luego se plantean las pruebas de campo para uso correcto de equipos topográficos, después se pretende obtener la información necesaria del lugar escogido y por último se presenta el análisis y la comparativa de los resultados obtenidos.

Finalmente, se presentan las conclusiones a las que se llegó luego de la investigación y las recomendaciones en general sobre la manipulación y uso adecuado de los equipos usados y sobre el análisis de resultados obtenidos.

RESUMEN

El uso de las mediciones GNSS (Sistema Global de Navegación por Satélite) es una de las principales herramientas para la realización de levantamientos topográficos y geodésicos.

Puesto que a medida pasan los años, evoluciona la necesidad de mejorar la eficiencia en tiempo y dinero, debido a esto se han comenzado a implementar técnicas con ayuda de sistemas de navegación por satélite. No obstante, a causa de distintos factores que distorsionan la señal satelital, la precisión de los sistemas de navegación se sitúa en el orden del metro, lo que obliga al empleo de técnicas de corrección de posicionamiento en tiempo real.

La mayoría de los receptores GNSS pueden emplear varias técnicas de medición, siendo la técnica Estática la utilizada para medir las redes geodésicas. Sin embargo, para trabajos topográficos de densificación de puntos, se emplea la técnica RTK, que transporta la corrección diferencial mediante la señal de radios UHF y VHF internos o externos; es una forma muy efectiva de medir detalles porque los resultados se muestran mientras se realiza la tarea. Sin embargo, este método requiere un radioenlace, que es susceptible a la interferencia de otras fuentes de radio y al bloqueo de la línea de vista. Además, tiene un alcance de hasta 3 km o más, dependiendo de la potencia del radio y de la ubicación del equipo GNSS Base.

En ese sentido y tomando en consideración todas estas variables antes mencionadas, el presente trabajo de graduación tiene por objetivo comparar las técnicas de medición GPS RTK UHF con la técnica RTK NTRIP, en donde en esta última, las correcciones diferenciales son enviadas y recibidas a través de protocolos en internet, teniendo un alcance de rango en distancia de mediciones de hasta 50 km.

Este análisis comparativo requirió de una monumentación, que nos servirá como punto de estudio tanto para esta investigación como para futuras prácticas de estudiantes de esta facultad; estos puntos se construyeron al interior de la ciudad universitaria a diferentes distancias.

En definición, la técnica de medición en tiempo real RTK (Real Kinematic Time), se subdivide en mediciones de Frecuencia Ultra Alta (UHF) y Transporte en Red de RTCM a través del Protocolo de Internet (NTRIP), ambas permiten obtener correcciones de manera inmediata cuando se realiza un levantamiento, lo cual facilita la recolección de información y la determinación de la posición del punto de interés con precisiones de calidad.

CAPÍTULO I: GENERALIDADES

1.1 ANTECEDENTES

El uso de las mediciones GNSS (Sistema Global de Navegación por Satélite) es una de las principales herramientas para la realización de levantamientos topográficos y geodésicos, la técnica de medición en tiempo real RTK (Real Kinematic Time), la cual se subdivide en mediciones de Frecuencia Ultra Alta (UHF) y Transporte en Red de RTCM a través del Protocolo de Internet (NTRIP), permiten obtener correcciones de manera inmediata cuando se realiza un levantamiento, lo cual facilita la recolección de información y la determinación de la posición del punto de interés con precisiones de calidad.

La medición UHF es un proceso en el que se transmiten señales de información por medio de ondas de radio que se propagan por el espacio libre. En el país es más común utilizar la corrección RTK a través de radios UHF, ya que ofrecen un alcance más amplio que el de la topografía, además de ser menos vulnerables a la interceptación de datos que otras transmisiones.

Para la técnica NTRIP, la principal intención que se tiene es usar el “internet” como alternativa de la actual corrección existente en tiempo real de los servicios prestados a través de la transmisión de radio (LF, MF, HF, UHF) o redes de comunicaciones móviles.

En El Salvador, la técnica NTRIP ha tomado fuerza estos últimos años con la transmisión de datos de corrección diferencial en tiempo real a receptores GNSS en la que una pequeña cantidad de instituciones y empresas privadas implementan esta tecnología para mejorar la precisión de los sistemas de posicionamiento y georreferenciación. Estas suelen operar estaciones de referencia GNSS distribuidas estratégicamente en todo el territorio salvadoreño. No obstante, el acceso a estas estaciones es restringido con un costo periódico, lo que limita el alcance a esta tecnología.

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Existen diferentes técnicas de medición que pueden ser utilizadas por la mayoría de los receptores geodésicos GPS, donde se sabe que las redes geodésicas se miden con la técnica conocida como Estática, pero para realizar densificaciones de puntos para trabajos topográficos se utiliza una técnica denominada RTK, la cual utiliza para el transporte de la corrección diferencial radios UHF y VHF internos o externos. Es una forma muy efectiva de medir detalles, ya que los resultados son presentados mientras se lleva a cabo el trabajo.

Esta técnica, sin embargo, necesita de un radioenlace, el cual está propenso a recibir interferencia de otras fuentes de radio, así como al bloqueo de la línea de vista. Además de poseer un rango de alcance en distancia de 3 km o más, dependiendo de la potencia del radio, si este es externo o interno y del equipo GNSS Base al equipo Móvil, en ese sentido y tomando en consideración en donde las correcciones diferenciales son enviadas y recibidas a través de protocolos en Internet, teniendo un alcance de rango en distancia en mediciones de hasta 50 km en algunos casos.

Por tanto, se propone el uso de la técnica NTRIP, y realizar un análisis comparativo de las ventajas que posee dicha técnica con la implementada actualmente en el país.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 OBJETIVO GENERAL

Analizar la comparación de las mediciones topográficas GNSS entre las técnicas RTK en modo UHF y NTRIP.

1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Definir conceptos relacionados con la tecnología GNSS, sistemas de referencia Geodésico y las técnicas de medición RTK.
- Ejecutar un levantamiento topográfico implementando las tecnologías RTK, UHF y NTRIP en diferentes rangos de distancias en una red de puntos dentro de la Universidad de El Salvador.
- Comparar las coordenadas obtenidas y las precisiones del levantamiento topográfico hecho con la técnica RTK UHF con respecto a la modalidad NTRIP.
- Describir el proceso para el uso de los equipos GNSS en levantamientos topográficos con las técnicas RTK: UHF y NTRIP.

1.4 ALCANCES

- Con los métodos RTK UHF y NTRIP se busca brindar al ingeniero topográfico la fundamentación y aplicación de esta técnica, como una nueva metodología, para hacer más eficiente su labor, además de estar enfocado principalmente en aportar y contribuir, en la veracidad de la información que entrega el profesional de la topografía en trámites de obras civiles.

- A través de los resultados obtenidos de los levantamientos realizados en una red de puntos construidos al interior del campus por los integrantes de este trabajo de graduación, se dará a comprobar que existe una mejora en la obtención de información a partir de la optimización de tiempo en la toma de datos y desplazamiento de personal para la ejecución del trabajo en campo, además de permitir la manipulación en tiempo real de los datos.

- A partir de la asesoría brindada por empresas que manejan estas tecnologías, se obtendrá el conocimiento de la debida forma para configurar los equipos que permitan utilizar la tecnología NTRIP, manipulación del software compatible con dicha metodología y la conexión con el celular, incorporando la señal de Internet.

1.5 LIMITACIONES

- Los datos serán obtenidos mediante el levantamiento topográfico con la metodología RTK (UHF) y NTRIP en una red de puntos al interior del campus de la universidad.
- Las coordenadas obtenidas en la investigación son representativas únicamente para las condiciones de la zona de estudio analizada.
- Nos limitamos al uso de equipos GNSS de doble frecuencia propiedad de la facultad de Ingeniería y Arquitectura, los cuales solo reciben la señal de dos sistemas de satélites: GPS y GLONASS, como consecuencia, tenemos variación en la precisión en mediciones con condiciones desfavorables.
- Los datos estudiados darán como resultado una tabla comparativa de precisión entre ambas metodologías.
- Las longitudes entre Base o Estación permanente y el Rover de las mediciones realizadas son pequeñas con relación al alcance máximo que se puede lograr con estos métodos, ya que el objetivo es poder comparar

coordenadas resultantes entre dos modalidades y establecer ventajas y desventajas a partir de sus diferencias.

1.6 JUSTIFICACIONES

Debido a la necesidad de mejorar la eficiencia, en los últimos años se han comenzado a implementar técnicas con el apoyo de sistemas de navegación por satélite. No obstante, a causa de distintos factores que distorsionan la señal satelital, la precisión de los sistemas de navegación se sitúa en el orden del metro, lo que obliga al empleo de técnicas de corrección de posicionamiento en tiempo real. Para lograr esto, es necesario establecer un receptor satelital estático denominado “base” en un punto de referencia conocido, hhh que transmita el flujo de corrección que determine la desviación de la señal. Si se desea implementar una base, se debe determinar la posición en la que se sitúa mediante técnicas avanzadas de posicionamiento y transmitir el flujo de corrección, ya sea por radiofrecuencia o a través de internet, utilizando el protocolo de transmisión NTRIP.

En El Salvador, la única institución del estado cuya función principal es proveer información geodésica es el CNR, la cual posee estaciones permanentes con correcciones diferenciales CORS, pero el servicio solo se brinda en postproceso mediante la solicitud de datos crudos en formato RINEX. Sin embargo, existen empresas privadas, proveedoras de equipos GNSS que poseen estaciones de referencia operativas y que prestan el servicio por un pago periódico.

La metodología RTK permite vincular un sistema de referencia geodésico asociado a una proyección cartográfica local, siendo en este caso el sistema de referencia geodésico SIRGAS-ES2007 y la proyección cartográfica Cónica Conformal de Lambert SIRGAS-ES2007 u otro sistema de referencia como es la proyección Universal Transversal de Mercator, obteniendo de esta manera coordenadas en forma rápida y precisa bajo el sistema de referencia deseado.

El Sistema NTRIP fue desarrollado en Alemania de manera conjunta por la Agencia Federal de Cartografía y Geodesia y la Universidad de Dortmund. El desarrollo de esta técnica estuvo marcado por dos cuestiones fundamentales: por una parte, existían una multitud de formatos de transmisión RTK a tal punto que cada fabricante tenía el suyo propio, hecho que generó la necesidad de crear un estándar (lo cual, al sumarnos al uso de esta técnica nos estaríamos estandarizando junto con demás profesionales); y por la otra, presentar una alternativa eficiente y económica frente a los servicios de corrección en tiempo real tradicionales provistos a través de transmisiones de radio UHF, VHF, etc.

Es sabido que las señales de radio se degradan fácilmente en zonas donde la topografía del terreno es muy ondulada o montañosa, o ante la presencia de otro tipo de obstrucciones naturales o artificiales, además, cuanto más largo es el enlace a través de radios, mayor es el costo de los equipos.

La difusión de correcciones GPS mediante Internet y redes de telefonía móvil IP es una alternativa al uso de las redes clásicas terrestres de radiodifusión.

Es importante estudiar estas ventajas antes mencionadas sobre la técnica NTRIP para poder determinar muchos de los factores que como ingenieros son primordiales en nuestra profesión: el optimizar tiempo y recursos, lo cual se traduce en el mejoramiento de la calidad de los trabajos, buscando mayor precisión y confiabilidad.

CAPÍTULO II: SISTEMA DE COORDENADAS

Un sistema de coordenadas es una creación artificial que permite la definición analítica de la posición de un objeto o un fenómeno. Hay múltiples opciones para definir analíticamente la situación geométrica de un elemento y, por lo tanto, es posible escoger entre diferentes sistemas de coordenadas. Desde el punto de vista puramente matemático, todos los sistemas de coordenadas son admisibles, y el único motivo para seleccionar uno u otro es la conveniencia o el hecho de que una determinada cuestión aparezca en su forma más simple. Desde el punto de vista práctico, se escogen los sistemas de coordenadas que permitan representar la cuestión objeto de estudio de una forma física y geoméricamente interpretable, y susceptible de ser medida. Los sistemas de coordenadas más utilizados para representar la superficie de la tierra son el sistema de coordenadas geográficas, el sistema de coordenadas cartesiano y el sistema de

coordenadas proyectadas. En el presente trabajo de graduación veremos una pequeña descripción de cada uno de estos sistemas.

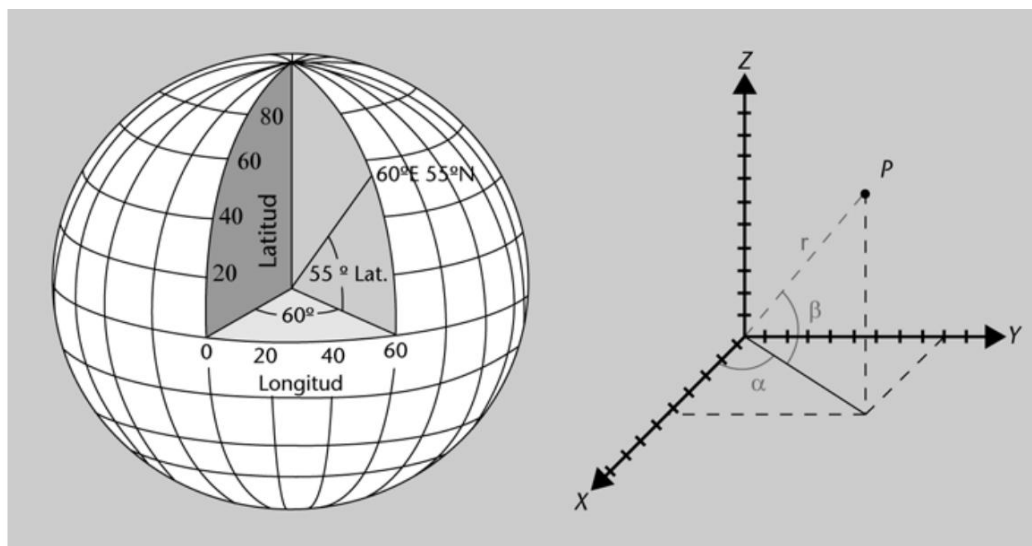
2.1 Coordenadas Geográficas

Un sistema de coordenadas geográficas o geodésicas utiliza una superficie esférica tridimensional para definir las localizaciones sobre la superficie terrestre. En la figura 1, se muestra como en este sistema cualquier punto sobre la superficie terrestre se determina con dos ángulos medidos desde el centro de la Tierra, que se llaman latitud y longitud.

La longitud (α) de un punto es el ángulo medido a lo largo del Ecuador desde cualquier punto de la Tierra. Las líneas verticales de igual longitud son círculos máximos que pasan por los polos y se llaman meridianos. La longitud se mide con respecto a un meridiano principal que normalmente es el meridiano de Greenwich (longitud cero), aunque algunos países han utilizado otras líneas de longitud que pasan por Berna, Bogotá o París.

La latitud (β) de un punto es el ángulo medido desde el centro de la Tierra hacia el norte, entre el Ecuador y la posición de un punto sobre la superficie terrestre. Las líneas horizontales de igual latitud se llaman paralelos. Se toma el Ecuador terrestre como la línea de latitud cero.

Figura 1. Valores de longitud y latitud de un punto sobre la esfera.

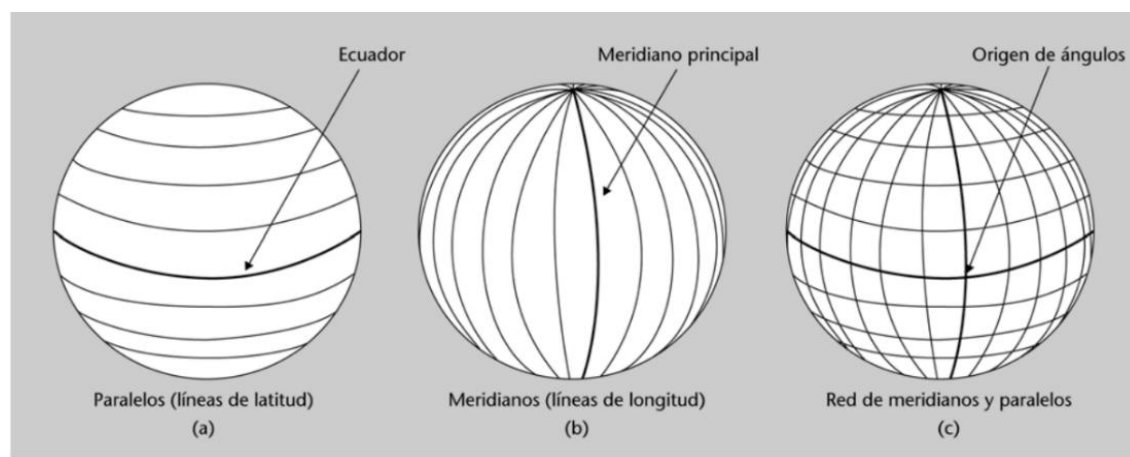


Fuente: imagen adaptada de ESRI (Environmental Systems Research Institute, Inc.), <http://www.esri.com>

En las figuras 2a y 2b se puede ver un ejemplo de cómo son los paralelos y los meridianos. Fijarse en la imagen 2c de la figura para ver como estos meridianos y paralelos forman una red sobre la esfera. Esta red tiene el origen (0,0) en el punto donde se cruzan las líneas de referencia de la latitud y la longitud, es decir, donde se cruzan el Ecuador y el meridiano principal.

El Ecuador divide la esfera en dos hemisferios, norte y sur, de manera que la latitud al norte del Ecuador será positiva y al sur será negativa. Así pues, los valores de latitud van desde el -90° en el polo Sur hasta los $+90^\circ$ en el polo Norte. El meridiano principal también divide la esfera en dos mitades este y oeste, De manera que la longitud al este del meridiano principal será positiva y al oeste será negativa con valores en el rango de -180° oeste y $+180^\circ$ este.

Figura 2. Elementos del sistema de coordenadas geográficas: paralelos (a), meridianos (b) y origen de coordenadas (c).



Fuente: imagen adaptada de ESRI (Environmental Systems Research Institute, Inc.)

En definitiva, este sistema de meridianos y paralelos nos permite la localización exacta de cualquier punto sobre la Tierra. Cabe decir, sin embargo, que, con este sistema, solo a lo largo del Ecuador la distancia representada por un grado de longitud es equivalente a un grado de latitud. Eso es debido al hecho de que el Ecuador es el único paralelo de igual dimensión que un meridiano: es lo que se conoce con el nombre de geodésicas (círculos máximos).

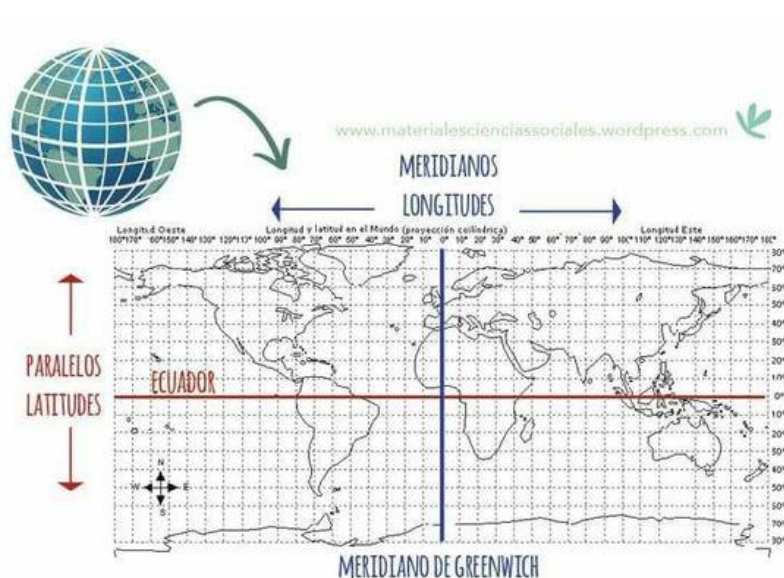
2.2 Coordenadas Cartesianas

El sistema de coordenadas cartesianas es un sistema de coordenadas bidimensional que se utiliza para representar gráficamente relaciones matemáticas o movimientos físicos. Se compone de dos rectas perpendiculares que se cortan en un punto llamado origen de coordenadas, O.

- La recta horizontal se llama eje de las abscisas o eje X
- La recta vertical se llama eje de las ordenadas o eje Y.

El sistema de coordenadas cartesianas es la base de la geometría analítica y se utiliza en muchas ramas de las matemáticas y en disciplinas aplicadas como la astronomía, la física y la ingeniería. Los mapas son una representación plana, reducida y simplificada de la superficie terrestre o de una parte de esta, como se puede apreciar en la figura 3.

Figura 3. Coordenadas cartesianas.



Fuente: wordpress.com

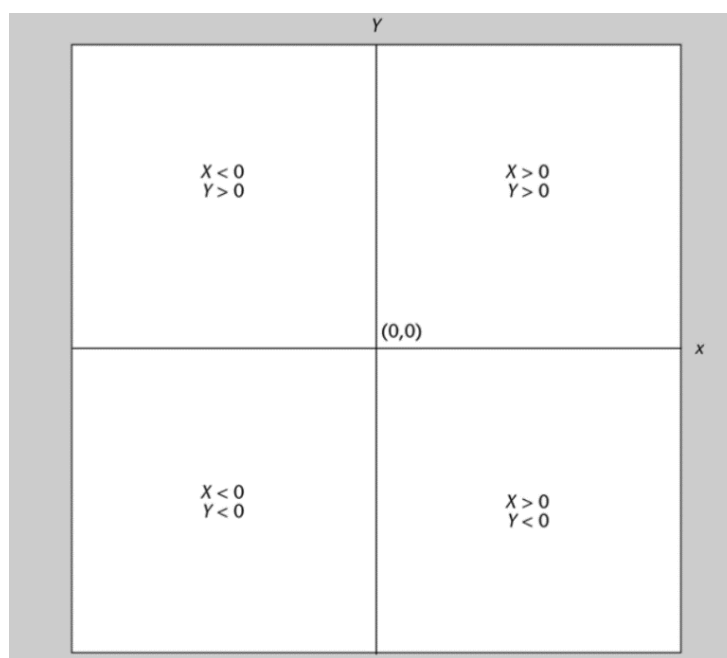
2.3 Coordenadas Planas

Un sistema de coordenadas proyectadas o planas localiza puntos en el espacio y se define sobre una superficie plana, en la que la localización de las

coordenadas se realiza respecto a una malla (grid) donde se ha definido su centro; son ampliamente utilizadas en cartografía, sistemas de información geográfica (SIG) y aplicaciones de ingeniería, dado que permiten calcular distancias y direcciones en un plano localizado. A diferencia de las coordenadas geográficas, las coordenadas planas tienen longitudes, ángulos y áreas constantes en las dos dimensiones.

En una malla de líneas verticales y horizontales espaciadas uniformemente, la línea central horizontal es lo que se llama eje X y la línea central vertical es lo que se llama eje Y. Estos dos ejes dividen la malla en cuatro cuadrantes donde los signos de las coordenadas se distribuyen tal como se indica en la figura 4.

Figura 4. Distribución de signos de las coordenadas X, Y en una malla del sistema de coordenadas proyectadas.



Fuente: imagen adaptada de ESRI (Environmental Systems Research Institute, Inc.)

Un ejemplo de coordenadas planas es el sistema de coordenadas planas Gauss-Krüger, que se obtiene al proyectar las coordenadas geodésicas latitud y longitud sobre un cilindro de sección elíptica.

CAPÍTULO III: SISTEMA DE REFERENCIA GEODÉSICO

El sistema de referencia es una definición conceptual de teorías, hipótesis e instantes que permiten situar una tripleta de ejes coordenados en el espacio, definiendo su origen y su orientación, es decir, es un recurso matemático que permite asignar coordenadas a puntos sobre la superficie terrestre. Son utilizados en geodesia, navegación, cartografía y sistemas globales de navegación por satélite para la correcta georreferenciación de elementos en la superficie terrestre. Estos sistemas son necesarios dado que la Tierra no es una esfera perfecta.

Dentro de estos cabe distinguir los llamados SISTEMAS LOCALES, que utilizan para su definición un elipsoide determinado y un punto datum, y los SISTEMAS GLOBALES cuyos parámetros están dados por una terna rectangular (X, Y, Z) cuyo origen se encuentra en el geocentro terrestre. Para definir las coordenadas geodésicas (latitud, longitud y altura) cuentan con un elipsoide de revolución asociado. En la realidad, tanto el centro como los ejes son inaccesibles en la práctica.

Elipsoide.

Para hacer cálculos sencillos y aproximados, normalmente se asocia la Tierra con una esfera. Sin embargo, la forma de nuestro planeta es más compleja: la Tierra está achatada por los polos, el hemisferio sur es un poco más voluminoso que el norte, y tiene una cierta rugosidad debida al relieve del terreno.

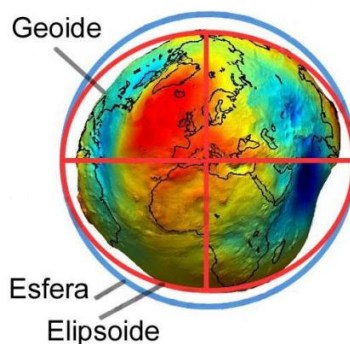
Es por esto por lo que la geodesia, que es la ciencia que tiene por objeto estudiar la forma y dimensiones de la Tierra, establece una aproximación a la forma de la Tierra, denominada elipsoide. Esto se debe a que el elipsoide es una figura matemática que responde a fórmulas analíticas, de manera que permite hacer cálculos apoyándose en él.

Elipsoide de Referencia.

Se define como un modelo matemático en forma de sólido de revolución que representa matemáticamente la forma de la Tierra, es utilizado como una superficie ideal que permite eliminar ambigüedades que introduce el geoide del planeta en la estimación de distancias y posición de un punto sobre la superficie terrestre.

Para definir un elipsoide se necesita conocer su semieje mayor (radio ecuatorial de la Tierra) y su semieje menor (radio polar de la Tierra) o el semieje mayor y su índice de achatamiento.

Figura 5. Representación del geoide y elipsoide.

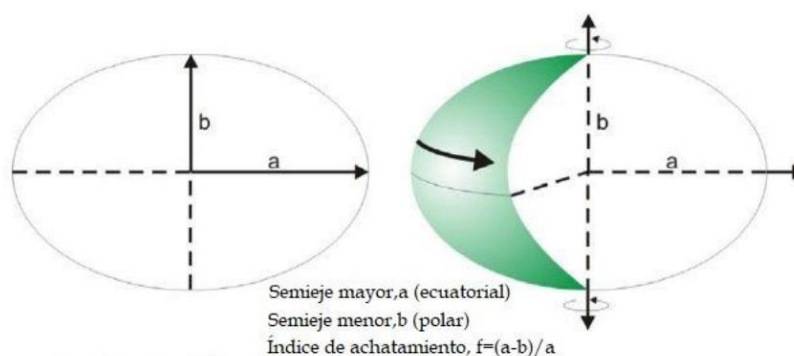


Fuente: Albireo Topografía y Geomática. <http://www.albireotopografia.es>

Los parámetros que definen un elipsoide son los siguientes:

- Semieje ecuatorial o mayor (a): longitud del semieje correspondiente al Ecuador, desde el centro de masas de la Tierra hasta la superficie terrestre.
- Semieje polar o menor (b): longitud del semieje desde el centro de masas de la Tierra hasta uno de los polos.
- Relación de achatamiento (f): es la medida de la excentricidad, su ecuación es $f = (a-b) / a$

Figura 6. Parámetros de un elipsoide.



Fuente: Sistemas de Referencia, <https://unisigzayrao.blogspot.com>

El elipsoide es la figura geométrica más simple que puede ajustarse a la forma real de la Tierra, la cual, como se puede observar (Figura 5), es un cuerpo irregular achatado por los polos. Estas irregularidades han dado lugar a la creación de una gran cantidad de modelos elipsoidales, los cuales son adoptados por cada país según sus características. En El Salvador, se utilizó el elipsoide Clarke 1866 hasta febrero de 2017, y a partir de esa fecha se estandarizó el elipsoide WGS-84 o GRS-80 en todos los trabajos geodésicos, cartográficos y fotogramétricos.

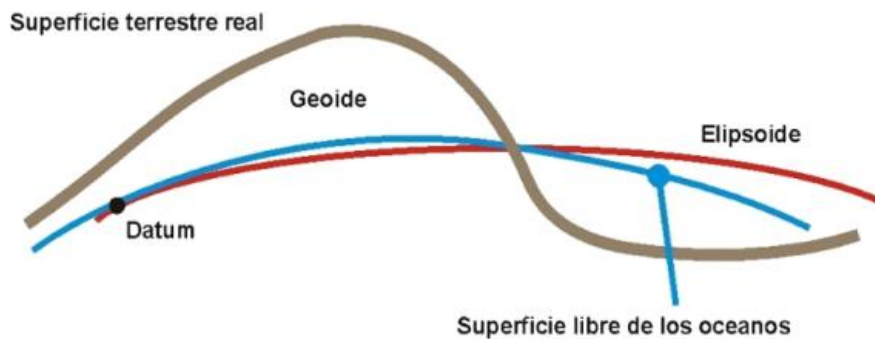
Datum de Referencia

El datum se define como un conjunto de cantidades matemáticas o geométricas que sirven de referencia o base para otras cantidades sobre la superficie terrestre. En este contexto, el datum se utiliza para definir el origen y la situación de un sistema de coordenadas.

Los datum pueden ser locales o geocéntricos:

- Datum local: funciona como un punto de anclaje en el que la normal del geoide coincide con el elipsoide (Figura 7) y es válido para una zona de la tierra.
Ejemplo: NAD27.

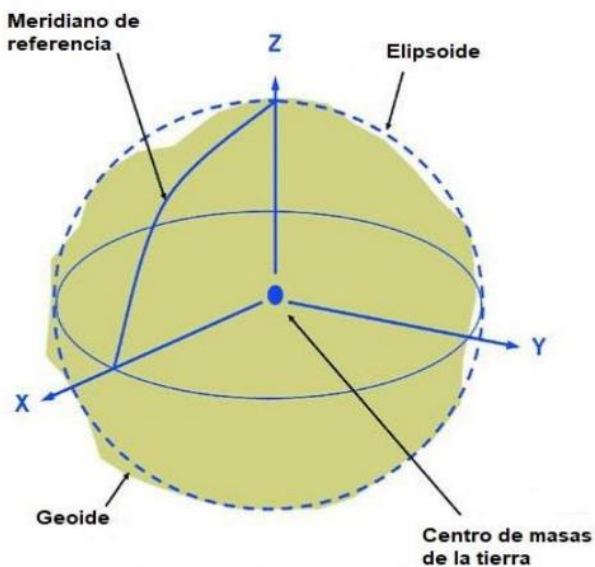
Figura 7. Representación del datum local.



Fuente: R. Villa Caro, "El datum, el geoide, el elipsoide y la Cartografía"

- Datum geocéntrico: también es conocido como datum global, se define por el tamaño, forma y orientación de un elipsoide, y está referido al centro de masa de la tierra (Figura 8). Ejemplo: WGS-84.

Figura 8. Datum geocéntrico.



Fuente: Geoide de campo gravitatorio medio, <https://www.researchgate.net>

Los datum también son clasificados en datum horizontales y verticales, los cuales se definen a continuación:

- Datum horizontal: Se utiliza como punto de partida para coordenadas planas de una región.
- Datum vertical: Se utiliza para medir elevaciones o profundidades; se define como la altura y se representa por las aguas marinas en reposo por debajo de los continentes.

3.1 Sistema de referencia global

Elipsoide (Superficie de Referencia)

Datum (Punto Fundamental)

3.1.1 Elipsoide WGS-84

Uno de los elipsoides de referencia más utilizados actualmente es el descrito en el sistema denominado World Geodetic System 1984 (WGS-84), desarrollado por el Departamento de Defensa de los EE. UU., y que tiene como origen el centro de masas de la Tierra. Su popularidad se debe a que es el utilizado por el Sistema de Posicionamiento Global por Satélite (GPS).

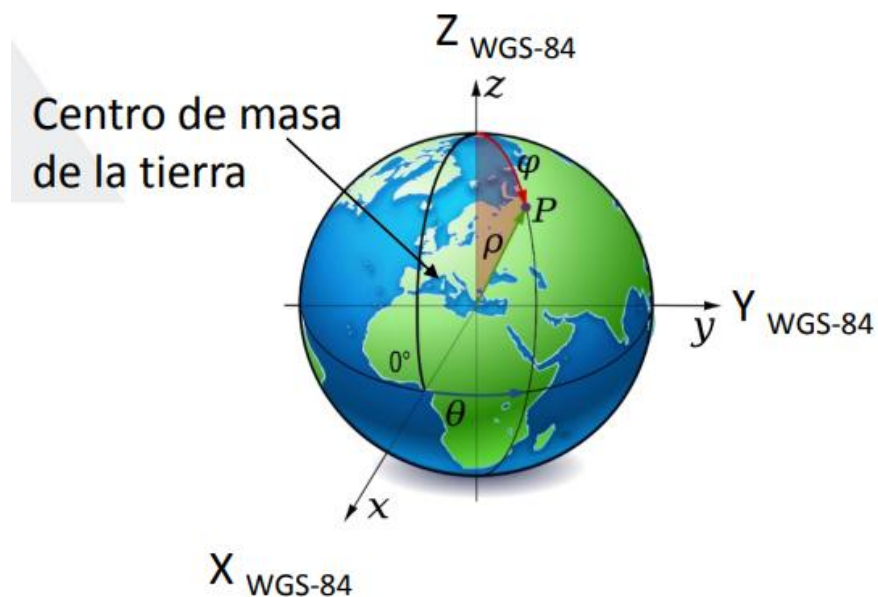
3.1.2 Datum WGS-84

El World Geodetic System WGS-84 es un sistema de coordenadas geográficas utilizado mundialmente, que permite localizar cualquier punto en la Tierra. Su desarrollo surgió de la necesidad de crear un sistema geodésico de referencia compatible con los Sistemas de Posicionamiento Global GPS, siendo esta su principal ventaja respecto a los sistemas de referencia locales. Durante sus inicios, se estableció para determinar las coordenadas de los satélites Doppler (WGS72), y fue hasta 1984 cuando se adoptó para las órbitas de los satélites NAVSTAR-GPS. WGS-84 es un estándar en geodesia, cartografía y navegación, y se estima que su error de cálculo es menor a los 2 cm, razón por la cual sirve de base al sistema GPS.

Además, su desarrollo se basa en la unificación de modelos de elipsoide global y datum global, los cuales se crearon gracias a la mejora de las capacidades informáticas y la tecnología GPS. Esta tecnología, mediante ondas de radio transmitidas por los satélites, permite mediciones extremadamente precisas de la Tierra. Ambos comparten el mismo nombre: Datum WGS-84 y Elipsoide WGS-84 (Figura 9).

El DATUM Global es el WGS-1984 y es geocéntrico, es decir, su origen está en el centro de masa de la Tierra.

Figura 9. Elipsoide WGS-84.



Fuente: Ing. W. Amaya Zelaya "GPS aplicado a Proyectos de Ingeniería Civil"

3.2 Sistema de Referencia Local

Elipsoide (Superficie de Referencia)

Datum Horizontal (Punto Fundamental)

Datum Vertical

Proyección Cartográfica

3.2.1 Elipsoide Clarke 1866

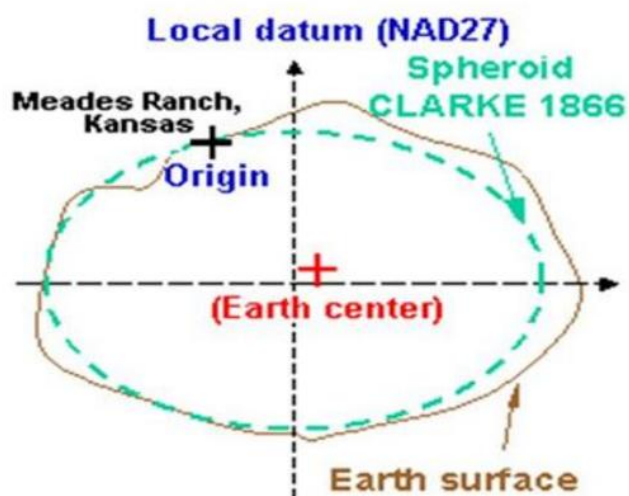
La base del plano geodésico norteamericano, el plano de referencia usado en la mayor parte del hemisferio occidental, el elipsoide Clarke 1866. El nombre fue dado en honor a Alexander Ross Clarke (1828-1914), geodesta británico.

3.2.2 Datum NAD27

El North American Datum 1927 (NAD27) se estableció por coordenadas y desviación de la vertical en la estación de triangulación Meades Ranch (Kansas, EE. UU.), referidas al elipsoide Clarke 1866, utilizado en la mayoría de los países de Centroamérica hasta la fecha.

El datum norteamericano de 1927 fue designado como base para las redes de triangulación de Estados Unidos, México y Canadá desde 1913.

Figura 10. Datum NAD27.



Fuente: Understanding Coordinates, <https://slidetodoc.com>

El datum norteamericano, al ser un datum únicamente bidimensional (es decir, no incluye la componente de altura), es definido por parámetros puramente geométricos y de naturaleza local, lo que presenta la desventaja de ser incompatible con los sistemas de posicionamiento

global modernos, como el GPS. Además, presenta ciertas inconsistencias en algunas zonas debido a que la ampliación y densificación de su red de puntos se realizó con métodos geodésicos tradicionales.

Algunos elipsoides y datum de referencia más conocidos se muestran en la tabla 1.

Tabla 1. Elipsoides y datum.

NONBRE DE ELIPSOIDE	AÑO	a, METROS	f, APROXIMADO	DATUM
Bessel	1841	6377397	299.153	Tokio
Clarke	1866	6378206	294.187	NAD27
Krassovsky	1936	6378245	298.300	Pulkovo
WGS72	1972	6378135	298.260	WGS72
GRS80	1980	6378137	298.257	NAD83
WGS-84	1984	6378137	2298.257	WGS84

Fuente: Ing. W. Amaya Zelaya "GPS aplicado a Proyectos de Ingeniería Civil"

3.3 Sistema de Referencia Local Moderno

3.3.1 Elipsoide WGS-84/GRS80/SIRGAS-ES2007

Sistema Geodésico de Referencia SIRGAS-ES2007

El Sistema Geodésico de Referencia SIRGAS-ES2007, también conocido como SIRGAS El Salvador 2007, es una red GPS que se utiliza como marco de referencia para El Salvador. La precisión de las coordenadas finales de esta red se estima en: ± 7 mm para la componente horizontal, ± 20 mm para la componente vertical.

SIRGAS comenzó como el Sistema de Referencia Geocéntrico para América del Sur, pero en 2000 se extendió al Caribe, Norte y Centroamérica, convirtiéndose en el Sistema de Referencia Geocéntrico para las Américas y conservando su acrónimo.

El sistema SIRGAS, como sistema de referencia, se define de manera idéntica al Sistema Internacional de Referencia Terrestre (ITRS) y, como marco de referencia, es una densificación regional del Marco Internacional de Referencia Terrestre (ITRF). Además, sus coordenadas están referidas a una época específica, tomando en cuenta sus variaciones a través de las velocidades individuales de las estaciones o mediante un modelo de velocidades con cobertura en todo el continente.

Para entender mejor el párrafo anterior es necesario conocer las siguientes definiciones:

- ITRS (International Terrestrial Reference System): es un sistema de referencia ideal constituido como un conjunto de convenciones (constantes, modelos, parámetros, etc.), que sirve como base para la representación de la geometría de la superficie de la tierra y su variación en el tiempo. Dado que es definido como un concepto o idea, este sistema debe ser asociado a un marco de referencia para su materialización a través de marcas físicas (vértices geodésicos) y matemáticas.
- ITRF (International Terrestrial Reference Frame): es la materialización del ITRS, es decir es un conjunto de puntos con sus coordenadas cartesianas tridimensionales que dan cuenta de un sistema de referencia ideal, ITRS. La materialización del sistema SIRGAS inició mediante dos campañas GPS, SIRGAS95 con 58 estaciones y SIRGAS2000 con 84 estaciones de referencia. En la actualidad está materializado por una red de estaciones GNSS de funcionamiento continuo con coordenadas de alta precisión (asociadas a una época específica de referencia) y sus cambios a través del tiempo (velocidades de las estaciones). Esta red, llamada SIRGAS-CON, está compuesta actualmente por aproximadamente 400 estaciones distribuidas en América Latina y es procesada rutinariamente por los

Centros de Análisis SIRGAS con el fin de proporcionar una realización precisa y actual del marco de referencia (Figura 11).

Figura 11. Red SIRGAS-COM



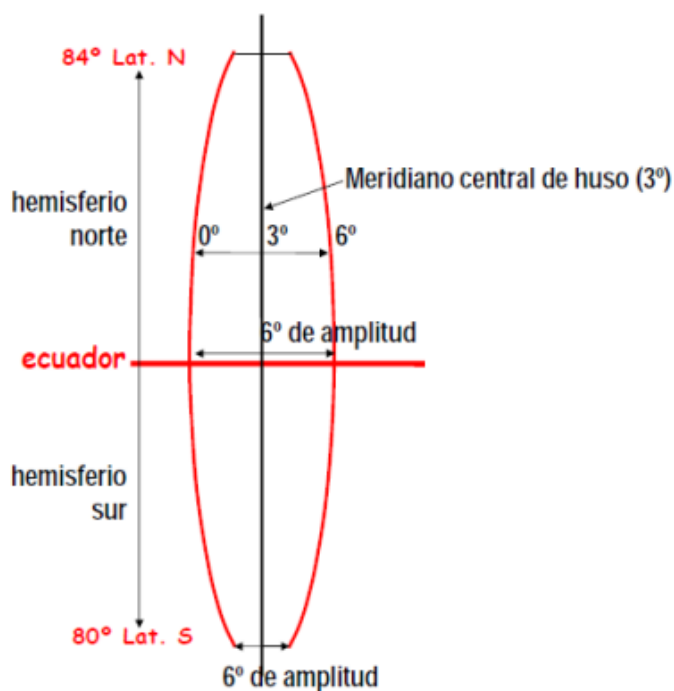
Fuente: <http://www.sirgas.org/es/sirgas-con-network/stations>

El Marco de Referencia de El Salvador es una red de base GPS de 38 estaciones (Figura 12). Fue medido por el Departamento de Levantamiento de Control Geodésico del Instituto Geográfico y del Catastro Nacional (IGCN) dependencia del Centro Nacional de Registro (CNR) utilizando posicionamiento GPS diferencial en subredes parciales y en 36 sesiones diarias entre octubre y diciembre de 2007. La mayoría de las estaciones de referencia fueron determinadas junto con un punto de control secundario para garantizar la estabilidad a largo plazo de la red. Dado que SIRGAS es una densificación regional del ITRF, SIRGAS-ES2007.8 es la densificación nacional de SIRGAS en El Salvador, la cual

Gerardus Mercator. No se trata simplemente una proyección, sino de un sistema completo basado en una proyección cilíndrica que permite cartografiar la totalidad de la tierra. Para ello, se divide en zonas rectangulares que forman una cuadrícula con parámetros geodésicos específicos para cada zona.

Las zonas de la cuadrícula UTM son denominadas “husos”, que están numerados del 1 al 60 y abarcan 6° de longitud cada una. Cada huso es tangente en su parte central a un meridiano de la Tierra. El huso 1 se sitúa entre los 180° y 174° O, y la numeración avanza hacia el Este (Figura 13).

Figura 13. Separación de Husos del mapa en el globo terráqueo.



En latitud, cada huso se divide en 20 zonas, que van desde los 80° S hasta los 84° N. La forma de interpretarse es la siguiente: se utilizan letras desde la C a la X, con excepción de las letras I y O, debido a su similitud con los dígitos 1 y 0. Cada zona abarca 8 grados de latitud, excepto la zona X, que se extiende unos 4 grados adicionales.

Tabla 2. Parámetros de proyección UTM, zona 16.

PROYECCIÓN UNIVERSAL DE MERCATOR UTM ZONA 16	
Proyección	WGS-84
Coordenadas de entrada	Latitud φ y longitud λ referida a WGS-84
Elipsoide	WGS-84/GRS80
Semieje mayor	a= 6378137 m
Semieje menor	b= 6356752.31414 m
Achatamiento	1/f= 298.257222101
Excentricidad	e ² = 0,0066943800229
Parámetros de la proyección	
Falso Este	500 000,00 m
Falso Norte	0 m
Paralelo de origen	0° 0' 00" N

Meridiano de origen	87° 0' 00" W
Factor de escala en el meridiano origen	0.99960000
DATUM WGS-1984	
Tx=0 Ty=0 Tz=0	

Fuente: Ing. W. Amaya Zelaya "GPS aplicado a Proyectos de Ingeniería Civil"

En El Salvador, las coordenadas planas se denominan "Universal Transversal de Mercator Zona 16 N" y "Cónica Conformal de Lambert", siendo esta última la de uso oficial, a la cual se hará referencia más adelante.

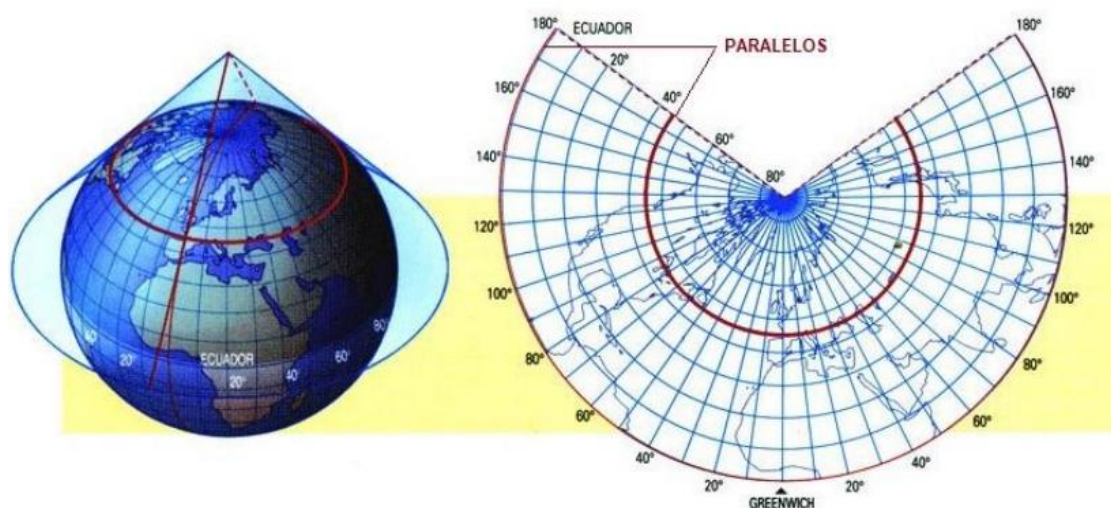
3.4.2 Cónica Conformal de Lambert

La Proyección Cartográfica Cónica Conformal de Lambert Secante es una de las proyecciones cónicas más conocidas. Fue presentada en 1772 por el matemático, físico, filósofo y astrónomo francés Johann Heinrich Lambert. Anteriormente, se ha definido una proyección cónica como aquella en la que un cono se superpone sobre la esfera de la Tierra, con dos paralelos secantes al globo que lo intersectan (Figura 14). Este tipo de proyección minimiza las distorsiones causadas por proyectar una superficie tridimensional a una bidimensional. Como su nombre indica, es

una proyección conforme, lo que significa que mantiene las formas de la Tierra y no distorsiona los ángulos.

Figura 14. Superposición del cono sobre el globo terráqueo, Proyección Cónica

Conformal de Lambert



Fuente: <http://gea.ciens.ucv.ve>

Algunas de las características más importantes de la Proyección Lambert son las siguientes:

- El factor de escala es constante en los paralelos base, disminuyendo entre ellos y aumentando a medida que se aleja de ellos.
- Los paralelos son círculos concéntricos, espaciados de tal manera que la distancia entre ellos es menor en el centro del mapa, aumentando conforme se alejan de los polos.

- Los meridianos son radios de los círculos anteriores y cortan los paralelos en ángulo recto.
- Los ángulos entre los meridianos en la proyección son más pequeños que los correspondientes en el globo terráqueo.
- Es una proyección cónica secante normal.
- Debido a sus características, es adecuada para la representación de áreas que se extienden de Este a Oeste con poca variación en latitud (latitudes medias).
- Su uso es común en mapas a escala 1:500.000, así como en cartas aeronáuticas de una escala similar.

En el antiguo Sistema de Referencia Geodésico de El Salvador, se utilizaba la Proyección Cónica Conformal de Lambert asociada al elipsoide Clarke 1866.

Tabla 3. Parámetros de Proyección Cónica Conformal de Lambert, NAD27.

PROYECCIÓN CÓNICA CONFORMAL DE LAMBERT SECANTE	
Proyección	Lambert
Coordenadas de entrada	Latitud ϕ y longitud λ
Elipsoide	Clark 1866
Semieje mayor	a= 6378206,4 m
Semieje menor	b= 6356583,8 m
Achatamiento	1/f= 294,97869821390
Excentricidad	e ² = 0,006 768 657 997 291
Parámetros de la proyección	
Falso Este	500 000,00 m
Falso Norte	295 809, 184 m
Paralelo de origen	13° 47' N (valor en NAD27)
Meridiano de origen	89° 00' W (valor en NAD27)
1. Paralelo estándar	13°19' N (valor en NAD27)
2. Paralelo estándar	14°15' N (valor en NAD27)
Factor de escala en el meridiano origen	0.99996704
Parámetros de transformación Datum NAD27 América Central	
Tx=0 Ty=125 Tz=194	

Fuente: Ing. W. Amaya Zelaya "GPS aplicado a Proyectos de Ingeniería Civil"

**Tabla 4. Parámetros de Proyección Cónica Conformal de Lambert, SIRGAS
ES2007.**

PROYECCIÓN CÓNICA CONFORMAL DE LAMBERT SIRGAS-ES2007	
Proyección	Lambert
Coordenadas de entrada	Latitud ϕ y longitud λ
Elipsoide	WGS-1984/GRS80
Semieje mayor	a= 6378137,0 m
Semieje menor	b= 6356752,3 m
Achatamiento	1/f= 298,257222101
Excentricidad	e ² = 0,006 694 380 022 9
Parámetros de la proyección	
Falso Este	500 000,00 m
Falso Norte	295 809, 184 m
Paralelo de origen	13° 47' 03.477624" N (valor en SIRGAS)
Meridiano de origen	88° 59' 59.938692" W (valor en SIRGAS)
1. Paralelo estándar	13° 19' 03.477624" N (valor en SIRGAS)
2. Paralelo estándar	14° 15' 03.477624" N (valor en SIRGAS)
Factor de escala en el meridiano origen	0.99996704
Parámetros de transformación Datum SIRGAS-ES2007	
Tx=0 Ty=0 Tz=0	

Fuente: Ing. W. Amaya Zelaya "GPS aplicado a Proyectos de Ingeniería Civil"

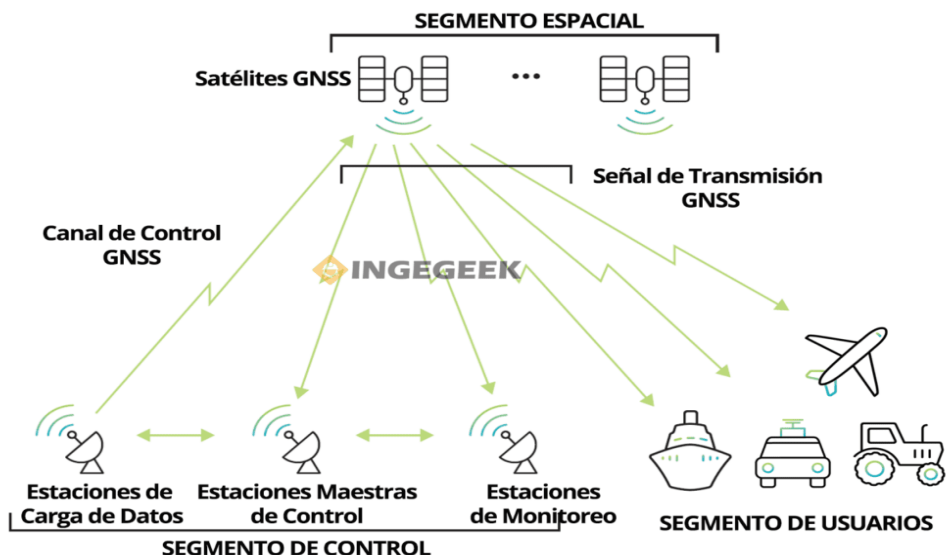
CAPÍTULO IV: SISTEMAS GLOBALES DE NAVEGACIÓN POR SATÉLITE (GNSS)

El concepto de GNSS es relativamente reciente, ya que su historia comienza en los años 70 con el desarrollo del sistema estadounidense GPS. En sus orígenes, este sistema se destinaba exclusivamente a aplicaciones militares, bajo el control del DoD (Department of Defense) de los Estados Unidos, y sometido a un estricto control gubernamental. No fue sino hasta que se comenzaron a considerar sus aplicaciones civiles, que el Gobierno de los Estados Unidos encargó estudios a diversas agencias, como RAND, con el fin de analizar la viabilidad de emplear esta tecnología con fines civiles.

Un sistema global de navegación por satélite (GNSS, por sus siglas en inglés) es una constelación de satélites que transmite señales utilizadas para el posicionamiento y la localización en cualquier parte del globo terrestre, ya sea en tierra, mar o aire. Estos sistemas permiten determinar las coordenadas geográficas y la altitud de un punto determinado a partir de la recepción de señales procedentes de satélites artificiales de la Tierra, con fines de navegación, transporte, geodesia, hidrográfica, agricultura, y otras actividades afines.

Un sistema de navegación por satélites artificiales tiene una estructura claramente definida en tres segmentos, como se muestra en la Figura 15: el segmento espacial, el segmento de control y el segmento de usuario.

Figura 15. Constitución de un Sistema GNSS.



Fuente <https://www.ingegeek.site/>

Segmento espacial

Es el segmento compuesto por los satélites que forman el sistema, tanto de navegación como de comunicación. Mientras que los primeros orbitan alrededor de la Tierra en diferentes planos orbitales, los segundos forman los llamados sistemas de aumento, que sirven para corregir los errores de posicionamiento.

El segmento espacial de un GNSS debe contar con un número suficiente de satélites de navegación para garantizar una cobertura global en todo momento. El GPS estadounidense, por ejemplo, tiene una constelación actual de 30 satélites, distribuidos en seis planos orbitales de manera no uniforme, ya que los satélites adicionales que proporcionan información redundante se han ido

incorporando paulatinamente a la constelación originalmente compuesta por 24 satélites.

Segmento de control

Este segmento está formado por un conjunto de estaciones en tierra que recogen los datos de los satélites. Es un segmento complejo que varía según el país o coalición de países, y se estructura según los criterios más convenientes.

Sus funciones incluyen garantizar el buen funcionamiento del sistema mediante el monitoreo del segmento espacial, así como aplicar correcciones a la posición orbital y temporal de los satélites. Para ello, se envían señales de sincronización de los relojes atómicos y correcciones de las órbitas a los satélites.

Segmento de usuario

Está compuesto por los equipos GNSS que reciben las señales procedentes del segmento espacial. Estos dispositivos están formados por varios componentes básicos:

- ✓ **Antena receptora GNSS:** Asegura la recepción de las señales a la frecuencia de funcionamiento del sistema, con cobertura hemisférica omnidireccional. Puede adoptar diversas formas y materiales, dependiendo de la aplicación y el costo del receptor (monopolo, dipolo, dipolo curvado, cónico-espiral, helicoidal o microstrip).

- ✓ **Receptor:** Es un dispositivo heterodino que mezcla frecuencias para convertir la señal recibida en una frecuencia baja, que puede ser procesada por la electrónica del receptor. Este incluye un reloj altamente estable (generalmente un oscilador de cristal) y suele contar con una pantalla para mostrar la información de posicionamiento. Los receptores tienen tres funciones principales:
 - **Satellite Manager:** Gestiona los datos enviados por los satélites. Inicialmente, el receptor está en modo INIT, donde almacena el almanaque y el estado de los satélites. Luego pasa al modo NAV, donde almacena los datos necesarios para realizar los cálculos.
 - **Select Satellite:** Se encarga de encontrar los cuatro satélites con la geometría óptima para la navegación, a partir de una lista de satélites visibles.
 - **SV Position Velocity Acceleration:** Calcula la posición y la velocidad de los satélites empleados en la navegación.

Fuentes de error

La información procedente de cada satélite puede verse afectada por diversas fuentes de error que degradan la precisión del servicio. Algunos de estos errores incluyen:

- ✚ Efectos atmosféricos.
- ✚ Efectos multitrayecto.

- ✚ Errores de efemérides y reloj.
- ✚ Errores debidos a la relatividad.
- ✚ Disponibilidad selectiva.

4.1 Sistema de Posicionamiento Global (GPS)

El GPS o Global Positioning System tiene su origen en el sistema **TRANSIT** (también estadounidense), que surgió en los años 60 como resultado de la colaboración entre los Departamentos de Defensa y Transporte de los EE. UU. y la NASA.

(También conocido como NAVSTAR, el sistema TRANSIT fue el primer sistema de navegación por satélite en funcionamiento.)

El sistema GPS tiene como objetivo calcular la posición de un punto cualquiera en un espacio de coordenadas (x, y, z), partiendo del cálculo de las distancias del punto a un mínimo de tres satélites cuya localización es conocida. Para mantener la posición constantemente, el sistema se basa en una compleja red de satélites y estaciones terrestres, que se componen de tres segmentos básicos, dos de los cuales son de responsabilidad militar:

- Segmento espacial: Formado por 24 satélites GPS con una órbita de 26.560 km de radio y un período de 12 horas.
- Segmento de control: Consta de cinco estaciones de monitoreo encargadas de mantener en órbita los satélites y supervisar su funcionamiento, tres

antenas terrestres que envían señales a los satélites y una estación experta encargada de supervisar todas las operaciones (Figura 16).

- Segmento de usuario: Formado por las antenas y receptores pasivos situados en tierra. A partir de los mensajes procedentes de los satélites visibles, los receptores calculan distancias y proporcionan una estimación de posición y tiempo.

Figura 16. Master Control Station.



Fuente <https://teoriadeisignali.it/>

Tipo de receptores GPS

Los receptores GPS cubren una amplia gama de aplicaciones y se pueden clasificar en:

- Receptores de navegación.
- Receptores de una frecuencia.
- Receptores de doble frecuencia.

GPS navegadores

Son receptores de tamaño pequeño y portátil, generalmente diseñados solo para navegación. No son aptos para el uso de técnicas GPS diferenciales. Su precisión varía entre 3 y 10 metros, y almacenan en su memoria los datos observados, conocidos como Waypoint.

Figura 17. Imágenes de waypoint.



Fuente: Ing. W. Amaya Zelaya "GPS aplicado a Proyectos de Ingeniería Civil"

GPS geodésicos de una frecuencia

Estos receptores tienen la característica de ser mono frecuencia, lo que implica que solo reciben la onda portadora L1. Los equipos modernos también reciben señales de las constelaciones GLONASS (satélites rusos), GALILEO (satélites europeos) y BEIDOU (satélites chinos), logrando precisiones submétricas en distancias de 5 a 10 km entre los receptores.

Figura 18. GPS geodésicos de una frecuencia.



Fuente: <https://www.google.com>

GPS geodésicos de doble frecuencia

Los receptores de doble frecuencia reciben las ondas portadoras L1, L2 y L5. Además de las señales de las constelaciones mencionadas (GLONASS, GALILEO y BEIDOU), permiten lograr precisiones subcentimétricas en líneas base superiores a 10 km.

Figura 19. GPS geodésicos de una frecuencia.



Fuente: <https://www.google.com>

La distancia entre el usuario (receptor GPS) y un satélite se mide multiplicando el tiempo de vuelo de la señal emitida por el satélite por la velocidad de propagación de la señal. Para medir el tiempo de vuelo de la señal, es necesario que los relojes de los satélites y los receptores estén sincronizados, ya que ambos deben generar simultáneamente el mismo código. Aunque los relojes de los satélites son muy precisos, los de los receptores son osciladores de cuarzo de bajo coste y, por lo tanto, imprecisos. Las distancias con errores debido al sincronismo se denominan pseudodistancias. La desviación en los relojes de los receptores introduce una incógnita adicional, lo que hace necesario contar con al menos cuatro satélites para estimar correctamente las posiciones.

Fuentes de error

Algunas de las fuentes de error que afectan significativamente las mediciones GPS son:

- **Perturbación ionosférica.**

La ionósfera, que está formada por una capa de partículas cargadas eléctricamente, modifica la velocidad de las señales de radio que la atraviesan.

- **Fenómenos meteorológicos.**

En la tropósfera, donde ocurren los fenómenos meteorológicos, el vapor de agua afecta a las señales electromagnéticas, disminuyendo su velocidad.

- **Imprecisión en los relojes.**

A pesar de su cuidadoso ajuste y control, los relojes atómicos de los satélites presentan ligeras desviaciones, lo mismo ocurre con los relojes de los receptores.

- **Interferencias eléctricas imprevistas.**

Las interferencias eléctricas pueden ocasionar correlaciones erróneas de los códigos pseudoaleatorios o un redondeo inadecuado en el cálculo de la órbita.

- **Error de multitrayectoria.**

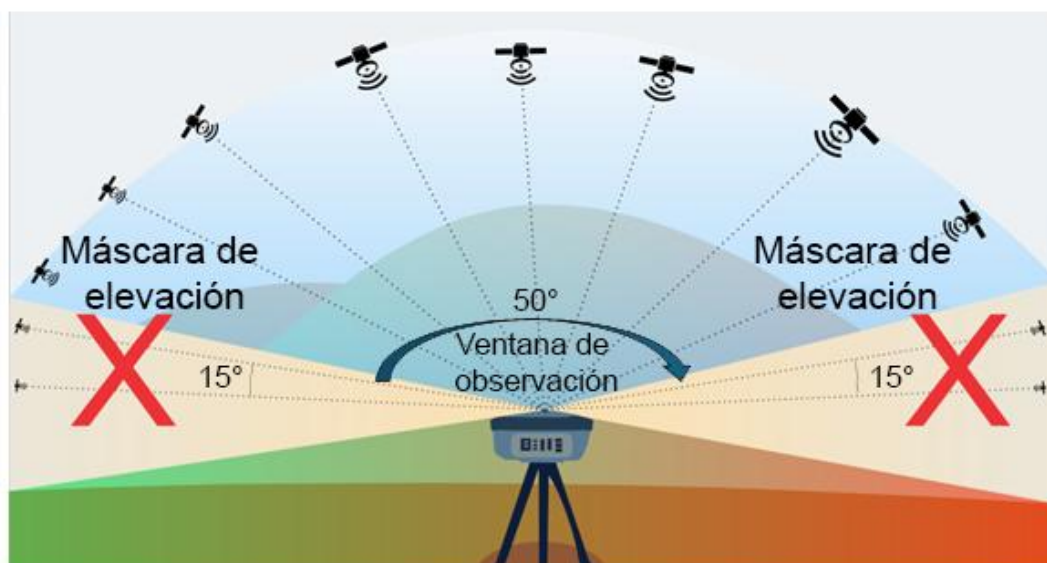
Las señales transmitidas desde los satélites pueden sufrir reflexiones antes de llegar al receptor. Los receptores modernos emplean técnicas avanzadas de procesamiento de señales y antenas especializadas para minimizar este error, que depende del entorno donde se encuentre la antena GPS.

Para evitar el error de multitrayectoria, se realiza un análisis previo de la zona y se seleccionan sitios adecuados para la colocación de los receptores, con condiciones mínimas para la recolección de observaciones satelitales. Se establece una máscara de elevación de 15 grados sobre el horizonte y una ventana de observación de 150 grados (ver figura 20).

Máscara de elevación: Se refiere a la menor elevación en grados a la que un receptor puede seguir a un satélite. Generalmente se fija en 15° para evitar los efectos atmosféricos y las interferencias causadas por objetos cercanos, así como los efectos de multitrayectoria.

Ventana de Observación: Es el tamaño del área del cielo despejado para la recolección de información. Esta ventana se mide en grados y típicamente es de 150°.

Figura 20. Máscara de elevación y ventana de observación.



Fuente <https://adenilsongiovani.com.br/>

- **Interferencia "Disponibilidad Selectiva S/A".**

Constituye la mayor fuente de error y es introducida deliberadamente por el estamento militar.

- **Topología receptor-satélites.**

Los receptores deben considerar la geometría receptor-satélites al calcular las distancias, ya que una configuración espacial determinada puede aumentar o disminuir la precisión de las mediciones. Los receptores más

avanzados utilizan un factor multiplicativo que modifica el error de medición de la distancia (dilución de la precisión geométrica).

- **Error de Efemérides.**

Las efemérides son la posición del satélite en la órbita en el momento de enviar la información al receptor. El usuario recibe la señal del satélite con un retraso de aproximadamente 0.07 segundos. Existen dos tipos de efemérides:

Efemérides transmitidas (Broadcast Ephemeris): Son estimaciones de la posición del satélite que el satélite transmite cada 30 segundos.

Efemérides precisas: Son las posiciones exactas del satélite, calculadas en base a observaciones de redes de rastreo de satélites GPS. Estas se publican en Internet unos días después de la toma de datos.

- **Error de Dilución de la Precisión (Dilution of precision “DOP”)**

Se refiere al efecto de la geometría de los satélites en la precisión de las mediciones de posición. El DOP se subdivide en:

GDOP: (Geometric Dilution Of Precision): Pérdida de precisión debido a la geometría satelital.

PDOP: (Posicion Dilution Of Precision): Error causado por la posición relativa de los satélites GPS.

- **DILUCION DE LA PRECISIÓN (PDOP).**

El indicador PDOP es un número adimensional con un valor inferior a 6. Está asociado al GDOP. Es decir, si en una medición GPS el valor del PDOP es, por ejemplo, 3, significa que existe una buena geometría satelital (GDOP) en el espacio y, por tanto, el DOP, que significa "indicador de la precisión", es bueno. En consecuencia, las coordenadas recolectadas en ese momento serán muy precisas. Por el contrario, si el PDOP en una medición GPS es mayor que 6, significa que la geometría es deficiente (es decir, un mal GDOP), lo que puede ocurrir debido a interferencias en el sitio de medición (como árboles, edificios, etc.). Esto implica que la máscara de elevación es superior a los 15 grados y el efecto de multitrayectoria es evidente.

El valor del PDOP, se subdivide en:

HDOP: Dilución Horizontal de la Precisión (x, y)

VDOP: Dilución Vertical de la Precisión (z)

TDOP: Dilución del Tiempo en la Precisión (t)

Las fuentes de error pueden agruparse según su dependencia o no de la geometría de los satélites. El error debido a la Disponibilidad Selectiva y los derivados de la imprecisión de los relojes son independientes de la geometría de los satélites. Sin embargo, los retrasos ionosféricos, troposféricos y los errores de multitrayectoria dependen fuertemente de la topología. Los errores

provenientes de las distintas fuentes se acumulan en un valor de incertidumbre asociado a cada medida de posición GPS.

4.2 Sistema Global de Navegación por Satélite (GLONASS)

Disponibilidad Selectiva URSS.

El sistema se desarrolló entre 1982 y 1991, y se planeó para estar completamente operativo para entonces. Sin embargo, la caída de la Unión Soviética paralizó su desarrollo, el cual fue retomado por la Federación Rusa, que lo declaró oficialmente operativo en 1993. No fue hasta 1995 cuando se completó la constelación. El propósito oficial de este sistema es ofrecer posicionamiento espacial y temporal, así como medición de velocidad, en toda la Tierra y el espacio cercano, a un número ilimitado de usuarios bajo cualquier circunstancia.

Al igual que el GPS, el GLONASS se compone de tres segmentos, aunque el diseño de cada uno de ellos es diferente al del GPS, aunque comparten muchas similitudes:

- Segmento espacial: constelación de satélites GLONASS. Originalmente se planteó una constelación de 24 satélites.
- Segmento de control: estaciones de control distribuida por el territorio ruso.
- Segmento de usuario.

Errores del sistema GLONASS

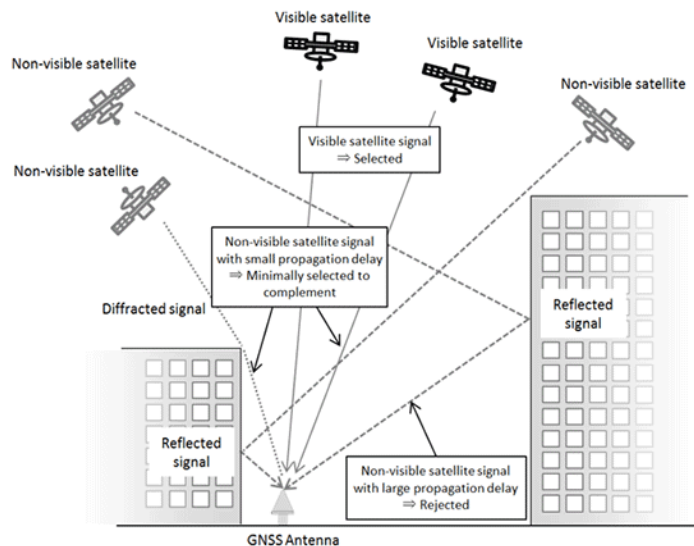
Los sistemas GPS y GLONASS están sujetos a varios errores que afectan la precisión de la posición calculada. Estos errores, en conjunto, pueden estar en el rango de 10 a 25 metros, dependiendo del tipo de receptor, la posición relativa del satélite y la magnitud de otros errores.

- ✓ **Error ionosférico.** El error más significativo ocurre durante el paso de la señal del satélite a través de la ionosfera de la Tierra. La ionosfera es una capa de partículas cargadas eléctricamente que cubre la Tierra entre aproximadamente 130 y 190 km sobre la superficie.
- ✓ **Error atmosférico.** Se introduce otro error cuando la señal pasa a través de la atmósfera. El vapor de agua en la atmósfera ralentiza las señales de radiofrecuencia, reduciendo aún más la exactitud del sistema.
- ✓ **Disponibilidad selectiva.** Desde la puesta en servicio del sistema GPS, el DoD (Departamento de Defensa de los EE. UU.) ha introducido intencionalmente un error en el sistema, denominado "disponibilidad selectiva" (SA), con el fin de negar los beneficios de la exactitud del sistema GPS en situaciones bélicas (error de ± 100 m.).
- ✓ **Error del receptor.** El receptor a bordo puede introducir una cierta cantidad de error durante las diversas etapas del procesamiento de las señales recibidas de los satélites. Estos errores pueden ser causados por ruido

térmico, la precisión del software y el error de sesgo (diferencia entre el valor esperado del estimador y el valor real) entre los canales de recepción.

- ✓ **Error de efemérides** (posición) del satélite. Este error se refiere a que un satélite puede estar en una posición ligeramente diferente a la que transmite hacia los receptores.
- ✓ **Dilución de Precisión (DOP) por Posición.** La geometría posicional de los satélites que se utilizan para determinar la ubicación del receptor influye considerablemente en la exactitud de los cálculos de posición.
- ✓ **Error de multitrayectoria. (multipath).** os efectos de la multitrayectoria de la señal GPS ocurren cuando la señal no solo se recibe directamente desde el satélite, sino también desde superficies cercanas a la antena del receptor debido a la reflexión de la señal. La señal de multitrayectoria se superpone con la señal directa y produce errores de fase, lo que da como resultado mediciones erróneas de las distancias a los satélites. Estos efectos tienen características periódicas y pueden causar errores de varios metros con las técnicas tradicionales de medición del pseudorange.

Figura 21. Efecto multitrayectoria (multipath).



Fuente: <https://telecomunicacionesrf.blogspot.com/>

4.3 Sistema Europeo de Radionavegación por Satélite (GALILEO)

El sistema Galileo es el sistema global de navegación por satélite desarrollado por la Unión Europea. Es uno de los proyectos más ambiciosos de la Agencia Espacial Europea (ESA) y surge de la necesidad que tiene Europa de disponer de un sistema de posicionamiento por satélite independiente del GPS o el GLONASS, aunque compatible con ambos.

Estructura y características técnicas

La arquitectura del sistema Galileo se compone de cuatro componentes principales destinados a diferentes funciones:

- Elemento Global
- Elemento Regional

- Elemento Local
- Elemento de Usuario

Elemento Global

Engloba el segmento espacial, así como toda la red de estaciones terrenas que le darán soporte, desempeñando funciones de monitorización y control del sistema y de los satélites.

El segmento espacial estará compuesto por una constelación de 30 satélites (27 operativos y 3 de reserva) en órbita media (MEO) distribuidos en tres planos orbitales de 56° de inclinación con respecto al Ecuador terrestre y a una altitud media de 23.222km. Los satélites estarán distribuidos uniformemente en cada plano y tardarán 14 horas en completar una órbita a la Tierra. Cada plano contará con nueve satélites operativos y con uno de reserva. Esta configuración orbital responde a la búsqueda de la mejora de la cobertura. Según los ingenieros y analistas de la ESA, con 30 satélites a esta altitud, hay una probabilidad muy alta (mayor del 90%) de poder ver un mínimo de cuatro satélites en cualquier momento desde cualquier lugar del mundo, lo que es en principio suficiente para determinar la posición del usuario.

Elemento Regional

La integridad de la información ofrecida con el servicio Safety-of -Life de Galileo es proporcionada por el Elemento Global y será válida en todo el planeta. El

Elemento Regional dará a las regiones la posibilidad de determinar la integridad de su propia información y transmitirla a través de los satélites. Se sabe que se compondrá de un sistema de control de integridad formado por una red de estaciones localizadas en puntos conocidos que enviarán la información de integridad a una central de proceso y control.

Elemento Local

Este elemento tiene en definitiva por objeto proporcionar un incremento de la integridad y la precisión sobre áreas locales tales como aeropuertos, puertos, zonas de dragados, etc.

Elemento Usuario

Este elemento lo constituye el receptor Galileo, encargado de extraer la información contenida en las señales enviadas por los satélites y presentarla al usuario de manera comprensible. El diseño de los diferentes componentes del receptor deberá tener en cuenta la posible complementariedad con otros sistemas y su hibridación, con el fin de satisfacer las necesidades de ciertos tipos de usuarios. Será necesario garantizar que se pueda utilizar un receptor de referencia como parte de un sistema de validación y certificación para asegurar el correcto funcionamiento del servicio.

GALILEO transmite en 10 radiofrecuencias diferentes, distribuidas de la siguiente manera:

- 4 frecuencias en el rango de 1164-1215 MHz (E5A-E5B)
- 3 frecuencias en el rango de 1260-1300 MHz (E6),
- 3 frecuencias en el rango de 1559-1591 MHz (L1).

4.4 Sistema de Navegación por Satélite (BEIDOU O COMMPASS)

BDS (北斗卫星导航系统, pinyin: Běidǒu Wèixīng Dǎoháng Xìtǒng) es el Sistema de Navegación por Satélite desarrollado por la República Popular China. Fue concebido inicialmente para ser de utilidad para las Fuerzas Armadas chinas y, en segundo plano, para las autoridades políticas del país. Sin embargo, en un mundo globalizado, el sistema ha encontrado un nuevo campo de aplicación que, según el diseñador jefe de Beidou, tiene como objetivo “propiciar el crecimiento y el bienestar de todos los países, especialmente en la región Asia-Pacífico, África y el este de Europa”.

El sistema comenzó su desarrollo a mediados de la década de 1990, cuando las Fuerzas Armadas chinas, especialmente sus aviones militares y sistemas de misiles, se veían obligadas a emplear el sistema de navegación GPS administrado por la Fuerza Aérea de Estados Unidos. En esos años, las autoridades militares chinas se dieron cuenta de que, durante los ejercicios realizados por sus fuerzas estratégicas de medio y largo alcance, los misiles no alcanzaban con la debida precisión los objetivos previstos.

La red no fue operativa en China hasta el año 2000 y, desde diciembre de 2012, comenzó a ofrecer cobertura en la región Asia-Pacífico. A nivel global, comenzó a operar en diciembre de 2018, con cobertura sobre los 30 países que forman parte de la Iniciativa del Cinturón y la Ruta de la Seda (BRI), la enorme infraestructura y programa comercial liderado por China.

Segmento espacial.

Generaciones del sistema BEIDOU

Hoy en día, el sistema de navegación por satélite Beidou se divide en generaciones operativas de la siguiente manera:

- **Generación Beidou-1**

Consiste en 3 satélites que, desde el 2000, han ofrecido cobertura limitada y servicios de navegación, principalmente para usuarios en China y sus regiones vecinas. Beidou-1 fue dado de baja a finales de 2012.

- **Generación Beidou-2**

Comenzó a operar en China en diciembre de 2011 con una constelación parcial de 10 satélites en órbita. Desde diciembre de 2012, ha estado proporcionando servicios en la región Asia-Pacífico.

- **Generación Beidou-3**

En 2015, China comenzó la construcción de la tercera generación del sistema BeiDou (Beidou-3), orientada a una constelación de cobertura global. El primer satélite BDS-3 fue lanzado el 30 de marzo de 2015. A partir de octubre

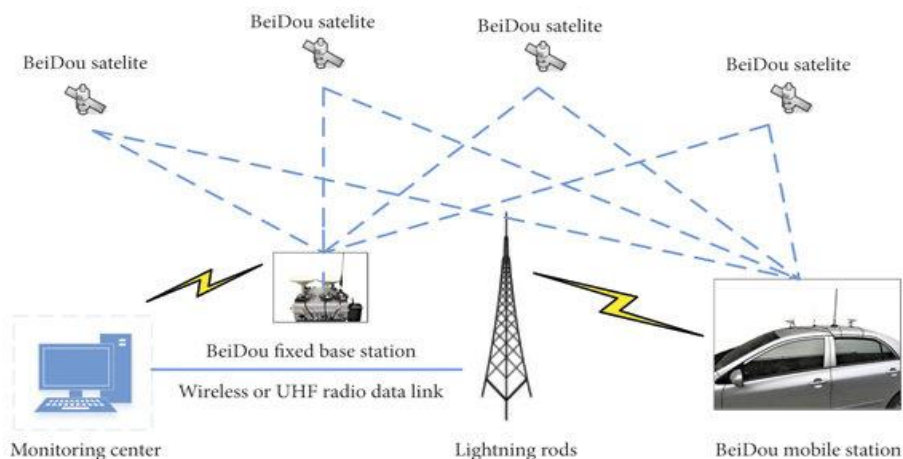
de 2018, se lanzaron 15 satélites BDS-3. Se espera que Beidou-3 alcance los 35 satélites y brinde servicios globales una vez que se complete en 2020. Al finalizar, Beidou ofrecerá un sistema alternativo de navegación por satélite global a los sistemas GPS de Estados Unidos, GLONASS de Rusia y GALILEO de Europa, con una precisión superior a estos.

La constelación espacial está compuesta por un total de 35 satélites, distribuidos en tres niveles. El principal incluye 27 satélites en órbita terrestre media, a más de 1,200 kilómetros de altura. Estos se complementan con 5 satélites situados en órbita geoestacionaria a 36,000 kilómetros de altura y otros 3 en órbita geosíncrona inclinada, proporcionando una cobertura global óptima, especialmente para los países que forman parte de la Iniciativa del Cinturón y la Ruta de la Seda. Las frecuencias para Beidou se asignan en cuatro bandas: E1, E2, E5B y E6.

Segmento de control

El segmento de control está compuesto por una estación maestra encargada del control de la constelación de satélites y de procesar las mediciones recibidas de las estaciones de monitoreo para generar los mensajes de navegación. También incluye tres estaciones de inyección de datos (Jamushi, Kashi y Zhanjiang), que transmiten las correcciones orbitales y los mensajes de navegación a los satélites BDS. Además, cuenta con 30 estaciones de monitoreo, las cuales recogen datos de todos los satélites del sistema cuando pasan por sus localidades.

Figura 22. Segmentos componentes de BEIDOU



Fuente <https://www.researchgate.net/>

Segmento usuario

El segmento de usuario está compuesto por terminales que reciben los datos del sistema BDS y, en muchos casos, son compatibles con otros sistemas de navegación por satélite.

CAPÍTULO V: TÉCNICAS DE MEDICIÓN SATELITAL

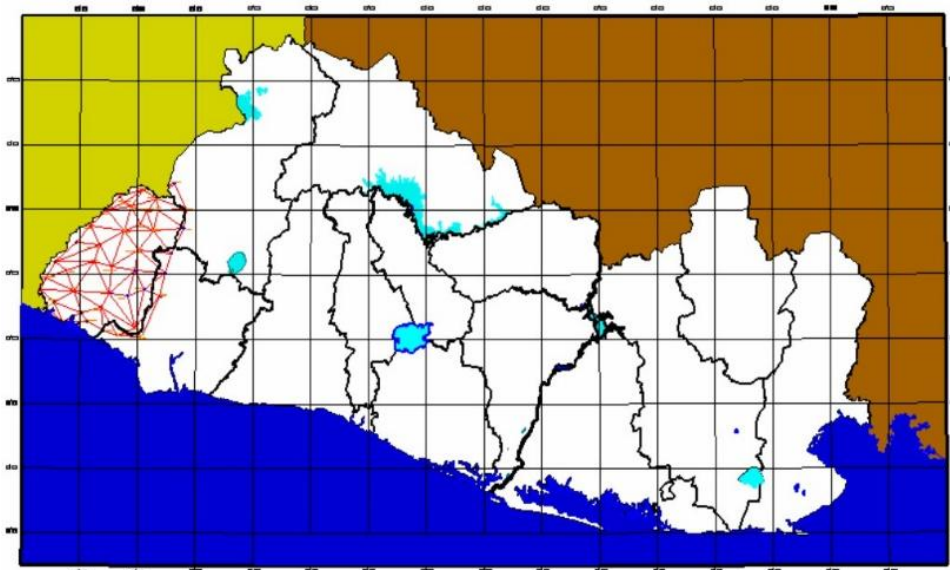
Al llevar a cabo un trabajo geodésico o topográfico, los equipos de recepción de datos GPS nos permiten elegir entre diferentes técnicas de medición, las cuales estarán condicionadas por factores como los requerimientos de precisión, los tipos de equipos disponibles, los costos, la información técnica solicitada en

campo, la distancia entre puntos, entre otros. A continuación, se describen los 4 métodos de medición más utilizados.

5.1 Estática

La medición estática ha sido durante muchos años el método principal de observación en levantamientos con GPS, debido a que ofrece resultados con un nivel de precisión excelente. Este método consiste en realizar observaciones simultáneas entre dos o más receptores estacionarios, los cuales registran datos durante el mismo período de tiempo y bajo los mismos parámetros de medición. Se aplica mediante la creación de una red de triangulación entre todos los puntos a medir (Figura 23). Aunque requiere un proceso riguroso, garantiza resultados precisos.

Figura 23. Red de triangulación resultante de una medición estática



Fuente: Densificación y Mantenimiento de la Red Geodésica Nacional.

Algunas de las características de la medición estática son las siguientes:

- Medición clásica de líneas base.
- Distancias largas y de gran precisión.
- Tiempos largos de observación.
- Método estándar para distancias superiores a 20 Km.
- Precisión de 5mm \pm 1ppm, dependiendo del tiempo de observación y de la distancia de la línea base.

Los parámetros de esta técnica de medición satelital se presentan a continuación:

Tabla 5. Parámetros de medición estática

PARÁMETROS	VALOR
Valor de máscara	10° - 15°
Intervalo de grabación	15 – 30 segundos
Número de satélites mínimos necesarios	4
Tiempo mínimo de observación	2 horas

Fuente: Datos tomados de Ing. W. Amaya Zelaya "Presentación Técnicas de medición satelital"

En la medición estática, existe una relación directamente proporcional entre el tiempo y la distancia, es decir, a mayor distancia, mayor tiempo de observación y viceversa. Además, deben tomarse en cuenta las siguientes diferencias relacionadas con el tipo de equipo a utilizar:

Tabla 6. Diferencias relacionadas con el tipo de equipo a utilizar en una medición

PARÁMETROS	GPS	GPS	GPS
	MONOFRECUENCIA	BIFRECUENCIA	ULTRAPRECISO
Mediciones de fases sobre	L1	L1 y L2	L1 y L2
Tiempo de observación	2 horas	2 a 8 horas	1 a varios días
Distancia hasta	20 km	300 km	5000 km
Precisión	+5 mm + 2 ppm	+5 mm + 1 ppm	± 10-8 D

Fuente: Vinculación de mediciones GPS al marco de referencia sirgas-2007, utilizando velocidades de la corteza terrestre y desplazamientos de las placas tectónicas en el departamento de Sonsonate. Autor: VA Candray Gómez y MB Marroquín Reyes 2021

Las mediciones estáticas se utilizan en Geodesia en aplicaciones como:

- ✓ Determinación de redes geodésicas de alta precisión milimétrica.
- ✓ Establecimiento de puntos de control geodésicos.
- ✓ Control de movimientos tectónicos y deformación de volcanes.
- ✓ Control de deformación en diques y otras estructuras, entre otros.

Para la implementación adecuada de esta técnica, se deben realizar ciertos procesos relacionados con el lugar de las mediciones, los cuales se mencionan a continuación:

1. Reconocimiento o identificación de campo

Consiste en buscar un lugar que cumpla con las características y condiciones necesarias en el terreno para ubicar el vértice geodésico. Una de las condiciones esenciales para este vértice es la no obstrucción (máscara de elevación) del

lugar, lo que garantiza el rastreo adecuado de la señal satelital, así como un acceso libre al área para poder ingresar al mismo.

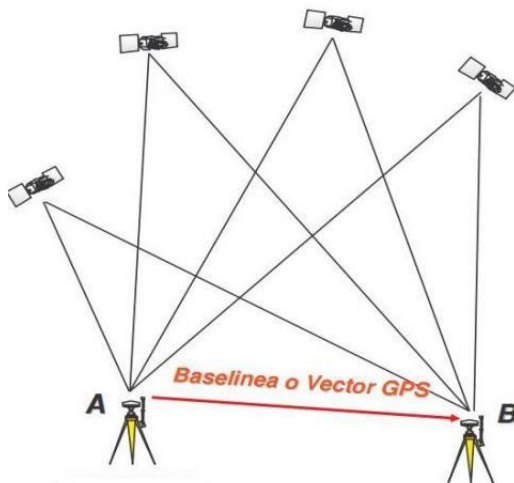
2. Monumentación

La monumentación de estaciones geodésicas deberá realizarse siguiendo los procedimientos establecidos por el Instituto Geográfico y de Catastro Nacional (IGCN). En el caso de las redes departamentales, estas estaciones constan de dos mojones debidamente identificados (vértice y marca de azimut), de concreto con forma piramidal truncada, en cuya parte superior se empotra una placa de cobre o aluminio, grabada con la institución estatal responsable (en este caso, el Centro Nacional de Registros del Instituto Geográfico Nacional), el nombre de la estación y el año. Este tipo de monumento con placa se establece en sitios seguros, ya que, en muchos casos, la estructura puede resultar dañada al arrancarles la placa. Como alternativa, se puede empotrar pines de hierro en la base superficial para marcar el vértice y su respectiva marca de azimut. Estas estructuras deben emplazarse en lugares estratégicos que garanticen su permanencia y estabilidad a lo largo del tiempo.

3. Medición de observación satelital.

Esta medición se realiza con dos o más receptores ubicados en los puntos cuyas coordenadas se desean conocer (Figura 24). Los resultados obtenidos deben ser postprocesados y ajustados para alcanzar las precisiones requeridas.

Figura 24. Medición del punto A al punto B utilizando en medición Estática



Fuente: Conceptos fundamentales GPS II

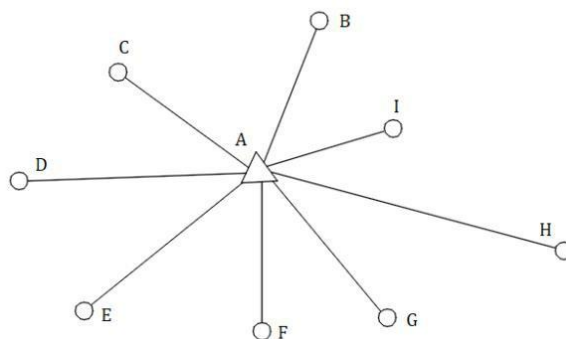
5.2 Estática Rápida

La medición estática rápida es similar a la medición estática en cuanto a que también requiere un postprocesamiento de datos. Sin embargo, la metodología y el tiempo de observación son diferentes. Esta técnica se aplica por radiación (Figura 25), es decir, mediante vectores; requiere una estación base o de referencia y un equipo adicional llamado *Rover*, el cual se desplaza por los puntos a medir. Este método se distingue principalmente porque se necesitan receptores de doble frecuencia con código P para llevarlo a cabo. Algunas de sus aplicaciones son:

- ✚ Densificación de redes.
- ✚ Levantamientos de control.
- ✚ Levantamiento de detalles.

- Cualquier trabajo que requiera la determinación rápida de un elevado número de puntos, etc.

Figura 25. Modo de observación estática rápida



Fuente: Vinculación de mediciones GPS al marco de referencia sirgas-2007, utilizando velocidades de la corteza terrestre y desplazamientos de las placas tectónicas en el departamento de Sonsonate Por VA

Candray Gómez y MB Marroquín Reyes 2021

Este proceso también incluye el desarrollo de las etapas de reconocimiento y monumentación. El tiempo de observación es más corto y depende de la cantidad de satélites, su configuración geométrica y la longitud de la línea base a medir. Los parámetros utilizados en esta técnica de medición satelital son los siguientes:

Tabla 7. Parámetros de Medición Estática Rápida

PARÁMETROS	VALOR
Valor de máscara	10° - 15°
Intervalo de grabación	10 segundos
Número de satélites mínimos necesarios	4
Tiempo mínimo de observación	5 a 20

Fuente: Datos tomados de Ing. W. Amaya Zelaya "Presentación Técnicas de medición satelital"

La precisión máxima de este método es de: $\pm(5 \text{ a } 10 \text{ mm} + 1 \text{ ppm})$. El tiempo de medición, de acuerdo con la longitud de la línea base entre la estación de referencia y el receptor móvil, es el siguiente:

- ❖ Menor a 5 km: 5 a 10 minutos.
- ❖ De 5 km a 10 km: 10 a 20 minutos.
- ❖ De 10 a no más de 20 km: 30 minutos.

5.3 Cinemática

El método cinemático es el más eficiente para realizar levantamientos con una gran cantidad de puntos cercanos entre sí; sin embargo, es una técnica de menor precisión. Consiste en utilizar un receptor denominado *Base* sobre un punto de referencia conocido y un receptor móvil denominado *Rover*, que se desplaza en la zona del proyecto, cuya posición puede ser calculada en relación con la base. Este proceso dura entre 1 y 5 minutos. La medición cinemática comprende una primera etapa denominada *iniciación*, que consiste en activar ambos receptores (Base y Rover) para que permanezcan estáticos durante cierto tiempo (5 a 20 minutos). Esto permite registrar los datos necesarios para resolver ambigüedades en la medición y proporcionar precisiones centimétricas en movimiento (Figura 26).

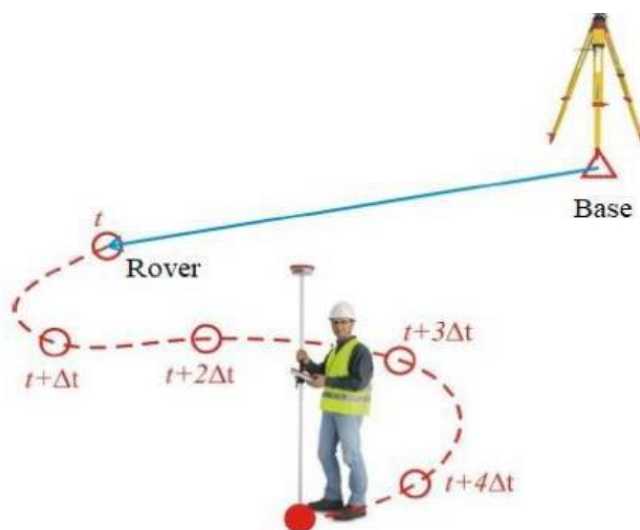
Figura 26. Proceso de inicialización



Fuente: Proceso de Observación y Procesamiento GNSS, Normas Técnicas Cartográficas de Andalucía.

Posteriormente, sin cortar el contacto con los satélites, el receptor móvil se mueve libremente por los puntos de interés, registrando sus posiciones con un intervalo de tiempo determinado en el receptor. Este proceso se conoce como *cadena cinemática* (Figura 27).

Figura 27. Método de medición cinemático



Fuente: Proceso de Observación y Procesamiento GNSS, Normas Técnicas Cartográficas de Andalucía

Los parámetros aplicados en la medición cinemática se presentan a continuación:

Tabla 8. Parámetros de Medición Cinemática

PARÁMETROS	VALOR
Valor de máscara	10° - 15°
Intervalo de medición	5 - 10 segundos
Número de satélites mínimos necesarios	4
Precisión máxima	± (1 cm + 2 ppm)
Distancia recomendada entre Base y Rover	Menor a 20 km
Tiempo mínimo de observación	1 - 5 minutos

Fuente: Datos tomados de Ing. W. Amaya Zelaya "Presentación Técnicas de medición satelital"

Cuando se realizan este tipo de levantamientos, es importante tener en cuenta los posibles errores de multitrayectoria y asegurarse de que no se tomen mediciones cerca de objetos que puedan bloquear las señales satelitales, como árboles, edificios de gran altura, etc.

Algunas aplicaciones del Método Cinemático son las siguientes:

- Medición de perfiles transversales.
- Navegación.
- Levantamiento de detalles en zonas despejadas.
- Levantamientos de ejes de carreteras, etc.

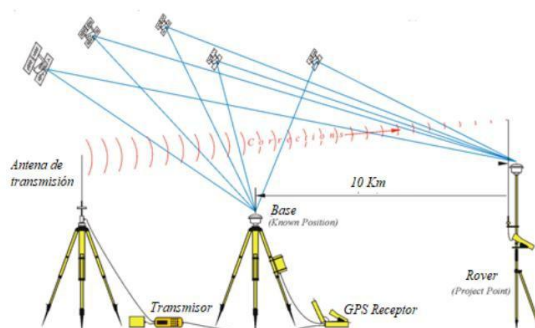
5.4 Cinemática RTK

Medición en Tiempo Real (RTK-Real Time Kinematic)

Este método consiste en obtener coordenadas en tiempo real, resolviendo el inconveniente presentado por los métodos anteriores, que requieren actividades de posprocesamiento de la información obtenida en campo para determinar las coordenadas respectivas.

Para este método se necesita un receptor de referencia (Base) y un receptor móvil (Rover), que estarán conectados a través de un enlace de radio (módem). El receptor Base captura datos de los satélites y los transmite al receptor móvil, que a su vez también recibe datos de los satélites a través de su propia antena. A partir de la información obtenida, el receptor móvil es capaz de procesar los datos, resolviendo posibles ambigüedades conforme estos se recolectan y proporcionando coordenadas bastante precisas disponibles de forma inmediata (Figura 28).

Figura 28. Medición en tiempo real RTK



Fuente: <http://telecomunicacionesrf.blogspot.com>

Un procedimiento detallado de una medición RTK es el siguiente:

- 1) Se comienza con un punto de coordenadas conocidas. La base debe instalarse en el lugar más conveniente, es decir, en un área sin obstáculos que permitan una medición clara de la señal satelital. Es recomendable que la posición de la Base esté cerca o dentro del área a levantar y, preferiblemente, en un sitio elevado para garantizar una mejor recepción y comunicación satelital. Además, el receptor Base debe estar a una distancia máxima de 10 km, debido al alcance del Modem.
- 2) Luego, se deben configurar e inicializar ambos equipos (Base y Rover) utilizando el aparato controlador. Se debe verificar que ambos estén en la misma frecuencia y que su enlace a través del módem esté correctamente establecido.
- 3) A continuación, se realiza el proceso de localización. El receptor móvil se desplaza hasta el punto de coordenadas conocidas. En este punto se realizarán varias mediciones que serán guardadas en un archivo, además de corregir la coordenada de la base, lo que garantiza que todos los puntos que se midan posteriormente estén georreferenciados.
- 4) Posteriormente, se traslada al área de trabajo y se inicia el levantamiento, tomando las mediciones necesarias.
- 5) Finalmente, es importante señalar que otra forma de realizar el levantamiento es colocando la Base en un punto de coordenadas conocidas, siempre que

el sitio de referencia cuenta con las condiciones adecuadas para el proceso de medición.

Los parámetros de la técnica de medición satelital RTK son los siguientes:

Tabla 9. Parámetros de Medición en Tiempo Real RTK

PARÁMETROS	VALOR
Valor de máscara	10° - 15°
Intervalo de medición	1 segundo
Número de satélites mínimos necesarios	4
Precisión máxima	± (1 cm + 2 ppm)
Distancia recomendada entre Base y Rover	Menor a 20 km
Tiempo mínimo de observación	1 - 5 minutos

Fuente: Datos tomados de Ing. W. Amaya Zelaya "Presentación Técnicas de medición satelital"

La medición RTK es comúnmente utilizada en levantamientos GPS de alta precisión y se recomienda en las siguientes aplicaciones:

- Levantamientos y localización de detalles en zonas despejadas.
- Medición de perfiles transversales, volúmenes.
- Levantamiento de ejes de carreteras.
- Replanteo.
- Levantamiento de control.
- Agricultura de precisión.

CAPÍTULO VI: MEDICIONES CINEMÁTICAS RTK

6.1 Fundamentos

La tecnología Real Time Kinematic (RTK) o Cinemático en Tiempo Real es el resultado de la evolución de los equipos GPS desde la aparición de este sistema de posicionamiento. Esta tecnología ofrece una característica particularmente interesante: el posicionamiento preciso en tiempo real, lo que significa la obtención de coordenadas al instante durante la medición, dentro del sistema de referencia adoptado previamente. Esta posibilidad se logra mediante la introducción de un enlace de comunicaciones entre los receptores GPS y la incorporación de software de procesamiento en los equipos.

Gracias a que la constelación de GPS ahora incluye 24 satélites, es posible llevar a cabo posicionamientos con condiciones de cobertura más estrictas, asegurando así una cobertura de 24 horas al día en cualquier parte del mundo.

Lo que diferencia a un equipo GPS convencional de uno RTK radica en que este último tiene capacidad de replanteo y permite obtener una distribución homogénea de datos en el relevamiento, controlando maniobras con exactitud.

Todos los avances tecnológicos en las técnicas de medición GPS están orientados a reducir el tiempo necesario para la toma de puntos y obtener los resultados en el propio campo. Hasta ahora, este tipo de trabajo quedaba

reservado para los métodos clásicos (Estaciones Totales). Sin embargo, mediante el uso de RTK en GPS, podemos emplear esta tecnología de manera similar a una Estación Total, es decir, obtener coordenadas al instante con una precisión de 1 cm + 2 ppm. Esto permite utilizar el equipo GPS para métodos de replanteo.

Esta técnica se clasifica como un método dinámico o cinemático, que son los que se aplican cuando es necesario determinar las coordenadas precisas de puntos sobre una trayectoria, por lo que los observables son las diferencias de fase y su fundamento es establecer un receptor fijo en un punto de referencia y otro receptor móvil que se irá desplazando. Existen diversas opciones de enlace: radio- módem, satélite de comunicaciones, internet, entre otras. Generalmente todas tienen costo para el usuario, y están limitadas a una región de alcance máximo entre el receptor base y el receptor móvil.

En este nuestro trabajo de investigación compararemos dos de estas técnicas mediante enlaces de radio-módem UHF (Frecuencia Ultra alta) y por medio de protocolo de internet llamado NTRIP.

6.2 Técnica de medición RTK radio módem UHF

6.2.1 Definición de Radio Módem UHF

RTK es la tecnología que permite a un sistema de dos GPS determinar distancias a los satélites midiendo la fase (frecuencia) de la señal

portadora. Esto permite resolver la dispersión de la posición del GPS fijo (Base) y transmitir en tiempo real esta solución al GPS móvil (Rover) para que este último genere coordenadas con una precisión centimétrica.

Es una forma de obtener resultados instantáneos mediante un enlace de frecuencia de radio UHF (Ultra High Frequency), es decir, sin necesidad de posprocesamiento. Para ello, se incorporan algoritmos de cálculo de los softwares de posprocesamiento en los controladores de los receptores. La ventaja de este método es que no se pierde tiempo en procesar los datos, pero presenta inconvenientes como la imposibilidad de verificar los datos de observación, una escasa manipulación de los parámetros de cálculo y limitaciones en las correcciones atmosféricas.

Con el equipo de referencia asegurado, podemos decir que este sistema necesita solo un operador, y tiene la ventaja de trabajar a grandes distancias de la referencia, es decir, hasta donde permita la cobertura de radio. Esto elimina la necesidad de realizar cambios de estación, como sucede en los métodos de medición clásicos, donde la intervisibilidad es esencial.

A los equipos que incorporan un software completo en la unidad de control y un sistema de transmisión de información entre los puntos se les llama RTK (Real Time Kinematic). La salida básica de un receptor RTK son

coordenadas planas y elevación ortométrica, con un modelo de geoide incorporado en el software-

6.2.2 Componentes de Radio Módem UHF

Equipo GPS de Referencia (Base):

- ✚ El receptor de referencia captará todos los satélites a la vista.
- ✚ El receptor envía la corrección diferencial al radio módem.
- ✚ El radio módem transmitirá todos los datos observados al equipo móvil.

Figura 29. Sistema de referencia (base)



Fuente: GPS geodésico y diferencial

Receptor Móvil (Rover)

- El radio módem recibirá la corrección diferencial del equipo de referencia.
- El receptor móvil buscará todos los satélites visibles.

- El receptor trabaja y calcula su posición con la información recibida de la referencia.
- Fijas las ambigüedades de todos los satélites comunes. Con las técnicas actuales, este proceso no supera los 10 segundos.
- Calcula las coordenadas de su posición y las muestra con un control de calidad asociado. A partir de la fijación de las ambigüedades, el equipo proporciona una posición precisa con un intervalo de hasta 0,1 segundos.

Figura 30. Sistema móvil (Rover)



Fuente: Fotografía obtenida de la cuarta visita de campo.

Características y peculiaridades del sistema

Es importante considerar varias características para evaluar las capacidades de un receptor GPS RTK. Como en el apartado anterior, desglosaremos estas características en receptores de referencia y móviles.

Receptor de Referencia RTK.

El sistema RTK se basa en un radioenlace entre el equipo de referencia y el móvil; sin este enlace, el RTK no funcionaría. El receptor de referencia está equipado con un radio módem UHF que debe cumplir con las siguientes características:

- ❖ **Potencia de emisión:** Generalmente oscila entre 0,5 y 1 W.
- ❖ **Antena:** Debe estar calibrada a la frecuencia de trabajo y ofrecer la mayor ganancia posible para optimizar la cobertura.

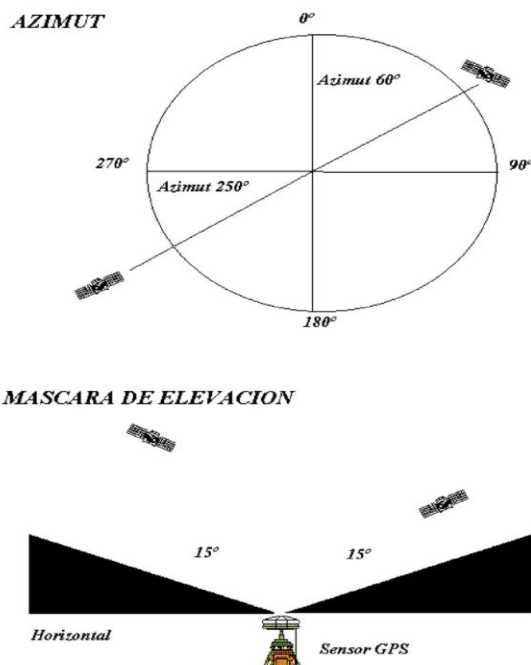
La ubicación de la estación de referencia es crucial. Debe cumplir con estas premisas:

- **Horizonte despejado:** Libre de obstrucciones físicas y alejado de radiotransmisores potentes.
- **Elevación:** La estación debe estar lo más alta posible para maximizar el alcance del radioenlace.

Máscaras de elevación

El ángulo de elevación mínimo de los satélites para recibir señal es configurable. Se considera un mínimo ideal de 15°, ya que, por debajo de este valor, la señal está muy influenciada por la refracción atmosférica.

Figura 31. Azimut y máscara de elevación.



Fuente: <https://es.slideshare.net/slideshow/fundamentos-del-sistema-gps/23922977>

En cuanto a las características que debemos tomar en cuenta para el receptor móvil tenemos:

Receptor Móvil (Rover)

Un receptor móvil RTK cuenta con un radio módem UHF para recibir los datos de la estación de referencia y procesarlos junto con su propia posición. Las características clave son:

- Radio modem: Debe tener alta capacidad de recepción, bajo peso y bajo consumo de energía. Idealmente, también debe contar con función de emisor y receptor para intercambiar roles entre referencia y móvil.

- Antena del radio modem: Se recomienda utilizar antenas de alta ganancia para ampliar la distancia de trabajo.
- Actualización de la posición y latencia. El receptor móvil nos proporcionará una posición precisa, pero es importante considerar dos factores clave: la actualización y la latencia. La actualización se refiere al número de posiciones por segundo que calcula el receptor, mientras que la latencia es el tiempo que tarda en procesar y comunicar esos datos.

En términos prácticos, la latencia es el retraso entre el momento en que nos movemos y el instante en que el receptor nos informa del cambio de posición. Por ejemplo, al realizar el último tanteo en el replanteo de un punto, nos encontraremos a pocos centímetros del objetivo y seguiremos las indicaciones del equipo para ajustarnos con precisión. Durante ese proceso, hay un pequeño desfase entre nuestro movimiento y la respuesta del receptor, lo que influye en la velocidad de replanteo.

El valor de la latencia varía según la tecnología del sistema. En los primeros receptores RTK del mercado, podía alcanzar los 2 o 3 segundos, con una actualización de 1 posición por segundo. Actualmente, existen receptores con actualizaciones de hasta 10 Hz (10 posiciones por segundo) y latencias de solo 0.05 segundos, lo que permite una percepción prácticamente instantánea de la posición.

Transmisión de correcciones

El formato de las correcciones diferenciales de RTK GPS está definido por el estándar RTCM. Los radiotransmisores operan enviando correcciones entre la base y el móvil mediante frecuencias VHF/UHF. Sin embargo, muchos usuarios experimentan problemas con la comunicación por radio en sistemas RTK. Para optimizar su desempeño, es importante considerar los siguientes factores:

1. La potencia del radio transmisor: En términos generales, una mayor potencia mejora el rendimiento. Sin embargo, la mayoría de los países restringen la potencia de salida entre 0.5 y 2 W.
2. Altura de la antena transmisora: La comunicación por radio puede verse afectada por la falta de línea de visibilidad. Instalar la antena a mayor altura reduce estos problemas y mejora el alcance. Este principio también se aplica a la antena receptora. Otros factores que influyen en el rendimiento incluyen la longitud del cable de antena (ya que un cable más largo genera más pérdidas) y el tipo de antena utilizada.
3. Condiciones del entorno: El alcance de la señal dependerá del terreno. Si hay obstáculos como árboles o edificios entre la base y el móvil, la distancia de comunicación disminuirá. Si la línea de visión está despejada, se podrá aprovechar al máximo la potencia del

transmisor. Actualmente, es posible utilizar radios UHF como repetidores para ampliar la cobertura del sistema RTK GPS.

6.3 Técnica de Medición RTK NTRIP

El desarrollo de esta técnica respondió a dos necesidades fundamentales:

- La estandarización de los formatos de transmisión RTK, ya que cada fabricante solía emplear su propio sistema.
- La búsqueda de una alternativa eficiente y económica frente a las correcciones en tiempo real transmitidas por radio (UHF, VHF, etc.).

Las señales de radio pueden degradarse fácilmente en terrenos montañosos o con obstrucciones naturales o artificiales. Además, cuanto más largo es el enlace de radio, mayor es el costo de los equipos.

6.3.1 Definición NTRIP

NTRIP (Networked Transport of RTCM vía Internet Protocol) es un protocolo de Internet diseñado para la transmisión de datos de navegación satelital en formato RTCM a través de la red. Fue desarrollado en 2004 por la Agencia Federal Alemana de Cartografía y Geodesia.

A diferencia de los métodos tradicionales que dependen de radios internas o externas (UHF, VHF), NTRIP permite la transmisión de correcciones mediante el protocolo HTTP de Internet.

6.3.2 Protocolos de Formatos RTCM NTRIP

Existen dos protocolos ampliamente utilizados para la difusión de datos GNSS vía Internet:

1. NTRIP (Networked Transport of RTCM vía Internet Protocol):
Desarrollado por la Agencia Federal Alemana de Cartografía y Geodesia (BKG) y la Universidad de Dortmund, emplea tecnología de radio por Internet para transmitir datos GNSS en tiempo real. Su versión 1.0 fue aceptada como estándar por el Comité RTCM en 2004. Utiliza el protocolo TCP/IP para garantizar una transmisión confiable de datos. Actualmente, la versión 2.0 está en evaluación para compatibilidad total con HTTP y la opción de usar UDP/IP además de TCP/IP.
2. RTIGS (Real-Time IGS, 2008): Introducido por el grupo de trabajo Real-Time IGS, emplea UDP/IP y el formato SOC, diseñado por el Jet Propulsion Laboratory (JPL), para transmitir observaciones GPS con un mínimo ancho de banda. Aunque menos utilizado que NTRIP, sigue siendo una alternativa viable.

Protocolo IP / NTRIP

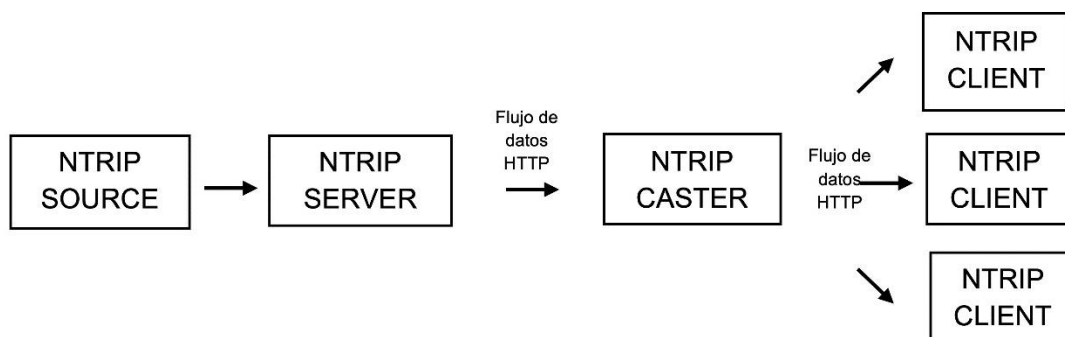
El Comité Especial 104 de la Comisión Radio Técnica para Servicios Marítimos definió un estándar para la transmisión de datos GNSS a través de Internet: el protocolo NTRIP. Este permite conexiones simultáneas con PC, laptops, PDAs y receptores GNSS, además de soportar acceso inalámbrico mediante GSM, GPRS, EDGE o UMTS.

NTRIP actúa como capa de transporte, transmitiendo datos en formato RTCM, principalmente en versiones 2.3 y 3.0. Estas versiones incluyen información sobre observaciones GPS y GLONASS, tipo de antena, coordenadas de la estación de referencia, y correcciones de código y fase. La versión 3.0 incorpora un mensaje de solución de red basado en correcciones de múltiples estaciones permanentes, lo que mejora la precisión y confiabilidad del posicionamiento en tiempo real.

Aplicado al posicionamiento geodésico con GNSS, NTRIP permite transmitir correcciones diferenciales con la ventaja de extender la longitud de las líneas base y reducir los costos operativos. Su funcionamiento depende de la comunicación eficiente entre sus componentes, encargados de gestionar el flujo de datos en tiempo real.

6.3.3 Componentes del NTRIP

Figura 32. Componentes NTRIP



Fuente: <https://www.researchgate.net>

NtripSource

Las estaciones base de referencia GNSS continuas, conocidas como Mount-Points, generan datos DGPS y RTK en formato RTCM desde ubicaciones específicas. Los usuarios (NtripClient/NtripUser) pueden seleccionar el Mount-Point más adecuado para su proyecto.

Para garantizar la transmisión correcta de la información entre el usuario y el NtripCaster, se dispone de una lista de Mount-Points, llamada lista fuente, administrada por el NtripCaster. Esta lista proporciona al usuario información relevante, como coordenadas y formatos de identificación de las estaciones base.

NtripServer

El NtripServer es un sistema compuesto por una computadora conectada a Internet que ejecuta un software específico (NtripServer). Su función principal es enviar las correcciones generadas por el receptor base a un NtripCaster o directamente al usuario (NtripClient/NtripUser) en formato RTCM.

Las correcciones pueden transmitirse en cualquier versión del formato RTCM, según la compatibilidad con el Mount-Point seleccionado. La transmisión se realiza a través de HTTP y, una vez establecida la conexión, los datos son enviados mediante el protocolo TCP/IP.

NtripCaster

El NtripCaster actúa como un nodo distribuidor de datos entre las estaciones base (NtripServer) y los usuarios (NtripClient/NtripUser). Generalmente, es un programa que se ejecuta en un servidor ubicado en el centro de la red.

El NtripCaster recibe los datos de NtripServer (provenientes de NtripSource) y gestiona aspectos clave como:

- ✓ Definición de identificadores para cada estación de referencia (Mount-Point).

- ✓ Control de usuarios, contraseñas y accesos.
- ✓ Verificación de la calidad e integridad de los datos.
- ✓ Registro estadístico de uso y calidad de la información transmitida (Peterzon, 2004).

Cuando no existen estaciones de referencia cercanas (a menos de 100 km del área de medición), es posible instalar un caster local. Este sistema consta de:

1. Un receptor GNSS que transmite correcciones en tiempo real (estación de referencia).
2. Un software servidor ejecutado en una computadora con conexión a Internet, que distribuye estas correcciones a los usuarios a través de una dirección IP generada en la estación de referencia.

NTRIP user o NTRIP client

El NtripUser o NtripClient es el software que los usuarios deben instalar en un teléfono celular, colector de datos o computadora con conexión a Internet. Este programa permite acceder a la lista de Mount-Points disponibles en un NtripCaster o en un caster local, y recibir las correcciones enviadas por la estación de referencia para aplicarlas al receptor móvil (rover).

El acceso a Internet suele establecerse mediante dispositivos móviles.

Entre las opciones de conexión más comunes se encuentran:

- Bluetooth: entre el celular y el receptor GNSS.
- Bluetooth: entre el celular y el colector de datos.
- Cable serial: conexión directa entre el teléfono celular y el receptor GNSS.

Existen diferentes programas NtripClient/NtripUser desarrollados por diversas empresas, compatibles con múltiples marcas y modelos de teléfonos. La mayoría de estos programas utilizan tecnología GSM (Global System for Mobile Communications) o GPRS (General Packet Radio Service). Además, muchos receptores GNSS con soporte para NTRIP ya incluyen el software NtripClient/NtripUser de manera integrada.

OBTENCIÓN DE DATOS DE CAMPO

Descripción del lugar en estudio.

La zona de estudio se encuentra en el campus de la Universidad de El Salvador, específicamente en la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, ubicada al final de la 25 Avenida Norte, sobre la calle Circunvalación Universitaria (figura 33). En este sitio se llevó a cabo una campaña de monumentación para establecer puntos de referencia bien definidos e identificados. Estos puntos también servirán **como**

área de práctica para los estudiantes de asignaturas como Topografía y la técnica electiva GPS aplicado a proyectos de ingeniería civil.

Figura 33. Universidad de El Salvador



Fuente: Google Earth.

Figura 34. Facultad de Ingeniería y Arquitectura



Fuente: Google Earth.

Campaña de monumentación

Antes de realizar el levantamiento topográfico con GPS mediante las técnicas RTK UHF y RTK NTRIP, se llevó a cabo una campaña de monumentación en los alrededores de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura. El objetivo fue establecer puntos con las características mínimas necesarias para la aplicación de dichas técnicas y la validación del estudio de este trabajo de graduación.

Entre las actividades realizadas se incluye:

- Reconocimiento de la zona de estudio: Se llevó a cabo una visita a la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, en la que el ingeniero asesor y el grupo de trabajo delimitaron la ubicación de los nuevos monumentos. Para ello, se tomaron como referencia mojones existentes y se consideraron factores como la visibilidad entre los puntos y la máscara satelital.

Figura 35. Reconocimiento de zona de estudio



Fuente: fotografías obtenidas en primera visita de campo.

- Elección del tipo de monumento: El monumento construido tiene las características siguientes:
- 1) La base tiene dimensiones de 0.50×0.50 metros y un espesor de 0.15 metros. Sobre esta se coloca una pirámide truncada con una base superior de 0.15×0.15 metros, una base inferior de 0.30×0.30 metros y una altura de 0.20 metros.
 - 2) Incluye un pin de aluminio de 7.00 centímetros de largo y una placa superior de 5.00 centímetros de diámetro, en la que se inscribe el nombre del mojón, el año de instalación y un punto central que indica la ubicación exacta para las mediciones. Esto se realizó conforme a lo establecido en el Manual de Normas, Especificaciones y Procedimientos en el Establecimiento de Redes Geodésicas y su Densificación.

Figura 36. Elementos de los monumentos



Fuente: fotografías obtenidas en primera visita de campo

- Monumentación construida in – situ: Para la construcción de cada monumento, primero se llevó a cabo la limpieza del área y posteriormente se excavó un agujero de 0.25 metros de diámetro por 0.30 metros de profundidad, el cual fue relleno con concreto de resistencia $F'c = 210$ Kgf/cm².

Para fijar y definir el centro del monumento, se incrustó una varilla corrugada de $\frac{3}{8}$ de pulgada de diámetro, alineada y unida al pin de identificación de cada elemento. Una vez relleno el agujero, se colocó el molde de la base y, tras el fraguado del concreto, se construyó el cono truncado sobre esta. Finalmente, se niveló y se instaló el pin de identificación, el cual posee un agujero en la parte inferior para incrustarle un clavo y evitar su remoción. Para mejorar la conservación de los monumentos, se aplicó pintura de alto tráfico como acabado protector.

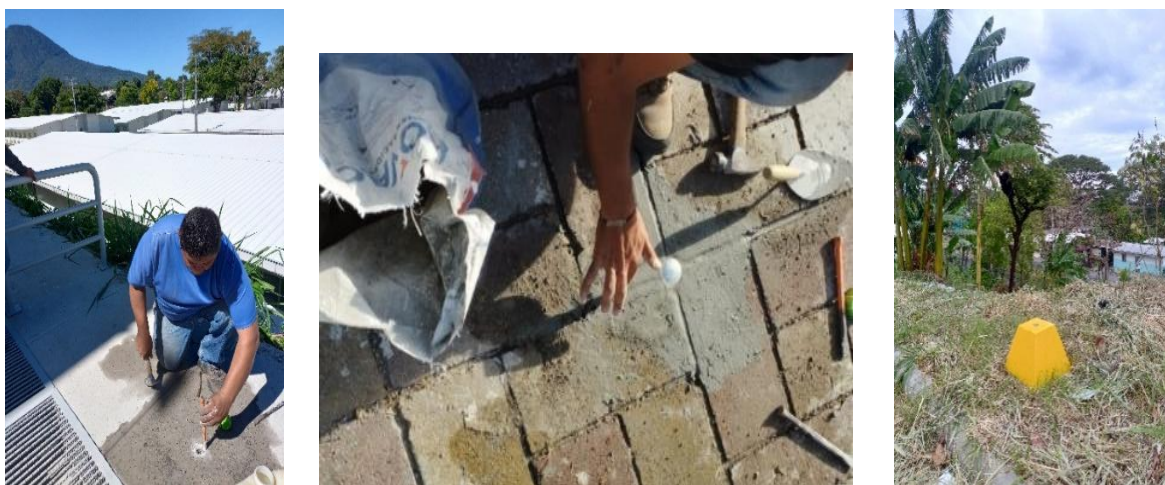
Figura 37. Construcción in-situ de los monumentos



Fuente: fotografías obtenidas en segunda visita de campo

Además de los elementos mencionados anteriormente, se llevó a cabo la recuperación y alineación de mojones previamente existentes. En las áreas donde no fue posible construir monumentos, se incrustaron pines como puntos de referencia. Estos puntos estarán vinculados al nuevo marco geodésico establecido.

Figura 38. Colocación de pines y recuperación de monumentos



Fuente: fotografías obtenidas en segunda visita de campo

CAPÍTULO VII. LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO RTK UHF

Equipo utilizado:

1. Dos receptores GPS marca Carlson.
2. Colector de datos marca Carlson con sistema operativo SurvCE.

3. Antena encargada de transmitir y recibir señales de radio entre equipos receptores.
4. Cable de comunicación entre equipo receptor y colector de datos.
5. Soporte para antena.
6. Base nivelante.
7. Acople de rosca para fijar el receptor a la base nivelante.
8. Cinta métrica.
9. Cable de carga del receptor.
10. Batería externa portátil.
11. Bastón extensible.
12. Bípode para nivelar el bastón extensible en donde se armará el Rover.

Preparación para la recolección de datos con técnicas GNSS RTK UHF.

Para realizar la captura de datos utilizando las técnicas GNSS a partir del Método Cinemático en Tiempo Real (RTK), se utilizaron dos equipos receptores de la marca Carlson. Uno de ellos se configuró como base en un punto fijo con coordenadas conocidas, situado en el techo de la biblioteca de la Facultad de

Ingeniería y Arquitectura, denominado BASE RTK. El otro equipo se configuró como Rover, y se desplazó por los mojones previamente determinados.

Como primer paso, se procedió a colocar el trípode en el lugar donde se fijaría la base. Se instalaron las baterías, se adaptó un implemento extensivo a la antena y se niveló el equipo. Posteriormente, se conectó una batería externa para evitar que la recolección de datos se viera afectada por el tiempo que tomaría el proceso. Para ello, nos aseguramos de realizar las conexiones en los polos correctos y en los puntos de referencia del equipo, el cual activa una luz roja como indicador de que está recibiendo carga desde un elemento externo.

Figura 39. Instalación de la base

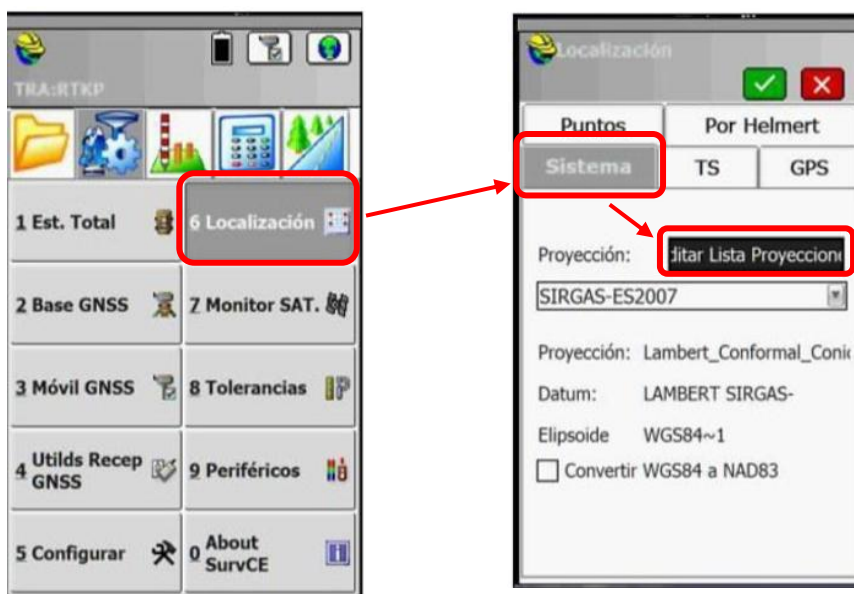


Fuente: fotografías obtenidas en tercera visita de campo

Configuración del sistema de proyección local

Para iniciar el proceso de configuración del sistema de proyección local, se encendieron la base y el colector. Una vez cargado este último, se accedió al software SurvCE. Dentro de este, se seleccionaron las opciones "Localización" y "Sistema", y luego se buscó la opción "Editar lista de proyecciones", donde se corroboraron los datos que se reflejan en la figura 40.

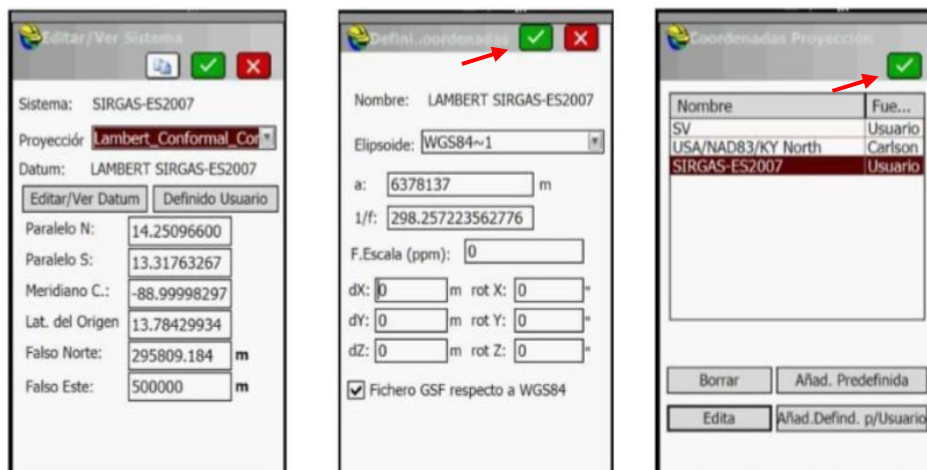
Figura 40. Configuración del sistema



Fuente: Ramírez 2021.

En nuestro caso, se verificó que los datos guardados en el equipo correspondieran al Sistema de Referencia Local, LAMBERT SIRGAS ESA-2007. Se seleccionó este sistema y se finalizó dando clic al ícono con el cheque de color verde, como se muestra en la figura 41.

Figura 41. Parámetros del sistema LAMBERT SIRGAS ESA-2007



Fuente: Ramírez 2021.

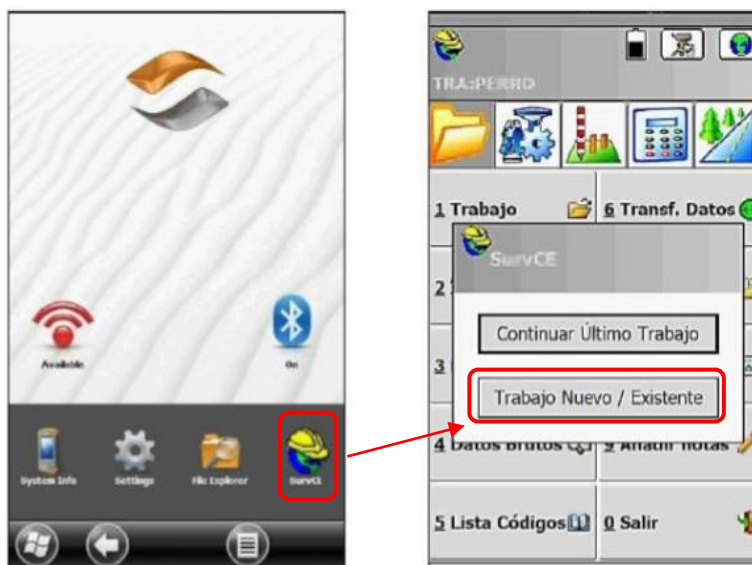
Configuración del equipo Base y Rover para iniciar el levantamiento

Para configurar la Base o el Rover de la marca Carlson, se debe tener el equipo receptor armado y encendido.

Configuración del equipo Base

Para comenzar el proceso, se activa el Bluetooth del colector. Al activarlo, se selecciona el programa SurvCE, que presenta una ventana con las opciones "Continuar último trabajo" y "Trabajo nuevo/Existente". La primera vez que realizamos las pruebas, se seleccionó "Trabajo nuevo/Existente" y se procedió a asignar un nombre al proyecto, lo que facilitaría su identificación tanto al momento de la descarga como para continuar las mediciones en caso de no realizarlas en una sola sesión.

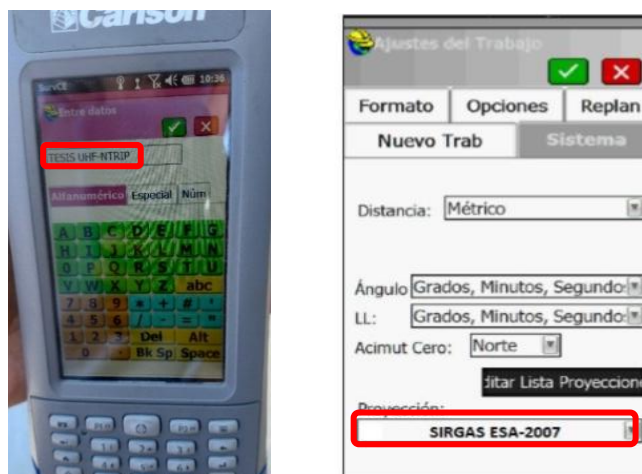
Figura 42. Configuración de colector



Fuente: Ramírez 2021.

Posterior a definir el nombre del proyecto, aparece la ventana de "Ajustes del trabajo", donde se configuran los parámetros del sistema. Procedemos a verificar que se haya seleccionado la proyección Lambert SIRGAS ESA-2007 que configuramos previamente.

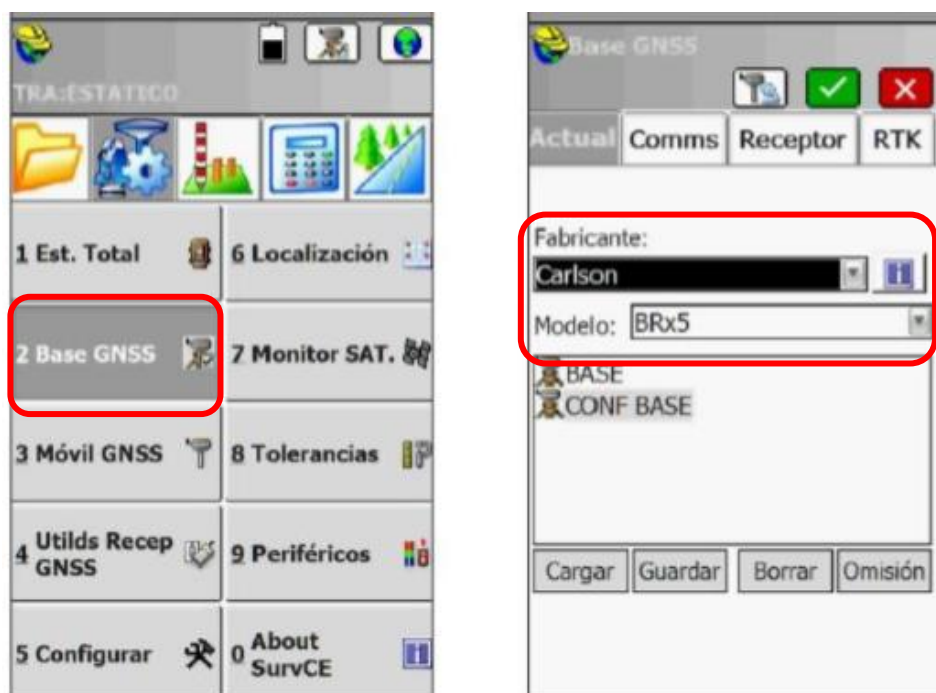
Figura 43. Parámetros del sistema.



Fuente: Ramírez 2021.

Para configurar la Base, se accedió a la pestaña "Equipo", luego se seleccionó el botón "2 Base GNSS", lo que abre una ventana en la que se definen el fabricante y el modelo del equipo receptor, como se muestra en la figura 44.

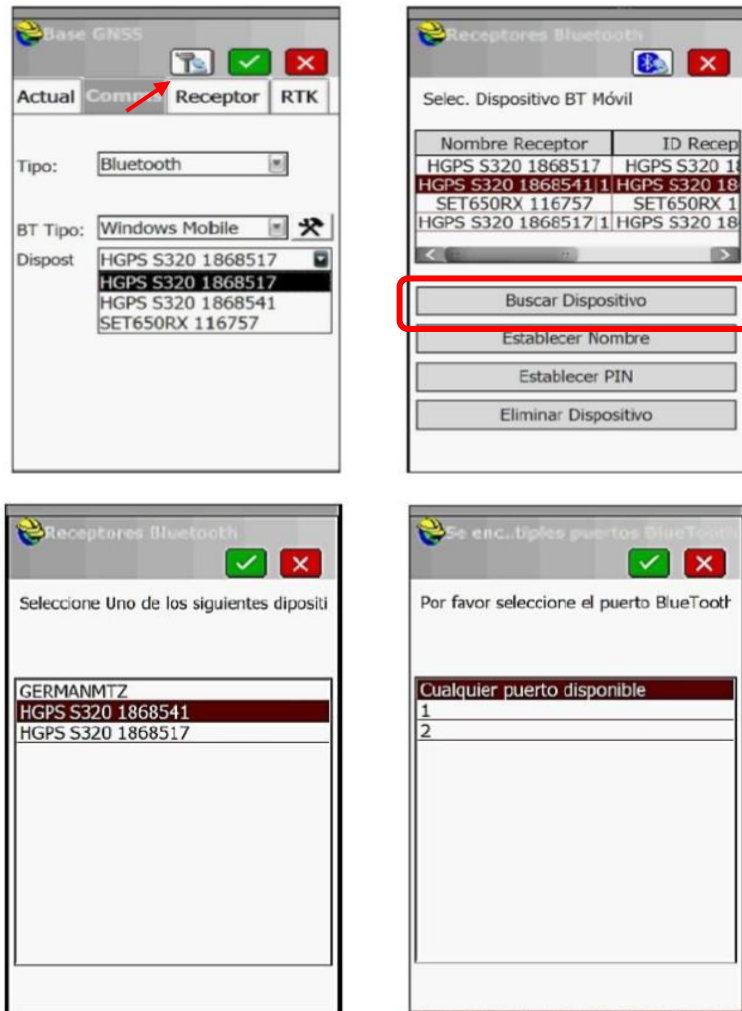
Figura 44. Configuración de base



Fuente: Ramírez 2021.

Al seleccionar la pestaña "Comms", se completó la configuración de la conexión entre el equipo receptor (Base o Rover) y el colector. Dado que el equipo ya había sido configurado, solo se verificaron los datos. De no haber sido así, habría sido necesario seleccionar el ícono en la parte superior derecha y realizar la búsqueda, como se ejemplifica en la figura 45.

Figura 45. Establecimiento de conexión.



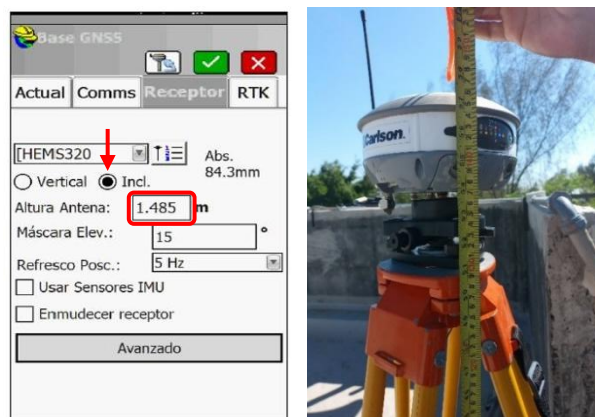
Fuente: Ramírez 2021.

Al hacer clic en "Buscar Dispositivo" en la pantalla de la figura 13, se muestran los dispositivos que el colector detecta. El receptor encenderá una luz de color azul, lo que indica que el Bluetooth está activo. Para obtener el modelo del equipo, se debe verificar previamente el número de serie en la parte inferior del receptor y compararlo con los resultados de búsqueda en el colector. Luego, se selecciona el equipo y, a continuación, aparecerá una nueva ventana en la que

se selecciona el tipo de puerto. En nuestro caso, se eligió "Cualquier puerto", finalizando así el proceso.

Después de realizar el enlace o conexión entre el equipo receptor y el colector, se ingresó a la pestaña "Receptor", donde se registró la altura indicada por el equipo. Este dato puede ser vertical o inclinado y se mide desde la superficie del punto fijo RTK FIA 2 hasta el borde superior del receptor. Además, se verificó que la máscara de elevación estuviera configurada en 15°, y los demás parámetros se mantuvieron según lo mostrado en la figura 46.

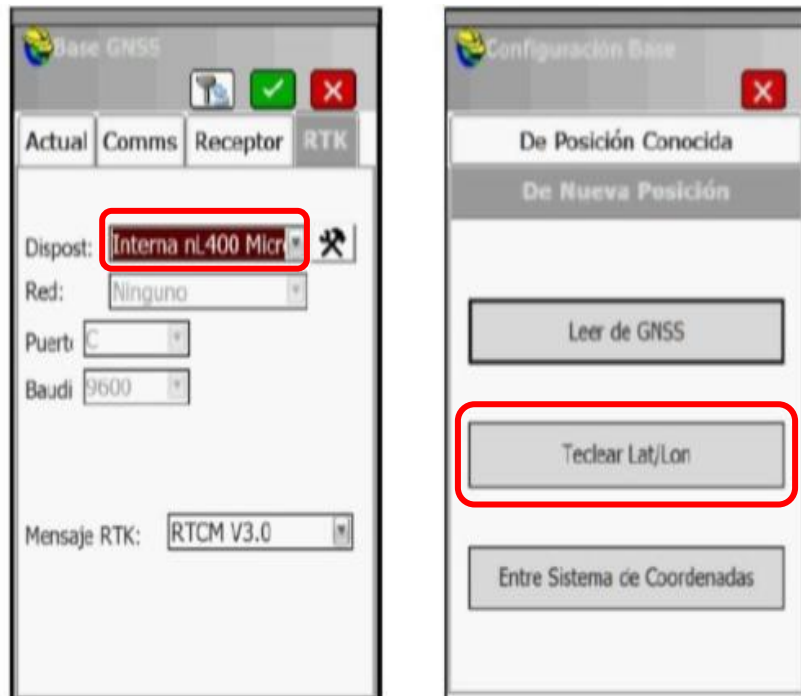
Figura 46. Parámetros de la antena.



Fuente: Ramírez 2021.

En la pestaña de "RTK", se seleccionó el tipo de antena a utilizar en la medición. Posteriormente, se mostró una nueva ventana en la que se definieron las coordenadas conocidas del punto en la biblioteca de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, al hacer clic en el botón "Teclear Lat/Lon".

Figura 47. Parámetros de antena



Fuente: Ramírez 2021.

En la pestaña de "RTK", se seleccionó nuevamente el tipo de antena a utilizar, y después apareció una nueva ventana donde se definieron las coordenadas conocidas del punto en la biblioteca de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, al hacer clic en "Teclear Lat/Lon". Las coordenadas conocidas ingresadas fueron N 13° 43' 13.61466", W 89° 12' 07.1617", con una elevación ortométrica de 719.073 metros. Al aceptar, se desplegó una nueva ventana en la que se definió el nombre del punto y una breve descripción. Finalmente, se seleccionó "Continuar con el Arranque de base" para iniciar la configuración del Rover.

Figura 48. Definiendo coordenadas conocidas

RTK ID Emisora:

Latitud: N 13°43'17.37107"

Grabar Punto

ID. Punto:

Descripción:

¿Continuar con Arranque de Base?

Fuente: Ramírez 2021.

Configuración del Rover e inicio del levantamiento.

Los pasos para configurar el Rover son similares a los seguidos para la configuración de la Base, con algunas diferencias. La primera variación fue que, en lugar de seleccionar "2 Base GNSS", se accedió a la pestaña "Equipo" y se seleccionó el botón "3 Móvil GNSS". A partir de ahí, se procedió de la misma manera que con la Base para configurar la conexión entre el receptor y el Colector.

Una vez realizado el enlace o conexión entre el receptor y el colector, se ingresó a la pestaña "Receptor", donde se registró la altura indicada por el equipo. Esta altura se midió desde la marca del equipo hasta la punta del bastón.

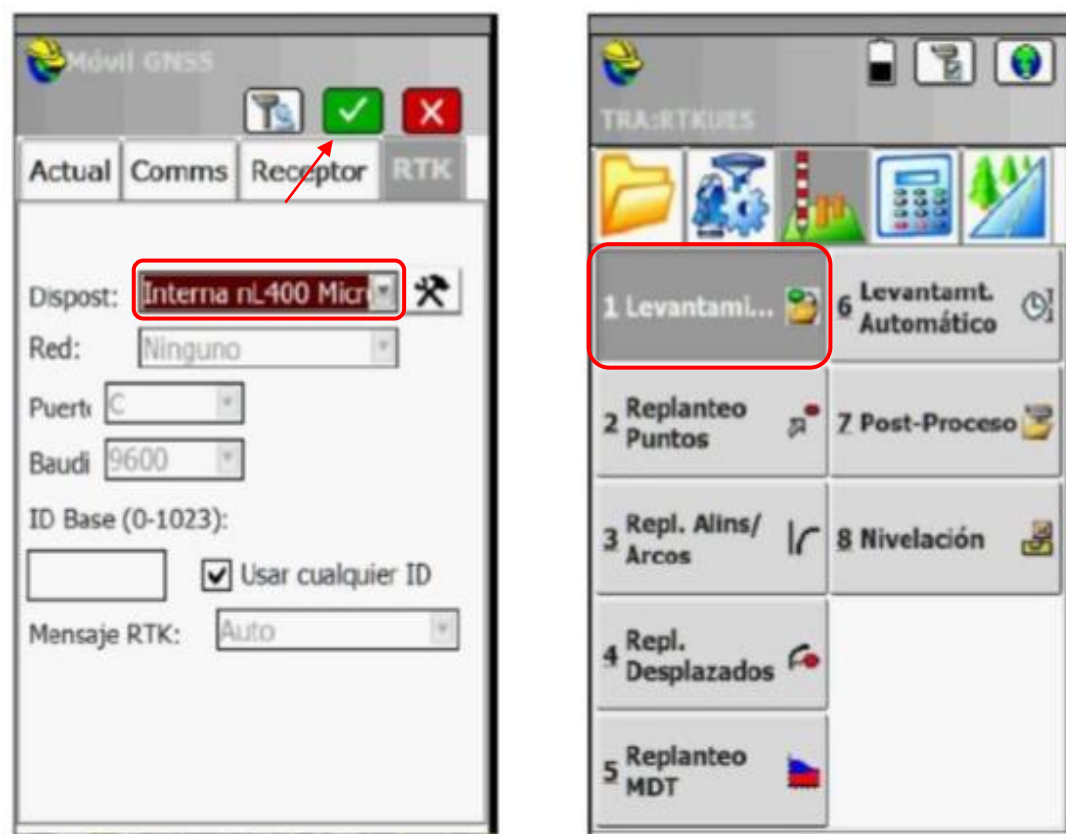
Figura 49. configuración del Rover.



Fuente: Ramírez 2021.

Finalmente, en la pestaña "RTK", se seleccionó el mismo tipo de antena que se utilizó en la configuración de la Base. Para verificar si el radioenlace entre la base y el móvil era efectivo, se seleccionó la pestaña "Topo" y luego el botón "1 Levantamiento".

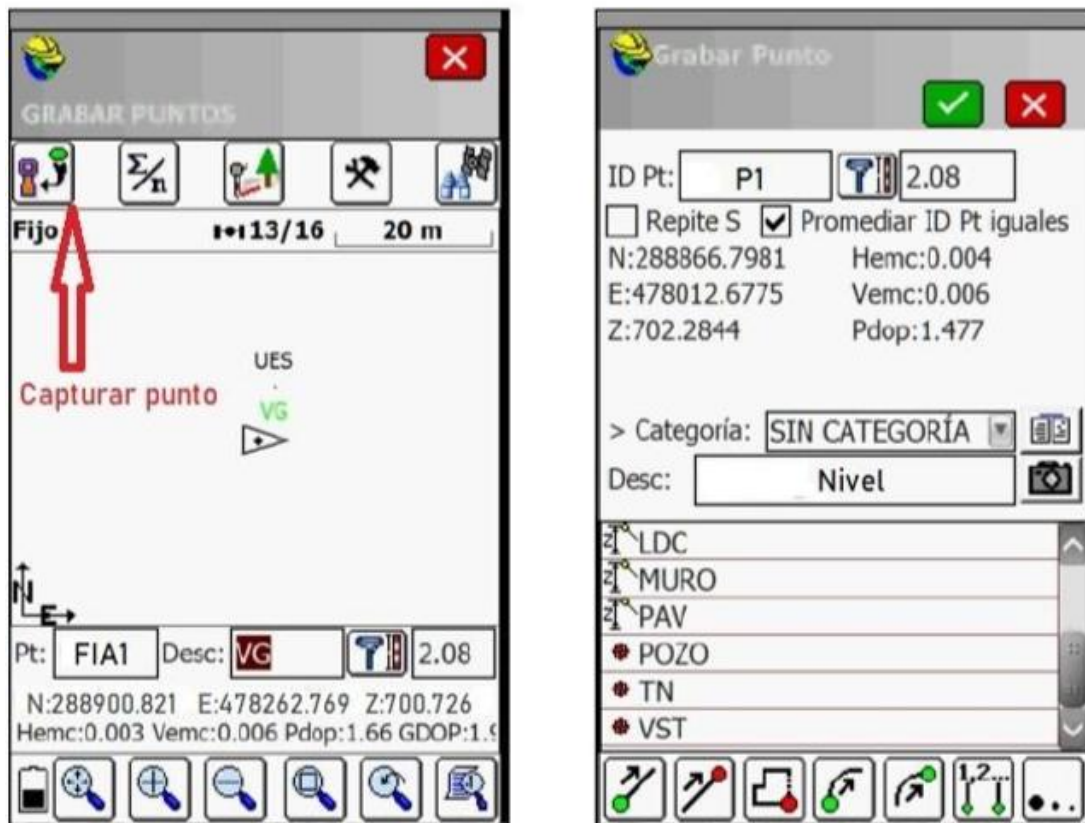
Figura 50. Enlace entre base y móvil.



Fuente: Ramírez 2021.

Al ingresar a la pantalla de levantamiento, se observó la estación de referencia de la Base, las coordenadas RTK con precisión centimétrica y la palabra "Fijo", lo que indicaba que la lectura de los satélites era correcta. Luego, se hizo clic en el ícono superior, lo que nos dirigió a la pantalla donde se establecieron el nombre, la altura de la antena y una breve descripción del punto a medir. Cabe mencionar que este procedimiento se repitió para todos los mojones a medir.

Figura 51. Levantamiento de puntos.



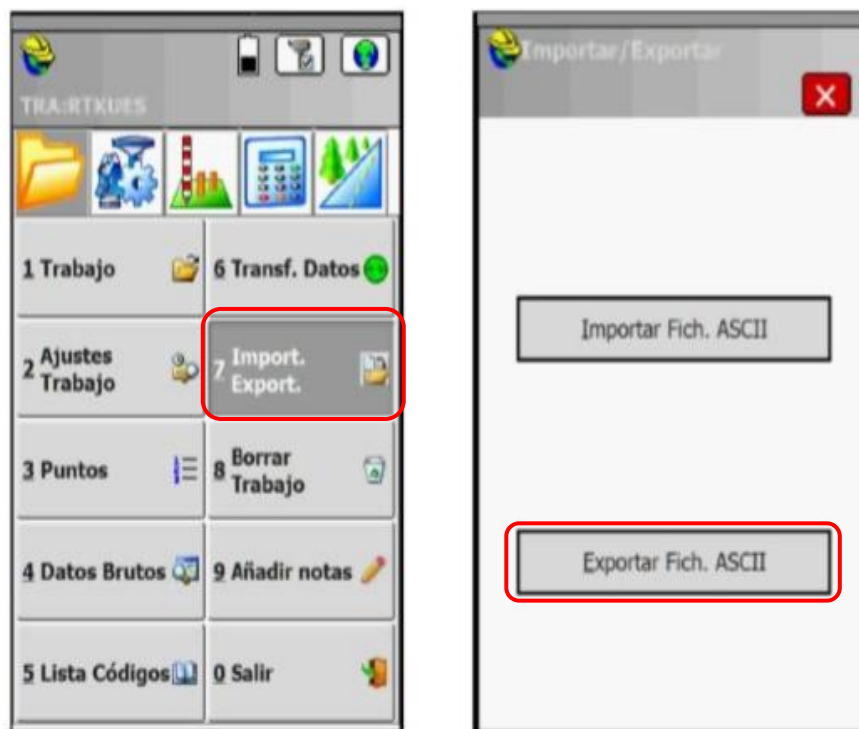
Fuente: Ramírez 2021.

Dentro de la información presentada en la lectura de los datos, se encuentran los rangos de "PDOP" y "GDOP" permitidos. El primero no debe exceder de 6. Otro parámetro que se muestra es la precisión vertical y horizontal (Hemc y Vemc), las cuales no deben variar más de un milímetro, con la regla de que la precisión vertical siempre debe ser el doble que la horizontal.

Importación los datos

Para la descarga de los datos del levantamiento, nos conectamos a una computadora mediante un cable USB. Luego, seleccionamos "7 Import. Export." en la pestaña de archivo, lo que nos dirigió a la ventana de la figura 52, donde elegimos "Exportar fich. ASCII".

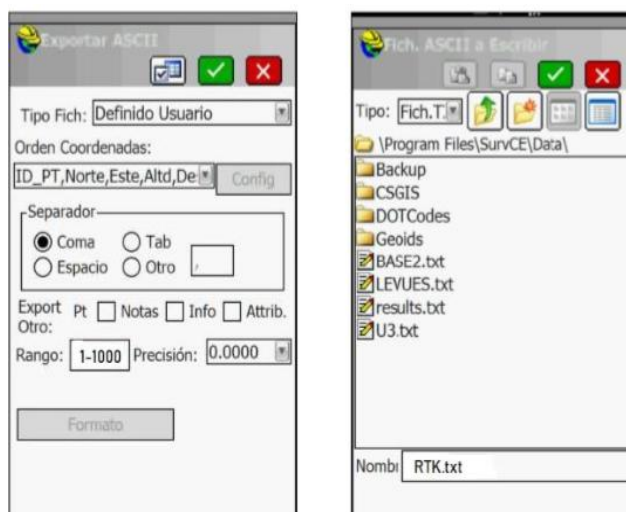
Figura 52. Importación de datos.



Fuente: Ramírez 2021

Posteriormente, se seleccionó el tipo de fichero, el separador, el orden en que aparecerán los datos y el rango de puntos a exportar. Finalmente, se seleccionó el botón de color verde para finalizar el proceso de exportación de datos.

Figura 53. Exportación de datos.



Fuente: Ramírez 2021

Datos obtenidos con técnica RTK UHF

7.1 ANÁLISIS DE RESULTADOS

Los resultados obtenidos se presentarán en una tabla de agrupaciones de datos en función de las coordenadas de los puntos monumentados de la siguiente manera:

Tabla 10. Datos RTK UHF

PUNTO	NOMBRE	COORDENADAS RTK UHF		
		X	Y	Z ortométrica
1	FIA2-UES	478396.216	288874.0411	684.5037
2	RTK FIA1	478370.893	288911.5711	683.7361
3	RTK FIA 2	478362.769	288911.9122	683.7160
4	RTK FIA 3	478252.388	288928.3431	684.7820

5	RTK FIA 4	478254.547	288791.9449	691.0508
6	RTK FIA 5	478256.513	288775.2854	690.9312
7	RTK FIA 6	478224.270	288730.2514	690.7608
8	RTK FIA 7	478187.200	288740.1041	690.8333
9	UES PT1	478116.081	288708.2414	691.0025
10	RTK MEDICINA	478138.453	288388.7912	699.2643
11	MOOP PDC	478160.001	288382.4838	698.2038
12	MKZ UES LEG	478018.699	288359.4099	701.1060
13	RTK FIA 8	478013.189	288254.9704	701.7883

En el levantamiento realizado con la técnica de medición RTK UHF en los puntos monumentados, se obtuvieron las coordenadas planas bajo el Sistema de Referencia Geodésico SIRGAS-ES2007 y la Proyección Cartográfica Cónica Conformal de Lambert. Además, se obtuvo la elevación ortométrica.

Para validar la precisión de cada punto medido bajo esta técnica, recurrimos al Desvío Estándar o Error Medio Cuadrático (EMC), el cual es un valor que caracteriza la precisión de cada medición dentro de una serie de mediciones realizadas bajo las mismas condiciones, con el mismo método e instrumento.

En los puntos denominados FIA2-UES, RTK FIA 1, RTK FIA 2, RTK FIA 3, UES PT 1, RTK MEDICINA, MOOP PDC, MKZ UES LEG y RTK FIA 8, el ERM Horizontal fue un promedio de 3 mm, debido a que estos puntos reúnen las condiciones mínimas para realizar observaciones GNSS, es decir, no presentan obstrucciones relevantes en su horizonte. De igual manera, se analizó el ERM

Vertical, el cual siempre es el doble del EMC horizontal, obteniendo un promedio de 6 mm de precisión vertical. Otro aspecto importante es la distancia entre el ROVER y la base RTK, que se encuentra en un rango de 60 a 500 metros.

Para los puntos **RTK FIA 4**, **RTK FIA 5**, **RTK FIA 6** y **RTK FIA 7**, el Error Medio Cuadrático obtenido se encontraba en un rango de 3-5 cm, debido a que estos puntos no reúnen las condiciones mínimas para realizar observaciones **GNSS**, es decir, presentan obstrucciones pronunciadas en su horizonte.

Es importante mencionar que, a pesar de que estos puntos no son aptos para mediciones GNSS, se midieron para comprobar que, incluso con esta técnica de medición y condiciones desfavorables debido a las obstrucciones, es posible obtener precisiones centimétricas, siempre que se ajusten a las precisiones requeridas para un proyecto determinado.

De igual manera, se analizó el ERM Vertical, el cual siempre es el doble del EMC horizontal, obteniendo un promedio de 8 cm de precisión vertical.

Por lo tanto, con esta técnica de medición denominada RTK UHF, se pueden obtener precisiones milimétricas por punto bajo condiciones favorables para la recepción satelital. En sitios no aptos para este tipo de mediciones, se pueden obtener precisiones centimétricas, pero serán aceptables dependiendo de los requisitos de precisión del proyecto.

CAPÍTULO VIII LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO NTRIP

Equipo utilizado:

- NTRIP Source

La estación BASE NTRIP utilizada fue la de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad de El Salvador. Esta estación cuenta con una antena y el receptor respectivo, marca CHCNAV, configurado por la empresa SURVEY GC.

Figura 54. Estación permanente de referencia.



Fuente: UES-SURVEY GC

- NTRIPCaster

El caster se conforma por el software, que actúa como un agente transmisor de datos. Su función principal es la difusión de las correcciones GNSS a los dispositivos finales. Además, es responsable del monitoreo de la calidad e integridad de los datos. Para ello, fue necesario obtener una IP como medio

de acceso para el Rover, junto con un usuario y contraseña, con el fin de proveer la estación de referencia que brindará la corrección en tiempo real.

- NTRIPClient o NTRIPUser

Este componente está conformado por el receptor GNSS marca Carlson, modelo BRx5 de multifrecuencia, el cual tiene la capacidad de recibir las correcciones diferenciales de la estación de medición continua seleccionada, mediante el enlace al caster a través de internet proporcionado por el wifi de un celular. Su acceso a internet se realizó mediante un celular con tecnología 4G. La exactitud alcanzada en el levantamiento realizado fue de $8 \text{ mm} \pm 1$ ppm en horizontal y $15 \text{ mm} \pm 1$ ppm en vertical, de acuerdo con la ficha técnica del equipo utilizando el método RTK.

Figura 55. Equipo Carlson: Rover BRx5 y Colector mini2 con Software SurvCE5.



Fuente: internet

Preparación para la recolección de datos con técnicas GNSS RTK

Configuración de la estación permanente

Las estaciones de referencia de medición que apoyaron la implementación de la técnica NTRIP en este proyecto de investigación, por parte de la empresa Survey CG, son del modelo CHCNAV.

Se configuró a la estación de referencia un punto de enlace de internet, es decir, una IP pública (Protocolo de Internet), que es el número que identifica a la interfaz de cada receptor GNSS dentro de la red de internet. Esta IP fue utilizada para la comunicación e interacción con los otros componentes del NTRIP (caster experimental y clientes), garantizando así una conectividad fluida y sin problemas relacionados con las políticas de seguridad informática que podrían limitar la conexión.

Se logró obtener este identificador IP para la estación de medición continua con la colaboración del técnico de la empresa proveedora del equipo.

Figura 56. Determinación de IP.



Fuente: UES-SURVEY GC

Otras características incluidas a cada estación de referencia fueron el formato de transmisión RTCM, que debe ser 3.0 o posterior; el mountpoint o punto de montaje para su selección en la tabla de estaciones en tiempo real, y el puerto de enlace (entrada y salida) habilitado para el flujo de datos en corrección diferencial y el IP correspondiente.

Configuración de equipo receptor RTK NTRIP

Se extrajo el equipo GNSS utilizado como Rover en el levantamiento y se configuró la conexión a internet en el colector. Para ello, se accedió a la opción Configuración > Conexiones > Conexiones inalámbricas, se activó el wifi y se seleccionó la red wifi del teléfono móvil.

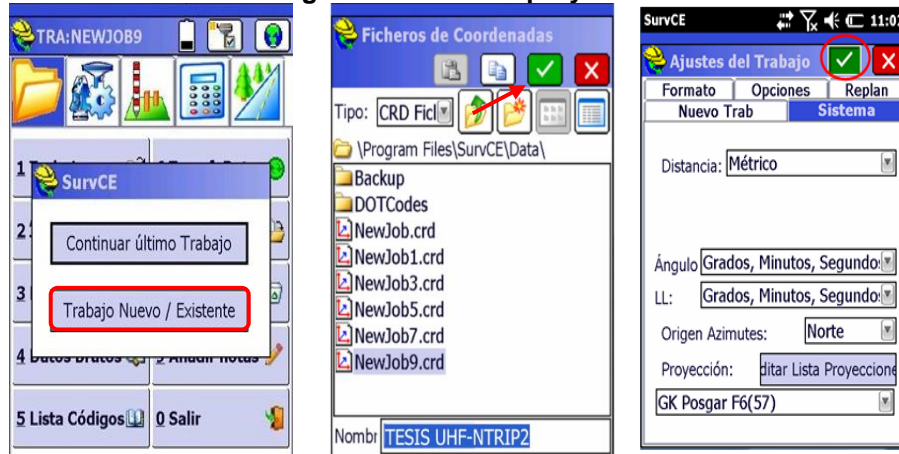
Figura 57. Instalación y configuración de internet.



Fuente: fotografías obtenidas en cuarta visita de campo

Para configurar el wifi de SurvCE, se creó una nueva plantilla con el nombre de “Tesis UHF.NTRIP2” y se configuraron los parámetros del sistema.

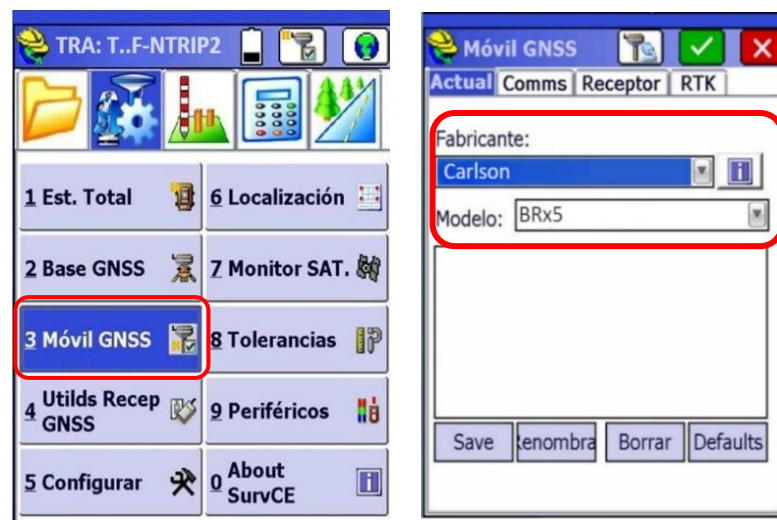
Figura 58. Inicio de proyecto.



Fuente: IGN Argentina

Para configurar la Base, se accedió a la pestaña “Equipo”, luego se seleccionó el botón “3 Móvil GNSS”, lo cual abre una ventana donde se definen el fabricante y modelo del equipo receptor, tal como se muestra en la Figura 59.

Figura 59. Configuración de la base.



Fuente: Software Colector Carlson SurvCE5

En la pestaña “Receptor”, se completaron los datos del receptor Móvil.

Figura 60 Datos de antena del receptor

The screenshot shows the 'Móvil GNSS' software window with the 'Receptor' tab selected. The configuration fields are as follows:

Field	Value
Antena	HEMS320 (84.3 mm)
Vertical / Incl.	<input type="radio"/> Vertical <input checked="" type="radio"/> Incl.
Altura Antena	2.18 m
Máscara Elev.	15
Refresco Posc.	5 Hz
Tipo DGPS	Ninguno
DGPS Limite Edad	30

At the bottom of the window is a button labeled 'Avanzado'.

Fuente: Software Colector Carlson SurvCE5

Configuración de equipo receptor RTK NTRIP

Se ingresó en la pestaña RTK y se seleccionó en el menú desplegable “Dispost: Internet en Colectora”.


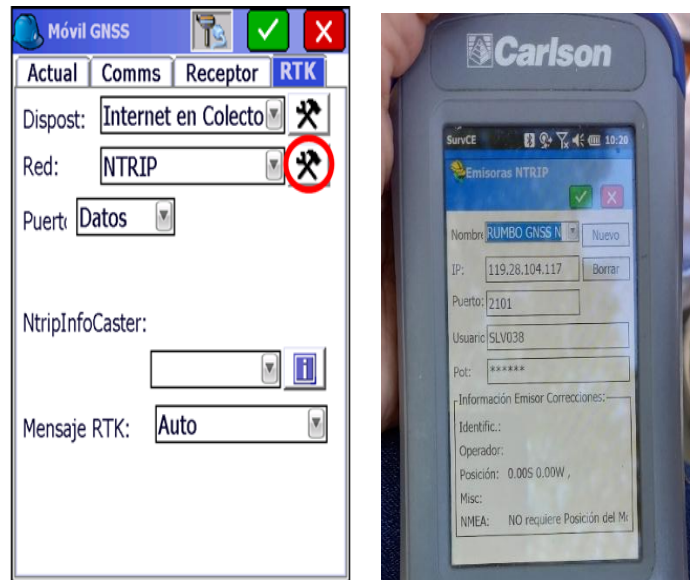
- a. Se seleccionó en el menú desplegable Red la opción NTRIP y luego el icono , en donde se configuró la conexión con la estación permanente. En este caso, se utilizó RUMBO GNSS-NTRIP con los datos proporcionados por la empresa.

Figura 61. Configuración a internet



Fuente: Software Colector Carlson SurvCE5

Después de configurar la estación de referencia o Caster, se desplegó un listado de los Mountpoint que brindan servicio NTRIP y la versión RTCM que ofrecen.

Figura 62. Conexión a la red de la estación de referencia NTRIP



Fuente: fotografías obtenidas en cuarta visita de campo

Para la toma de datos, se seleccionó, desde la pestaña “Medir”, el botón “1 Levantamiento”

Figura 63. Recolección de datos.



Fuente: IGN Argentina

Al ingresar a la pantalla de levantamiento, se pudo observar la estación de referencia de la Base, las coordenadas SIRGAS con precisión centimétrica y la palabra "Fijo", que indica que la lectura de los satélites es correcta. Luego, se hizo clic en el icono superior a esta y se dirigió a la pantalla donde se establecieron el nombre, la altura de la antena y una breve descripción del punto a medir. Cabe mencionar que este procedimiento se repitió para todos los mojones a medir.

Figura 64. Captura de datos



Fuente: fotografías obtenidas en cuarta visita de campo

Datos obtenidos con técnica RTK NTRIP

8.1 ANÁLISIS DE RESULTADOS

Al medir y comparar las coordenadas obtenidas mediante el método UHF y el método NTRIP, se observaron diferencias en el orden de los centímetros. Estas diferencias dependieron de factores como la distancia entre la estación de medición continua y el móvil, la cantidad de satélites captados durante la medición, el tiempo de medición y el ancho de banda de la cobertura celular.

Las mediciones efectuadas para la técnica NTRIP en general tuvieron una duración de 1 minuto. Este lapso se estableció con el fin de estandarizar la toma de tiempo. Se observó que, durante los primeros minutos, las correcciones diferenciales recibidas mejoraban la precisión de los equipos; sin embargo, una

vez transcurrido el tiempo establecido, la precisión se estabilizó. Este proceso formó parte de las pruebas realizadas antes de comenzar las mediciones en tiempo real.

A continuación, se presentan las coordenadas obtenidas durante el postproceso, las cuales se utilizarán para los análisis comparativos más adelante.

Tabla 11. Datos RTK NTRIP

PUNTO	NOMBRE	COORDENADAS (M)		
		X	Y	Z ortométrica
1	FIA2-UES	478396.2055	288874.0490	684.6655
2	RTK FIA1	478370.8812	288911.5693	683.8474
3	RTK FIA 2	478362.7414	288911.9008	683.8217
4	RTK FIA 3	478252.3719	288928.3384	684.9603
5	RTK FIA 4	478254.4502	288792.0299	691.0681
6	RTK FIA 5	478256.1513	288775.4693	691.6022
7	RTK FIA 6	478224.2369	288730.2241	690.9277
8	RTK FIA 7	478187.1922	288740.0858	691.0236
9	UES PT1	478116.0551	288708.2260	691.1774
10	RTK MEDICINA	478138.4672	288388.7551	699.4627
11	MOOP PDC	478159.9869	288382.4539	698.4045
12	NKZ UES LEG	478018.6789	288359.3945	701.3176
13	RTK FIA 8	4780132007	288254.9601	702.0103

En el levantamiento realizado con la técnica de medición RTK NTRIP en los puntos monumentados, se obtuvieron las coordenadas planas bajo el Sistema de Referencia Geodésico SIRGAS-ES2007 y la Proyección Cartográfica Cónica Conformal de Lambert. Además, se obtuvo la elevación ortométrica.

Para validar la precisión de cada punto en esta técnica, recurrimos al desvío estándar o Error Medio Cuadrático (EMC), el cual es un valor que caracteriza la precisión de cada medición dentro de una serie de mediciones realizadas bajo las mismas condiciones y con el mismo método e instrumento.

En los puntos denominados FIA2-UES, RTK FIA 1, RTK FIA 2, RTK FIA 3, UES PT1, RTK MEDICINA, MOOP PDC, MKZ UES LEG y RTK FIA 8, el ERM Horizontal tuvo un promedio de 8 mm, debido a que estos puntos reúnen las condiciones mínimas para realizar observaciones GNSS, es decir, no presentan obstrucciones relevantes en su horizonte.

De igual manera, se analizó el ERM Vertical, el cual siempre es el doble del EMC horizontal, obteniendo un promedio de 15 mm de precisión vertical. Otro aspecto importante a considerar es la distancia del ROVER con respecto a la base RTK NTRIP, que se encuentra ubicada a una distancia en un rango de 60 a 500 metros.

Para los puntos RTK FIA4, RTK FIA 5, RTK FIA 6 y RTK FIA 7, el Error Medio Cuadrático que se obtuvo estuvo en un rango de 3 a 5 cm, debido a que estos

puntos no reúnen las condiciones mínimas para realizar observaciones GNSS, es decir, presentan obstrucciones considerables en su horizonte.

Es importante mencionar que, aunque estos puntos no son aptos para mediciones GNSS, se midieron para demostrar que, con esta técnica de medición y bajo condiciones desfavorables debido a las obstrucciones, se pueden obtener precisiones centimétricas, las cuales serán aceptadas dependiendo de los requisitos de precisión para un proyecto determinado.

De igual manera, se analizó el ERM Vertical, que siempre es el doble del EMC horizontal, obteniendo un promedio de entre 6 y 10 cm de precisión vertical.

Por lo tanto, con esta técnica de medición denominada RTK NTRIP, se pueden obtener precisiones milimétricas por punto bajo condiciones favorables para la recepción satelital. En sitios no aptos para este tipo de mediciones, se pueden obtener precisiones centimétricas, las cuales serán aceptadas según las necesidades de precisión para el proyecto.

Tabla 12. Comparativa entre puntos

Descripción de puntos según su ubicación	
Puntos con buenas condiciones	Puntos con malas condiciones
FIA2-UES, RTK FIA1, RTK FIA2, RTK FIA3, UES PT1, RTK MEDICINA, MOOP PDC, MKZ UES LEG, RTK FIA8	RTK FIA4, RTK FIA5, RTK FIA6, RTK FIA7
Error cuadrático medio (ECM)	Error cuadrático medio (ECM)
ECM horizontal 8 mm	ECM horizontal entre 3 y 5 cm
ECM vertical 15 mm	ECM vertical entre 6 y 10 cm

CUADRO RESUMEN MEDICIONES TOPOGRÁFICAS GPS RTK: UHF vs NTRIP

PUNTO	NOMBRE	COORDENADAS RTK UHF			COORDENADAS RTK NTRIP			DIFERENCIA EN COMPONENTES		DIFERENCIA EN ELEVACIÓN	DIFERENCIA EN POSICIÓN (M)
		X	Y	Z ortométrica	X	Y	Z ortométrica	ΔX (m)	ΔY (m)	ΔZ (m)	
1	FIA2-UES	478396.216	288874.041	684.504	478396.206	288874.049	684.566	0.011	-0.008	0.062	0.013
2	RTK FIA1	478370.893	288911.571	683.636	478370.881	288911.569	683.847	0.012	0.002	0.211	0.012
3	RTK FIA 2	478362.769	288911.912	683.616	478362.741	288911.901	683.822	0.028	0.011	0.206	0.030
4	RTK FIA 3	478252.388	288928.343	684.782	478252.372	288928.338	684.860	0.016	0.005	0.078	0.017
5	RTK FIA 4	478254.547	288791.945	691.051	478254.450	288792.030	690.968	0.097	-0.085	-0.083	0.129
6	RTK FIA 5	478256.513	288775.285	690.931	478256.151	288775.469	691.502	0.362	-0.184	0.571	0.406
7	RTK FIA 6	478224.270	288730.251	690.761	478224.237	288730.224	690.828	0.033	0.027	0.067	0.043
8	RTK FIA 7	478187.200	288740.104	690.833	478187.192	288740.086	690.924	0.008	0.018	0.090	0.020
9	UES PT1	478116.081	288708.241	691.003	478116.055	288708.226	691.077	0.026	0.015	0.075	0.030
10	RTK MEDICINA	478138.453	288388.791	699.264	478138.467	288388.755	699.363	-0.014	0.036	0.098	0.039
11	MOOP PDC	478160.001	288382.484	698.204	478159.987	288382.454	698.305	0.014	0.030	0.101	0.033
12	MKZ UES LEG	478018.699	288359.410	701.106	478018.679	288359.395	701.218	0.020	0.015	0.112	0.025
13	RTK FIA 8	478013.189	288254.970	701.788	478013.201	288254.960	701.910	-0.012	0.010	0.122	0.016

CAPÍTULO VIII: ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE LAS TÉCNICAS UHF Y NTRIP

A partir de los resultados obtenidos, hemos observado y podemos demostrar la versatilidad y alta eficiencia de las mediciones topográficas GNSS RTK, tanto con UHF como con NTRIP. En ambos casos, las distancias entre la base y el punto medido oscilaron entre los 50 y 500 metros. Una vez observado el punto de interés, se guardaba y almacenaba la medición, permitiendo la creación de un cuadro resumen con todos los datos.

Al analizar estos resultados, las mediciones mostraron diferencias menores a ± 4.0 cm en posición, manteniendo una tendencia uniforme y estable. Sin embargo, la componente vertical no siguió el mismo comportamiento, con diferencias que se mantuvieron en el orden de ± 10.0 cm en la mayoría de los casos, y con valores pico de ± 6.0 mm y ± 12 cm.

En los puntos RTK FIA 4, RTK FIA 5 y RTK FIA 6, la resolución de ambigüedades tardó un poco más en comparación con los demás puntos. No obstante, este tiempo es insignificante para considerarlo negativo, ya que el cambio de estado de flotante a fijo se logró en cuestión de segundos. Esta variación en el tiempo se atribuye a los efectos provocados por obstrucciones vegetales y edificios.

Aunque las precisiones obtenidas en estos puntos no son tan altas, podrían ser útiles para diversos trabajos topográficos que no requieran una calidad de nivel centimétrico, sino un nivel de precisión más bajo.

Considerando las observaciones realizadas y los resultados obtenidos en cada ensayo, se puede afirmar que la tecnología GNSS es eficiente, ofrece amplia cobertura y precisión, y resulta rentable en el ámbito de la topografía en general.

Para trabajos topográficos que requieran precisiones milimétricas puntuales y un avance significativo, las técnicas RTK descritas pueden ser empleadas. Sin embargo, es importante destacar que cada una de ellas tiene sus ventajas y desventajas.

TECNICA RTK UHF	
VENTAJA	DESVENTAJA
Siempre habrá señal, y su calidad dependerá de la elección estratégica del vértice geodésico seleccionado como BASE, así como de la potencia del radio módem interno. El alcance de la señal puede oscilar entre 3 y 4 km de distancia entre la Base y el Rover.	La desventaja de esta modalidad es que no siempre existe un vértice geodésico en la zona de trabajo para establecer la BASE; por lo tanto, sería necesario realizar una densificación de la red geodésica hasta el área del proyecto.

TECNICA RTK NTRIP	
VENTAJA	DESVENTAJA
<p>La BASE es un equipo GNSS CORS (Estaciones de Referencia de Operación Continua), ubicado en un sitio estratégico, que transmite las correcciones diferenciales a través de internet, con un alcance de hasta 50 km para operar el ROVER. Ambos equipos pueden funcionar como ROVER, lo que permite un avance significativo en las mediciones.</p>	<p>La desventaja de esta técnica es que, si en la zona del proyecto la cobertura de internet es deficiente, pueden ocurrir interrupciones o imprecisiones en las coordenadas. Además, si no hay acceso a internet, no será posible realizar las mediciones previstas.</p>

FICHAS DESCRIPTIVAS

NOMBRE DEL PUNTO: **FIA2-UES**

FECHA: 24/8/2024

PROYECTO: **TESIS "ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE MEDICIONES TOPOGRÁFICAS GNSS CON LA TÉCNICA RTK Y LA MODALIDAD NTRIP"**

COORDENADAS DEL PUNTO CON RTK NTRIP

SISTEMA DE REFERENCIA: LAMBERT SIRGAS ES2007		
NORTE (m)	ESTE (m)	ALTURA ORTOMÉTRICA
288874.0490	478396.2055	684.5655

UBICACIÓN DEL PUNTO

DEPARTAMENTO	MUNICIPIO	ZONA
SAN SALVADOR	SAN SALVADOR CENTRO	CIUDAD UNIVERSITARIA UES

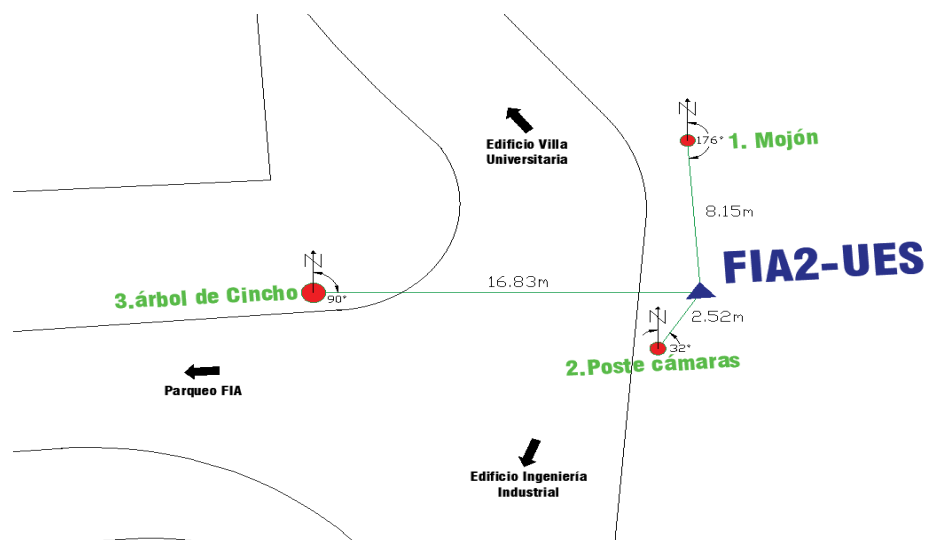
REFERENCIAS

ITEM	AZIMUT	DISTANCIA (m)
1. Mojón	176°	8.15
2. Poste de cámaras	32°	2.52
3. Árbol de Cincho	90°	16.83

DESCRIPCIÓN DEL PUNTO

El punto **FIA2-UES** se encuentra al final de la calle del parqueo principal de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, junto a la esquina noreste del edificio de Ingeniería Industrial. El punto es un monumento de concreto con forma de pirámide truncada, de color amarillo, y tiene una placa de hierro incrustada en el centro, que lleva la inscripción **FIA2-UES**.

CROQUIS DE UBICACIÓN



NOMBRE DEL PUNTO: **RTK FIA 1**

FECHA: 24/8/2024

PROYECTO: **TESIS "ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE MEDICIONES TOPOGRÁFICAS GNSS CON LA TÉCNICA RTK Y LA MODALIDAD NTRIP"**

COORDENADAS DEL PUNTO CON RTK NTRIP

SISTEMA DE REFERENCIA: LAMBERT SIRGAS ES2007		
NORTE (m)	ESTE (m)	ALTURA ORTOMÉTRICA
288911.5693	478370.8812	683.8474

UBICACIÓN DEL PUNTO

DEPARTAMENTO	MUNICIPIO	ZONA
SAN SALVADOR	SAN SALVADOR CENTRO	CIUDAD UNIVERSITARIA UES

REFERENCIAS

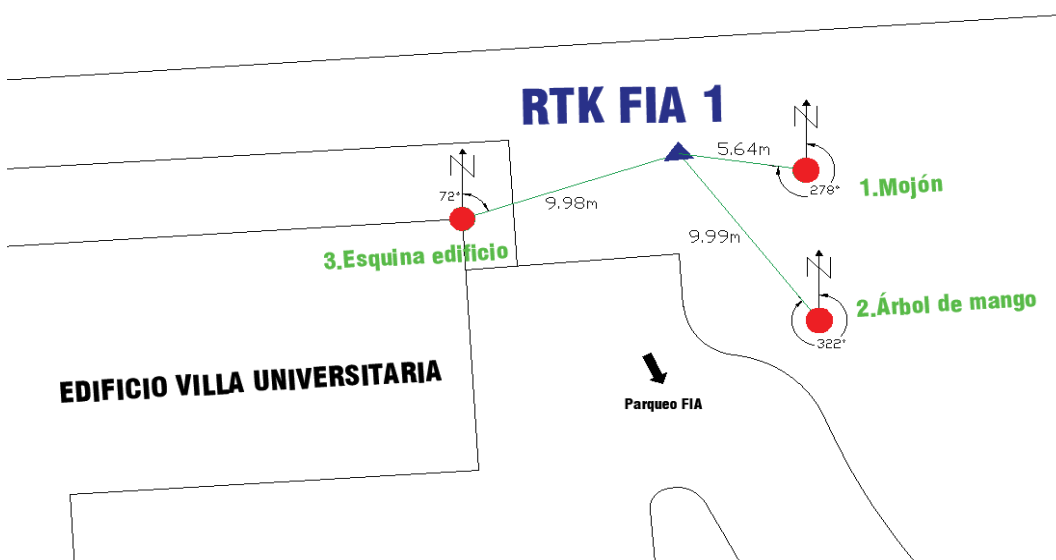
ITEM	AZIMUT	DISTANCIA (m)
1. Mojón	278°	5.64
2. Árbol de mango	322°	9.99
3. Esquina edificio	72°	9.98

DESCRIPCIÓN DEL PUNTO

El punto **RTK FIA 1** se encuentra en el costado este de uno de los edificios de la nueva villa universitaria, a la izquierda, al final de la calle del parqueo principal de la FIA, y muy cerca de los puntos "FIA2 UES" y "RTK FIA 2". El punto es un monumento piramidal truncado de concreto color amarillo, con una base superficial cuadrada de 10x10 cm y una placa de aluminio incrustada en el centro, que lleva la inscripción **RTK FIA 1**.

CROQUIS DE UBICACIÓN

VILLA UNIVERSITARIA



NOMBRE DEL PUNTO: **RTK FIA 2**

FECHA: 24/8/2024

PROYECTO: **TESIS "ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE MEDICIONES TOPOGRÁFICAS GNSS CON LA TÉCNICA RTK Y LA MODALIDAD NTRIP"**

COORDENADAS DEL PUNTO CON RTK NTRIP

SISTEMA DE REFERENCIA: LAMBERT SIRGAS-ES2007		
NORTE (m)	ESTE (m)	ALTURA ORTOMÉTRICA
288911.9008	478362.7414	683.8217

UBICACIÓN DEL PUNTO

DEPARTAMENTO	MUNICIPIO	ZONA
SAN SALVADOR	SAN SALVADOR CENTRO	CIUDAD UNIVERSITARIA UES

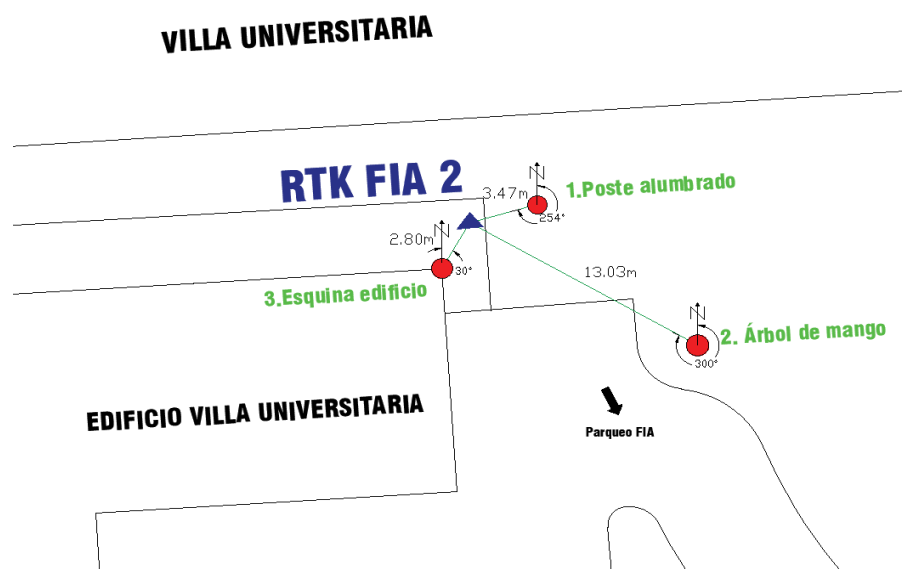
REFERENCIAS

ITEM	AZIMUT	DISTANCIA (m)
1. Poste de alumbrado	254°	3.47
2. Árbol de mango	300°	13.03
3. Esquina de edificio	30°	2.80

DESCRIPCIÓN DEL PUNTO

El punto **RTK FIA 2** se encuentra en el costado este de uno de los edificios de la nueva villa universitaria, a la izquierda, al final de la calle del parqueo principal de la FIA, y muy cerca de los puntos "FIA2 UES" y "RTK FIA 1". El punto consiste en una placa de aluminio incrustada en la acera, con la inscripción **RTK FIA 2**.

CROQUIS DE UBICACIÓN



NOMBRE DEL PUNTO: **RTK FIA 3**

FECHA: 24/8/2024

PROYECTO: **TESIS "ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE MEDICIONES TOPOGRÁFICAS GNSS CON LA TÉCNICA RTK Y LA MODALIDAD NTRIP"**

COORDENADAS DEL PUNTO CON RTK NTRIP

SISTEMA DE REFERENCIA: LAMBERT SIRGAS-ES2007		
NORTE (m)	ESTE (m)	ALTURA ORTOMÉTRICA
288928.3384	478252.3719	684.8603

UBICACIÓN DEL PUNTO

DEPARTAMENTO	MUNICIPIO	ZONA
SAN SALVADOR	SAN SALVADOR CENTRO	CIUDAD UNIVERSITARIA UES

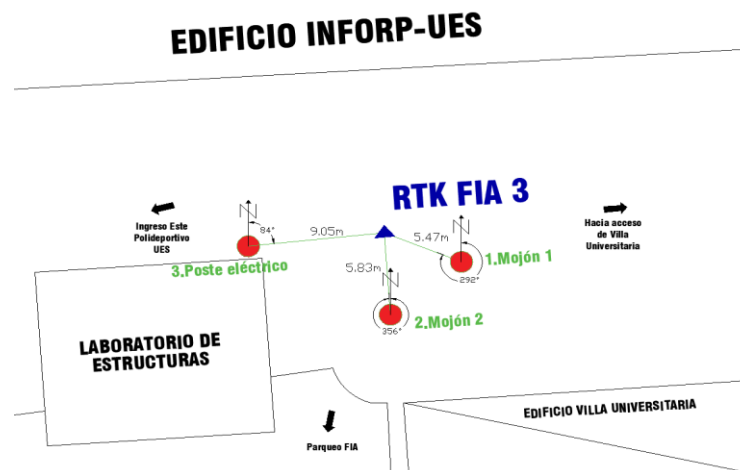
REFERENCIAS

ITEM	AZIMUT	DISTANCIA (m)
1. Mojón 1	292°	5.47
2. Mojón 2	356°	5.83
3. Poste eléctrico	84°	9.05

DESCRIPCIÓN DEL PUNTO

El punto **RTK FIA 3** se encuentra entre el edificio INFORP y uno de los edificios de la villa Universitaria, a un costado del laboratorio de estructuras y con acceso desde el parqueo cercano al ingreso Este del polideportivo UES. El punto es un monumento piramidal truncado de concreto color amarillo con una base superficial cuadrada de 10x10cm con una placa de aluminio embebida al centro con la descripción **RTK FIA 3**.

CROQUIS DE UBICACIÓN



NOMBRE DEL PUNTO: **RTK FIA 4**

FECHA: 24/8/2024

PROYECTO: **TESIS "ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE MEDICIONES TOPOGRÁFICAS GNSS CON LA TÉCNICA RTK Y LA MODALIDAD NTRIP"**

COORDENADAS DEL PUNTO CON RTK NTRIP

SISTEMA DE REFERENCIA: LAMBERT SIRGAS-ES2007		
NORTE (m)	ESTE (m)	ALTURA ORTOMÉTRICA
288792.0299	478254.4502	690.9681

UBICACIÓN DEL PUNTO

DEPARTAMENTO	MUNICIPIO	ZONA
SAN SALVADOR	SAN SALVADOR CENTRO	CIUDAD UNIVERSITARIA UES

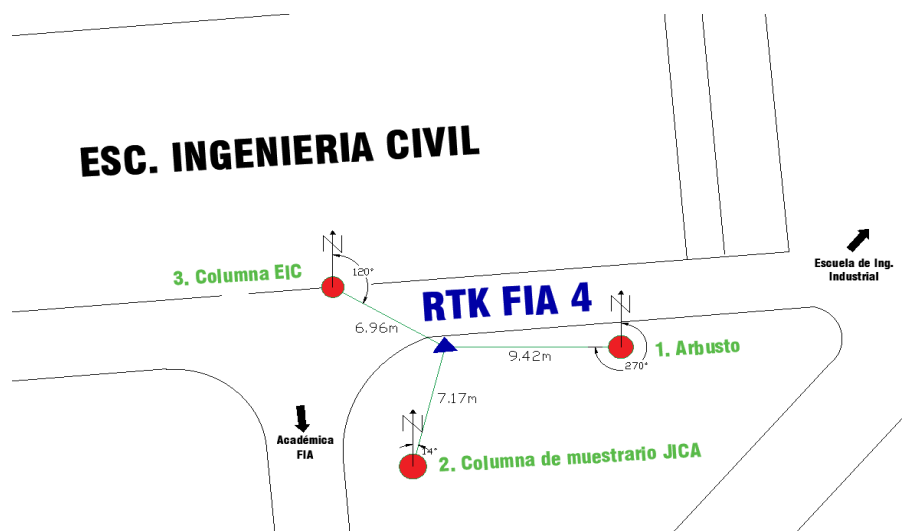
REFERENCIAS

ITEM	AZIMUT	DISTANCIA (m)
1. Arbusto Tuya	270°	9.42
2. Columna de muestrario JICA	14°	7.17
3. Columna puerta Escuela IC	120°	6.96

DESCRIPCIÓN DEL PUNTO

El punto **RTK FIA 4** se encuentra frente al edificio de la escuela de Ingeniería Civil, en medio de vegetación y como referencia tenemos cercano el muestrario de técnicas de reforzamiento construido en cooperación con JICA. El punto es un monumento piramidal truncado de concreto color amarillo con una base superficial cuadrada de 10x10cm con una placa de aluminio al centro con la descripción **RTK FIA 4**.

CROQUIS DE UBICACIÓN



NOMBRE DEL PUNTO: **RTK FIA 5**

FECHA: 24/8/2024

PROYECTO: **TESIS "ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE MEDICIONES TOPOGRÁFICAS GNSS CON LA TÉCNICA RTK Y LA MODALIDAD NTRIP"**

COORDENADAS DEL PUNTO CON RTK NTRIP

SISTEMA DE REFERENCIA: LAMBERT SIRGAS-ES2007		
NORTE (m)	ESTE (m)	ALTURA ORTOMÉTRICA
288775.4693	478256.1513	691.5022

UBICACIÓN DEL PUNTO

DEPARTAMENTO	MUNICIPIO	ZONA
SAN SALVADOR	SAN SALVADOR CENTRO	CIUDAD UNIVERSITARIA UES

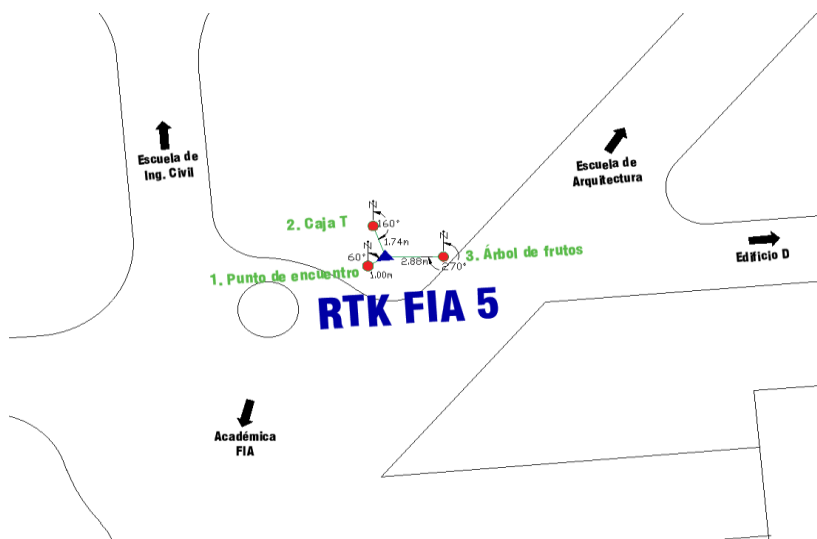
REFERENCIAS

ITEM	AZIMUT	DISTANCIA (m)
1. Señal vertical punto de encuentro	60°	1.00
2. Caja Tragante	160°	1.74
3. Árbol de frutos rojos	270°	2.88

DESCRIPCIÓN DEL PUNTO

El punto **RTK FIA 5** se encuentra frente al edificio de la escuela de Ingeniería Civil, cercano a la señal vertical de punto de encuentro ubicado entre los senderos que llevan a la escuela de Arquitectura, Edificio D y Académica FIA. El punto es un monumento piramidal truncado de concreto color amarillo con una base superficial cuadrada de 10x10cm con una placa de aluminio incrustada al centro con la descripción **RTK FIA 5**.

CROQUIS DE UBICACIÓN



NOMBRE DEL PUNTO: **RTK FIA 6**

FECHA: 24/8/2024

PROYECTO: **TESIS "ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE MEDICIONES TOPOGRÁFICAS GNSS CON LA TÉCNICA RTK Y LA MODALIDAD NTRIP"**

COORDENADAS DEL PUNTO CON RTK NTRIP

SISTEMA DE REFERENCIA: LAMBERT SIRGAS-ES2007		
NORTE (m)	ESTE (m)	ALTURA ORTOMÉTRICA
288730.2241	478224.2369	690.8277

UBICACIÓN DEL PUNTO

DEPARTAMENTO	MUNICIPIO	ZONA
SAN SALVADOR	SAN SALVADOR CENTRO	CIUDAD UNIVERSITARIA UES

REFERENCIAS

ITEM	AZIMUT	DISTANCIA (m)
1. Árbol de almendra	168°	4.35
2. Árbol de Pino	330°	7.68
3. Palmera	28°	5.71

DESCRIPCIÓN DEL PUNTO

El punto **RTK FIA 6** se encuentra frente al edificio de la Académica de la facultad, en la plaza de las ingenierías, en una de las jardineras sobre el sendero que lleva hacia el Edificio B. El punto es un monumento piramidal truncado de concreto color amarillo con una base superficial cuadrada de 10x10cm con una placa de aluminio al centro con la descripción **RTK FIA 6**.

CROQUIS DE UBICACIÓN



NOMBRE DEL PUNTO: **RTK FIA 7**

FECHA: 24/8/2024

PROYECTO: **TESIS "ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE MEDICIONES TOPOGRÁFICAS GNSS CON LA TÉCNICA RTK Y LA MODALIDAD NTRIP"**

COORDENADAS DEL PUNTO CON RTK NTRIP

SISTEMA DE REFERENCIA: LAMBERT SIRGAS-ES2007		
NORTE (m)	ESTE (m)	ALTURA ORTOMÉTRICA
288740.0858	478187.1922	690.9236

UBICACIÓN DEL PUNTO

DEPARTAMENTO	MUNICIPIO	ZONA
SAN SALVADOR	SAN SALVADOR CENTRO	CIUDAD UNIVERSITARIA UES

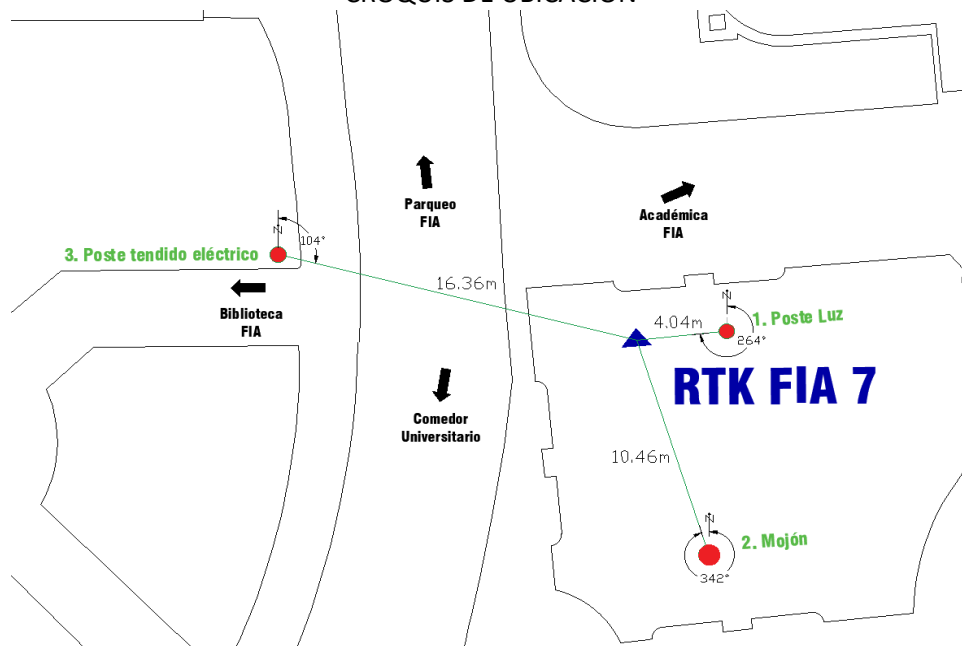
REFERENCIAS

ITEM	AZIMUT	DISTANCIA (m)
1. Poste de luminaria	264°	4.04
2. Mojón	342°	10.46
3. Poste tendido eléctrico	104°	16.36

DESCRIPCIÓN DEL PUNTO

El punto **RTK FIA 7** se encuentra en una jardinera entre el edificio de Académica y la biblioteca FIA, en la plaza de las ingenierías. El punto es un monumento piramidal truncado de concreto color amarillo con una base superficial cuadrada de 10x10cm con una placa de aluminio incrustada al centro con la descripción **RTK FIA 7**.

CROQUIS DE UBICACIÓN



NOMBRE DEL PUNTO: **UES PT1**

FECHA: 24/8/2024

PROYECTO: **TESIS "ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE MEDICIONES TOPOGRÁFICAS GNSS CON LA TÉCNICA RTK Y LA MODALIDAD NTRIP"**

COORDENADAS DEL PUNTO CON RTK NTRIP

SISTEMA DE REFERENCIA: LAMBERT SIRGAS-ES2007		
NORTE (m)	ESTE (m)	ALTURA ORTOMÉTRICA
288708.226	478116.0551	691.0774

UBICACIÓN DEL PUNTO

DEPARTAMENTO	MUNICIPIO	ZONA
SAN SALVADOR	SAN SALVADOR CENTRO	CIUDAD UNIVERSITARIA UES

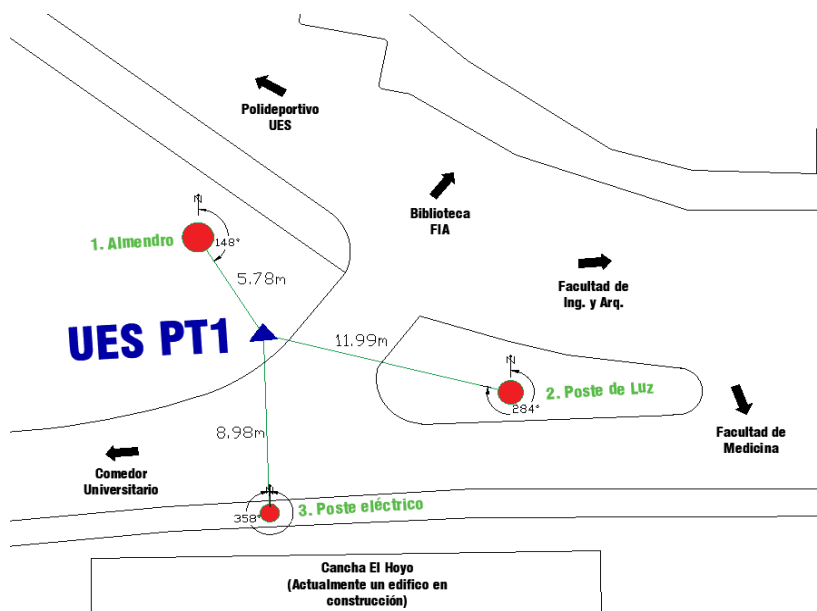
REFERENCIAS

ITEM	AZIMUT	DISTANCIA (m)
1. Árbol de almendro	148°	5.78
2. Poste de luminaria	284°	11.99
3. Poste de tendido eléctrico	358°	8.98

DESCRIPCIÓN DEL PUNTO

El punto **UES PT1** se encuentra en el vértice de las calles que llevan al comedor Universitario y el Polideportivo, frente a la antes existente cancha llamada popularmente "El hoyo". El punto es un monumento de concreto de forma piramidal truncada construida por otro grupo de investigación hace algunos años con una placa de hierro al centro con la descripción **UES PT1**. Fue restaurada para esta tesis.

CROQUIS DE UBICACIÓN



NOMBRE DEL PUNTO: **RTK MEDICINA**

FECHA: 24/8/2024

PROYECTO: **TESIS "ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE MEDICIONES TOPOGRÁFICAS GNSS CON LA TÉCNICA RTK Y LA MODALIDAD NTRIP"**

COORDENADAS DEL PUNTO CON RTK NTRIP

SISTEMA DE REFERENCIA: LAMBERT SIRGAS-ES2007		
NORTE (m)	ESTE (m)	ALTURA ORTOMÉTRICA
288388.7551	478138.4672	699.3627

UBICACIÓN DEL PUNTO

DEPARTAMENTO	MUNICIPIO	ZONA
SAN SALVADOR	SAN SALVADOR CENTRO	CIUDAD UNIVERSITARIA UES

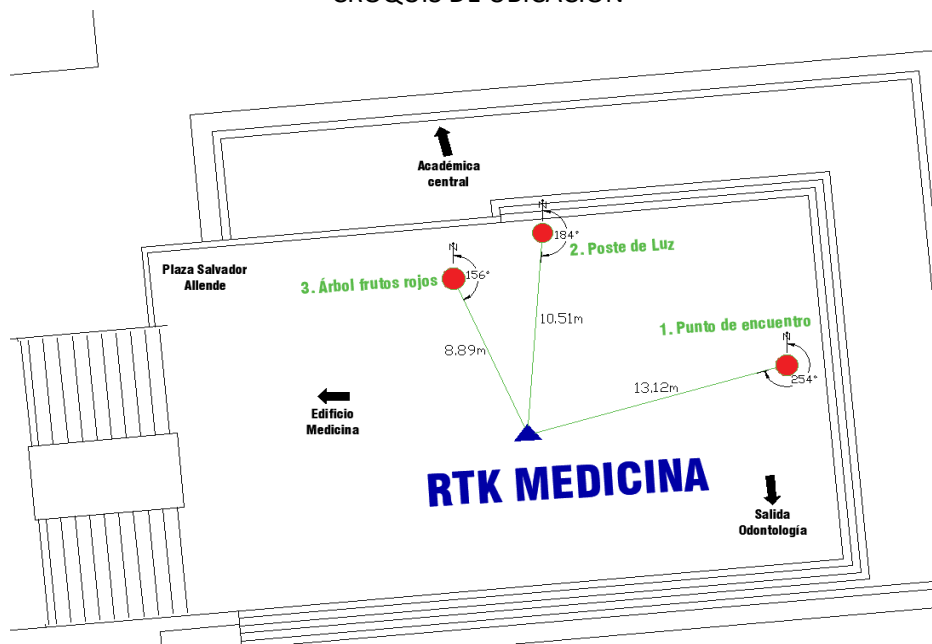
REFERENCIAS

ITEM	AZIMUT	DISTANCIA (m)
1. Punto de encuentro	254°	13.12
2. Poste de luminaria	184°	10.51
3. Árbol de frutos rojos	156°	8.86

DESCRIPCIÓN DEL PUNTO

El punto **RTK MEDICINA** se encuentra justo al centro de la señal horizontal de punto de encuentro, al medio de la Plaza Salvador Allende, ubicada frente al edificio de Medicina. El punto es una placa de hierro incrustada con la descripción **RTK MEDICINA**. Fue una de las primeras referencias geodésicas en la Universidad de El Salvador.

CROQUIS DE UBICACIÓN



NOMBRE DEL PUNTO: **MOOP PDC**

FECHA: 24/8/2024

PROYECTO: **TESIS "ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE MEDICIONES TOPOGRÁFICAS GNSS CON LA TÉCNICA RTK Y LA MODALIDAD NTRIP"**

COORDENADAS DEL PUNTO CON RTK NTRIP

SISTEMA DE REFERENCIA: LAMBERT SIRGAS-ES2007		
NORTE (m)	ESTE (m)	ALTURA ORTOMÉTRICA
288382.4539	478159.9869	698.3045

UBICACIÓN DEL PUNTO

DEPARTAMENTO	MUNICIPIO	ZONA
SAN SALVADOR	SAN SALVADOR CENTRO	CIUDAD UNIVERSITARIA UES

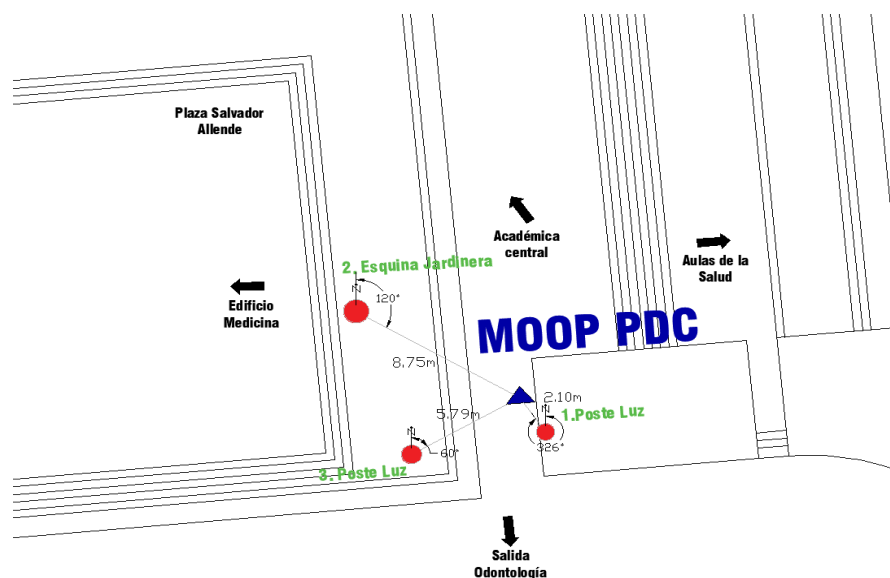
REFERENCIAS

ITEM	AZIMUT	DISTANCIA (m)
1. Poste de luminaria	326°	2.10
2. Esquina de Jardinera	120°	8.75
3. Poste de luminaria	60°	5.79

DESCRIPCIÓN DEL PUNTO

El punto **MOOP PDC** se encuentra cerca de una jardinera al sureste de la Plaza Salvador Allende, ubicada frente al edificio de la facultad de Medicina, A aproximadamente 25m del punto RTK MEDICINA. El punto es una placa de hierro incrustada con la descripción **MOOP PDC**. Fue una de las primeras referencias geodésicas en la Universidad de El Salvador.

CROQUIS DE UBICACIÓN



NOMBRE DEL PUNTO: **MKZ UES-LEG**

FECHA: 24/8/2024

PROYECTO: **TESIS "ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE MEDICIONES TOPOGRÁFICAS GNSS CON LA TÉCNICA RTK Y LA MODALIDAD NTRIP"**

COORDENADAS DEL PUNTO CON RTK NTRIP

SISTEMA DE REFERENCIA: LAMBERT SIRGAS-ES2007		
NORTE (m)	ESTE (m)	ALTURA ORTOMÉTRICA
288359.3945	478018.6789	701.2176

UBICACIÓN DEL PUNTO

DEPARTAMENTO	MUNICIPIO	ZONA
SAN SALVADOR	SAN SALVADOR CENTRO	CIUDAD UNIVERSITARIA UES

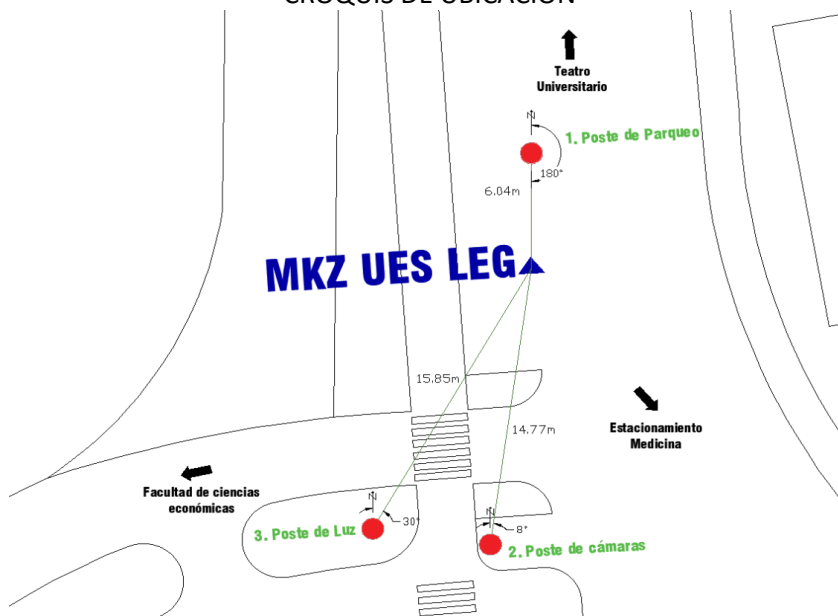
REFERENCIAS

ITEM	AZIMUT	DISTANCIA (m)
1. Poste de parqueo techado	180°	6.04
2. Poste de cámaras	8°	14.77
3. Poste de tendido eléctrico	30°	15.85

DESCRIPCIÓN DEL PUNTO

El punto **MKZ UES-LEG** se encuentra en la intercepción de la calle que viene de la facultad de Economía y la calle que va desde el estacionamiento de medicina hacia el teatro universitario, específicamente ubicada en una de las líneas del estacionamiento techado. El punto es una placa de hierro incrustada con la descripción **MKZ UES-LEG**.

CROQUIS DE UBICACIÓN



NOMBRE DEL PUNTO: **RTK FIA 8**

FECHA: 24/8/2024

PROYECTO: **TESIS "ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE MEDICIONES TOPOGRÁFICAS GNSS CON LA TÉCNICA RTK Y LA MODALIDAD NTRIP"**

COORDENADAS DEL PUNTO CON RTK NTRIP

SISTEMA DE REFERENCIA: LAMBERT SIRGAS-ES2007		
NORTE (m)	ESTE (m)	ALTURA ORTOMÉTRICA
288254.9601	478013.2007	701.9103

UBICACIÓN DEL PUNTO

DEPARTAMENTO	MUNICIPIO	ZONA
SAN SALVADOR	SAN SALVADOR CENTRO	CIUDAD UNIVERSITARIA UES

REFERENCIAS

ITEM	AZIMUT	DISTANCIA (m)
1. Poste luminaria	148°	12.25
2. Poste tendido eléctrico	268°	18.48
3. Esquina caseta salida	16°	9.23

DESCRIPCIÓN DEL PUNTO

El punto **RTK FIA 8** se encuentra a aproximadamente 15 metros al noreste de la estatua a la Minerva, frente a una jardinera con astas de banderas sobre el camino a la caseta de salida hecho de baldosas color rojizo y amarillentas. El punto es una placa de aluminio incrustada con la descripción **RTK FIA 8**.

CROQUIS DE UBICACIÓN



CAPÍTULO X CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

El desarrollo de este trabajo recopila los resultados obtenidos mediante dos métodos de medición topográfica moderna utilizando tecnología satelital, los cuales están vinculados a la Red Geodésica Nacional SIRGAS-ES2007. Para ello, se llevaron a cabo procedimientos y actividades de campo como: reconocimiento, monumentación de puntos estratégicos, medición topográfica con equipos GNSS, análisis de resultados y elaboración de fichas descriptivas de cada punto observado. A partir de los datos obtenidos en las mediciones de campo y lo analizado en la teoría, se llegaron a las siguientes conclusiones:

- Es esencial para cualquier profesional que opere un equipo GNSS diferencial de doble frecuencia contar con conocimientos sobre geodesia, sistemas de referencia y constelaciones satelitales, ya que esto garantiza la correcta configuración de los equipos, así como la medición e interpretación adecuada de las coordenadas obtenidas.
- Las mediciones topográficas fueron realizadas con equipos GNSS utilizando las técnicas RTK, las cuales nos ofrecen una precisión de 8 mm + 1 ppm en la horizontal y 16 mm + 2 ppm en la vertical, según la ficha técnica del equipo, y los resultados obtenidos están en concordancia con

estos valores, alcanzando precisiones milimétricas en las componentes horizontales.

- En relación con los resultados obtenidos, las diferencias totales entre un método y otro son, en su mayoría, favorables, ya que se cumplieron las condiciones mínimas para realizar las observaciones. En los casos donde no se cumplieron, se reconoce que las diferencias se deben a factores como obstrucciones por vegetación, edificaciones, entre otros.
- El método RTK UHF presenta la ventaja de que siempre habrá señal, siempre que la ubicación de la base sea estratégica, es decir, que esté situada a una altura superior a la de los puntos que se están midiendo. Sin embargo, su desventaja radica en la necesidad de contar con un vértice geodésico conocido en el cual colocar la base, lo cual obliga a recurrir a otros métodos más complejos si no se dispone de uno.
- El método RTK NTRIP tiene la capacidad de enviar correcciones diferenciales sin problemas a una distancia de hasta 50 km desde su estación de referencia de operación continua. Además, si se cuenta con dos equipos GNSS, es posible maximizar el trabajo utilizando ambos como Rovers. No obstante, es fundamental contar con una buena cobertura de internet en el lugar de medición para que los resultados sean fidedignos y evitar interrupciones.
- Ambos métodos presentan sus beneficios e inconvenientes, pero la elección adecuada dependerá del análisis previo del área del proyecto,

buscando garantizar la mayor precisión, minimizar tiempos y aprovechar los recursos disponibles.

RECOMENDACIONES

- Para ambos métodos, se recomienda realizar una planificación previa del proyecto, incluyendo un reconocimiento del área. En la técnica UHF, es importante contar con un vértice geodésico lo más cercano posible al área del proyecto para establecerlo como base, consultando previamente con el CNR. En caso de no encontrar un vértice adecuado, se debe realizar una densificación de la red geodésica según lo descrito anteriormente.
- Para el uso de la técnica RTK NTRIP, también se recomienda realizar una planificación previa del proyecto, realizando un reconocimiento de la zona para verificar la cobertura de internet y asegurarse de que la distancia entre la base CORS y el ROVER esté dentro de un radio de hasta 50 km.
- Se recomienda realizar mediciones a distancias mayores entre la base y el rover, ya que, debido a nuestras limitaciones, no pudimos aprovechar completamente las bondades de los equipos y las técnicas descritas.
- Se debe utilizar equipos GNSS que cuenten con la capacidad de recibir señales de las principales constelaciones de satélites, lo cual garantizará la precisión, incluso en condiciones mínimas para la medición con ambos métodos.

BIBLIOGRAFÍA

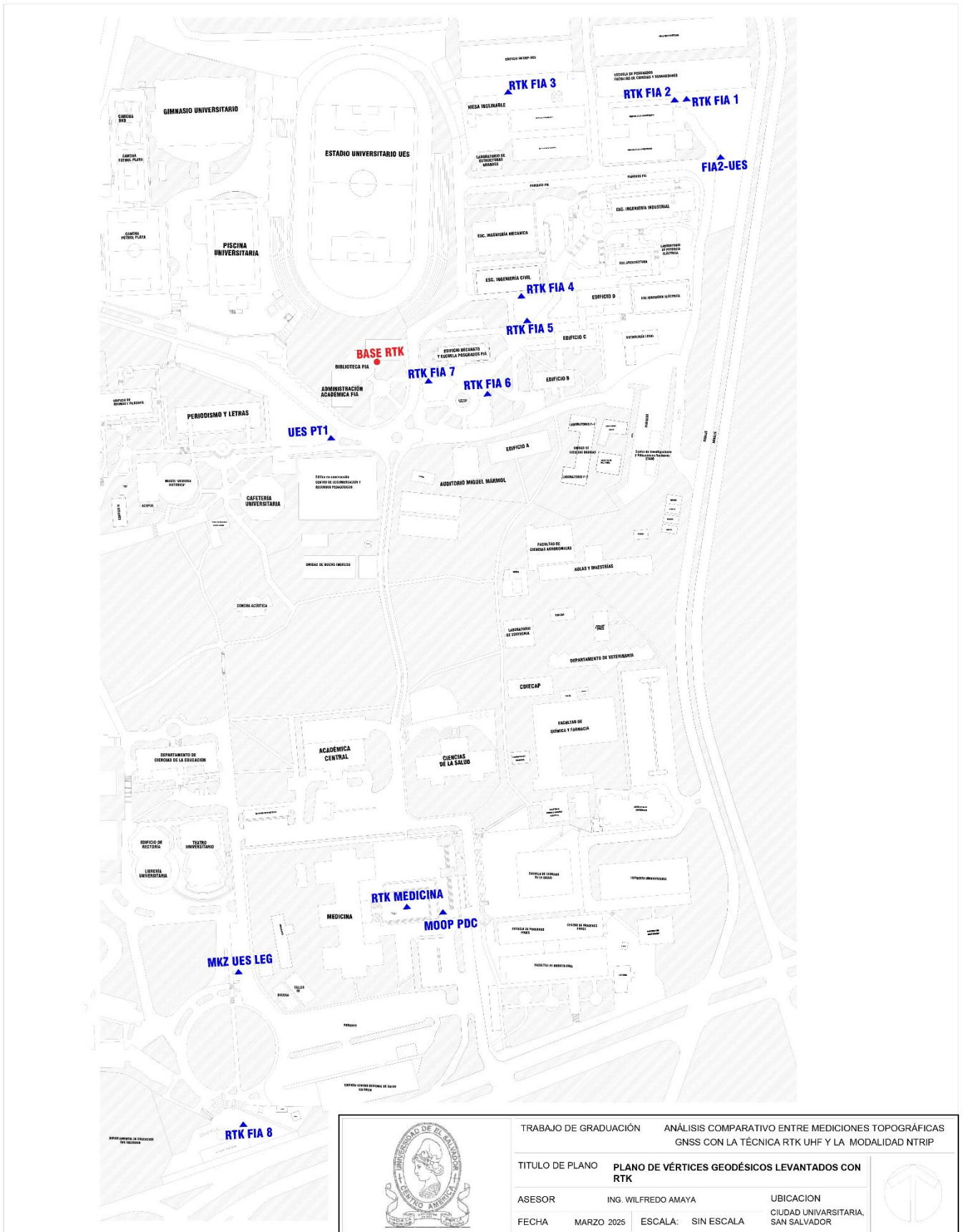
- ✓ Posicionamiento en tiempo real mediante protocolo NTRIP (Red de Transporte de RTCM vía protocolo de internet) en Chile. Por: Mora, Luis Sebastián.
- ✓ Metodología para la transmisión de datos GNSS a través del NTRIP para las estaciones de referencia de operación continua pertenecientes a la Red Geodésica Nacional de Referencia Horizontal de Costa Rica Autor: Irías Brenes, Raquel; Valderrama Castellón, Daniel.
- ✓ SIRGAS. (2017). Taller sobre Posicionamiento GNSS en Tiempo Real.
- ✓ Sistema galileo: el concepto de la navegación por satélite por Juan Antonio Tébar dnm tfc julio 2013; universidad politécnica de Catalunya facultad de náutica de Barcelona.
- ✓ Sistema GNSS David Abelardo García Álvarez proyecto de final de carrera Universidad autónoma de Madrid.
- ✓ G. J. Sonnenberg, The Global Positioning System, Radar and Electronic Navigation, Butterworths, 1988.
- ✓ Sistema de posicionamiento global (GPS): descripción, análisis de errores, aplicaciones y futuro a. pozo-ruz*
- ✓ A. Ribeiro, M.C. García-Alegre, L. García, D. Guinea, F. Sandoval; Instituto de Automática Industrial Consejo Superior de Investigaciones Científicas 28500

Arganda. Madrid, Dpto. de Tecnología Electrónica E.T.S. Ingenieros de Telecomunicación. Universidad de Málaga

- ✓ <https://survey3g.com/ntrip/>
- ✓ <https://www.gps.gov/systems/gps/spanish.php>
- ✓ <https://www.scsequipos.com/que-es-ntrip-conoce-sus-ventajas-para-la-topografia-gnss-rtk/>

ANEXO

Plano de Vértices geodésicos levantados con RTK



TRABAJO DE GRADUACIÓN ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE MEDICIONES TOPOGRÁFICAS GNSS CON LA TÉCNICA RTK UHF Y LA MODALIDAD NTRIP

TÍTULO DE PLANO PLANO DE VÉRTICES GEODÉSICOS LEVANTADOS CON RTK

ASESOR ING. WILFREDO AMAYA

UBICACION CIUDAD UNIVERSITARIA, SAN SALVADOR

FECHA MARZO 2025

ESCALA: SIN ESCALA

