

UCUENCA

Universidad de Cuenca

Facultad de Ingeniería

Carrera de Ingeniería en Telecomunicaciones

Implementación y evaluación de un sistema de navegación cinética satelital en tiempo real empleando hardware de bajo costo.

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Ingeniero en Telecomunicaciones

Autores:

Stalyn Andrés Flores Lalvay

Christian Fernando Villa Lojano

Director:

Alcides Fabian Araujo Pacheco

ORCID:  0000-0002-2180-752X

Cuenca, Ecuador

2024-17-09

Resumen

En este trabajo de titulación se implementó y evaluó un sistema de navegación cinética en tiempo real (GNSS RTK) de bajo costo. Para ello, se usaron tarjetas de desarrollo *simpleRTK2B Lite* y módulos de comunicación inalámbrica *XBee*. Inicialmente, se aprendió y verificó el funcionamiento, sincronización y comunicación de cada módulo configurado como base y rover. La evaluación del sistema se realizó mediante el cálculo de parámetros estadísticos como RMS, 2DRMS, CEP, SEP y MRSE, usando la red geodésica de la ciudad de Cuenca, en la provincia del Azuay, Ecuador, como escenario de pruebas. Se midieron un total de 8 puntos distribuidos en 4 lugares del cantón, representando diversos escenarios geográficos y aprovechando la variada topografía de la ciudad, con altitudes entre aproximadamente 2500 y 3500 metros sobre el nivel del mar. Estos lugares incluyeron entornos urbanos transitados y entornos rurales. Los resultados demostraron que el sistema RTK implementado puede lograr mediciones precisas menores a 25 cm y, en algunos casos, menores a 2 cm en entornos prácticos, utilizando componentes de bajo costo. Además, se realizó una comparativa de costos con equipos comerciales de grado geodésico. Este proyecto contribuye al desarrollo de soluciones accesibles para aplicaciones de geolocalización y navegación en tiempo real, especialmente en regiones con condiciones geográficas complejas.

Palabras clave del autor: tarjeta de desarrollo, posicionamiento geospacial, estación base, estación móvil



El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Cuenca ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por la propiedad intelectual y los derechos de autor.

Repositorio Institucional: <https://dspace.ucuenca.edu.ec>

Abstract

In this degree work, a low-cost real-time kinetic navigation system (GNSS RTK) was implemented and evaluated. For this, *simpleRTK2B Lite* development boards and *XBee* wireless communication modules were used. Initially, the operation, synchronisation and communication of each module configured as base and rover was learned and verified. The evaluation of the system was performed by calculating statistical parameters such as RMS, 2DRMS, SEP, CEP and MRSE, using the geodetic network of the city of Cuenca, in the province of Azuay, Ecuador, as a test scenario. A total of 8 points distributed in 4 locations in the city were measured, representing diverse geographical scenarios and taking advantage of the varied topography of the city, with altitudes between approximately 2500 masl and 3500 masl. These locations included both busy urban and rural environments. The results demonstrated that the implemented RTK system can achieve accurate measurements of less than 25 cm and, in some cases, less than 2 cm in practical environments, using low-cost components. In addition, a cost comparison was made with commercial geodetic grade equipment. This study contributes to the development of affordable solutions for real-time geolocation and navigation applications, especially in regions with complex geographical conditions.

Author Keywords: development card, geospatial positioning, base station, rover



The content of this work corresponds to the right of expression of the authors and does not compromise the institutional thinking of the University of Cuenca, nor does it release its responsibility before third parties. The authors assume responsibility for the intellectual property and copyrights.

Repositorio Institucional: <https://dspace.ucuenca.edu.ec>

Índice general

1	Introducción	19
1.1	Identificación del problema	19
1.2	Justificación	20
1.3	Alcance	20
1.4	Objetivos	24
1.4.1	Objetivo general	24
1.4.2	Objetivos específicos	24
2	Marco teórico	25
2.1	Introducción a la geolocalización	25
2.1.1	Sistemas de coordenadas	25
2.1.2	Datum WSG84	26
2.1.3	Principio de trilateración	26
2.2	Fundamentos de GNSS	28
2.2.1	Segmentos de la red GNSS	28
2.2.1.1	Segmento espacial	29
2.2.1.2	Segmento de control	30
2.2.1.3	Segmento de usuarios	30
2.2.2	Descripción de sistemas GNSS (GPS, GLONASS, Galileo, Bei- Dou)	31
2.2.2.1	GPS	31
2.2.2.2	GLONASS	32
2.2.2.3	GALILEO	33
2.2.2.4	BeiDou	34
2.3	GNSS RTK: Principios básicos	36
2.3.1	Concepto de RTK	36

2.3.2	Arquitectura y componentes de un sistema GNSS RTK	36
2.3.3	Fuentes de errores en el proceso de medición	37
2.4	Protocolo NTRIP	38
2.4.1	Descripción del protocolo NTRIP	38
2.4.2	Arquitectura y funcionamiento del protocolo NTRIP	39
2.5	Teoría de errores	41
2.5.1	Errores sistemáticos	41
2.5.2	Errores accidentales	42
2.5.3	Precisión y exactitud	42
2.6	Métodos para evaluar la precisión	44
2.6.1	Error cuadrático medio (RMS)	44
2.6.2	Raíz cuadrática media bidimensional (2DRMS)	45
2.6.3	Error circular probable (CEP)	45
2.6.4	Error esférico probable (SEP)	46
2.6.5	Error esférico radial medio (MRSE)	46
3	Trabajos relacionados	47
4	Metodología	49
4.1	Tipo de estudio	49
4.2	Hipótesis	49
4.3	Selección de los lugares geográficos y método de evaluación	49
4.3.1	Descripción e identificación de las coordenadas	53
4.4	Materiales	56
4.4.1	<i>Hardware</i>	56
4.4.1.1	Placa <i>simpleRTK2B Lite</i> (ZED-F9P)	56
4.4.1.2	Módulo de radio xBee de rango medio	57
4.4.1.3	Antena multibanda GNSS <i>u-blox</i> ANN-MB-00	58
4.4.1.4	<i>Mini Survey Tripleband GNSS Antenna</i>	59
4.4.2	<i>Software</i>	60
4.4.2.1	<i>Software</i> de evaluación <i>u-center</i>	60
4.5	Procedimiento	61
4.5.1	Escenario experimental	61

4.5.2	Escenarios geográficos y condiciones climáticas	62
4.5.2.1	Posicionamiento de la estación base	64
4.5.2.2	Medición de coordenadas con el equipo <i>rover</i>	65
4.5.3	Diagrama de flujo para el procesamiento de datos	66
5	Resultados	67
5.1	El Cajas	67
5.2	Parque Calderón de Cuenca	72
5.3	El Valle	76
5.4	Avenida Solano	80
5.5	Resumen de resultados	84
5.6	Análisis de costos	86
5.6.1	Costos operativos	88
5.6.2	Costos por mantenimiento	90
6	Conclusiones, recomendaciones, limitaciones y trabajos futuros	94
6.1	Conclusiones	94
6.2	Recomendaciones	95
6.3	Limitaciones	97
6.4	Trabajos futuros	97
	Referencias	99
	Anexos	103
A	Configuración de la base	104
B	Configuración del <i>rover</i>	106
C	Modelos 3D	107
D	Presupuesto del prototipo	112
E	Registro servidor NTRIP del Instituto Geográfico Militar del Ecuador	112
F	Verificación y configuración de módulos de comunicación xBee MR	118
G	Permiso uso del espacio de MICRO-RED	123
H	Puntos de control geodésico	124
I	Licencia de servicio NTRIP	132

Índice de figuras

Figura 1.1	Arquitectura del sistema GNSS RTK. Realizado por los autores .	21
Figura 1.2	Topología de NTRIP. Realizado por los autores	22
Figura 2.1	Proceso de trilateración.	27
Figura 2.2	Ubicación de un punto a través de trilateración [1].	27
Figura 2.3	Segmentos de la red GNSS	29
Figura 2.4	Logo de GPS [2].	32
Figura 2.5	Logo de GLONASS [2].	33
Figura 2.6	Logo de GALILEO [2].	34
Figura 2.7	Logo de BeiDou [2].	35
Figura 2.8	Arquitectura de un sistema RTK	37
Figura 2.9	Concepto de sistema NTRIP. Tomado de: [3]	39
Figura 2.10	Arquitectura servicio NTRIP del Ecuador [4]	40
Figura 2.11	Diferencia entre precisión y exactitud.	43
Figura 4.1	Puntos C-07-02-29 y C-07-02-30 de la parroquia “El Valle”. . . .	51
Figura 4.2	Puntos C-21-02-71 y C-21-02-72 de la parroquia el Sagrario. . .	51
Figura 4.3	Puntos C-21-02-27 y C-21-02-28 de la parroquia Sucre.	52
Figura 4.4	Puntos C-21-02-64 y C-21-02-63 de la parroquia Sayausí. . . .	52
Figura 4.5	Punto de control geodésico C-07-02-29, parroquia El Valle. . . .	54
Figura 4.6	Punto de control geodésico C-07-02-72, sector centro de Cuenca.	54
Figura 4.7	Punto de control geodésico C-21-02-27, sector avenida Solano. .	55
Figura 4.8	Punto de control geodésico C-21-02-63, sector El Cajas.	55
Figura 4.9	<i>simpleRTK2B Lite</i>	56
Figura 4.10	Módulo de radio MR	58
Figura 4.11	Antena ANN-MB-00	59
Figura 4.12	<i>Mini Survey Tripleband GNSS Antenna</i>	60
Figura 4.13	Interfaz <i>u-center</i>	61

Figura 4.14 Escenario de evaluación	62
Figura 4.15 Vista de la antena y el cielo en El Valle.	63
Figura 4.16 Vista de la antena y el cielo en el parque Calderón.	63
Figura 4.17 Vista de la antena y el cielo en la Av. Solano.	64
Figura 4.18 Vista de la antena y el cielo en El Cajas	64
Figura 4.19 Centrado uno de los puntos a evaluar con una plomada.	65
Figura 4.20 Diagrama de flujo para el cálculo de precisión.	66
Figura 5.1 Gráfica de dispersión de los puntos de posicionamiento con respecto los errores 2DRMS y CEP de la base.	68
Figura 5.2 Gráfica de dispersión de error absoluto de los puntos de posicionamiento con respecto los errores 2DRMS y CEP de la base.	69
Figura 5.3 Gráfica de dispersión de los puntos de posicionamiento con respecto los errores 2DRMS y CEP del <i>rover</i>	70
Figura 5.4 Gráfica de dispersión de los puntos de posicionamiento con respecto los errores 2DRMS y CEP del <i>rover</i>	71
Figura 5.5 Gráfica de dispersión de los puntos de posicionamiento con respecto los errores 2DRMS y CEP de la base.	73
Figura 5.6 Gráfica de dispersión de los puntos de posicionamiento con respecto los errores 2DRMS y CEP de la base.	74
Figura 5.7 Gráfica de dispersión de los puntos de posicionamiento con respecto los errores 2DRMS y CEP del <i>rover</i>	75
Figura 5.8 Gráfica de dispersión de los puntos de posicionamiento con respecto los errores 2DRMS y CEP del <i>rover</i>	76
Figura 5.9 Gráfica de dispersión de los puntos de posicionamiento con respecto los errores 2DRMS y CEP de la base.	77
Figura 5.10 Gráfica de dispersión de los puntos de posicionamiento con respecto los errores 2DRMS y CEP de la base.	78
Figura 5.11 Gráfica de dispersión de los puntos de posicionamiento con respecto los errores 2DRMS y CEP del <i>rover</i>	79
Figura 5.12 Gráfica de dispersión de los puntos de posicionamiento con respecto los errores 2DRMS y CEP del <i>rover</i>	80

Figura 5.13	Gráfica de dispersión de los puntos de posicionamiento con respecto los errores 2DRMS y CEP de la base.	81
Figura 5.14	Gráfica de dispersión de los puntos de posicionamiento con respecto los errores 2DRMS y CEP de la base.	82
Figura 5.15	Gráfica de dispersión de los puntos de posicionamiento con respecto los errores 2DRMS y CEP del <i>rover</i>	83
Figura 5.16	Gráfica de dispersión de los puntos de posicionamiento con respecto los errores 2DRMS y CEP del <i>rover</i>	84
Figura 1	Primer diseño creado.	108
Figura 2	Segundo diseño creado, cortes superior, frontal y posterior. . . .	108
Figura 3	Tercer diseño creado a partir de 2, con las modificaciones realizadas.	109
Figura 4	Cuarto diseño creado con ranuras y agujeros creados para fijar los equipos.	109
Figura 5	Tarjeta dentro del contenedor.	110
Figura 6	Corte superior e inferior del soporte diseñado	111
Figura 7	Antena y reflector acoplados con el soporte impreso.	111
Figura 8	Página web del geoportal IGM.	113
Figura 9	Acceso al servicio NTRIP.	113
Figura 10	Ventana emergente.	114
Figura 11	Datos requeridos para el registro(parte 1).	115
Figura 12	Datos requeridos para el registro(parte 2).	116
Figura 13	Aceptar términos y condiciones	117
Figura 14	Registro exitoso.	117
Figura 15	Credenciales de acceso al servicio NTRIP del Instituto Geográfico Militar vía correo electrónico.	118
Figura 16	Búsqueda de módulos XBee disponibles.	119
Figura 17	Configuración de parámetros del puerto COM.	119
Figura 18	Selección de dispositivos XBee.	120
Figura 19	Configuración en la sección <i>Networking</i>	121
Figura 20	Configuración en la sección <i>Addressing</i>	122
Figura 21	Prueba de comunicación entre base y <i>rover</i>	122

Índice de tablas

Tabla 2.1	Tabla de características generales de GPS	32
Tabla 2.2	Tabla de características generales de GLONASS	33
Tabla 2.3	Tabla de características generales de Galileo	34
Tabla 2.4	Tabla de características generales de BeiDou	35
Tabla 2.5	Tabla de las bandas de frecuencias de GPS, GLONASS, BeiDou y Galileo.	36
Tabla 4.1	Distancias obtenidas de <i>Google Earth</i> de los puntos de centro geodésico a evaluar.	50
Tabla 4.2	Coordenadas de referencia	53
Tabla 4.3	Especificaciones técnicas del modulo ZED-F9P	57
Tabla 4.4	Características del módulo xBee MR	58
Tabla 4.5	Características de la antena ANN-MB-00	59
Tabla 4.6	Características de la <i>Mini Survey Tripleband GNSS Antenna</i>	60
Tabla 5.1	Parámetros de precisión de la base con referencia a <i>TOPCON HIPER V.</i>	67
Tabla 5.2	Parámetros de precisión de <i>rover</i> con referencia a <i>TOPCON HI- PER V.</i>	70
Tabla 5.3	Parámetros de precisión de la base con referencia al equipo <i>TRIM- BLE R8s.</i>	72
Tabla 5.4	Parámetros de precisión de la <i>rover</i> con referencia al equipo <i>TRIM- BLE R8s.</i>	74
Tabla 5.5	Parámetros de precisión de la base con referencia a <i>TOPCON HIPER V.</i>	77
Tabla 5.6	Parámetros de precisión de la <i>rover</i> con referencia a <i>TOPCON HIPER V.</i>	78

Tabla 5.7	Parámetros de precisión de la base con referencia a <i>TOPCON HIPER V</i>	81
Tabla 5.8	Parámetros de precisión de la <i>rover</i> con referencia a <i>TOPCON HIPER V</i>	83
Tabla 5.9	Resumen de parámetros de precisión de base y <i>rover</i>	85
Tabla 5.10	Tabla comparativa de precios de solo los equipos receptores comerciales con respecto al prototipo creado para la evaluación	86
Tabla 5.11	Comparación de las diferencias de precios y porcentajes de diferencia de los precios.	87
Tabla 5.12	Precio por posicionamiento de punto [5].	88
Tabla 5.13	Salario del personal [5].	89
Tabla 5.14	Comparación de costos operativos	89
Tabla 5.15	Diferencia y porcentaje de diferencia de los costos operativos	89
Tabla 5.16	Frecuencia de mantenimiento	90
Tabla 5.17	Costo de mano de obra	90
Tabla 5.18	Costo de repuestos y consumibles	91
Tabla 5.19	Costo total del mantenimiento preventivo por sesión	91
Tabla 5.20	Costo anual de mantenimiento preventivo	91
Tabla 5.21	Costo total de mantenimiento durante la vida útil	91
Tabla 5.22	Costo total del dispositivo durante su vida útil	91
Tabla 5.23	Costo de mano de obra de equipos profesionales <i>TOPCON HIPER V</i> y <i>TRIMBLE R8s</i>	92
Tabla 5.24	Costo de repuestos y consumibles	92
Tabla 5.25	Costo total del mantenimiento preventivo por sesión	92
Tabla 5.26	Costo anual de mantenimiento preventivo	92
Tabla 5.27	Costo total de mantenimiento durante la vida útil	93
Tabla 5.28	Comparación de costo total del dispositivo durante la vida útil.	93
Tabla 1	Presupuesto empleado en el prototipo	112

Dedicatoria

Dedico este trabajo a mi madre, cuyo profundo amor y confianza me ha permitido crecer como persona, siendo ella el pilar fundamental en mi vida.

A Kira, mi fiel y leal compañera, que gracias a su energía y la pasión que compartimos por el deporte, me dio la fuerza para superar todos los obstáculos, formando juntos el mejor equipo hasta cruzar la meta final.

Andrés Flores

Dedicatoria

Le dedico este trabajo de titulación a mis padres Claudio y Susana, por su incondicional apoyo en este largo viaje. Su confianza y dedicación guiaron mi camino hicieron posible este logro. A mis hermanos que siempre me han apoyado y brindado su cariño para seguir adelante.

A Luna, quien estuvo siempre a mi lado durante las incontables noches de estudio, su silenciosa y cálida compañía hicieron más amenas las horas de estudio. Aunque ahora ya no este a mi lado, su recuerdo y amor serán sempiternos para mí.

A mis amigos por su inquebrantable compañía, especialmente a Kramerx, Invierno, Lyzerod y Lady di quienes también hicieron posible el desarrollo de este trabajo, con su apoyo logístico y académico.

Christian Villa

Agradecimientos

Expreso un profundo y sincero agradecimiento a todas las personas que, con su mano amiga, permitieron que esta suma de esfuerzos haga posible la realización de este trabajo.

Andrés Flores

Agradecimientos

Quiero expresar mis agradecimientos al personal del Laboratorio Microrred por permitirnos el uso de su espacio para las pruebas iniciales de este trabajo. Al ingeniero Alcides Araujo por confiarnos el desarrollo de este trabajo y al ingeniero Fabian Astudillo por apoyarnos con sus sugerencias, consejos y tiempo a lo largo del desarrollo de este trabajo.

Christian Villa

Abreviaciones y acrónimos

- 2DRMS** *Two Dimensional Root Mean Square*. 2, 3, 5, 8, 9, 44, 45, 67–84, 95
- BDS** BeiDou Navigation Satellite System. 34
- BeiDou** Sistema de Navegación por Satélite de China.. 4, 7, 19, 28, 34, 35
- BKG** *Bundesamt für Kartographie und Geodäsie* (Oficina Federal de Cartografía y Geodesia, Alemania). 38, 48
- CDMA** *Code Division Multiple Access* (Acceso Múltiple por División de Código). 32
- CEP** *Circular Error Probable* (Error Circular Probable). 2, 3, 5, 8, 9, 44, 45, 67–84, 95
- DCPTT** Differential Corrections and Precise Point Positioning (Correcciones Diferenciales y Posicionamiento Preciso de Puntos). 47
- EDGE** Enhanced Data Rates for GSM Evolution (tasas de Datos Mejoradas para la Evolución del GSM).. 38
- EGNOS** European Geostationary Navigation Overlay Servic. 33
- ESA** Agencia Espacial Europea. 33
- FDMA** Frequency Division Multiple Access (Acceso Múltiple por División de Frecuencia). 32
- GAD** Gobierno autónomo descentralizado. 50, 87
- GLONASS** Global Navigation Satellite System (Sistema Global de Navegación por Satélite, Rusia). 10, 19, 28, 32, 33, 36
- GNSS** Global Navigation Satellite System (Sistema Global de Navegación por Satélite). 2–5, 7, 19–24, 28–31, 33, 36–38, 40, 41, 45, 47–49, 53, 56, 59–61, 89, 95, 96, 105–107
- GPRS** General Packet Radio Service (Servicio General de Paquetes vía Radio). 38
- GPS** Global Positioning System (Sistema de Posicionamiento Global). 7, 19, 25, 28, 30–33, 41, 47

- GSM** Global System for Mobile communications (Sistema global para las comunicaciones móviles). 39
- HTTP** Hypertext Transfer Protocol (Protocolo de Transferencia de Hipertexto). 39, 48
- IGM** Instituto Geográfico Militar. 9, 39, 65, 94, 97, 112, 113, 118
- ITRF** International Terrestrial Reference System (Marco de Referencia Terrestre Internacional). 40
- MRSE** Mean Radial Spherical Error (Error Esférico Radial Medio). 2, 3, 5, 46, 67, 68, 74, 76, 78, 80–82
- NAVSTAR** Navigation Satellite Timing And Ranging (Satélite de Navegación, Temporización y Ranging). 31
- NTRIP** Networked Transport of RTCM via Internet Protocol (Transporte en Red de RTCM a través de Protocolo de Internet). 5, 7, 9, 20, 22, 24, 38–41, 48, 49, 61, 62, 65, 67–69, 71, 72, 76, 77, 80, 81, 84, 94–97, 104, 106, 112, 113, 117, 118
- PAN** Personal Area Network. 121
- REGME** Red GNSS de Monitoreo Continuo del Ecuador. 40
- RMS** Root Mean Square (Media cuadrática). 2, 3, 5, 44, 67, 72, 74, 76, 78, 80, 82, 95
- RTCM** Radio Technical Commission for Maritime Services (Comisión Técnica de Radio para Servicios Marítimos). 22, 38, 40, 48, 94, 96, 105, 106
- RTK** Real-Time Kinematic (Cinemática en Tiempo Real). 2–5, 7, 19–24, 36–39, 44, 47–50, 53, 56, 57, 61, 64, 67, 70, 74, 82, 83, 85, 94, 95, 97, 106
- SEP** Spherical Error Probable (Error Esférico Probable). 2, 3, 5, 44, 46, 67, 68, 72, 74, 76, 80–82, 95
- SIRGAS** Sistema de Referencia Geocéntrico para las Américas. 40
- UMTS** Universal Mobile Telecommunications System (Sistema Universal de Telecomunicaciones Móviles). 39

USB Universal Serial Bus. 56, 66

USB-C Universal Serial Bus Type-C. 56

UTM Universal Transverse Mercator (Transversal de Mercator Universal). 25, 26, 52, 68

WGS84 *World Geodetic System 1984*. 26

WLAN Wireless Local Area Network (Red de Área Local Inalámbrica). 106

Capítulo 1 Introducción

1.1. Identificación del problema

La implementación y evaluación de un sistema de navegación cinética satelital en tiempo real (GNSS RTK) de bajo costo se perfila como una iniciativa de relevancia para la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Cuenca. Con un enfoque centrado en la viabilidad económica y alta precisión, se pretende abordar el desafío de implementar y evaluar una estación base RTK económica, evaluando su precisión en aplicaciones RTK para ofrecer un servicio público y asequible para el posicionamiento geoespacial en el campus universitario, como una alternativa a los equipos GNSS comerciales de grado geodésico. Para lograr este objetivo, se propone emplear *hardware* de bajo costo, como la placa independiente *simpleRTK2B Lite* que permite evaluar la tecnología GNSS RTK de doble banda. Este módulo está basado en el receptor de alta precisión u-blox ZED-F9P que es compatible con todas las versiones de *simpleRTK2B*, conocido por su capacidad de ofrecer mediciones altamente precisas en diversas condiciones de terreno. Este dispositivo tiene la capacidad de efectuar correcciones de señal diferencial en tiempo real mediante el uso de múltiples constelaciones, como GPS, GLONASS, Galileo y BeiDou. Gracias a esta funcionalidad, puede ofrecer datos precisos relacionados con la ubicación, la navegación y el tiempo [6].

Además, se evaluará la viabilidad económica comparando el valor de este sistema de bajo costo con alguno de los equipos de grado geodésico que se encuentren disponibles comercialmente, lo que permitirá determinar su factibilidad y las posibles aplicaciones que se puedan dar a estos sistemas. La integración de estos componentes de *hardware* permitirá garantizar un sistema eficiente y económicamente viable para las aplicaciones de navegación y posicionamiento en tiempo real. Finalmente, este proyecto aspira no solo a fortalecer las capacidades de investigación y aplicaciones prácticas en la Facultad de Ingeniería, sino también a servir como un modelo para la implementación de tecnologías de navegación avanzadas en entornos universitarios. Se espera que este esfuerzo conjunto brinde oportunidades de aprendizaje significativas para los estudiantes y fomente la excelencia en la investigación y la innovación tecnológica en el campus universitario.

1.2. Justificación

El proyecto propuesto tiene como objetivo la implementación y evaluación de un sistema de navegación cinética satelital en tiempo real (RTK) con *hardware* de bajo costo. El enfoque se centra en la comparación de la precisión con sistemas comerciales. La creciente disponibilidad de tecnologías asequibles ha allanado el camino para explorar alternativas más rentables y efectivas en la implementación de sistemas GNSS RTK. Este proyecto busca determinar si es posible implementar una estación base a un sistema de corrección de errores RTK de acceso público y gratuito utilizando componentes de bajo presupuesto para aplicaciones RTK como una alternativa a los sistemas comerciales. La navegación precisa en tiempo real es un requisito fundamental en un importante número de aplicaciones, desde la agricultura de precisión hasta la cartografía de alta resolución. Entre las tecnologías disponibles, el sistema de navegación cinética satelital en tiempo real (GNSS RTK) se ha establecido como el principal estándar en términos de precisión. Sin embargo, la inversión en *hardware* GNSS RTK puede representar una barrera financiera para su adopción en aplicaciones académicas como parte de su respectiva instrumentación para laboratorios. Las soluciones para la corrección de errores que pueden ser implementadas en la placa independiente *simpleRTK2B Lite* son a través de RTK y *Networked Transport of RTCM via Internet Protocol* (NTRIP).

1.3. Alcance

El proyecto se enfoca en implementar y evaluar un sistema de navegación cinética satelital en tiempo real (GNSS RTK) de bajo costo en la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Cuenca. La meta es evaluar el posicionamiento RTK económico, comparando su precisión con sistemas comerciales de grado geodésico, utilizando el módulo *simpleRTK2B Lite* basado en el receptor u-blox ZED-F9P. Se identificarán ubicaciones prácticas para la estación base, considerando la visibilidad de los satélites y la topografía. La estación base y móvil se configurarán con *hardware* de bajo costo, garantizando su funcionamiento y sincronización, y se establecerá una conexión con un servidor NTRIP para la transferencia de datos de corrección en tiempo

real. La precisión del sistema se evaluará comparándola con una estación base comercial mediante pruebas en dos escenarios geográficos en el campus. Se realizará un análisis económico para comparar costos con sistemas comerciales, evaluando su viabilidad y potencial de ahorro. Los resultados esperados incluyen validar la precisión del sistema GNSS RTK de bajo costo, su implementación exitosa y la provisión de posicionamiento geoespacial preciso y accesible para el campus.

Finalmente, este proyecto pretende ofrecer oportunidades educativas significativas para los estudiantes y fomentar la investigación y la innovación tecnológica en la Facultad de Ingeniería. La implementación del sistema fortalecerá las capacidades de investigación y proporcionará una herramienta valiosa para actividades académicas y de laboratorio. En la figura 1.1, se muestra la arquitectura que se propone implementar y evaluar.

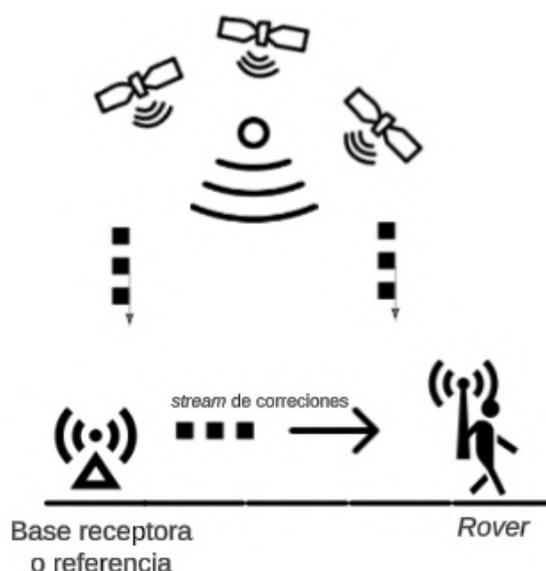


Figura 1.1: Arquitectura del sistema GNSS RTK. Realizado por los autores

Esta consta de una estación base y uno o varios *rover*, que se conectan a 3 o más satélites distintos, lo que permite obtener datos para calcular sus coordenadas geográficas. En este caso, la topología típica implica el uso de una estación base fija que está equipada con un receptor GNSS de alta precisión y una antena. La estación base recibe señales de los mismos satélites que el receptor móvil *simpleRTK2B Lite* y calcula las correcciones diferenciales en tiempo real. Estas correcciones se transmiten al a través de una conexión de radio de corto alcance, como una conexión de

radiofrecuencia o *Bluetooth*. También se pueden realizar las correcciones del *rover* a través del protocolo NTRIP. El receptor móvil aplica estas correcciones a sus propias mediciones de GNSS para obtener una posición precisa en tiempo real.



Figura 1.2: Topología de NTRIP. Realizado por los autores

De acuerdo con la figura 1.2, el posicionamiento RTK con estación base y receptor móvil propuesto se evaluará a través del protocolo NTRIP. El protocolo de transporte de RTCM vía protocolo de internet (NTRIP) es un protocolo utilizado para transmitir datos de corrección *Radio Technical Commission for Maritime Services* (RTCM) desde una estación base GNSS a receptores GNSS móviles o *rovers* en tiempo real a través de Internet con el objetivo principal de proporcionar correcciones GNSS que mejoren la precisión de los receptores en sus mediciones y, por ende, sus capacidades para determinar su ubicación.

De esta manera, la implementación de *hardware* de bajo costo tiene el potencial de dar la capacidad de acceso a este tipo tecnologías de posicionamiento y abrir nuevas posibilidades de proporcionar instrumentación de geolocalización. También se busca proporcionar evidencia sólida sobre la viabilidad y la eficacia de esta implementación en comparación con al menos una solución comercial [7]. La investigación explorará si es posible mantener altos niveles de precisión y rentabilidad, lo que podría hacer posible su uso tanto en proyectos de investigación como desarrollar nuevas líneas de investigación enfocadas en perfeccionar la precisión de este sistema. Adicionalmente, también se usará un enlace de comunicación por radio frecuencia entre la base y el *rover* como un segundo método de corrección de errores, para aplicaciones en

donde el alcance de estos equipos no sea un limitante. Por lo que, en este proyecto se propone explorar la viabilidad y el potencial de un sistema GNSS RTK con componentes de bajo presupuesto, basado en *hardware* asequible, como una alternativa a los sistemas comerciales tradicionales.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Comparar el rendimiento de un sistema GNSS RTK de bajo coste con al menos una solución comercial, y evaluar su aplicación práctica en al menos dos escenarios geográficos y de posicionamiento.

1.4.2. Objetivos específicos

El presente trabajo de titulación tiene los siguientes objetivos específicos:

- Determinar la ubicación óptima para la estación base mediante técnicas de posicionamiento geoespacial, considerando la visibilidad de los satélites GNSS y la topografía del entorno.
- Configurar una estación base y una estación móvil utilizando componentes de *hardware* de bajo costo, garantizando su funcionamiento adecuado y sincronización.
- Configurar la conexión de la estación base con un servidor NTRIP para asegurar la transferencia confiable de datos de corrección en tiempo real.
- Comparar la precisión de las coordenadas obtenidas del sistema implementado con al menos una estación base comercial.
- Realizar pruebas de precisión y rendimiento del sistema GNSS RTK en al menos dos escenarios geográficos.

Capítulo 2 Marco teórico

2.1. Introducción a la geolocalización

En el mundo de la tecnología, la geolocalización se ha convertido en una herramienta para determinar la ubicación exacta de objetos y personas en el planeta. Este proceso, que utiliza tecnologías avanzadas, permite a los dispositivos y sistemas identificar con precisión las coordenadas de latitud y longitud de un punto específico en la Tierra.

Una de las tecnologías más utilizadas en la geolocalización es el sistema de posicionamiento global (GPS). Este sistema, basa la determinación de un objeto a través del principio conocido como trilateración para calcular las coordenadas de manera precisa [8, 9].

Para comprender esta precisión, es importante entender los conceptos de sistemas de coordenadas, datum y proyecciones. Los sistemas de coordenadas definen cómo se asignan las coordenadas a puntos específicos en el espacio, siendo comunes los sistemas geográficos (latitud y longitud) y proyectados (como el *Universal Transverse Mercator* o UTM), por otra parte, los datum son modelos matemáticos que definen el tamaño y la forma de la Tierra, siendo el *World Geodetic System 1984* (WGS84) el más utilizado globalmente, especialmente en GPS.

2.1.1. Sistemas de coordenadas

En [10–13], detallan cada sistema de coordenadas que pueden ser empleadas para la medición de un punto geográfico en la Tierra, un resumen de los sistemas de coordenadas mayormente empleados se presenta a continuación:

- **Coordenadas geográficas:** Las coordenadas geográficas se emplean para ubicar puntos en la superficie terrestre. Estas se definen por dos medidas principales: la latitud (o declinación) y la longitud (o meridiano). La latitud oscila entre -90° y 90° , mientras que la longitud se encuentra entre -180° y 180° . Estas coordenadas se utilizan en mapas y sistemas de información geográfica para representar la posición de puntos, líneas y áreas geográficas.
- **Coordenadas geocéntricas:** Las coordenadas geocéntricas se utilizan para lo-

calizar puntos en un sistema de referencia centrado en la Tierra. Se definen por tres parámetros: latitud, longitud y altitud. La latitud y longitud son las mismas utilizadas en coordenadas geográficas, mientras que la altitud es la distancia vertical del punto en relación al centro de la Tierra. Estas coordenadas se utilizan en aplicaciones que requieren una representación más precisa de la ubicación, como aeronáutica, navegación marítima y *geocaching*.

- **Coordenadas proyectadas:** La proyección (UTM) es una forma de proyectar la superficie de la Tierra en un plano. Se utiliza para representar grandes áreas geográficas, como países o continentes, en mapas y sistemas de información geográfica. La UTM divide el mundo en 60 zonas, cada una con un uso longitudinal específico. Las coordenadas UTM se definen por dos parámetros: X (eje longitudinal) y Y (eje meridional). Estas coordenadas se utilizan en aplicaciones que requieren una representación precisa de grandes áreas geográficas, como planificación urbana, agricultura y geología.

2.1.2. Datum WSG84

El Datum *World Geodetic System 1984* (WGS84) es un sistema de referencia geodésico que define la forma de la Tierra y la ubicación de puntos en relación a ella. Es un modelo matemático tridimensional que representa la Tierra utilizando un elipsoide, una forma geométrica más regular y simplificada en comparación con la superficie real del planeta.

2.1.3. Principio de trilateración

La precisión en la ubicación de un punto depende de un sistema de referencia fijo y conocido, como el sistema de coordenadas geocéntrico o WGS84, utilizado por el departamento de defensa de los Estados Unidos. Este sistema, creado por la agencia de cartografía militar, no depende de un conjunto de puntos de referencia en la superficie terrestre o datum geodésico local y es universalmente aplicable [14].

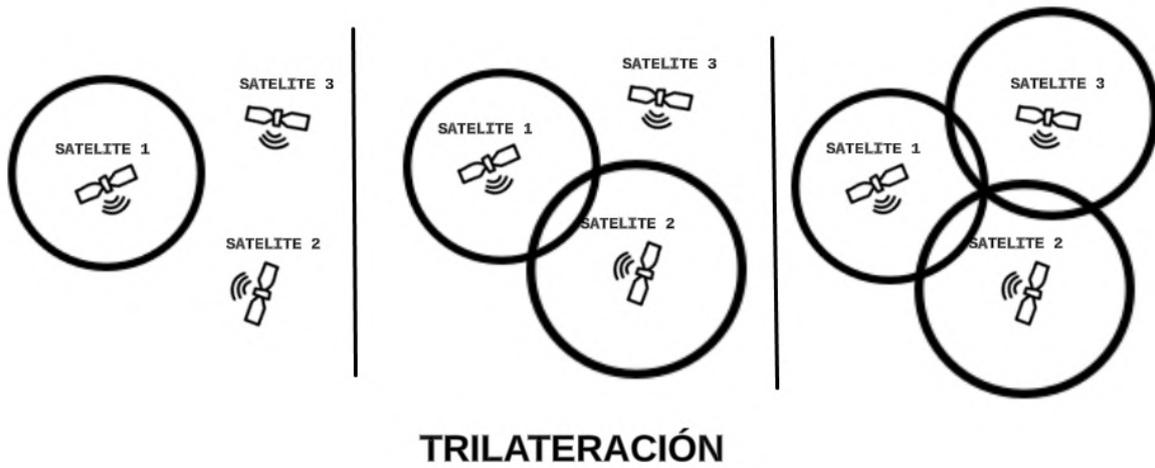


Figura 2.1: Proceso de trilateración.

Una vez definido el sistema de referencia, se requiere conocer la distancia de tres puntos de referencia para estimar la posición de un objeto como se observa en la figura 2.1.



Figura 2.2: Ubicación de un punto a través de trilateración [1].

En GPS, el uso de un satélite extra evita la necesidad de sincronizar los relojes del emisor y receptor, ya que los georeceptores no tienen relojes atómicos, sino de cuarzo, lo que introduce un sesgo en la medición del tiempo. Las lecturas de tiempo se denominan "pseudo rangos" debido a este error. Para resolver esta incógnita, se requiere un sistema de ecuaciones con 4 incógnitas: la ubicación en X, la ubicación en Y, la elevación y el error en el reloj del receptor. Por esta razón, el usuario necesita al menos cuatro satélites para realizar una localización en tres dimensiones (X, Y, Z) como se indica en la figura 2.2.

2.2. Fundamentos de GNSS

Los sistemas globales de navegación por satélite son un conjunto de satélites que proporcionan señales desde el espacio exterior, las cuales pueden ser usadas para determinar la posición geográfica de un receptor en cualquier parte del mundo. Los sistemas GNSS más conocidos incluyen el GPS (Estados Unidos), GLONASS (Rusia), Galileo (Unión Europea) y BeiDou (China).

2.2.1. Segmentos de la red GNSS

Para tener un completo entendimiento de GNSS es importante abarcar los segmentos que los conforman como se observa en la figura 2.3, la cual indica que la red GNSS esta dividida en el tres segmentos: segmento espacial o satelital, compuesto por una constelación de satélites en órbita, el segmento de control, formado por estaciones terrestres que monitorizan y gestionan los satélites y finalmente el segmento de usuario, integrado por receptores GNSS que permiten a los usuarios finales determinar su posición, velocidad y tiempo.

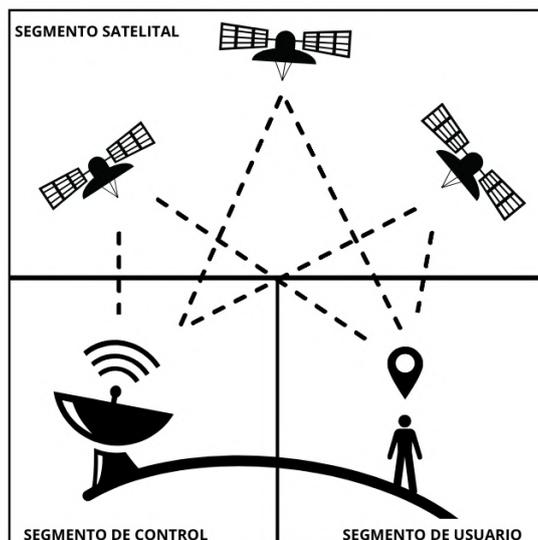


Figura 2.3: Segmentos de la red GNSS

2.2.1.1. Segmento espacial

El segmento espacial de GNSS está compuesto por una constelación de satélites que envían señales codificadas en portadoras electromagnéticas a distintas frecuencias y pueden recibir y almacenar información desde los centros terrestres de control, operando en las bandas L (40-60 GHz) y S (2-4 GHz). Para asegurar una cobertura global continua y un servicio confiable, es esencial contar con un número suficiente de satélites, superior al estrictamente necesario, para proporcionar redundancia en la transmisión de información, mayor disponibilidad de señal, posicionamiento más preciso y funcionamiento sin interrupciones en caso de fallos de algún satélite. Estos satélites se distribuyen en distintos planos orbitales para garantizar cobertura global, aunque algunos sistemas tienen una cobertura regional específica. Los satélites de navegación orbitan la Tierra en diferentes planos orbitales para asegurar visibilidad de al menos cuatro satélites simultáneamente desde cualquier punto de la superficie. Las principales funciones de este segmento son generar y transmitir códigos y señales de fase portadora, almacenar y transmitir el mensaje de navegación cargado por el segmento de control, siendo las transmisiones controladas por relojes atómicos altamente estables a bordo de los satélites [15, 16].

2.2.1.2. Segmento de control

El segmento de control de los sistemas GNSS es una red mundial de instalaciones terrestres dedicadas a rastrear los satélites GPS, monitorear sus transmisiones, realizar análisis y enviar comandos y datos a la constelación. Consiste en estaciones de monitoreo, estaciones de control de órbita y estaciones de comunicaciones con cada satélite. Las estaciones de monitoreo, ubicadas en lugares determinados con precisión y equipadas con relojes sincronizados, obtienen mediciones de las órbitas de cada satélite y las envían a las estaciones de control. Con las posiciones conocidas de las estaciones, se combinan las medidas obtenidas para crear un sistema de navegación inverso que determina la localización espacial y temporal del satélite. Esta información se envía a las estaciones de monitoreo y control para corregir la órbita del satélite y el mensaje de navegación que envían[15, 16].

2.2.1.3. Segmento de usuarios

El segmento de usuario está compuesto por receptores GNSS que reciben señales para calcular las pseudodistancias y otras características necesarias para resolver las ecuaciones de navegación, obteniendo así coordenadas precisas y una hora exacta.

De acuerdo a [15, 16], el receptor se compone de los siguientes elementos:

- **Antena receptora:** Encargada de amplificar y filtrar la señal incidente. Existen varios tipos de antenas como monopolo, dipolo, curvado, cónica espiral, microstrip, entre otras.
- **Frente terminal del receptor:** Convierte la frecuencia recibida por la antena a una frecuencia más baja que puede ser manejada por los elementos electrónicos posteriores. También debe recibir al menos cuatro señales de diferentes satélites, seleccionando la mejor geometría para obtener una estimación precisa de la posición del usuario.
- **Microprocesador:** Realiza los cálculos necesarios para determinar la posición y controla el proceso de recepción. Gestiona los datos enviados por el satélite, procesando el mensaje de navegación para extraer el almanaque y realizar los

cálculos necesarios para obtener la posición del receptor.

- **Segmento de datos:** Almacena los datos de las operaciones realizadas por el microprocesador para mostrarlos al usuario en caso de que necesite procesarlos posteriormente. Normalmente, estos datos no están disponibles, ya que depende del fabricante si desea exponerlos o no.

2.2.2. Descripción de sistemas GNSS (GPS, GLONASS, Galileo, BeiDou)

Los sistemas GNSS se caracterizan principalmente por el uso que se le da a estos servicios, actualmente la mayoría de dispositivos de geolocalización son compatibles con estos sistemas. Por lo tanto, en esta sección se tratará las 4 principales sistemas GNSS que existen, y que serán usados en la implementación de este proyecto.

2.2.2.1. GPS

El sistema de posicionamiento global (GPS), fue también conocido como NAVSTAR (*Navigation System with Timing and Ranging*), fue desarrollado por el Ministerio de Defensa de los Estados Unidos en colaboración con otros organismos en 1973 para proporcionar señales de posicionamiento, navegación e información de tiempos a nivel mundial, tanto para uso militar como civil. El sistema tiene sus orígenes en los años 60, cuando el gobierno de los Estados Unidos, a través de varias organizaciones, comenzó a estudiar y desarrollar un sistema satelital para posicionamiento en tres dimensiones. El sistema *Transit*, operativo desde 1964 para fines civiles, y el sistema de posicionamiento satelital *System 621B*, desarrollado por la Fuerza Aérea, fueron precursores del GPS. El GPS evolucionó rápidamente para fines militares con el lanzamiento de 11 satélites *Block I* entre 1978 y 1985. Con receptores adecuados, el sistema NAVSTAR GPS proporciona mediciones precisas y continuas de posicionamiento en tres dimensiones a nivel global. El sistema de posicionamiento global, conocido, quedó oficialmente inaugurado en 1995. Este sistema fue concebido originalmente como un sistema estratégico militar, pero con el paso del tiempo se desarrollaron una enorme cantidad de aplicaciones civiles [17]. En la figura 2.4 se muestra el logo de GPS, mientras que en la tabla 2.1 se muestran sus características.



Figura 2.4: Logo de GPS [2].

Tabla 2.1: Tabla de características generales de GPS

Sistema GNSS	GPS
Origen	EEUU
Inicio de funcionamiento	Finales de los años 70.
Numero de satélites	31
Órbita	Casi circulares a una altitud de 20,200 km.
Cobertura	Mundial
Usos	navegación civil, militar, comercial y personal.

2.2.2.2. GLONASS

El sistema mundial de navegación por satélites (GLONASS) es similar al GPS, pero cada uno de sus satélites emite en una frecuencia diferente mientras utiliza el mismo código. También emplea un sistema de referencia terrestre propio (PZ-90) y un sistema de tiempo atómico llamado GLONASS-T. Al igual que el GPS, consta de tres segmentos: Espacial, de Control y de Usuario. Actualmente, está en marcha un plan de modernización que incluye la normalización de frecuencias y el cambio de técnica de FDMA a CDMA. La constelación GLONASS está compuesta por 25 satélites distribuidos en tres planos orbitales. A diferencia del GPS, los satélites GLONASS utilizan la técnica FDMA, lo que significa que cada uno emite en una frecuencia diferente. Estos satélites se agrupan en tres bloques, siendo los más recientes los del bloque GLONASS-K, lanzados a partir de febrero de 2011 y que incluyen señales CDMA

[17]. En la figura 2.5 se muestra el logo de GLONASS, mientras que en la tabla 2.2 se muestran sus características.



Figura 2.5: Logo de GLONASS [2].

Tabla 2.2: Tabla de características generales de GLONASS

Sistema GNSS	GLONASS
Origen	Rusia
Inicio de funcionamiento	1995
Número de satélites	25
Órbita	Geoestacionaria, órbita media terrestre
Cobertura	Mundial
Usos	Aplicaciones militares y civiles

2.2.2.3. GALILEO

En 1999, los países de la Unión Europea comenzaron a trabajar en el proyecto GALILEO, una constelación de satélites europeos independiente y bajo control civil que complementarían al GPS y GLONASS. GALILEO es gestionado por la Agencia Espacial Europea (ESA) y un consorcio de empresas, tiene como objetivo crear una infraestructura de navegación por satélite específicamente para usos civiles. El programa consta de cuatro fases, la última de las cuales, la fase de explotación, aún está en curso. GALILEO también incluye el Programa EGNOS, diseñado para mejorar la precisión de las señales GNSS existentes. Los servicios de GALILEO incluyen un servicio abierto, un servicio comercial, un servicio de salvamento de vida y un servicio

público regulado. Además, GALILEO colabora con el sistema COSPAS-SARSAT para la búsqueda y salvamento en emergencias [17]. En la figura 2.6 se muestra el logo de GALILEO, mientras que en la tabla 2.3 se muestran sus características.



Figura 2.6: Logo de GALILEO [2].

Tabla 2.3: Tabla de características generales de Galileo

Sistema GNSS	Galileo
Origen	Union Europea y la Agencia Espacial Europea.
Inicio de funcionamiento	2016
Número de satélites	30
Órbita	Casi circular a una altitud de 23,222 Km
Cobertura	Mundial
Usos	Aplicaciones Civiles

2.2.2.4. BeiDou

El sistema de navegación por satélite chino, conocido como COMPASS o BeiDou (BDS), es un sistema global que comenzó en 1997 [17]. Este se desarrolló siguiendo una estrategia de "tres pasos". BDS—1 se construyó a partir de 1994 y se puso en uso en 2000, proporcionando servicios de posicionamiento, sincronización, diferencial de área amplia y comunicación de mensajes cortos. BDS—2, iniciado en 2004 y en uso desde 2012, añadió un esquema de posicionamiento pasivo para usuarios en la región de Asia-Pacífico. BDS—3, completado en 2020, mejoró el rendimiento y

expandió las funciones de servicios, incluyendo posicionamiento, navegación, sincronización, comunicación de mensajes cortos global, y servicios de búsqueda y rescate internacionales [18]. En la figura 2.7 se muestra el logo de BeiDou, mientras que en la tabla 2.4 se muestran sus características.



Figura 2.7: Logo de BeiDou [2].

Tabla 2.4: Tabla de características generales de BeiDou

Sistema GNSS	BeiDou
Origen	China
Inicio de funcionamiento	2000
Número de satélites	30
Órbita	Casi circular a una altitud de 23,222 Km
Cobertura	Mundial
Usos	Navegación militar y regional en Asia, civil a nivel mundial

A continuación, en la tabla 2.5, se indica una breve descripción de las frecuencias de transmisión utilizadas por el sistema global de navegación por satélite.

Tabla 2.5: Tabla de las bandas de frecuencias de GPS, GLONASS, BeiDou y Galileo.

Sistema GNSS	Banda
GPS	L1: 1575,42 MHz
	L2: 1227,60 MHz
	L3: 1381,05 MHz
	L5: 1176,45 MHz
GLONASS	G1: 1602 MHz
	G2: 1246 MHz
	G3: 1207,04 MHz
Beidou	B1: 1561,1 MHz
	B2: 1207,14 MHz
	B3: 1268,52 MHz
Galileo	E1: 1575,42 MHz
	E6: 1278,75 MHz
	E5: 1191,795 MHz
	E5a: 1176,45 MHz
	E5b: 1207,14 MHz

2.3. GNSS RTK: Principios básicos

2.3.1. Concepto de RTK

RTK son las siglas de *Real-Time Kinematic*, que se refiere a una técnica de posicionamiento en tiempo real de alta precisión basada en el uso de señales de satélite. El sistema RTK utiliza mediciones de fase de portadora de onda para calcular las correcciones diferenciales y mejorar la precisión. Consiste en una estación base y una estación móvil, donde la estación base rastrea las señales de los satélites y transmite correcciones diferenciales a la estación móvil, lo que permite obtener una precisión de centímetros en tiempo real [8, 19].

2.3.2. Arquitectura y componentes de un sistema GNSS RTK

La arquitectura de un sistema GNSS RTK consta de una estación base y una estación móvil tal como se observa en la figura 2.8, en el cual, la estación base rastrea las señales de los satélites y transmite correcciones diferenciales a la estación móvil, lo que permite obtener una precisión de centímetros en tiempo real [8, 20, 21].

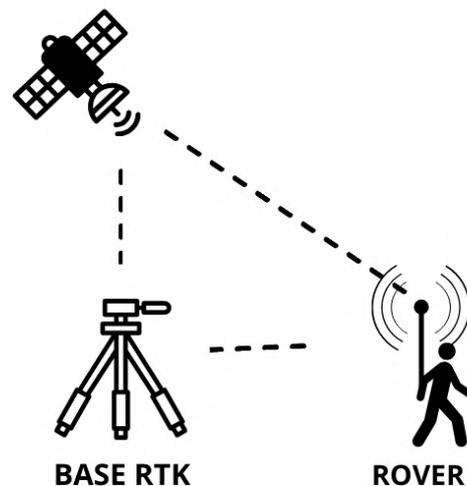


Figura 2.8: Arquitectura de un sistema RTK

La tecnología RTK emplea información emitida por los satélites para determinar la posición del receptor, y su capacidad de alcanzar mayor exactitud radica en el empleo de la fase portadora de la señal como base para el cálculo de distancias y en el uso de dos receptores.

El sistema utiliza mediciones de fase de portadora de onda para calcular las correcciones diferenciales y mejorar la precisión. Algunas aplicaciones incluyen la monitorización de movimientos de tierra, la agricultura de precisión, la topografía y la navegación de vehículos autónomos [8, 20, 21].

2.3.3. Fuentes de errores en el proceso de medición

El sistema GNSS RTK puede verse afectado por varios tipos de errores, en [22–25] se detallan las fuentes de error que deben ser tomadas en cuenta al momento de realizar una medición que puede afectar a la precisión, un resumen de las fuentes de errores más comunes son:

- **Errores de línea de visión directa:** El sistema GNSS RTK puede presentar un menor rendimiento cuando la estación móvil no tiene línea de visión directa hacia su antena base RTK, lo que puede resultar en una menor precisión.
- **Errores ambientales:** Factores como la refracción ionosférica, la refracción tro-

posférica y los errores orbitales de los satélites pueden afectar la precisión del sistema GNSS RTK, especialmente en áreas con condiciones ambientales desafiantes.

- **Errores de multipath:** La presencia de señales reflejadas en edificios, árboles u otras obstrucciones puede causar errores de multipath, lo que afecta la precisión de las mediciones GNSS .
- **Error de reloj:** Este error se refiere a las discrepancias en la sincronización de los relojes entre los satélites y los receptores. Puede afectar la precisión del posicionamiento, ya que las mediciones de tiempo son fundamentales en los cálculos de ubicación. Los errores en los relojes de los receptores y los satélites pueden introducir inexactitudes en las mediciones de fase, lo que a su vez afecta la precisión del sistema GNSS RTK.
- **Error atmosférico:** El retardo atmosférico, causado por la ionosfera y la troposfera, es otro factor que contribuye a las inexactitudes en el posicionamiento GNSS RTK. Estos fenómenos atmosféricos pueden afectar la velocidad de propagación de las señales de los satélites, lo que lleva a errores en las mediciones de distancia y, en consecuencia, a errores en la determinación de la posición.

2.4. Protocolo NTRIP

2.4.1. Descripción del protocolo NTRIP

En septiembre de 2004, el Comité Especial 104 de la comisión técnica de radio para servicios marítimos (RTCM SC-104) estableció un estándar llamado NTRIP para transmitir datos GNSS a través de Internet, iniciado por la agencia federal alemana de cartografía y geodesia (Bundesamt für Kartographie und Geodäsie, BKG) en Alemania [3]. NTRIP permite la distribución de datos GNSS a usuarios estacionarios o móviles, con soporte para conexiones inalámbricas a través de redes móviles como:

- *Enhanced Data rates for GSM Evolution* EDGE
- *General Packet Radio Service* GPRS

- *Global System for Mobile Communications* GSM
- *Universal Mobile Telecommunications System* UMTS

2.4.2. Arquitectura y funcionamiento del protocolo NTRIP

El funcionamiento de NTRIP, que utiliza el protocolo HTTP, se encuentra dividido en cuatro partes: *NtripClient*, *NtripServer* y *NtripCaster* y *NtripSource*, donde *NtripCaster* es el servidor HTTP real. *NtripClient* y *NtripServer* actúan como programas cliente HTTP [3].

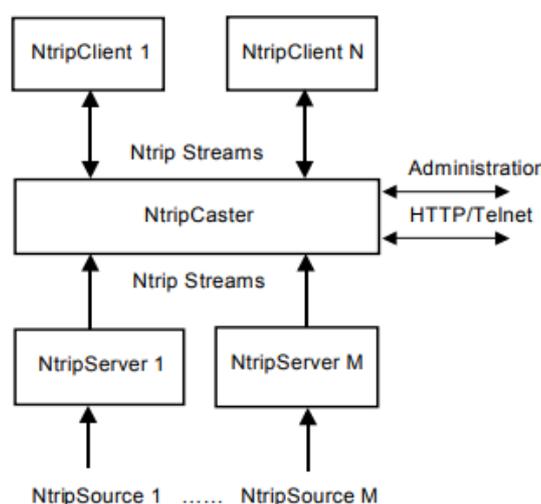


Figura 2.9: Concepto de sistema NTRIP. Tomado de: [3]

De acuerdo a la figura 2.9, se detalla de manera general el funcionamiento de los siguientes elementos:

- *NtripSources*, que generan flujos de datos en una ubicación específica,
- *NtripServers*, que transfieren los flujos de datos desde una fuente al *NtripCaster*,
- *NtripCaster*, el componente principal del sistema, y
- *NtripClients*, que finalmente acceden a los flujos de datos de las *NtripSources* deseadas en el *NtripCaster*.

La arquitectura del geoportal IGM del Ecuador, la cual se puede observar en la figura 2.10, consta de estos elementos para realizar correcciones en tiempo real en un sistema RTK.

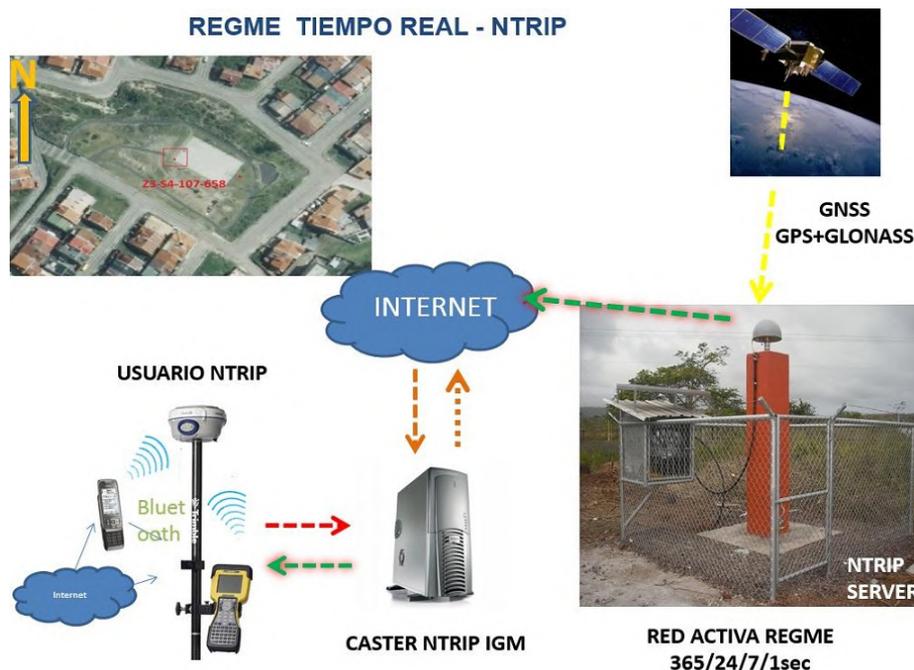


Figura 2.10: Arquitectura servicio NTRIP del Ecuador [4]

De acuerdo a [4], el servicio NTRIP de la figura 2.10, funciona de la siguiente manera:

- La fuente generadora de las medidas GNSS es la estación de referencia. Las estaciones GNSS permanentes que conforman la Red GNSS de Monitoreo Continuo del Ecuador (REGME) son responsables de generar las correcciones en el protocolo estándar RTCM (versión 2.3 o 3.0, dependiendo del receptor). Estas correcciones permiten mitigar errores provocados por la ionosfera, la tropósfera, la posición del satélite y el reloj del satélite, basándose en las coordenadas específicas de cada estación permanente. Tras el terremoto de Pedernales, se actualizó el marco de referencia post-sísmico a SIRGAS-Ecuador, época 2016.4, ITRF-2008, garantizando que todas las actividades técnicas y científicas vinculadas al *Caster* REGME NTRIP obtengan productos y resultados de alta precisión en tiempo real.
- El servidor NTRIP actúa como intermediario en la transmisión de los flujos de datos entre la fuente (estación GNSS REGME) y el servidor *Caster*.
- Las correcciones generadas por las estaciones GNSS REGME se envían a un servidor denominado *NTRIP Caster* a través de Internet. Este servidor tiene como principal función:

- La difusión de las correcciones GNSS a los usuarios finales.
- El monitoreo de la calidad e integridad de los datos recibidos.
- La autenticación de los usuarios mediante usuario y contraseña.

Para ello, es necesario contar con una conexión a Internet constante y sin interrupciones.

- Los usuarios NTRIP que deseen recibir las correcciones en tiempo real deben:
 - Acceder al *Caster NTRIP* a través de Internet utilizando cifrado y contraseñas.
 - Emplear dispositivos como computadoras, notebooks, PDAs o celulares.

Estos dispositivos recibirán las correcciones enviadas desde el *Caster NTRIP* y luego las transmitirán a los receptores GPS/GNSS mediante cables o conexiones Bluetooth, logrando así corregir la posición en tiempo real.

2.5. Teoría de errores

La presente sección permite establecer una distinción clara entre errores y equivocaciones en el contexto de una medición. En este sentido, una equivocación es un error grande que puede evitarse, generalmente, estas equivocaciones suelen provenir del operador, ya sea debido a descuido, principios erróneos o la inadvertencia de datos incorrectos, negligencia o simplemente cansancio.

La teoría de errores no se ocupa de analizar las equivocaciones, por lo que es importante tomar las medidas adecuadas durante la medición para prevenir y detectarlas rápidamente. Para ello, es importante contar con un método sistemático de medición que permita identificar eficazmente los errores humanos.

2.5.1. Errores sistemáticos

Un error sistemático es aquel que permanece constante a lo largo de todo el proceso de medición, afectando todas las mediciones de manera uniforme y con el mismo valor

[26]. En estos errores tienen un signo definido y pueden deberse a varias causas, entre ellas:

- **Errores instrumentales:** Provocados por fallos en los aparatos de medición, como un error de calibración.
- **Errores personales:** Dificultes de determinar, estos errores surgen de limitaciones personales, como un problema visual.
- **Errores en la elección del método:** Ocurren cuando se elige un método de medición inadecuado para la magnitud a medir. Este tipo de error puede identificarse cambiando el instrumento de medición, el observador o el método utilizado.

2.5.2. Errores accidentales

Los errores accidentales se caracterizan por ser pequeñas variaciones aleatorias que se presentan entre mediciones sucesivas realizadas por el mismo operador en condiciones similares, sin seguir un patrón reproducible, ya que sus causas son incontrolables para el observador. Generalmente, estos errores tienen una magnitud muy reducida y, en un gran número de mediciones, se obtienen tantas desviaciones positivas como negativas, lo que permite que se compensen parcialmente. Aunque no se pueden hacer correcciones específicas para acercar los valores al real, el uso de métodos estadísticos permite estimar el valor más probable dentro de un conjunto de mediciones [26].

2.5.3. Precisión y exactitud

De manera general, las personas tienden a confundir precisión y exactitud como términos intercambiables o indistintos. Sin embargo, esto no es correcto. En este contexto, la precisión y la exactitud se convierten en herramientas para evaluar la calidad de las mediciones realizadas, ya que permiten diferenciar entre la consistencia de los resultados obtenidos y cuán cercanos están estos a los valores reales o aceptados como estándar, por ello se presenta los conceptos individuales de estos dos términos:

- **Precisión:** La precisión se define como el nivel de consistencia y uniformidad

de los resultados al realizar una medición. Indica cómo se dispersan los valores en una cantidad medida; un conjunto de valores cercanos entre sí se considera más preciso que otro con valores más dispersos. Es decir, la precisión está relacionada con la calidad del proceso de medición, reflejando la destreza del operador al utilizar el instrumento de medición [27].

- **Exactitud:** La exactitud se define como el grado de proximidad entre el valor medido de una magnitud y su valor verdadero o referencia, representando la cercanía a la verdad. Una pequeña diferencia entre estos dos indica alta exactitud, mientras que una diferencia mayor implica menor exactitud [27].

Por lo tanto, para diferenciar de manera clara los conceptos de precisión y exactitud, se concluye de la figura 2.11 las siguientes afirmaciones:

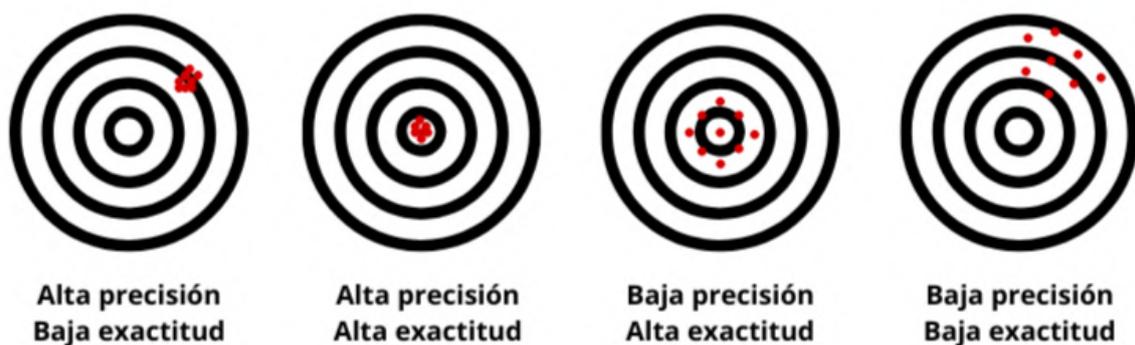


Figura 2.11: Diferencia entre precisión y exactitud.

- El primer gráfico es preciso por su menor dispersión, pero, no es exacto por su lejanía hacia el valor conocido como la verdad.
- El segundo es preciso y exacto debido a su poca dispersión y su cercanía de mediciones hacia el valor verdadero.
- El tercero es exacto, pero no preciso por su alta dispersión en todas las mediciones.
- El cuarto, presenta baja precisión y exactitud.

2.6. Métodos para evaluar la precisión

En este capítulo se detallarán los métodos utilizados para evaluar la precisión del proyecto. Como se mencionó en la sección 2.5.3, la precisión hace referencia a cuán dispersas son las medidas realizadas. Por lo tanto, se pretende abordar los conceptos de precisión que permitan evaluar el sistema RTK.

En [28–31] se indican parámetros tales como *Root Mean Square* (RMS), *Two Dimensional Root Mean Square* (2DRMS), *Circular Error Probable* (CEP) y *Spherical Error Probable* (SEP), por consiguiente, un resumen de estos parámetros que serán utilizados para evaluar la precisión se presenta a continuación.

2.6.1. Error cuadrático medio (RMS)

La raíz del error cuadrático medio (RMS) es una cantidad que mide la desviación de una variable aleatoria con respecto a algún valor estándar o valor de referencia y se calcula con la ecuación 2.1.

$$(\text{RMS})^2 = \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \right) + (\bar{x} - a)^2 \quad (2.1)$$

donde $\{x_i\}$ es un conjunto de n muestras aleatorias, \bar{x} es la media y a es el valor de referencia.

Es decir,

$$(\text{RMS})^2 = (\text{Desviación Estándar})^2 + (\bar{x} - a)^2 \quad (2.2)$$

Donde,

- $\bar{x} - a$ representa la estimación del sesgo.
- Si $\bar{x} - a = 0$, entonces RMS es igual a la desviación estándar.

En la práctica, la mayor parte del tiempo se desconoce el valor real o de referencia, por lo cual, si la media se considera como el valor constante aceptado (cuando el valor verdadero o referencia es desconocido), entonces RMS es igual a la desviación

estándar. Este concepto se aplica para calcular la exactitud y precisión de la solución de la posición GNSS. Para el presente proyecto, al contar con valores de referencia considerados como valores verdaderos o aceptados, la ecuación 2.2 no toma el valor de desviación estándar.

2.6.2. Raíz cuadrática media bidimensional (2DRMS)

La raíz cuadrática media bidimensional (2DRMS) se define como se indica en la ecuación 2.3.

$$2DRMS = 2\sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2} \quad (2.3)$$

Esta métrica indica el radio de un círculo centrado en el valor promedio (cuando no existe un valor de referencia), dentro del cual se encuentran entre el 95.8% y el 98.2% de los puntos de solución de posición. Esto significa que, para el plano horizontal (solución en dos dimensiones), el 2DRMS representa la magnitud del error en el 95.8% - 98.2% de los casos.

2.6.3. Error circular probable (CEP)

Para el plano horizontal (solución de posición en 2 dimensiones), el CEP es el radio del círculo centrado en la posición verdadera, que contiene la estimación de posición con una probabilidad del 50% y se define en la ecuación 2.4.

$$CEP = 0.62\sigma_y + 0.56\sigma_x, \quad \text{dado que } \frac{\sigma_y}{\sigma_x} > 0.3 \quad (2.4)$$

El CEP especifica el radio de un círculo dentro del cual se pueden encontrar el 50% de los valores de la solución; por ejemplo, un CEP de 5 metros significa que el 50% de las soluciones de posición deben estar dentro de un círculo de 5 metros desde la posición verdadera en el plano horizontal.

2.6.4. Error esférico probable (SEP)

Para la estimación de posición en 3 dimensiones, el SEP representa el radio de la esfera centrada en la posición verdadera, que contiene el 50 % de las estimaciones de posición y se define en la ecuación 2.5.

$$\text{SEP} = 0.51(\sigma_x + \sigma_y + \sigma_z) \quad (2.5)$$

El SEP representa el radio de una esfera centrada en el valor promedio o de referencia dentro del cual se encuentran el 50 % de todos los puntos de posicionamiento en 3 dimensiones (latitud, longitud y altitud).

2.6.5. Error esférico radial medio (MRSE)

El MRSE representa el radio de una esfera centrada en la posición verdadera, dentro de la cual se confinan el 61 % de las estimaciones de posición en 3 dimensiones y se calcula mediante la ecuación 2.6.

$$\text{MRSE} = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + \sigma_z^2} \quad (2.6)$$

Capítulo 3 Trabajos relacionados

Con respecto a trabajos relacionados, en [32] se realiza evaluación de la precisión de los receptores de bajo costo en diferentes condiciones de campo y su comparación con los receptores geodésicos. El estudio se centra en el receptor u-blox ZED F9P y se realizan dos pruebas para evaluar su precisión en diferentes situaciones. También describen que las evaluaciones se realizan utilizando receptores geodésicos profesionales como referencia. En estas pruebas, se miden las posiciones de los receptores de bajo costo y se comparan con las posiciones medidas por los receptores geodésicos. Además, se utilizan diferentes antenas para evaluar la precisión del posicionamiento en diferentes condiciones de campo. De forma similar en [33] se realizaron varias evaluaciones del rendimiento de receptores GNSS de bajo costo y antenas en varias condiciones de pruebas, principalmente el uso de antenas geodésicas junto con equipos receptores de bajo costo. También habla de cómo el rendimiento de estos equipos mejora significativamente al usar antenas geodésicas de alta calidad.

Además, el artículo de los autores de [32] hacen hincapié en la importancia de la precisión en el monitoreo de estructuras y destaca la necesidad de abordar la precisión en condiciones desafiantes utilizando receptores de bajo costo. Adicionalmente, entre las múltiples aplicaciones que se les puede dar a los sistemas RTK GNSS en [34] se menciona que los receptores GNSS de bajo costo son una alternativa a los receptores de grado geodésico y se pueden dividir en dos grupos: receptores de bajo costo equipados con antenas de parche y hardware de bajo costo, utilizados, por ejemplo, en teléfonos móviles. Estas soluciones reducen significativamente el costo de la observación en relación con equipos geodésicos de precisión. Sin embargo, también se menciona que las mediciones de estaciones totales proporcionan mayor precisión y dependen menos de factores aleatorios que los receptores GNSS de bajo costo. En [35] se menciona la importancia de la sincronización en tiempo real de receptores GNSS en aplicaciones críticas como monitoreo u operaciones militares en situaciones de emergencia, al hacer uso de un método llamado RTK-DCPTT basado en el principio de vista común del sistema GPS.

En cambio, en [6] resalta las dificultades asociadas con la falta de bases estables y la transmisión de correcciones, especialmente en entornos agrícolas, lo que plantea

desafíos adicionales para la implementación efectiva de sistemas de navegación de bajo costo en tiempo real. Este trabajo se centra en la implementación de un sistema de corrección RTK en la agricultura autónoma para mejorar la precisión de las tareas agrícolas sin la intervención humana directa. El trabajo de los autores describe los componentes y el funcionamiento de un sistema de corrección RTK en la agricultura autónoma, así como los factores que pueden afectar la calidad de la señal satelital. Además, el constante aumento de la población mundial y una mayor conciencia en la sostenibilidad generan la necesidad de mejorar la eficiencia en la producción agrícola; por lo cual, plantean la implementación de una base en un sistema de corrección RTK con el fin de mejorar significativamente la precisión del sistema de agricultura autónoma, lo que puede aumentar la eficiencia y reducir los costes de producción.

En [36] se menciona que RTK ha experimentado avances significativos gracias al uso de tecnologías basadas en Internet. Un método clave para proporcionar servicios RTK a través de la web es el protocolo *Networked Transport of RTCM via Internet Protocol* (NTRIP). Este protocolo, desarrollado por la agencia federal de cartografía alemana (BKG) en 2002, ha emergido como una solución eficiente y de bajo costo para la transmisión de correcciones diferenciales en formato RTCM.

NTRIP utiliza el protocolo de transferencia de hipertexto (HTTP) para transmitir correcciones RTCM desde una estación base a un receptor móvil a través de Internet. Esta solución tiene la capacidad para soportar todos los formatos de datos GNSS y su facilidad de implementación [6]. La transmisión de correcciones se realiza mediante un servidor NTRIP, que puede ser la propia estación base, y un *NTRIP Caster* que distribuye los datos a los clientes, siendo estos últimos los receptores GNSS que actúan como receptores móviles. De acuerdo a la figura 1.2, la solución para corrección de errores utilizando NTRIP está conformada por una arquitectura que consta de *NTRIP Server*, *NTRIP Caster* y *NTRIP Client*.

Capítulo 4 Metodología

El objetivo de este capítulo describe la forma en que se evaluó la precisión del dispositivo *simpleRTK2B Lite* con la solución NTRIP, con el propósito de compararlo con una solución comercial y obtener mediciones de coordenadas equiparables a los puntos de referencia utilizados en la red geodésica del municipio de Cuenca y el equipo comercial utilizado para el mismo. Esta evaluación permitirá determinar si la implementación de un sistema GNSS RTK de bajo costo puede representar una alternativa rentable y eficaz para un amplia gama de aplicaciones prácticas, permitiendo así una alternativa vialmente accesible en términos de costo y rendimiento.

4.1. Tipo de estudio

El presente estudio es de tipo experimental realizado en campo. Este enfoque se ha seleccionado porque permite evaluar el rendimiento del dispositivo *simpleRTK2B Lite* en condiciones reales, replicando situaciones prácticas en las que se utilizará el dispositivo. Se realizaron mediciones en diferentes ubicaciones geográficas dentro de la ciudad de Cuenca, evaluando la precisión del dispositivo y comparando la exactitud de los resultados obtenidos con los del sistema comercial usado como referencia.

4.2. Hipótesis

La hipótesis de este estudio es determinar si el dispositivo *simpleRTK2B Lite*, utilizando la solución NTRIP, puede proporcionar mediciones de coordenadas con una precisión comparable a las soluciones GNSS RTK a nivel centimétrico. Se espera que las diferencias en las mediciones entre el dispositivo de bajo costo y el equipo usado como referencia se encuentren en un rango aceptable que permita el uso de este dispositivo en una distinta gama de aplicaciones prácticas.

4.3. Selección de los lugares geográficos y método de evaluación

Para evaluar la precisión del sistema RTK, se compararon las coordenadas obtenidas con las coordenadas conocidas de puntos de control de la red geodésica de Cuenca.

Se estableció un conjunto de puntos de referencia en el área de estudio y se realizaron mediciones con la estación base y receptor móvil RTK. Luego, se analizaron los parámetros estadísticos con referencia a las coordenadas conocidas para determinar la precisión del sistema.

Las mediciones mencionadas se realizaron a los puntos de control geodésico de la Ciudad de Cuenca, Ecuador. Estos puntos están distribuidos por la ciudad en cada una de las parroquias, tanto urbanas como rurales. La mayoría de estos puntos se encuentran ubicados en pares. Entonces, se eligieron 4 lugares geográficos distintos con un total de 8 coordenadas diferentes para realizar la evaluación, las coordenadas de control geodésico pertenecen al Gobierno Autónomo Descentralizado (GAD) municipal de Cuenca y están marcados en el piso con placas metálicas, las cuales constan con su respectivo código y una ranura central de referencia de la coordenada utilizada como referencia.

De la figura 4.1, se observa las coordenadas marcadas en el centro de El Valle a través de *Google Earth*, entre punto y punto se tiene una distancia de $52.7m$, por otra parte, la figura 4.2, situada en el centro de la ciudad los puntos tiene una distancia de $85.7m$, en la figura 4.3 ubicada en la Av. Solano se estima una distancia de $95.1m$ y finalmente en la figura 4.4, situada en El Cajas, con una mayor distancia entre punto y punto de $367m$. En la tabla 4.1, se presenta un resumen de las distancias obtenidas a través de *Google Earth*.

Tabla 4.1: Distancias obtenidas de *Google Earth* de los puntos de centro geodésico a evaluar.

Sector	Punto base	Punto rover	Distancia (m)
El Cajas	C-21-02-64	C-21-02-63	367
Parque Calderón	C-21-02-71	C-21-02-72	85,7
El Valle	C-07-02-29	C-07-02-30	52,7
Av. Solano	C-21-02-27	C-21-02-28	95,1



Figura 4.1: Puntos C-07-02-29 y C-07-02-30 de la parroquia “El Valle”.

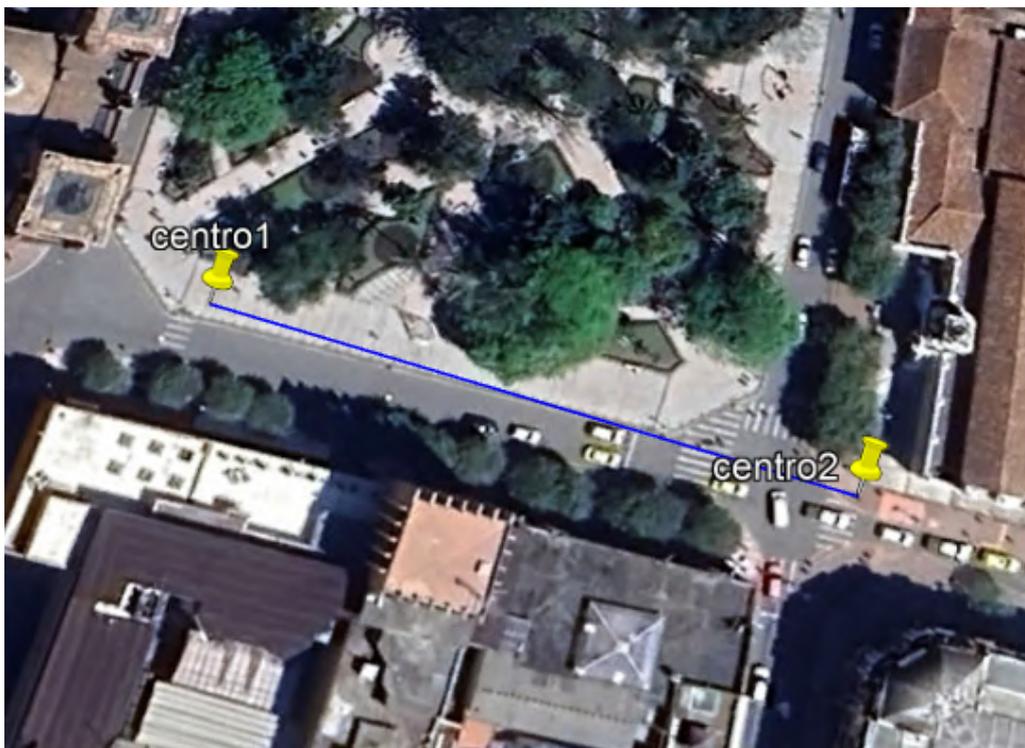


Figura 4.2: Puntos C-21-02-71 y C-21-02-72 de la parroquia el Sagrario.



Figura 4.3: Puntos C-21-02-27 y C-21-02-28 de la parroquia Sucre.

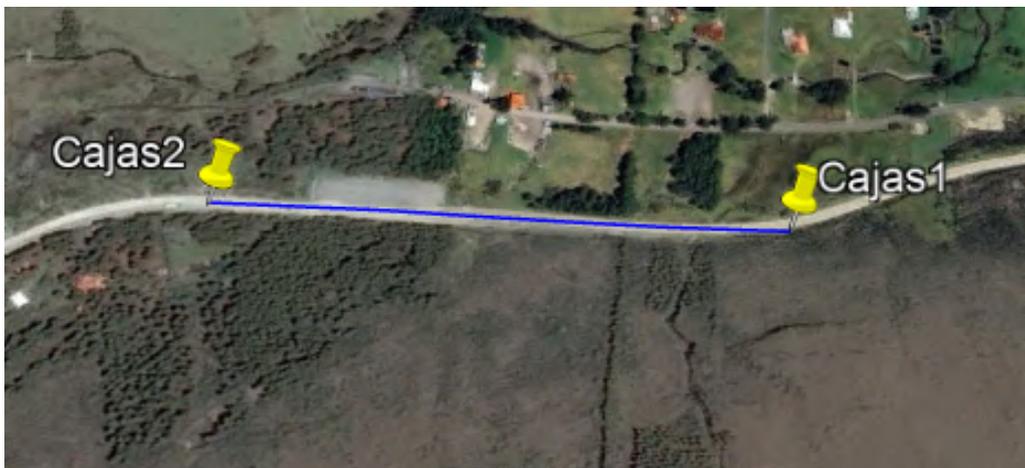


Figura 4.4: Puntos C-21-02-64 y C-21-02-63 de la parroquia Sayausí.

En la tabla 4.2 se indican los puntos seleccionados a evaluar en coordenadas geográficas expresadas en grados sexagesimales, la ficha técnica en el cual se encuentra cada coordenada contiene el detalle del instrumento de medición utilizado, coordenadas geográficas, coordenadas UTM, croquis de la ubicación, descripción y otros datos de interés para el lector que los puede encontrar en el anexo H.

Tabla 4.2: Coordenadas de referencia

Sector	Punto	Nominativo	Latitud	Longitud	Altura elipsoidal
El Valle	V1	C-07-02-29	2°56'17.43"S	78°58'0.06.°	2584.078m
	V2	C-07-02-30	2°56'16.28"S	78°57'58.79.°	2582.371m
Centro	Ctro1	C-21-02-71	2°53'51.92"S	79° 0'17.29.°	2564.578m
	Ctro2	C-21-02-72	2°53'52.73"S	79° 0'14.64.°	2563.196m
Solano	SI1	C-21-02-27	2°54'7.99"S	79° 0'22.48.°	2545.818m
	SI2	C-21-02-28	2°54'10.81"S	79° 0'23.75.°	2546.325m
Cajas	Cj1	C-21-02-64	2°46'57.30"S	79°11'13.66.°	3634.783m
	Cj2	C-21-02-63	2°46'58.58"S	79°11'25.46.°	3655.770m

4.3.1. Descripción e identificación de las coordenadas

Las coordenadas que sirvieron como referencia para evaluar el sistema GNSS RTK se encontraban marcadas por placas de aluminio de 6 cm o 10 cm. Estas están colocadas a nivel del suelo, las placas tienen una inscripción del nominativo o identificador de punto de control geodésico. En la figura 4.5, se indica la placa del punto de control geodésico ubicada en el sector del centro de El Valle, en la figura 4.6, la coordenada ubicada en el centro de la ciudad de Cuenca, en la figura 4.7, la la placa del punto de control geodésico ubicada en la avenida Solano y finalmente la la placa del punto de control geodésico de la figura 4.8 situada en El Cajas, identificando así, los 4 sectores geográficos donde se llevaron a cabo las pruebas.



Figura 4.5: Punto de control geodésico C-07-02-29, parroquia El Valle.



Figura 4.6: Punto de control geodésico C-07-02-72, sector centro de Cuenca.



Figura 4.7: Punto de control geodésico C-21-02-27, sector avenida Solano.



Figura 4.8: Punto de control geodésico C-21-02-63, sector El Cajas.

4.4. Materiales

4.4.1. Hardware

4.4.1.1. Placa *simpleRTK2B Lite* (ZED-F9P)

La placa *simpleRTK2B Lite* se observa en la figura 4.9, es una placa compacta y autónoma que permite integrar tecnología GNSS RTK de doble banda, incluyendo una posición precisa a nivel centimétrico, consta de una placa portadora USB-C para complementos XBee y un cable USB [37]. Está soportada por el módulo u-blox ZED-F9P y puede usarse de forma autónoma con un cable USB o conectada a Ardupilot / Pixhawk (conector JST), algunas especificaciones de dicho módulo se observan en la tabla 4.3.



Figura 4.9: *simpleRTK2B Lite*

Tabla 4.3: Especificaciones técnicas del modulo ZED-F9P

Característica	Descripción
Precisión a nivel centimétrico	< 1 cm con una estación base hasta 35 km, <1 cm con NTRIP hasta 35 km, <4 cm con correcciones SSR, <1.5 m en modo autónomo, <0.9 m en modo autónomo con cobertura SBAS
Tasa de actualización	Por defecto: 1 Hz, Con máximo rendimiento: hasta 10 Hz, Con rendimiento reducido: hasta 20 Hz
Soporte de multibanda	L1, L2 y E5b
Multifrecuencia y Multiconstelación	GPS: L1C/A, L2C; GLONASS: L1OF, L2OF; Galileo: E1-B/C, E5b; BeiDou: B1I, B2I; QZSS: L1C/A, L2C; SBAS: WAAS, EGNOS, MSAS, GAGAN y SouthPAN
Tiempos de inicio	Primer fijado de posición: 25 segundos (en frío), 2 segundos (en caliente); Primer fijado RTK: 35 segundos (en frío)
Interfaces	USB, UART, XBee, Timepulse, Event, Safeboot, Salida de datos RAW en formato UBX
Funcionalidad	Base y Rover
Rango de temperatura de funcionamiento	-40 a +85 grados Celsius

4.4.1.2. Módulo de radio xBee de rango medio

De acuerdo a la documentación de [38], el módulo de radio de rango medio incluye una antena integrada, que permite enviar correcciones RTK hasta 1200 metros en configuración punto a punto. Los radios se pueden observar en la figura 4.10 y están etiquetados con “B” para la base y “R” para el *rover*. Las especificaciones técnicas del módulo se presentan en la tabla 4.4 de acuerdo a su documentación.



Figura 4.10: Módulo de radio MR

Tabla 4.4: Características del módulo xBee MR

Característica	Descripción
Comunicación	Unidireccional punto a punto (máximo 1 rover)
Frecuencia	ISM 2.4 GHz
Potencia de salida	6.3 mW (8 dBm)
Alcance en línea de vista - Urbano	250 metros
Alcance en línea de vista - Rural	600 metros
Alcance en línea de vista - Rural con línea de vista RF completa	1200 metros
Tipo de antena	Interna
Rango de temperatura de funcionamiento	-40 a +85 grados Celsius

4.4.1.3. Antena multibanda GNSS *u-blox* ANN-MB-00

En la tabla 4.5, se muestra algunas características de la antena de la figura 4.11, utilizada en el presente proyecto.



Figura 4.11: Antena ANN-MB-00

Tabla 4.5: Características de la antena ANN-MB-00

Característica	Descripción
Rango de frecuencia	1559-1606 MHz 1197-1249 MHz
Ganancia pico	2.0 dBi (sin plano de tierra)
Cobertura Azimutal	360 grados
Impedancia	50 ohm
Ganancia promedio de LNA	28 dB
Máxima figura de ruido	3.2 dB
Máximo VSWR	2
Estilo de montaje	Base magnética o 2x4.5mm agujeros
Conector	SMA macho
Temperatura de operación	-40 a +85°C
Temperatura de almacenamiento	-40 a +85°C
Clasificación IP	IP67

4.4.1.4. *Mini Survey Tripleband GNSS Antenna*

La antena GNSS triple banda *Compact Survey* que recibe en L1/L2/L5 de la figura 4.12, consta de un conector TNC y un cable de 2.5m con conector SMA macho [39]. Esta es una antena activa, algunas de las características de la antena se indican en la tabla 4.6.



Figura 4.12: *Mini Survey Tripleband GNSS Antenna*

Tabla 4.6: Características de la *Mini Survey Tripleband GNSS Antenna*

Característica	Descripción
Tipo de producto	GNSS Antennas - GPS, GLONASS, Galileo, Beidou
Ganancia pico	5 dBi
Ganancia promedio del LNA	40 dB
Impedancia	50 Ohms
Temperatura de trabajo mínima	-40 °C
Temperatura de trabajo máxima	+85 °C
Cantidad de bandas	3 Band
Estilo de terminación	Connector
Conector de tipo antena	SMA Male
Clasificación IP	IP66
Longitud del cable	2.5 m
Polarización	RHCP (Polarización circular derecha)

4.4.2. **Software**

4.4.2.1. **Software de evaluación *u-center***

El software *u-center* es una herramienta especializada desarrollada por *u-blox*, diseñada para facilitar la interacción eficiente entre integradores de sistemas, usuarios finales y los *chipsets*, módulos y placas GNSS de ArduSimple. Este programa ofrece una interfaz gráfica flexible como se observa en la figura 4.13 para la evaluación, prue-

bas de rendimiento, desarrollo y depuración de los componentes de posicionamiento GNSS.

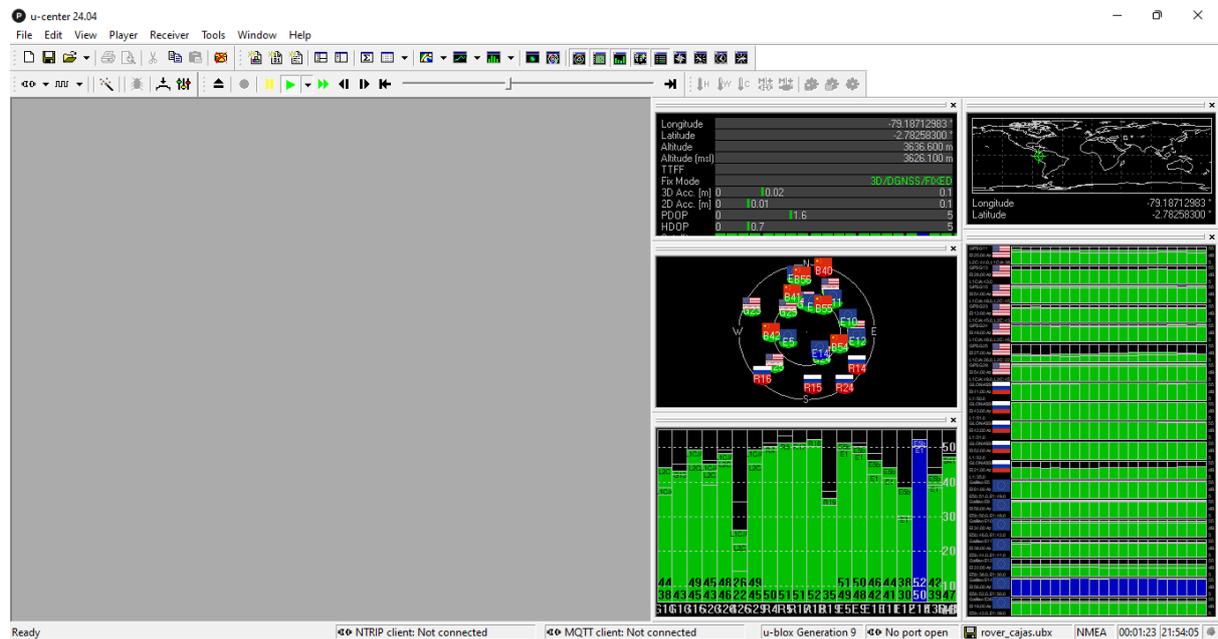


Figura 4.13: Interfaz *u-center*

4.5. Procedimiento

4.5.1. Escenario experimental

En la figura 4.14, se ilustra el escenario utilizado para la evaluación del sistema RTK. Este escenario consta de una base y un *rover*, los cuales se situarán en puntos de referencia específicos conforme al escenario geográfico de la ciudad de Cuenca. La base y el *rover* están equipados con una antena GNSS para recibir señales de los satélites.

Ambos dispositivos están conectados a computadoras portátiles, desde las cuales se extraerán y procesarán las mediciones tanto del *rover* como de la base. La base actúa como un cliente NTRIP, es decir, se conecta a través de internet al servidor NTRIP para recibir correcciones diferenciales que provienen del *mountpoint* de la ciudad de Cuenca, es posible consultar los detalles del servicio NTRIP en el anexo I.

El *NTRIP Caster* funciona como un intermediario que retransmite las correcciones

desde el servidor NTRIP al cliente NTRIP, asegurando que la base recibe datos actualizados en tiempo real. De esta manera, se logra que la estación base y el receptor móvil puedan realizar un posicionamiento a nivel centimétrico.

Después de posicionar la base utilizando el servicio NTRIP, el *rover* se enciende para comunicarse con los satélites y recibir correcciones diferenciales de la base, el cual mejora significativamente la precisión del *rover*.

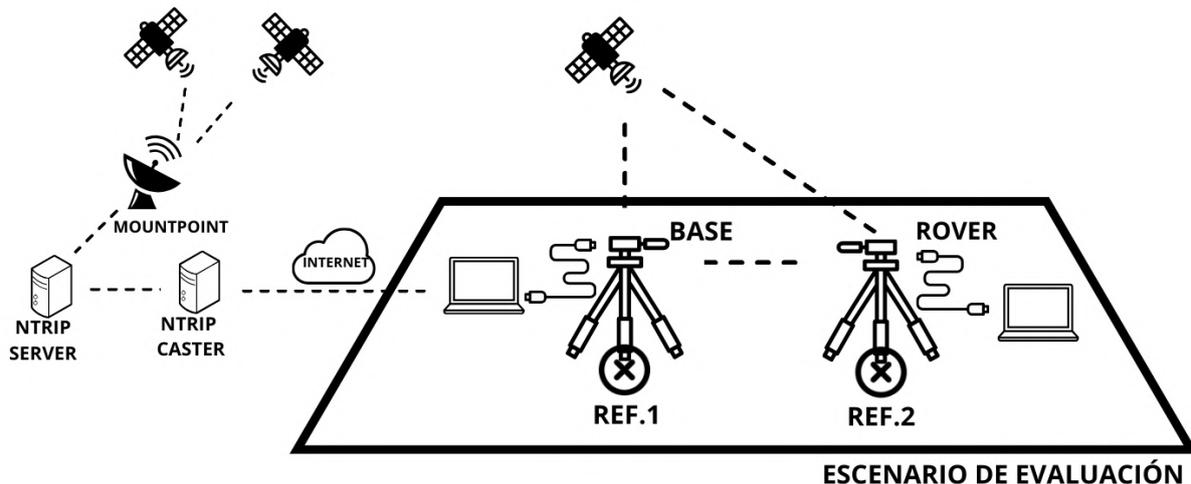


Figura 4.14: Escenario de evaluación

4.5.2. Escenarios geográficos y condiciones climáticas

La configuración previa de los *simplertk2b lite* en su modo base y *rover* se las puede revisar en el apéndice 6.4. Estas pruebas se realizaron en diferentes entornos y condiciones climáticas para evaluar la robustez del sistema. Tanto la base como el *rover* realizaron mediciones en diferentes condiciones climáticas y a distintas horas del día.

La Figura 4.15 muestra la vista del cielo parcialmente despejado en la zona de el parque central “El Valle”, en la parroquia “El Valle”, punto C-07-02-29. La Figura 4.16 muestra la vista del cielo despejado en la zona del parque Calderón, en la parroquia El Sagrario, punto C-21-02-72. La figura 4.17 muestra la vista de la antena de la base y de fondo el cielo parcialmente despejado en la zona de la Av. Solano, en la parroquia Sucre, punto C-07-02-72. La figura 4.18 muestra la vista de la antena de la base y de fondo el cielo parcialmente despejado en la zona del Cajas, en la parroquia Sayausí, punto C-07-02-72.



Figura 4.15: Vista de la antena y el cielo en El Valle.



Figura 4.16: Vista de la antena y el cielo en el parque Calderón.



Figura 4.17: Vista de la antena y el cielo en la Av. Solano.



Figura 4.18: Vista de la antena y el cielo en El Cajas

4.5.2.1. Posicionamiento de la estación base

La etapa más importante del sistema RTK, es el posicionamiento de la base, la cual, deberá operar en su modo *TIME*, para ello se describe los pasos a seguir para un posicionamiento con una exactitud aproximada de 3 centímetros:

1. Centrar y nivelar los trípodes con el punto de referencia.

- Esto se realizó con una plomada y nivel tipo ojo de pez, tanto como para la base como para el *rover*. En la figura 4.19 se muestra la forma en que se realizó el centrado de los puntos.



Figura 4.19: Centrado uno de los puntos a evaluar con una plomada.

2. Ubicar en línea de vista las antenas XBee.
3. Conectar las tarjetas *simpleRTK2B Lite* a una Laptop.
4. Conectar la base al servidor NTRIP del IGM del Ecuador hasta que alcance el modo *FIXED* para asegurar la precisión del posicionamiento.
5. Configurar la base en *Automatic Survey-In* (Ver apéndice 6.4), con un tiempo de 120 segundos y una precisión de 3 centímetros.
6. Esperar el tiempo definido en el paso anterior hasta que la etiqueta de *FIXED* cambie a *TIME*.

4.5.2.2. Medición de coordenadas con el equipo *rover*

La configuración del *rover* se describe en el apéndice 6.4. Por lo tanto, en el punto de referencia determinada para el *rover*, una vez realizado el proceso de posiciona-

miento de la misma manera que la base, se inicia el equipo mediante conexión USB a la computadora portátil para el almacenamiento de las mediciones, la comunicación inalámbrica con la base se dará de manera automática de tal forma que el equipo indique en su tipo de solución *FLOAT* ó *FIXED*, lo que implica que el *rover* tiene comunicación con la base y recibe las respectivas correcciones.

Cabe mencionar, que las correcciones por parte de la base hacia el *rover* únicamente son realizadas si el posicionamiento de la base es el adecuado, es decir; la base opera en el modo *TIME/DGNNS*.

4.5.3. Diagrama de flujo para el procesamiento de datos

En la figura 4.20, se presenta el proceso a seguir para el cálculo de precisión.

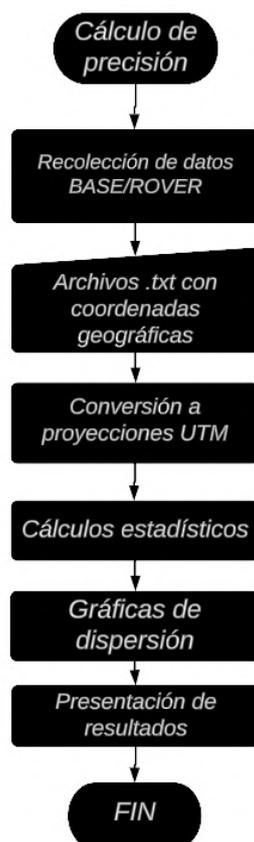


Figura 4.20: Diagrama de flujo para el cálculo de precisión.

Capítulo 5 Resultados

Se presentan los resultados de precisión con las mediciones realizadas en los diferentes sectores de la ciudad de Cuenca, para ello, de manera cuantitativa se justifica la precisión de los equipos, a través de los parámetros de evaluación vistos en el capítulo 2.6 y de manera cualitativa la precisión y exactitud haciendo uso de gráficos de dispersión que permiten interpretar de mejor manera los resultados expuestos.

Adicionalmente, ya que se trata de una implementación RTK con estación base y receptor móvil, se presentará los resultados para estos dos componentes del sistema, tomando como referencia los valores medidos por parte de los equipos comerciales mencionados en la ficha técnica de acuerdo al lugar geográfico seleccionado, estas fichas están listadas en el anexo H.

El tiempo de medición para el equipo *rover* es de 3 minutos y 2 minutos para la base, con un total de 180 muestras para el *rover* y 120 muestras para posicionar la base en el modo *Survey-In* operando como cliente NTRIP, el total de muestras está dado por la frecuencia de operación de $1Hz$.

5.1. El Cajas

En las tablas 5.1 y 5.2 se muestran los valores resultantes de los errores RMS, 2DRMS, CEP, SEP y MRSE calculados. Mientras que en las figuras 5.1 y 5.2 se muestran las gráficas de dispersión de los puntos de posicionamiento con respecto a los círculos de radio 2DRMS y CEP para la base y en las figuras 5.3 y 5.4 para el *rover*. La figura 5.1 presenta todos los puntos medidos desde que se enciende la base, mientras que la figura 5.2 presenta los 120 puntos medidos hasta que la base alcance el modo de operación *TIME*.

Tabla 5.1: Parámetros de precisión de la base con referencia a *TOPCON HIPER V*.

El Cajas, parroquia Sayausí - 24/05/2024					
Modo de operación	RMS(m)	2DRMS(m)	CEP(m)	SEP(m)	MRSE(m)
Puesta en marcha + NTRIP	9,5689	1,8836	0,1220	1,7347	6,9817
NTRIP	1,7360	0,2456	0,1220	1,7343	1,7360

En la tabla 5.1, se proporcionan dos estados de operación de la base, el primero su-

giere el proceso de puesta en marcha del equipo y configuración de NTRIP, por otra parte en el segundo únicamente se tomaron en cuenta los valores obtenidos con el uso de NTRIP. Se observa que el uso exclusivo de NTRIP mejora significativamente la precisión en dos dimensiones, como lo demuestra una dispersión promedio de las posiciones (RMS) de 1,7360 m, notablemente menor que en el primer modo de operación. El error 2DRMS es considerablemente bajo, con 0,2456 m, reflejando una mejor consistencia en las posiciones. El CEP se mantiene constante en 0,1220 m, indicando alta precisión para la mitad de las posiciones obtenidas. El SEP es ligeramente menor, con 1,7343 m, sugiriendo una mejora en la precisión tridimensional, mientras que el MRSE, con 1,7360 m, muestra una precisión significativamente mejorada en tres dimensiones con el uso de NTRIP.

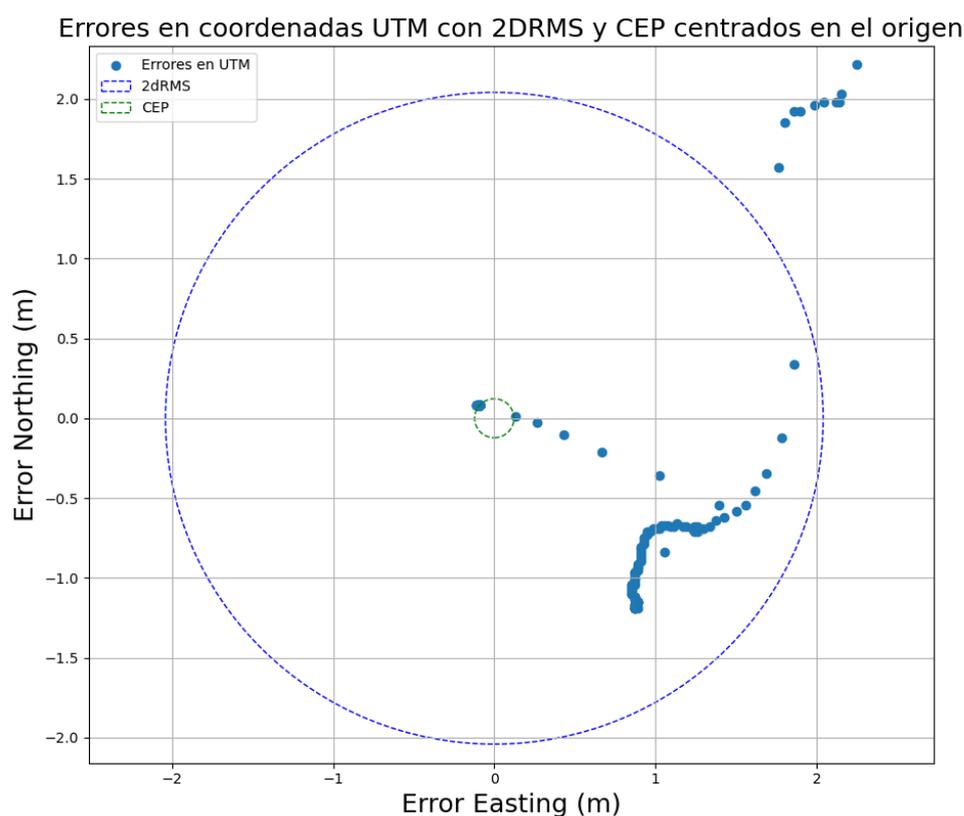


Figura 5.1: Gráfica de dispersión de los puntos de posicionamiento con respecto los errores 2DRMS y CEP de la base.

En la figura 5.1, se presenta el gráfico de dispersión en coordenadas UTM, el cual proporciona una evaluación cualitativa de precisión y exactitud. Los radios de 2DRMS

y CEP están centrados en el origen, indicando que los valores medidos se comparan con el valor de referencia para evaluar la exactitud. La gráfica muestra las coordenadas dentro y fuera de los círculos de radio 2DRMS y CEP, lo que permite observar la dispersión y el comportamiento del equipo desde el inicio hasta que se establece la comunicación con el servidor NTRIP.

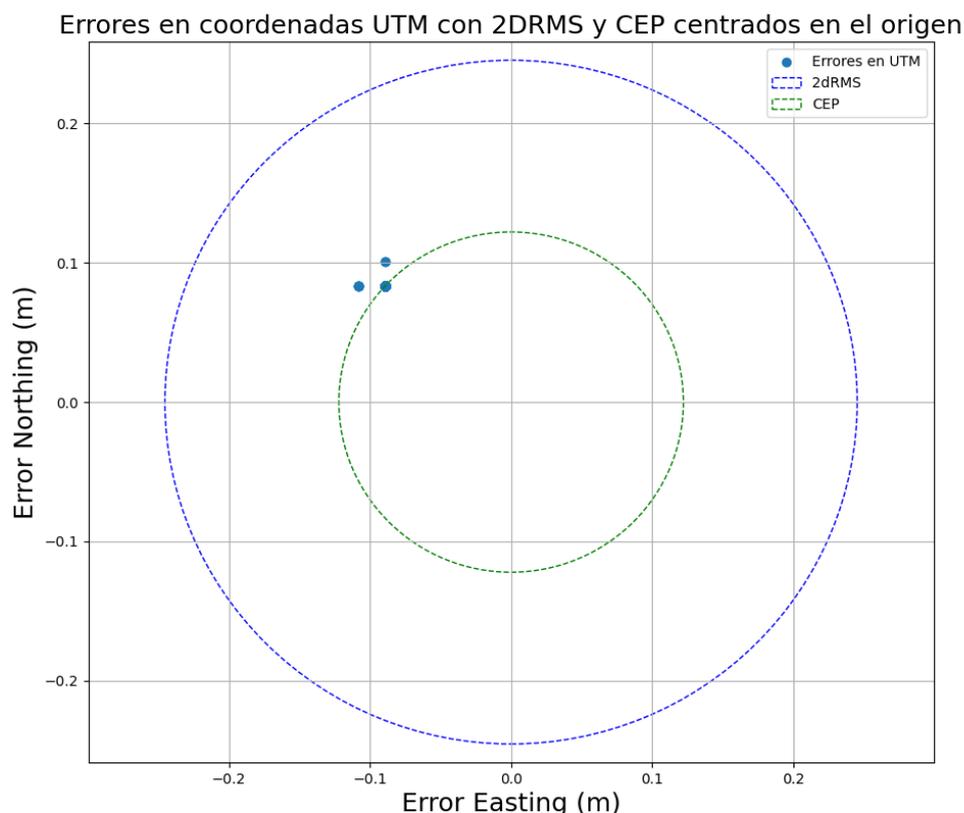


Figura 5.2: Gráfica de dispersión de error absoluto de los puntos de posicionamiento con respecto a los errores 2DRMS y CEP de la base.

En contraste, en la figura 5.2 se analiza exclusivamente el modo de operación NTRIP, donde se observa que las coordenadas medidas muestran principalmente precisión y estabilidad. Las 120 muestras recogidas para posicionar la base se superponen mayormente, mostrando una alta precisión general. Sin embargo, se identifican 3 coordenadas que se alejan significativamente del valor verdadero, indicando una exactitud relativamente baja en este caso.

Tabla 5.2: Parámetros de precisión de *rover* con referencia a *TOPCON HIPER V*.

El Cajas, parroquia Sayausí - 24/05/2024					
Modo de operación	RMS	2DRMS	CEP	SEP	MRSE
Puesta en Marcha + <i>RTK</i>	2,1943	4,3886	0,2341	1,9305	12,9405
<i>RTK</i>	0,3270	0,6541	0,2280	1,8320	1,9636

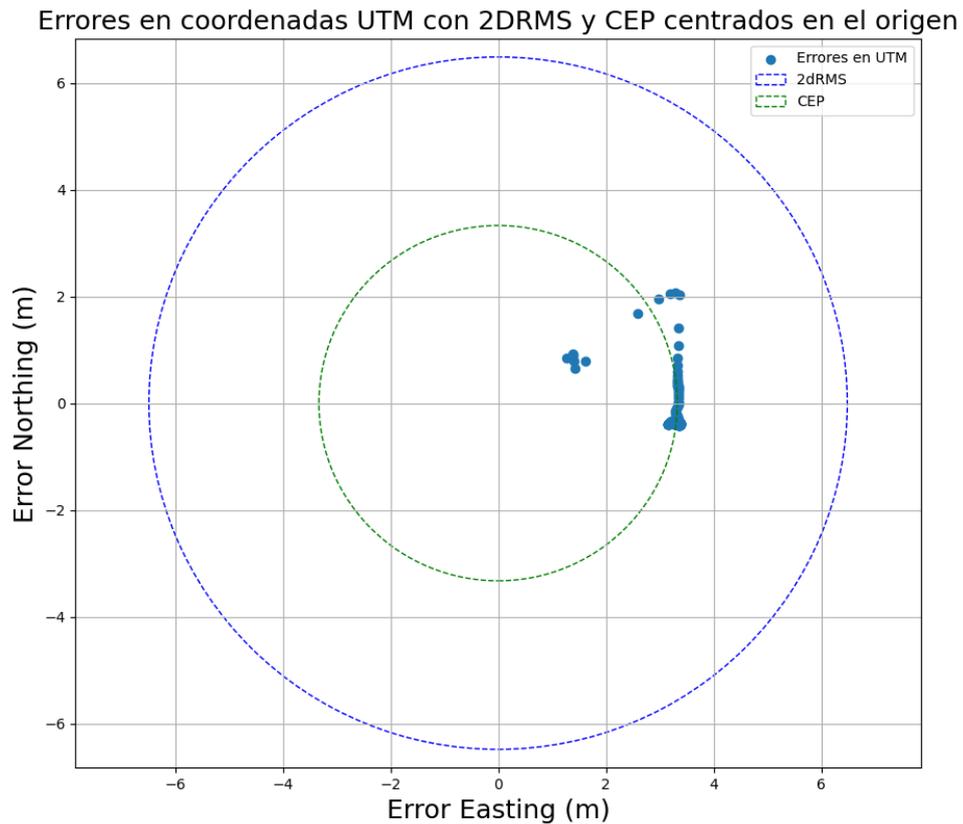


Figura 5.3: Gráfica de dispersión de los puntos de posicionamiento con respecto los errores 2DRMS y CEP del *rover*.

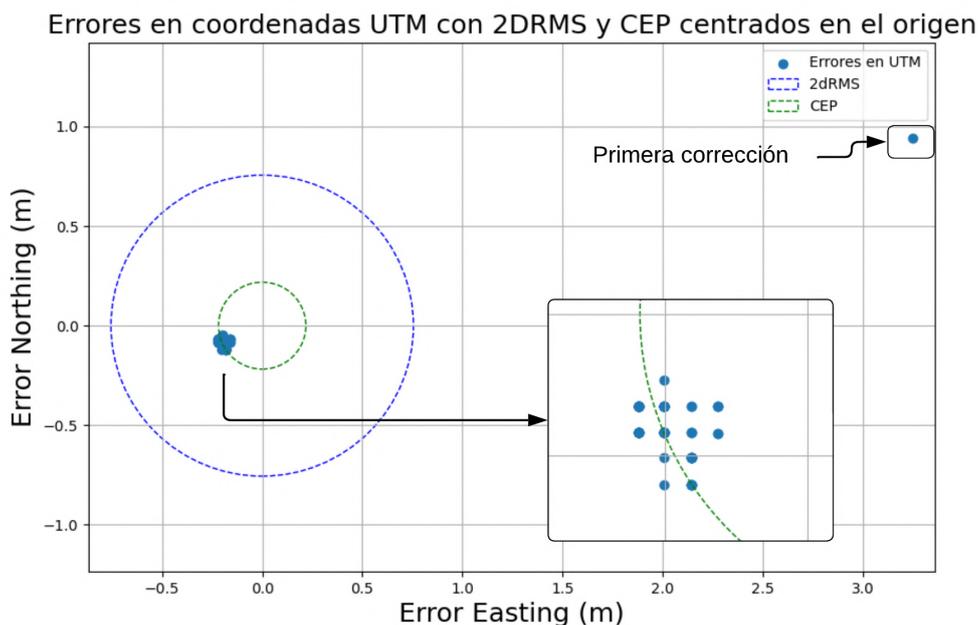


Figura 5.4: Gráfica de dispersión de los puntos de posicionamiento con respecto a los errores 2DRMS y CEP del rover.

Para el rover, se aplican los mismos modos de operación que para la base, con la diferencia de que el receptor móvil recibe correcciones directamente de la base en lugar de hacerlo a través del servidor NTRIP. La tabla 5.2 muestra una mejora significativa en la precisión para ambos modos de operación, destacando el beneficio de las correcciones en tiempo real recibidas por la base. Las gráficas de dispersión indican el comportamiento de las mediciones: la figura 5.3 muestra el rendimiento del equipo *rover* desde el inicio hasta que recibe correcciones de la base, exhibiendo menor precisión y exactitud. En contraste, la figura 5.4, que representa únicamente las correcciones recibidas directamente de la base al *rover*, muestra una mayor precisión y exactitud. Esta gráfica indica desde el momento en que se reciben las primeras correcciones, mostrando una única coordenada fuera de los círculos 2DRMS y CEP, la cual es la primera en corregirse y demuestra cómo se pasa de coordenadas con una precisión mayor a 3 metros a valores inferiores a 0.5 metros.

5.2. Parque Calderón de Cuenca

En la tabla 5.3, se presentan los resultados calculados para dos modos de operación de la base. Comparando ambos modos en cada parámetro (RMS, 2DRMS, CEP, y SEP), se observa una notable mejora en el segundo modo de operación (NTRIP). Los valores muestran una reducción significativa, lo que se refleja en la gráfica de dispersión de la figura 5.5, donde se evidencia una dispersión considerable de las mediciones, indicando baja precisión y exactitud. Por otra parte, la figura 5.6, que representa solo las mediciones con el servidor NTRIP, muestra una mayor precisión con la mayoría de las 120 mediciones superpuestas en dos coordenadas dentro de los círculos con radios de 0.1387 metros para 2DRMS y 0.0691 metros para CEP.

Tabla 5.3: Parámetros de precisión de la base con referencia al equipo *TRIMBLE R8s*.

Parque Calderón, parroquia El Sagrario - 27/05/2024					
Modo de operación	RMS	2DRMS	CEP	SEP	MRSE
Puesta en marcha + NTRIP	6,2593	0,7159	0,0691	1,7233	4,4083
NTRIP	1,7233	0,1387	0,0691	1,7233	1,7233

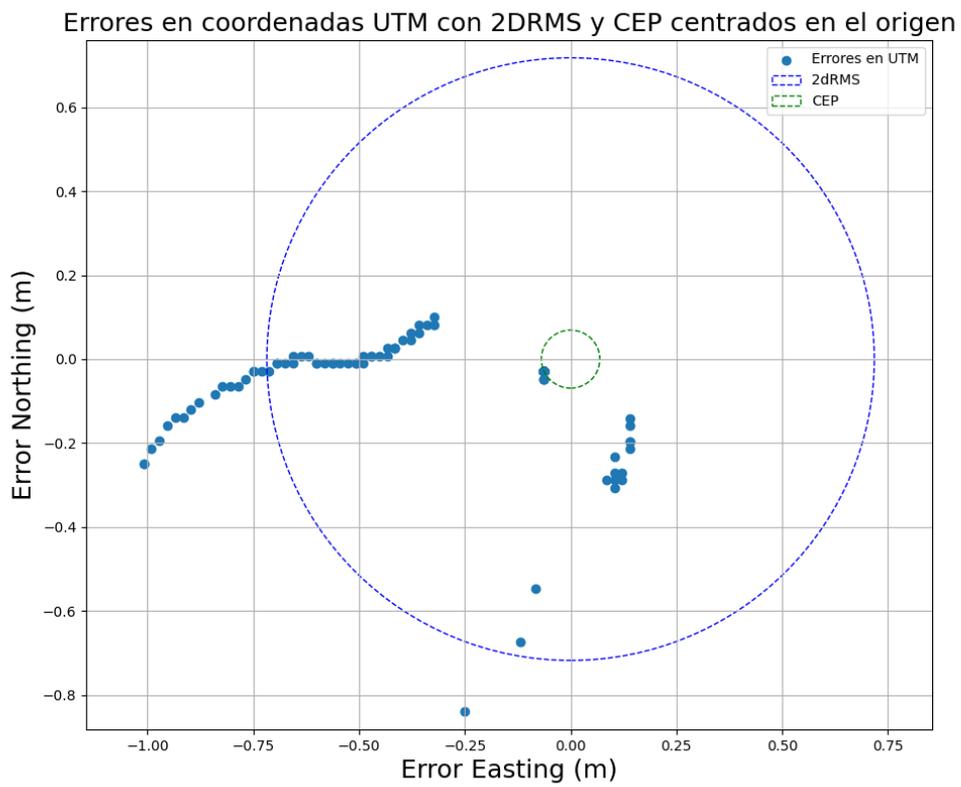


Figura 5.5: Gráfica de dispersión de los puntos de posicionamiento con respecto los errores 2DRMS y CEP de la base.

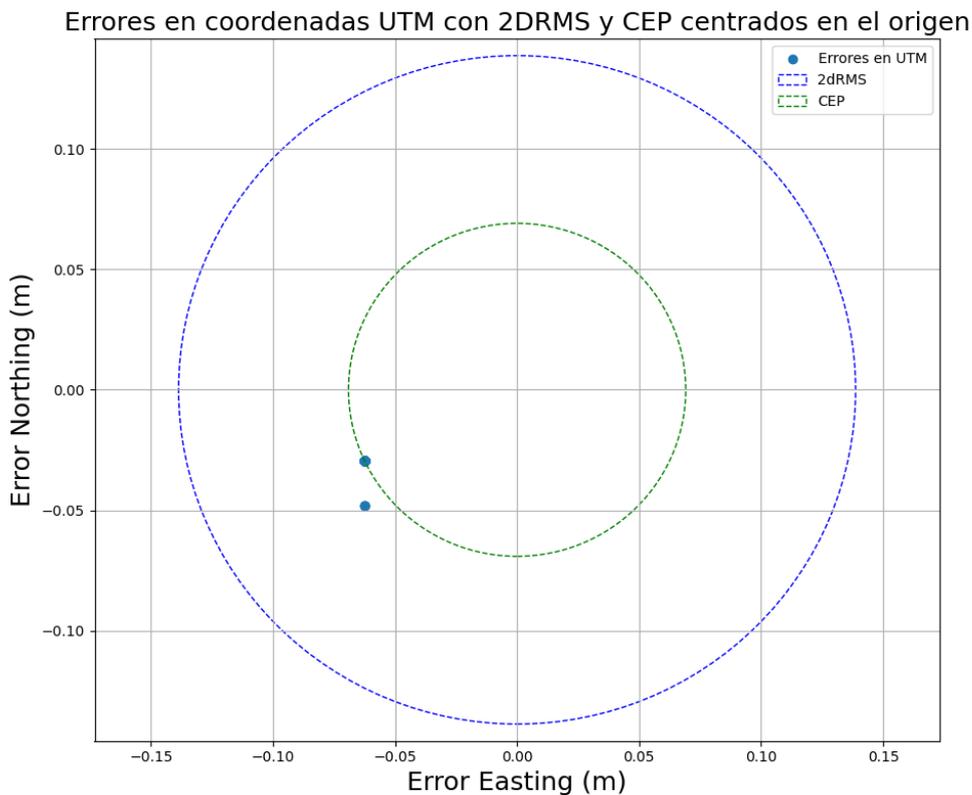


Figura 5.6: Gráfica de dispersión de los puntos de posicionamiento con respecto los errores 2DRMS y CEP de la base.

Tabla 5.4: Parámetros de precisión de la *rover* con referencia al equipo *TRIMBLE R8s*.

Rover: Parque Calderon, parroquia El Sagrario -27/05/2024

Modo de operación	RMS	2DRMS	CEP	SEP	MRSE
Puesta en marcha + RTK	0,2457	0,4915	0,0081	1,5040	1,6598
RTK	0,0142	0,0284	0,0081	1,5040	1,5100

En la tabla 5.4, se presentan los valores de los errores RMS, 2DRMS, CEP, SEP y MRSE calculados en dos modos de operación del *rover*. Al comparar ambos modos, se destaca que el primer modo muestra un error de 0.4915 metros en 2DRMS, mientras que el segundo modo (RTK) logra una precisión de 0.0142 metros, alcanzando resultados a nivel de centímetros. Para interpretar estos modos de operación, se analizan las respectivas gráficas de dispersión en coordenadas proyectadas. En la figura 5.7, se observa cómo las coordenadas iniciales muestran poca exactitud y precisión, mientras que en la figura 5.8, aunque la exactitud mejora, la precisión es menor esto

puede ser debido a múltiples fuentes de error.

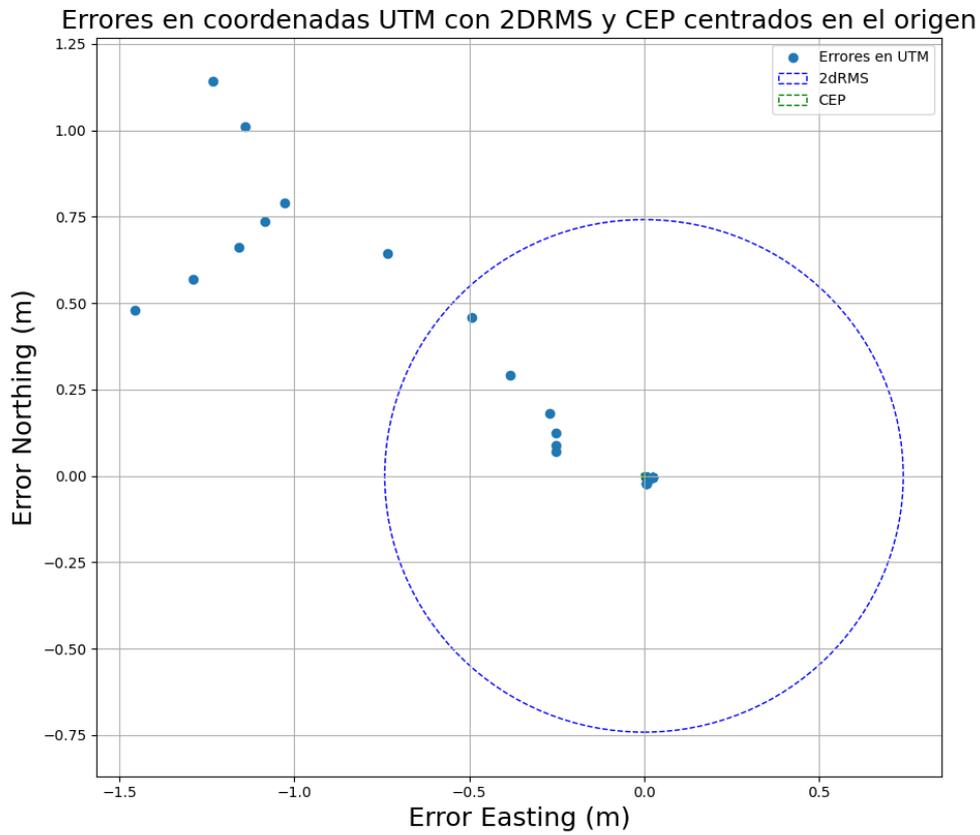


Figura 5.7: Gráfica de dispersión de los puntos de posicionamiento con respecto los errores 2DRMS y CEP del rover.

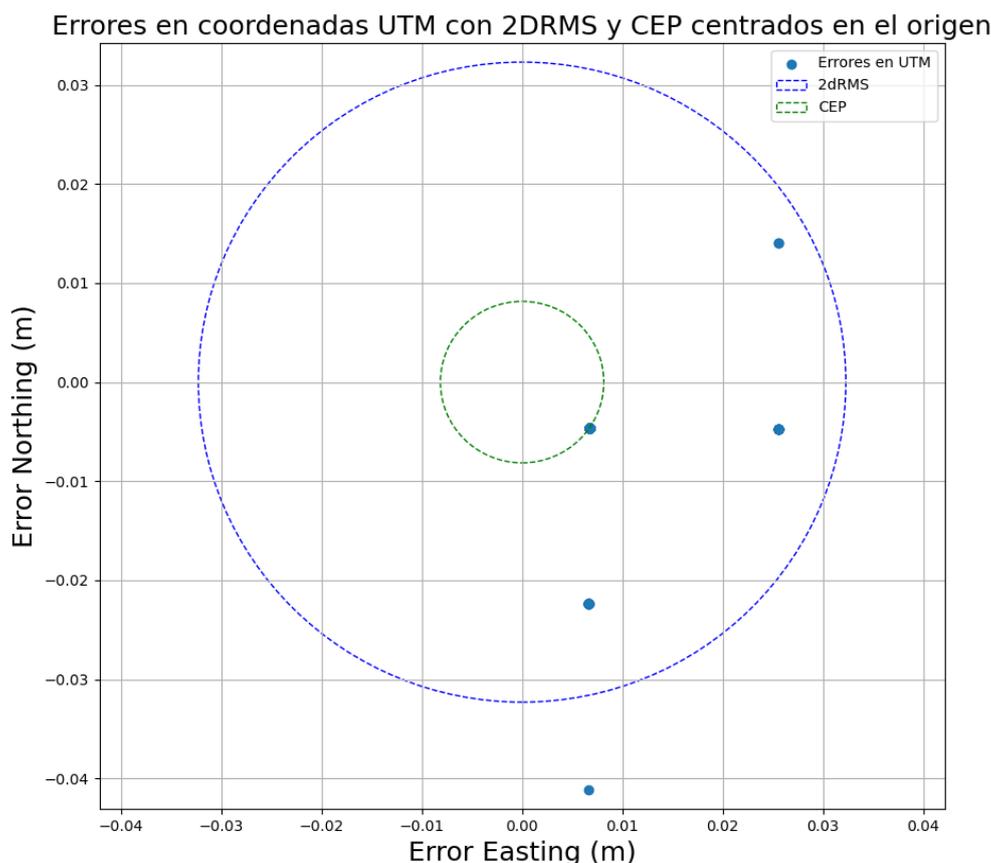


Figura 5.8: Gráfica de dispersión de los puntos de posicionamiento con respecto los errores 2DRMS y CEP del rover.

5.3. El Valle

En la tabla 5.5, se presentan los parámetros de precisión de la base ubicada en el Parque Central de El Valle, parroquia El Valle, con fecha 31 de mayo de 2024. En el modo de puesta en marcha y configuración de NTRIP, los valores de RMS, 2DRMS, CEP, SEP y MRSE son 2,2745 metros, 0,3714 metros, 0,1583 metros, 1,4307 metros y 1,6611 metros, respectivamente. Estos indican una precisión inicial antes de la estabilización del sistema. En el segundo modo (NTRIP), los valores mejoran significativamente con RMS de 1,4277 metros y 2DRMS de 0,3185 metros, manteniendo un CEP constante de 0,1583 metros y un SEP de 1,4307 metros. El MRSE también muestra una mejora a 1,4276 metros, reflejando una mayor exactitud y precisión una vez que el sistema recibe las correcciones del servidor NTRIP. La interpretación de

los parámetros 2DRMS y CEP en estos dos modos de operación se observa en las figuras 5.9 y 5.10. En la figura 5.9, se observa una baja precisión y exactitud de las medidas tomadas antes de activar el servicio NTRIP. Por otro lado, en la figura 5.10, las muestras tomadas en el momento en el cual la base recibe las correcciones del servidor NTRIP que permiten estabilizar la base en su posición fija muestran una mayor precisión y una mejora en la exactitud de las coordenadas obtenidas.

Tabla 5.5: Parámetros de precisión de la base con referencia a *TOPCON HIPER V*.
Parque Central de El Valle, parroquia El Valle - 31/05/2024

	RMS	2DRMS	CEP	SEP	MRSE
Puesta en marcha + NTRIP	2,2745	0,3714	0,1583	1,4307	1,6611
NTRIP	1,4277	0,3185	0,1583	1,4307	1,4276

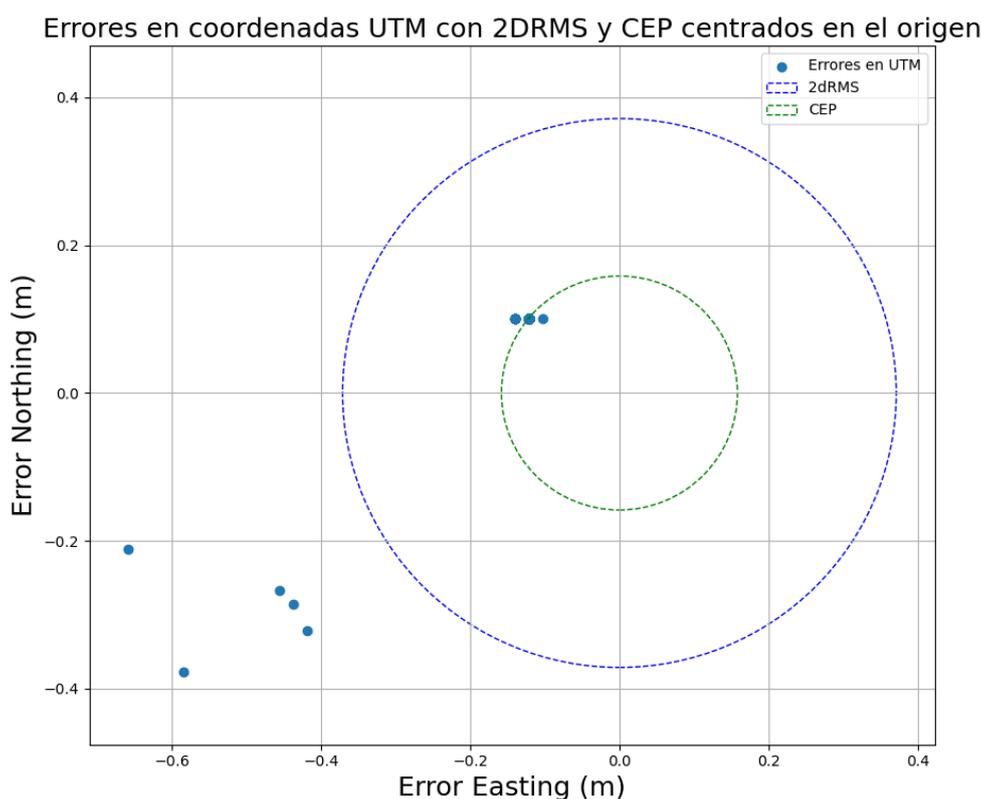


Figura 5.9: Gráfica de dispersión de los puntos de posicionamiento con respecto los errores 2DRMS y CEP de la base.

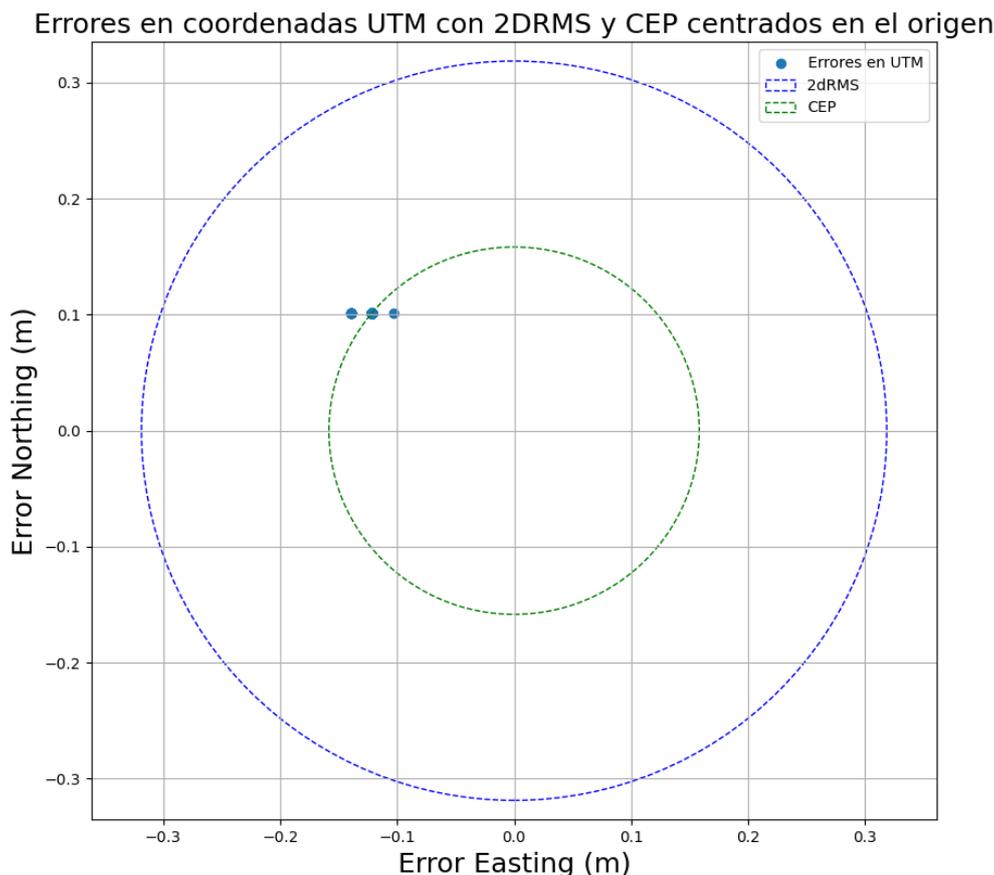


Figura 5.10: Gráfica de dispersión de los puntos de posicionamiento con respecto los errores 2DRMS y CEP de la base.

La tabla 5.6 presenta los parámetros de precisión de la *rover* en dos modos de operación distintos en el Parque Central de El Valle. En el primer modo, que corresponde al inicio y la aplicación de correcciones de posición por parte de la base al equipo *rover*, se observan valores muy bajos para RMS, 2DRMS, CEP y MRSE, lo que indica una precisión y exactitud elevadas en las mediciones utilizando correcciones en tiempo real.

Tabla 5.6: Parámetros de precisión de la *rover* con referencia a *TOPCON HIPER V. Parque Central de El Valle, parroquia El Valle - 27/05/2024*

	RMS	2DRMS	CEP	SEP	MRSE
Puesta en marcha + RTK	2,1590	0,3658	0,1516	1,4369	1,6451
RTK	1,4393	0.2949	0,1511	1,4369	1,4392

Para ambos modos de operación representados en las figuras 5.11 y 5.12, se observa una baja precisión y exactitud en las mediciones realizadas en el Parque Central de El Valle. Este fenómeno puede atribuirse a diversas fuentes de error presentes en el entorno. En particular, durante las mediciones, se identificó la presencia de un monumento en la línea de visión entre la base y el *rover*, lo cual podría haber interferido con la comunicación entre las antenas de los equipos. Además, la afluencia de personas realizando actividades cotidianas en el área también pudo haber contribuido a la variabilidad de las mediciones, afectando a la precisión de estas.

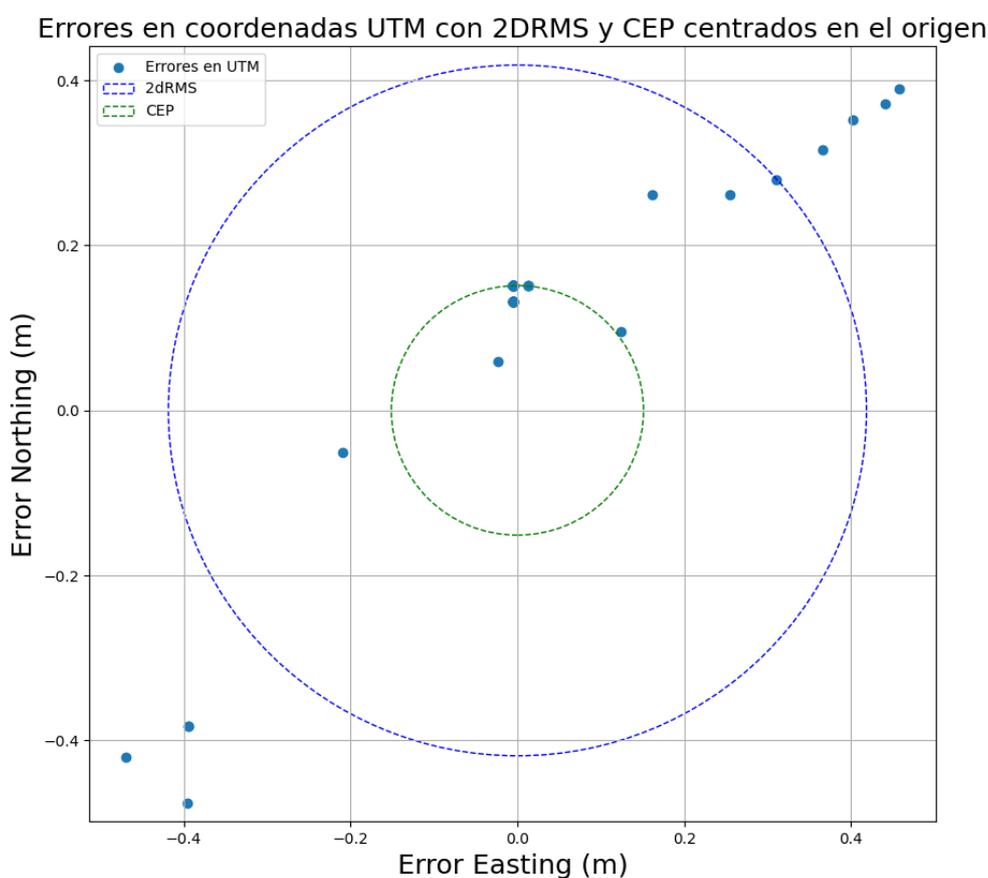


Figura 5.11: Gráfica de dispersión de los puntos de posicionamiento con respecto los errores 2DRMS y CEP del *rover*.

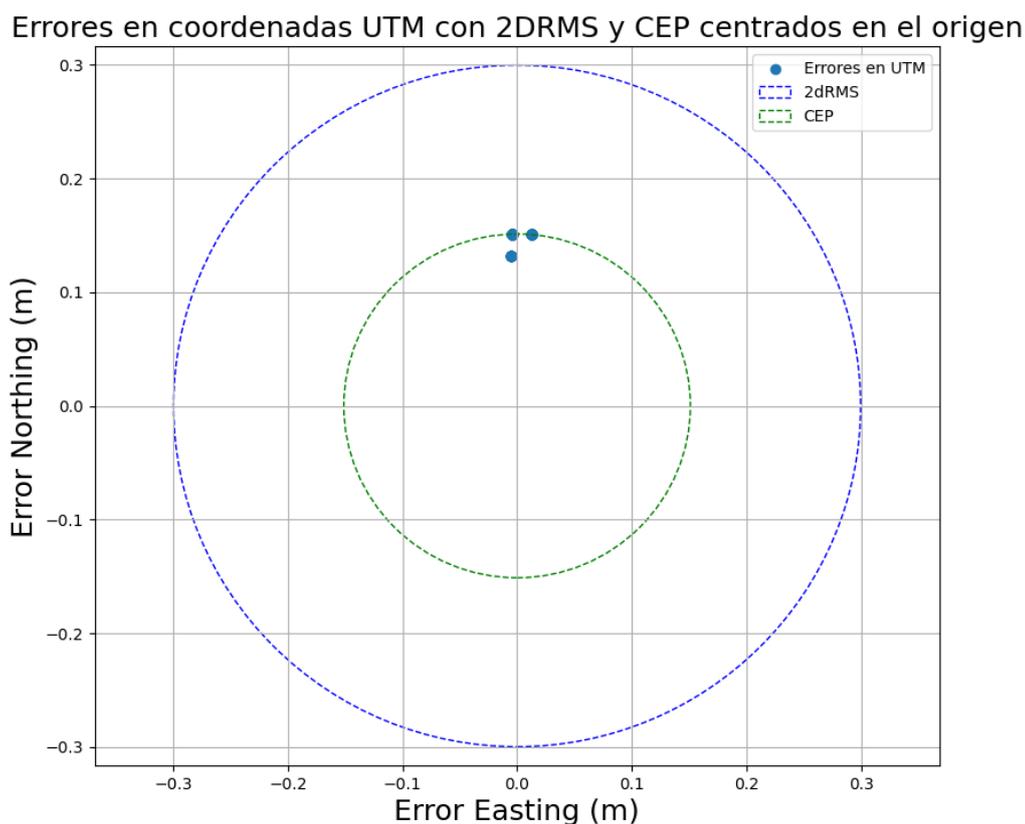


Figura 5.12: Gráfica de dispersión de los puntos de posicionamiento con respecto a los errores 2DRMS y CEP del rover.

5.4. Avenida Solano

En las tablas 5.7 y 5.8 se muestra los valores resultantes de los errores RMS, 2DRMS, CEP, SEP y MRSE calculados. Mientras que en las figuras 5.13 y 5.14 se muestran las gráficas de dispersión de los puntos de posicionamiento con respecto a los círculos de 2DRMS y CEP para la base y en las figuras 5.15 y 5.16 para el rover.

Los datos de la tabla 5.7 muestran los parámetros de precisión obtenidos para la base ubicada en Avenida Solano. En el modo en el cual se toma en cuenta el equipo puesto en marcha con configuración NTRIP, se observa un RMS de 2,1037 metros, que disminuye significativamente a 1,7635 metros cuando se utiliza exclusivamente NTRIP. Por otra parte, el 2DRMS pasa de 0,1592 metros a 0,1165 metros. El CEP, que indica la precisión para la mitad de las posiciones medidas, se mantiene constante

en 0,0571 metros en ambos casos, mientras que el SEP se mantiene para ambos. El MRSE, que refleja el error radial promedio en tres dimensiones, se reduce de 1,9500 metros a 1,7631 metros al usar NTRIP.

Tabla 5.7: Parámetros de precisión de la base con referencia a *TOPCON HIPER V. Avenida Solano, parroquia Sucre - 22/06/2024*

	RMS	2DRMS	CEP	SEP	MRSE
Puesta en marcha + NTRIP	2,1037	0,1592	0,0571	1,7829	1,9500
NTRIP	1,7635	0,1165	0,0571	1,7829	1,7631

La gráfica de dispersión para ambos modos de operación se presenta en las figuras 5.13 y 5.14. En el primer modo de operación, se observa una precisión notablemente baja, mientras que al utilizar únicamente NTRIP, la base muestra una mejora significativa tanto en precisión como en exactitud. Este cambio resalta la efectividad de las correcciones proporcionadas por el servidor NTRIP en la mejora de los resultados medidos.

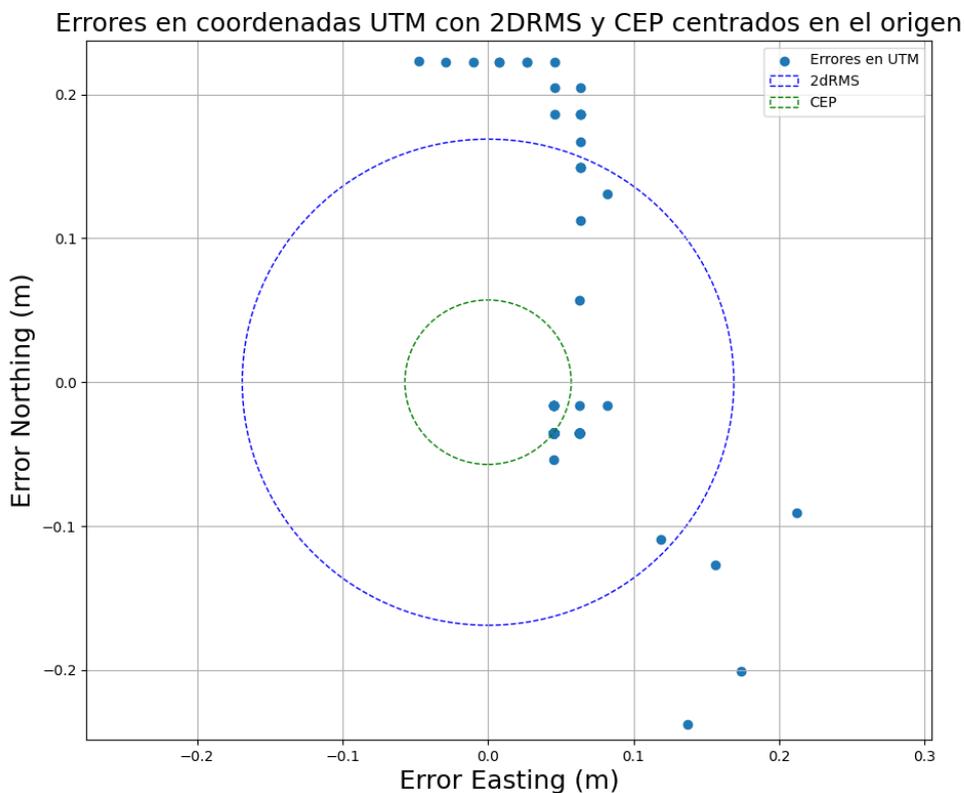


Figura 5.13: Gráfica de dispersión de los puntos de posicionamiento con respecto los errores 2DRMS y CEP de la base.

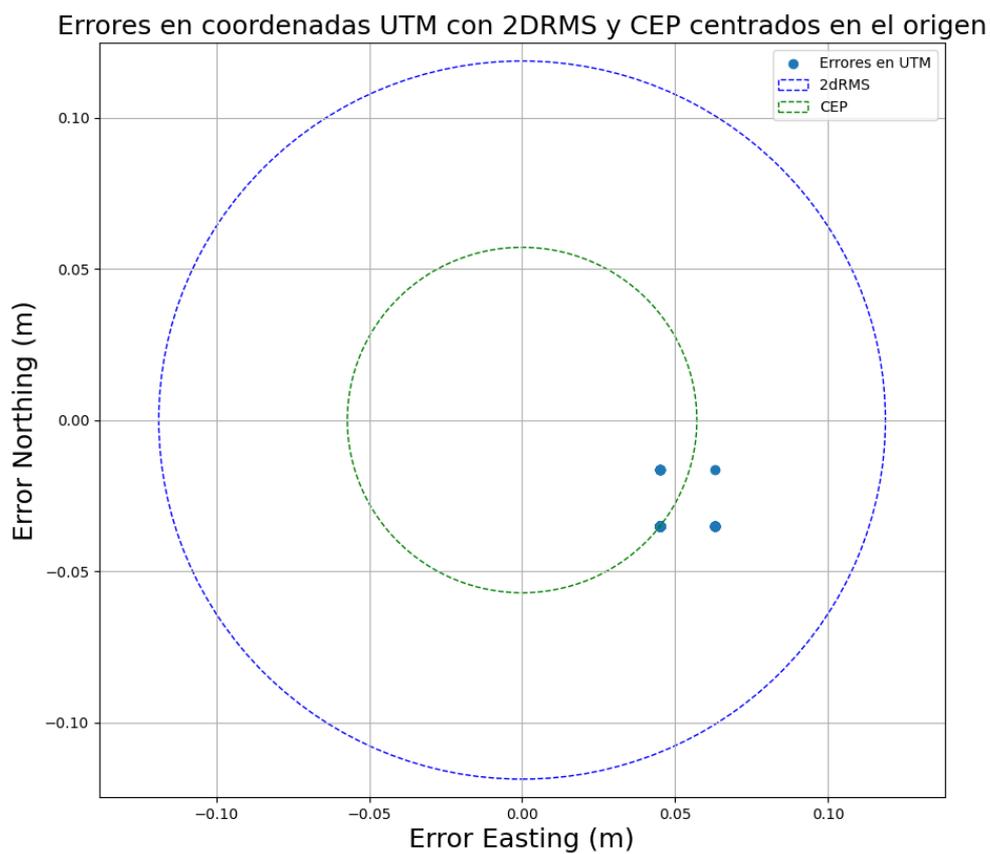


Figura 5.14: Gráfica de dispersión de los puntos de posicionamiento con respecto los errores 2DRMS y CEP de la base.

La tabla 5.8 muestra los parámetros de precisión del equipo *rover* en dos modos de operación diferentes en Avenida Solano. En el modo de operación inicial los valores de RMS, 2DRMS, CEP, SEP y MRSE son significativamente más altos en comparación con el modo de operación RTK. Esto indica que inicialmente hubo una baja precisión y exactitud en las mediciones realizadas por el equipo *rover*, debido a errores acumulados durante la inicialización. Sin embargo, al utilizar exclusivamente las mediciones del modo RTK, se observa una mejora a nivel de centímetros para los errores 2DRMS y CEP, mostrando valores considerablemente más bajos con respecto a su primer modo de operación que se encuentran en metros.

La figura 5.15 y la figura 5.16 muestran el comportamiento de los dos modos de operación de la *rover*, destacando la mejora en la precisión y exactitud cuando opera en modo RTK utilizando las correcciones de posicionamiento recibidas desde la base. En

la figura 5.15, se observa una notable mejora en la precisión, donde todas las mediciones tienden a acercarse al valor real a medida que el tiempo avanza, pasando de una precisión inicial baja a una mayor exactitud. Por otro lado, la figura 5.16 muestra una mayor precisión y una mejora significativa en la exactitud de las mediciones, indicando una consistencia y fiabilidad mejorada al utilizar exclusivamente el modo RTK con las correcciones provenientes de la base.

Tabla 5.8: Parámetros de precisión de la *rover* con referencia a *TOPCON HIPER V*.
Avenida Solano, parroquia Sucre - 22/06/2024

	RMS	2DRMS	CEP	SEP	MRSE
Puesta en marcha + RTK	5,6449	4,1683	0,2779	6,098	5,1439
RTK	1,5529	0,1172	0,0564	1,5101	1,5236

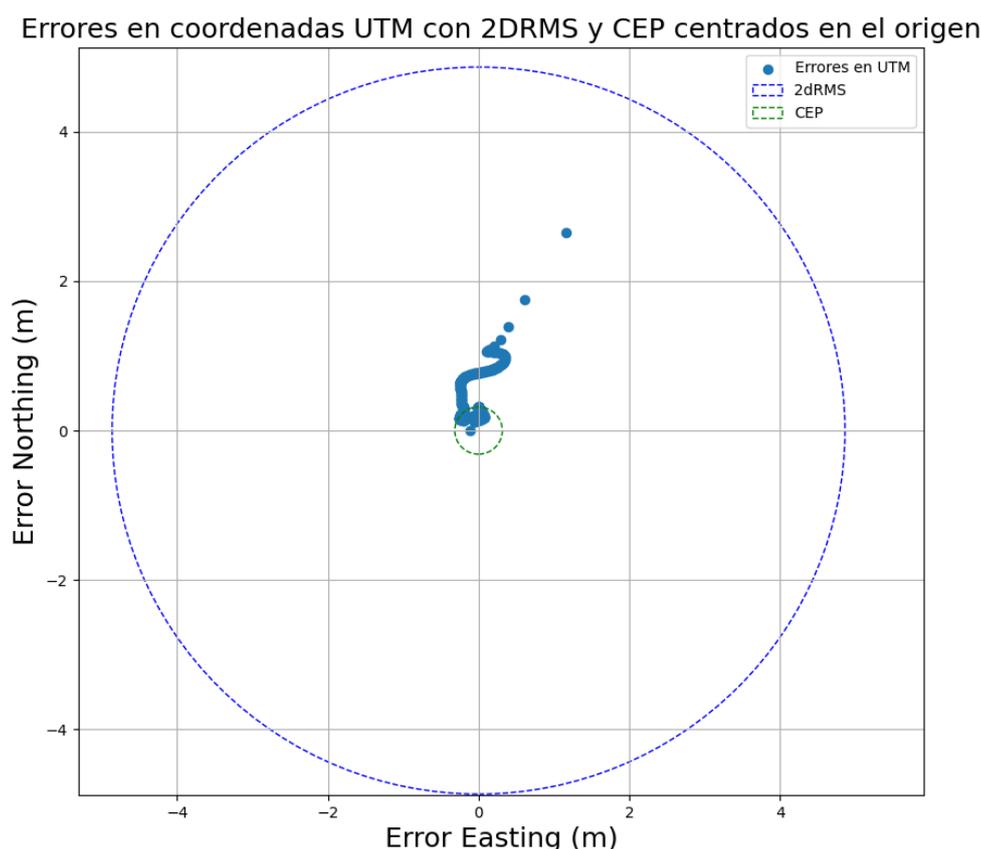


Figura 5.15: Gráfica de dispersión de los puntos de posicionamiento con respecto los errores 2DRMS y CEP del *rover*.

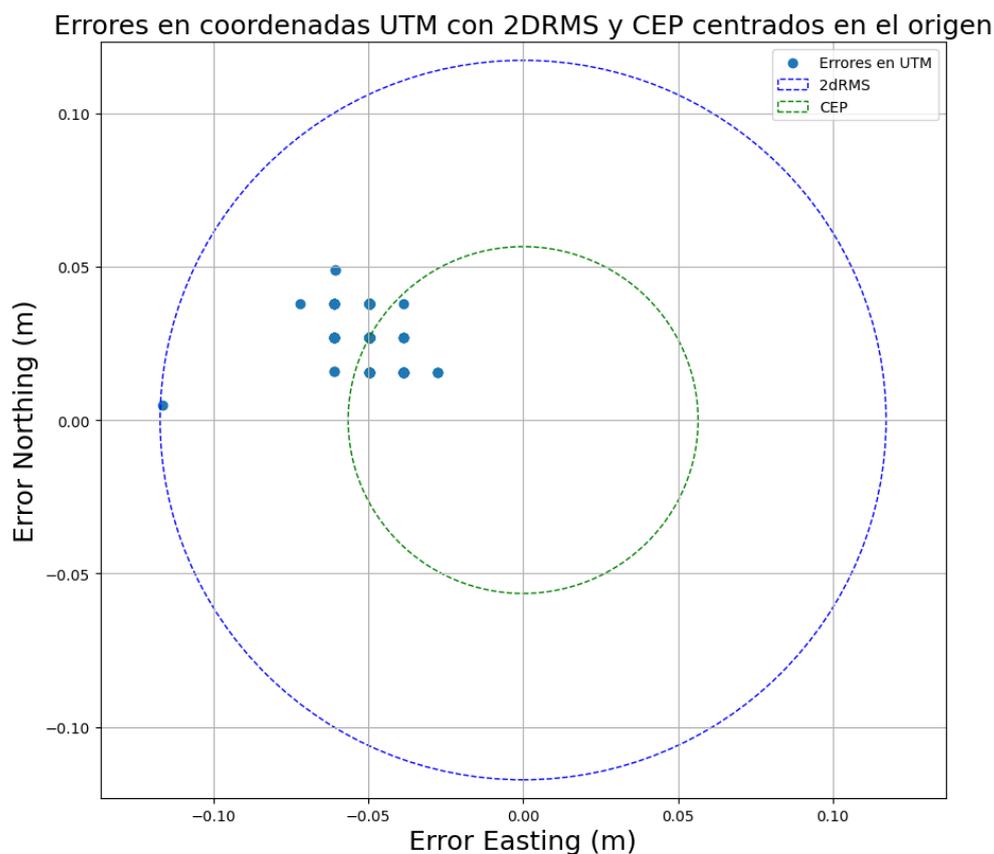


Figura 5.16: Gráfica de dispersión de los puntos de posicionamiento con respecto los errores 2DRMS y CEP del rover.

5.5. Resumen de resultados

En la tabla 5.5, al comparar los dos modos de operación, se pudo notar que cuando se usó exclusivamente NTRIP (sin la etapa de arranque) resultó en una mayor precisión en todas las métricas evaluadas. Esto sugirió que la fase arranque pudo introducir errores adicionales o fue más susceptible a factores externos, mientras que cuando se usó de forma directa NTRIP proporcionó correcciones más precisas y consistentes. La consistencia en los valores de CEP indicaron que, en términos de dispersión horizontal para la mitad de las posiciones, ambos modos de operación ofrecieron alta precisión, aunque el modo NTRIP mostró una mejor precisión general en los aspectos evaluados.

Tabla 5.9: Resumen de parámetros de precisión de base y rover.

BASE						
Lugar	Tipo de corrección	RMS	2DRMS	CEP	SEP	MRSE
El Cajas	Arranque + NTRIP	9,5689	1,8836	0,1220	1,7347	6,9817
	NTRIP	1,7360	0,2456	0,1220	1,7343	1,7360
Parque Calderon	Arranque + NTRIP	6,2593	0,7159	0,0691	1,7233	4,4083
	NTRIP	1,7233	0,1387	0,0691	1,7233	1,7233
Parque de El Valle	Arranque + NTRIP	2,2745	0,3714	0,1583	1,4307	1,6611
	NTRIP	1,4277	0,3185	0,1583	1,4307	1,4276
Avenida Solano	Arranque + NTRIP	2,1037	0,1592	0,0571	1,7829	1,9500
	NTRIP	1,7635	0,1165	0,0571	1,7829	1,7631
ROVER						
El Cajas,	Arranque + RTK	2,1943	4,3886	0,2341	1,9305	12,9405
	RTK	0,3270	0,6541	0,2280	1,8320	1,9636
Parque Calderon	Arranque + RTK	0,2457	0,4915	0,0081	1,5040	1,6598
	RTK	0,0142	0,0284	0,0081	1,5040	1,5100
Parque de El Valle	Arranque + RTK	2,1590	0,3658	0,1516	1,4369	1,6451
	RTK	1,4393	0,2949	0,1511	1,4369	1,4392
Avenida Solano	Arranque + RTK	5,6449	4,1683	0,2779	6,098	1,6085
	RTK	0,1647	1,5363	0,1511	1,4369	1,4665

Un comportamiento similar ocurrió con el *rover*, los valores de errores calculados fueron mayores en la etapa de arranque. Mientras que cuando este recibió las correcciones de la base y pasó a la etapa RTK los errores fueron notablemente menores. En ambos casos se alcanzó precisiones centimétricas, las cuales van desde los 15 centímetros a los 5 centímetros en el caso de la base. Para el *rover* se logró obtener también precisiones centimétricas que van desde los 27 centímetros a los 8 milímetros.

Las mejores medidas que se obtuvieron para el caso de la base fueron las del parque Calderón y las de la avenida Solano que alcanzaron una precisión de 6,91 centímetros y de 5,71 centímetros respectivamente. Mientras que para el caso del *rover* las mejores precisiones se obtuvieron también el parque Calderón con 8,1 milímetros y en la avenida Solano con 15,11 centímetros. Los resultados de la tabla 5.5 obtenidos están dentro de los parámetros de precisión centimétrica descrita por el fabricante en [40]. De acuerdo con [37] y [40] los dispositivos *simpleRTK2B Lite* ofrecen precisiones que van desde los 2 o metros hasta los 2 o 3 centímetros.

5.6. Análisis de costos

La comparativa de costos se realizó con los equipos que se usaron para marcar los puntos de control geodésico que se muestran en el anexo H. Los equipos que se usaron son los siguientes:

- *TOPCON HIPER V*
- *TRIMBLE R8s*

A continuación en la siguiente tabla se muestra una comparación de los precios aproximados de los equipos con respecto al prototipo utilizado en este trabajo. Los precios se obtuvieron de [41, 42] que son páginas especializadas en ventas de equipos topográficos.

Tabla 5.10: Tabla comparativa de precios de solo los equipos receptores comerciales con respecto al prototipo creado para la evaluación

Tabla de precios		
Modelo	Fabricante	Precio
TOPCON HIPER V	Topcon Positioning Systems, Inc	\$9.950,00
TRIMBLE R8s	Trimble Navigation Limited	\$17.495,00
<i>simpleRTK2B Lite</i>	Ardusimple (Prototipo)	\$756,30

La tabla 5.10 muestra únicamente el costo de los equipos receptores en pares, es decir el precio total de los receptores base y *rover*, sin contar con el resto de herramientas o soportes adicionales que se venden por separado. La comparación se realizó con el precio de las dos tarjetas *simpleRTK2B Lite* más el costo de los contenedores impresos en 3D el presupuesto del valor final se encuentra en el Apéndice D. De la tabla 5.10 se puede obtener las diferencias de precios y los porcentajes de diferencia, los cuales se muestran a continuación:

■ Diferencias de precios:

- Diferencia de precio entre *TOPCON HIPER V* y *simpleRTK2B Lite*

$$Topcon = \$9550.00$$

$$Ardusimple = \$756.3$$

$$diferencia1 = \$9550.00 - \$756.30 = \$8793.70$$

- Diferencia de precio entre *TRIMBLE R8s* y *simpleRTK2B Lite*

$$\text{Trimble} = \$17495.00$$

$$\text{ArduSimple} = \$756.3$$

$$\text{diferencia2} = \$17495.00 - \$756.30 = \$16738.70$$

■ **Porcentaje de diferencia de los precios:**

- Porcentaje de diferencia entre *TOPCON HIPER V* y *simpleRTK2B Lite*

$$\text{diferencia1} = \$8793.70$$

$$\text{ArduSimple} = \text{referencia} = \$756.3$$

$$\% \text{Diferencia} = \frac{\$8793.70}{\$756.3} \times 100 = 1162.72 \%$$

- Porcentaje de diferencia entre *TRIMBLE R8s* y *simpleRTK2B Lite*

$$\text{diferencia2} = \$8793.70$$

$$\text{ArduSimple} = \text{referencia} = \$756.3$$

$$\% \text{Diferencia} = \frac{\$16738.70}{\$756.3} \times 100 = 2213.23 \%$$

A continuación en la siguiente tabla se muestra el resumen de la diferencia de precios y los porcentajes diferencia.

Tabla 5.11: Comparación de las diferencias de precios y porcentajes de diferencia de los precios.

Equipos comparados	Diferencia de precios	Porcentaje de diferencia
Prototipo/Topcon	\$8.793,70	1162,72 %
Prototipo/Trimble	\$16.730,70	2213,23 %

De la tabla 5.11 se puede observar que los equipos que el GAD municipal usó para establecer los puntos de control geodésico cuestan de \$8.793,70 a \$16.730,70 más que el prototipo y que son de 1162,72 % a 2213,23 % más caros que el prototipo utilizado en este trabajo.

5.6.1. Costos operativos

El acceso a la información de los costos operativos de las empresas que realizan estudios geográficos es bastante restrictivo, el cual lo mantienen con reserva. Se consultó de manera informal a profesionales del área de arquitectura e ingeniería civil, los cuales nos manifestaron que el costo de la renta de los equipos depende de la marca de los mismos y el tiempo que se los va a rentar. La negociación del alquiler de los equipos se los hace de manera presencial o mediante mensajería a través de sus números de contacto.

En base al trabajo de titulación de la universidad de las Fuerzas Armadas, específicamente del departamento de ciencias de la tierra y construcción. En [5] realizó un estudio de los costos unitarios para productos y servicios de ingeniería geográfica, dentro de los cuales se analiza el costo de los posicionamientos de puntos geodésicos y se clasifican de acuerdo a los escenarios de medición, el tiempo que tomará realizar la medición, la accesibilidad del lugar de medición y las condiciones ambientales en la cuales se hará la medición. A partir de los parámetros antes mencionados, el costo de los servicios de posicionamiento de puntos se clasifica en 2 tipos:

Tabla 5.12: Precio por posicionamiento de punto [5].

Rendimiento (# de puntos posicionados)	Precio (por punto posicionado)
4	\$ 100
1	\$ 300

De la tabla 5.12 se observa que en un escenario con condiciones óptimas y un rendimiento diario de 4 puntos posicionados, el precio por punto será de \$ 100. Sin embargo, cuando las condiciones son desfavorables y solo se puede posicionar 1 punto por día, el precio por punto será de \$ 300.

Adicionalmente en [5] se realiza el análisis del costo del salario del personal en campo para el posicionamiento. El personal que se considera necesario fue de 3 personas como se observa la tabla 5.13:

Tabla 5.13: Salario del personal [5].

Personal	Cantidad	Salario
Ingeniero	1	\$ 50
Operador	1	\$ 50
Ayudante	1	\$ 25
Total	3	\$ 125

En base las tablas 5.12 y 5.13 se puede determinar que el costo operativo del posicionamiento de puntos con equipos GNSS esta entre los \$ 425 y \$ 525 para 1 punto y 4 puntos posicionados por día.

En este trabajo se realizó el posicionamiento de 8 puntos en distintos días. Se consideró que las mediciones se efectuaron en condiciones óptimas y que, en un día, se podrían medir 4 puntos: dos en la mañana y dos en la tarde. Para facilitar el análisis, no se incluyeron las mediciones o posicionamientos de puntos erróneos. El equipo encargado de realizar las mediciones estaba compuesto por dos personas, y se utilizaron herramientas mecánicas para nivelar los prototipos desarrollados. El precio estimado por el posicionamiento de cada punto fue de \$75, más dos salarios diarios de \$25 cada uno, alcanzando un costo total de \$325 por 4 puntos posicionados. En la tabla 5.14, se muestra la comparación del costo operativo del posicionamiento de puntos analizado en [5] con respecto a los costos operativos del equipo *simpleRTK2B Lite*.

Tabla 5.14: Comparación de costos operativos

Equipo	Costo por 4 puntos posicionados	Salario personal	Total
Equipos GNSS RTK	\$ 400	\$ 125	\$ 525
Prototipo	\$ 300	\$ 50	\$ 350

Ahora en a tabla 5.15 se muestra la diferencia y el porcentaje de diferencia de los costos operativos.

Tabla 5.15: Diferencia y porcentaje de diferencia de los costos operativos

Equipos	Diferencia de costos	Porcentaje de diferencia
Prototipo/Equipos RTK	\$ 175	50 %

5.6.2. Costos por mantenimiento

Se presenta a continuación un resumen del costo estimado para el mantenimiento del prototipo. Debido a la información limitada sobre el mantenimiento de otros equipos, se asume que los costos para los equipos adicionales son equivalentes. En consecuencia, se detallan únicamente los costos asociados al mantenimiento de las *simpleRTK2b Lite*, tanto en su configuración como placas base y *rover*, así como de los equipos empleados para los puntos de control geodésico en la ciudad de Cuenca. Se considera que el mantenimiento para estos equipos es similar, con algunas diferencias en la mano de obra, dado que estos equipos son más robustos. El costo de los equipos se detallan en la tabla 5.10. Se consideran los precios de los pares de cada equipo, es decir base y *rover*.

La frecuencia de mantenimiento preventivo se especifica en la tabla 5.16. Se ha definido una periodicidad de mantenimiento cada 6 meses y una duración estimada de vida útil de 7 años, este valor de vida útil se asume de acuerdo al informe técnico de compras publicas para equipos geodésicos [43].

Tabla 5.16: Frecuencia de mantenimiento

Descripción	Valor
Periodicidad del mantenimiento preventivo	6 meses
Duración estimada de vida útil	7 años

El costo de mano de obra estimado se calcula en función de una tarifa horaria asumida de \$30 y un tiempo promedio de mantenimiento de 1 hora por sesión, tanto para la base como para el equipo *rover*. Esto se debe a que estos dispositivos son versátiles y compactos. La información detallada se presenta en la tabla 5.17.

Tabla 5.17: Costo de mano de obra

Descripción	Costo
Tarifa horaria del técnico	\$30
Tiempo promedio requerido	1 h

Los costos de repuestos y consumibles se detallan en la tabla 5.18. Se consideran el uso de un paño de micro fibra y alcohol isopropílico por cada sesión de mantenimiento, donde se asume una cantidad consumida de 100 ml, es decir un 10 % y el costo del kit de destornilladores se amortiza a lo largo de la vida útil del dispositivo.

Tabla 5.18: Costo de repuestos y consumibles

Descripción	Costo (\$)	Costo por mantenimiento (\$)
Paño de microfibra (3 unidades)	3,99	1,33
Alcohol isopropílico (1 litro)	12,00	1,20
Kit de destornilladores	5.00	-

La suma de los costos de mano de obra y consumibles resulta en un costo total por sesión de \$32.53, como se detalla en la tabla 5.25.

Tabla 5.19: Costo total del mantenimiento preventivo por sesión

Descripción	Costo por sesión (\$)
Mano de obra	30
Paño de microfibra	1,33
Alcohol isopropílico	1,20
Total por sesión	32,53

Dado que el mantenimiento se realiza dos veces al año, el costo anual de mantenimiento preventivo es de \$65,06, como se muestra en la tabla 5.20.

Tabla 5.20: Costo anual de mantenimiento preventivo

Descripción	Costo anual (\$)
Costo de mantenimiento preventivo	65,06

El costo total de mantenimiento durante la vida útil del dispositivo (7 años) se calcula multiplicando el costo anual por el número de años, resultando en \$455.42, como se detalla en la tabla 5.21.

Tabla 5.21: Costo total de mantenimiento durante la vida útil

Descripción	Costo total (\$)
Costo total de mantenimiento (7 años)	455,42

Finalmente, el costo total del dispositivo durante su vida útil es la suma del costo del prototipo y el costo total de mantenimiento, resultando en \$1.211,72, como se muestra en la tabla 5.22.

Tabla 5.22: Costo total del dispositivo durante su vida útil

Descripción	Costo (\$)
Costo inicial <i>simpleRTK2b Lite</i>	756,30
Costo total de mantenimiento	455,42
Costo total durante la vida útil	1.211,72

Mediante el mismo procedimiento se realiza el cálculo del costo de mantenimiento de los equipos *TOPCON HIPER V* y *TRIMBLE R8s*, en el cual se asume que al ser equipos mucho mas robustos en pares (base y *rover*), el costo de mano de obra se calcula con una tarifa horaria de \$30 y un tiempo promedio de mantenimiento de 3 horas por sesión para cada equipo como se observa en la tabla 5.23.

Tabla 5.23: Costo de mano de obra de equipos profesionales *TOPCON HIPER V* y *TRIMBLE R8s*

Descripción	Costo
Tarifa horaria del técnico	\$30
Tiempo promedio requerido	3 h

Los costos de repuestos y consumibles se detallan en la tabla 5.24. Se consideran el uso de un paño de micro fibra y alcohol isopropílico por cada sesión de mantenimiento, donde se asume una cantidad consumida de 400 ml, es decir un 40% , así mismo, el costo del kit de destornilladores se amortiza a lo largo de la vida útil del dispositivo.

Tabla 5.24: Costo de repuestos y consumibles

Descripción	Costo (\$)	Costo por mantenimiento (\$)
Paño de micro fibra (3 unidades)	3,99	1,33
Alcohol isopropílico (1 litro)	12,00	4,80
Kit de destornilladores	5,00	-

La suma de los costos de mano de obra y consumibles resulta en un costo total por sesión de \$96,13, como se detalla en la tabla 5.25.

Tabla 5.25: Costo total del mantenimiento preventivo por sesión

Descripción	Costo por sesión (\$)
Mano de obra (3h)	90,00
Paño de microfibra	1,33
Alcohol isopropílico	4,80
Total por sesión	96,13

Dado que el mantenimiento se realiza dos veces al año, el costo anual de mantenimiento preventivo es de \$96,13, como se muestra en la tabla 5.26.

Tabla 5.26: Costo anual de mantenimiento preventivo

Descripción	Costo anual (\$)
Costo de mantenimiento preventivo	192,26

El costo total de mantenimiento durante la vida útil (7 años) de los dispositivos topográficos profesionales se calcula multiplicando el costo anual por el número de años, resultando en \$1.345,82, como se detalla en la tabla 5.27.

Tabla 5.27: Costo total de mantenimiento durante la vida útil

Descripción	Costo total (\$)
Costo total de mantenimiento (7 años)	1.345,82

Finalmente, el costo total del dispositivo durante su vida útil es la suma del costo del equipo geodésico más el costo total de mantenimiento, resultando en \$11.295,82 para el *TOPCON HIPER V* y \$18.840,82 para el equipo *TRIMBLE R8s*. Para realizar una comparación en la tabla 5.28 se adjunta el valor calculado para las placas *simpleRTK2B Lite*, del cual se destaca que el costo total del dispositivo *simpleRTK2B Lite* durante su vida útil llegaría a costar el valor de los costos por mantenimiento de un equipo topográfico profesional, con una diferencia de \$134,10.

Tabla 5.28: Comparación de costo total del dispositivo durante la vida útil.

Descripción	Costo inicial (\$)	Costo por mantenimiento (\$)	Costo total del dispositivo durante la vida útil (\$)
<i>TOPCON HIPER V</i>	9.950,00	1.345,82	11.295,82
<i>TRIMBLE R8s</i>	1.7495,00	1.345,82	18.840,82
<i>simpleRTK2B Lite</i>	756,30	455,42	1.211,72

Capítulo 6 Conclusiones, recomendaciones, limitaciones y trabajos futuros

6.1. Conclusiones

- Se logró determinar la posición óptima de la estación base en modo fijo mediante el uso de técnicas de posicionamiento geoespacial. Esto incluyó el transporte de datos de corrección diferencial en formato RTCM a través de Internet o NTRIP, asegurando una transmisión eficiente y precisa de la información. Además, se consideraron cuidadosamente las condiciones geográficas, como la visibilidad de los satélites GNSS, la topografía del terreno, y posibles obstrucciones naturales o artificiales que podrían afectar la calidad de la señal. Estos factores permitieron optimizar la ubicación de la estación base, mejorando significativamente la precisión del sistema RTK en el área de estudio.
- Se configuraron con éxito una estación base y una estación móvil utilizando módulos XBee, asegurando su funcionamiento y sincronización adecuados. La eficiente comunicación entre estos módulos permitió alcanzar una distancia de transmisión punto a punto de hasta 367 metros a una frecuencia de 2.4 GHz en el sector de El Cajas, facilitando así la transmisión de datos en tiempo real.
- El registro y obtención de credenciales exitosos permitió la conexión exitosa de la estación base al servidor NTRIP del Instituto Geográfico Militar (IGM). Esta configuración posibilitó la obtención de soluciones de posicionamiento con una precisión inferior a 25 cm y 3 cm en los escenarios geográficos de evaluación, debido a que el punto de montaje utilizado cubre una gran extensión de territorio, permitiendo ofrecer soluciones centimétricas en un radio de hasta 50 kilómetros.
- Se comparó la precisión de las coordenadas obtenidas por el prototipo de bajo costo con las coordenadas medidas de dos estaciones base comerciales, entre el prototipo y las estaciones base se encontraron diferencias centimétricas en la precisión, que oscilan entre los 25 cm y los 3 cm. Esto demuestra que la presente implementación es una alternativa viable y efectiva para diversas aplicaciones. Sin embargo, las estaciones comerciales pueden ofrecer ventajas en términos de robustez y características avanzadas, el prototipo implementado logró niveles de precisión centimétricos, presentándose como una opción económica y

funcional para aplicaciones prácticas.

- Las pruebas de precisión y rendimiento del sistema GNSS RTK se realizaron en cuatro escenarios geográficos distintos. Las pruebas realizadas demostraron que el sistema llegó a alcanzar una precisión centimétrica. En cada uno de los escenarios, también se validó el rendimiento del prototipo, independientemente de las variaciones en la topografía y las condiciones ambientales a las cuales se lo sometió, demostrando que la base puede enviar correcciones de forma directa al *rover* en un enlace de punto a punto a una distancia mayor a 350 metros.
- El sistema GNSS RTK de bajo costo, implementado con tarjetas de desarrollo *simpleRTK2B Lite* y módulos de comunicación XBee, demostró un rendimiento comparable a las soluciones comerciales en términos de precisión. Los escenarios prácticos utilizados para este proyecto, junto con una metodología para nivelar y centrar los trípodes en los puntos de control geodésico, la elección de condiciones climáticas adecuadas, la presencia de línea de vista entre la base y el *rover*, la línea de vista a los satélites y una configuración adecuada del equipo, proporcionaron resultados con una precisión menor a 3 cm, tal como lo indica el fabricante, y en otros casos, menores a 25 cm. La consistencia de los resultados se verificó mediante RMS, 2DRMS, CEP y SEP, mostrando mejoras al usar el servicio NTRIP. Esto confirma la viabilidad del sistema para aplicaciones prácticas y académicas, cumpliendo con el objetivo de determinar la ubicación óptima de la estación base al considerar la visibilidad de los satélites y la topografía del entorno.

6.2. Recomendaciones

- De forma experimental se pudo determinar que los equipos funcionan de mejor manera cuando el cielo esta parcial o totalmente despejado y la antena tiene una buena línea de vista hacia el cielo. Esto permite que los errores introducidos por la troposfera sean mínimos. También al tener una buena línea de vista al cielo permite que no haya reflexión de la señal GNSS en superficies cercanas generando errores por propagación multitrajecto. Mientras que, si las condiciones

climáticas tienen un cielo totalmente nublado y con presencia de lluvia o la antena no tiene buena línea de vista al cielo, los equipos no logran un desempeño estable, llegando a tardar el doble o el triple de tiempo en configurarse. Esto se debe a que van a existir un retardo troposférico el cual es un error que se introduce cuando la señal GNSS atraviesa la troposfera. La troposfera es un medio no dispersivo para las ondas de radio. Esto significa que los efectos refractivos en la señal GNSS son independientes de la frecuencia y dependen únicamente de los parámetros meteorológicos y de la longitud del recorrido a través de la troposfera.

- Se recomienda revisar la configuración de comunicación de los módulos xBee tanto de la base y *rover*, con la finalidad de asegurar la transmisión de correcciones diferenciales de la base hacia la estación móvil. Los equipos, al no estar configurados en pares, carecían de una configuración inicial que permitiera la comunicación efectiva entre la base y el *rover*. Aunque el *software* de evaluación permitió configurar la recepción de mensajes para recibir y observar la transmisión de mensajes RTCM desde el *rover*, estos nunca eran recibidos, lo cual impedía obtener correcciones. Esta limitación se resolvió mediante una revisión minuciosa de los módulos de comunicación XBee, detectando y corrigiendo una configuración errónea, como se detalla en el apéndice E.
- Se recomienda el uso de otro *software* para la extracción de datos en crudo o formato RAW, los equipos en su configuración por defecto funcionaron perfectamente. Aunque se utilizó el formato UBX proporcionado por el *software* de evaluación, el no poder almacenar datos en formato RAW fue una limitante durante el estudio, dicho formato pudo haber brindado información adicional sobre los modos de operación al conectar el equipo al servidor NTRIP y recibir correcciones. En el formato UBX, solo se observó el funcionamiento con y sin correcciones diferenciales. En cambio, el formato RAW permite convertir los datos a otros formatos como RINEX que permiten extraer las etiquetas *FLOAT* y *FIXED*, lo que facilita identificar las coordenadas corregidas (*FIXED*) y aquellas que presentan ambigüedades debido a las condiciones geográficas o satelitales (*FLOAT*).

6.3. Limitaciones

- Inicialmente, se planificó realizar comparaciones utilizando los equipos geodésicos disponibles en la universidad, con el propósito de llevar a cabo pruebas en el campus Balzay. Sin embargo, no se obtuvo la autorización del encargado de los equipos. Como alternativa, se decidió utilizar la red geodésica de la Municipalidad de Cuenca. Afortunadamente, las monografías de los puntos de control geodésico detalladas en el anexo H proporcionaron información sobre el equipo utilizado para las mediciones, permitiendo enfocar los resultados en la precisión de las coordenadas medidas por el instrumento geodésico, asumiendo esos valores como reales.
- El tiempo de arribo de los equipos fue una limitante significativa. Aunque se solicitó el uso del espacio en laboratorio de Microrred como se observa en el anexo G, inicialmente se trabajó solo con el equipo configurado como base, lo cual no permitía comprender completamente el funcionamiento RTK. La compra del equipo *rover* por separado ocasionó un retraso en la planificación inicial.
- Durante la etapa de pruebas, las fuertes lluvias limitaron la capacidad de realizar pruebas en los escenarios planteados. Además, los puntos de control geodésico seleccionados estaban dispersos por todas las parroquias del cantón Cuenca, implicando un mayor tiempo de desplazamiento hacia cada escenario geográfico. En caso de errores durante las pruebas, era necesario repetir las mediciones, incrementando así el tiempo requerido.

6.4. Trabajos futuros

- Ya que la tarjeta *simpleRTK2B Lite* es compacta y versátil, se podría interconectar con otras tarjetas de desarrollo para montar un servidor NTRIP dentro de la red universitaria, para ofrecer un servicio de correcciones RTK a los estudiantes de la institución. De forma paralela también se levantaría un *Mount Point* público propio de la universidad en colaboración con el servicio NTRIP del Instituto Geográfico Militar.

- Usar los equipos del prototipo creado para realizar evaluaciones más desafiantes como levantamientos topográficos o planímetros y compararlos con equipos comerciales que son directamente usados para las evaluaciones mencionadas.
- Diseñar e implementar antenas de grado geodésico para las tarjetas *simpleRTK2B Lite* para evaluar y comprobar su precisión con respecto a las antenas usadas en este prototipo.

Referencias

- [1] gabri, “¿Cómo funcionan los dispositivos GPS? Trilateración vs Triangulación,” May 2018, section: Info. [En línea]. Disponible: <https://acolita.com/como-funcion-an-los-dispositivos-gps-trilateracion-vs-triangulacion/>
- [2] “glonass-iac.” [En línea]. Disponible: <https://glonass-iac.ru/guide/gnss/>
- [3] G. Weber, D. Dettmering, H. Gebhard, y R. Kalafus, “Networked transport of rtmc via internet protocol (ntrip). . . ip-streaming for real-time gnss applications,” in *Proceedings of the 18th International Technical Meeting of the Satellite Division of the Institute of Navigation (ION GNSS 2005)*, 2005, pp. 2243–2247.
- [4] Servicio NTRIP | información. [En línea]. Disponible: https://www.geoportaligm.gob.ec/portal_geodesia/pages/servicio-ntrip.html
- [5] I. R. Nieto y A. Alfredo, “ANÁLISIS PRELIMINAR DE COSTOS UNITARIOS PARA PRODUCTOS Y SERVICIOS DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA.”
- [6] I. Artajo Navarrete, “Implementación de una base en un sistema de corrección RTK,” 2023, accepted: 2023-07-03T10:13:35Z. [En línea]. Disponible: <https://academica-e.unavarra.es/xmlui/handle/2454/45710>
- [7] Y. Niu, Y. Ye, W. Zhao, y J. Shu, “Dynamic monitoring and data analysis of a long-span arch bridge based on high-rate GNSS-RTK measurement combining CF-CEEMD method,” *Journal of Civil Structural Health Monitoring*, vol. 11, num. 1, pp. 35–48, Feb. 2021. [En línea]. Disponible: <https://link.springer.com/10.1007/s13349-020-00436-x>
- [8] N. N. Teixeira, A. Paulo, y D. C. C. Júnior, “Gestão Urbana: Avaliação do Desempenho da Técnica de Posicionamento GNSS RTK,” *Revista de Gestão e Secretariado*, vol. 14, num. 7, pp. 11 345–11 370, Jul. 2023. [En línea]. Disponible: <https://ojs.revistagesec.org.br/secretariado/article/view/2287>
- [9] A. D. S. Barliza, “Revisión conceptual de sistemas de recomendación y geolocalización aplicados a la seguridad turística,” *Computer and Electronic Sciences: Theory and Applications*, vol. 2, num. 2, pp. 37–43, Dic. 2021. [En línea]. Disponible: <https://revistascientificas.cuc.edu.co/CESTA/article/view/3962>

- [10] A. A. Soares, "GPS, sistema de coordenadas geográficas e estudo experimental da cinemática do movimento retilíneo," *A Física na Escola*, vol. 21, pp. 220 809–220 809, Jun. 2023. [En línea]. Disponible: <https://fisicanaescola.org.br/index.php/revista/article/view/51>
- [11] J. García-Guinea, "Geología: Seminario coordenadas geográficas y proyección utm," 2000.
- [12] A. Furones, "Sistema y marco de referencia terrestre, sistemas de coordenadas," *Universidad Politécnica de Valencia, Valencia-España*, 2011.
- [13] I. A. Fernández-Coppel, "Las coordenadas geográficas," 2010.
- [14] J. Fallas, "Sistema de posicionamiento global," *Escuela de Ciencias Ambientales, Universidad Nacional. Heredia. Costa Rica*, 2002.
- [15] M. E. C. E. LA, "Interoperabilidad gnss usando la red geodésica activa," Ph.D. dissertation, Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica, 2020.
- [16] C. S. Jarrín Aldás, "Implementación de una interfaz gráfica de monitoreo del estado de transmisión de las estaciones GNSS de REGME." Jul. 2022, accepted: 2024-04-26T20:36:17Z Publisher: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. [En línea]. Disponible: <http://dspace.esoch.edu.ec/handle/123456789/20830>
- [17] J. L. Berné Valero, N. Garrido Villén, y R. Capilla Romá, "GNSS. Geodesia espacial y Geomática," in *Colección Manual de referencia*. Editorial Universitat Politècnica de València, May 2023, accepted: 2023-06-08T12:44:45Z Artwork Medium: Físico Interview Medium: Físico. [En línea]. Disponible: <https://riunet.upv.es/handle/10251/193985>
- [18] "APPLICATIONS-Transport." [En línea]. Disponible: <http://en.beidou.gov.cn/SYSTEMS/Officialdocument/>
- [19] E. M. Arias, "Integración de sistema real-time kinematic con unidad de medición inercial dentro del software aerostack," 2019. [En línea]. Disponible: <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:202399764>

- [20] J. Ding, Y. Chen, X. Chen, D. Wu, J. Wang, y L. Wang, “Research on elimination of gross errors from the gnss rtk measurement data based on the wavelet analysis,” in *2023 35th Chinese Control and Decision Conference (CCDC)*, 2023, pp. 3716–3723.
- [21] S. Wang, S. Wang, y X. Sun, “A Multi-Scale Anti-Multipath Algorithm for GNSS-RTK Monitoring Application,” *Sensors (Basel, Switzerland)*, vol. 23, num. 20, p. 8396, Oct. 2023. [En línea]. Disponible: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC10610554/>
- [22] E. Giménez de Ory, “Metodologías robustas aplicadas al control de calidad de los servicios de posicionamiento ofrecidos por la Red Andaluza de Posicionamiento, RAP,” <http://purl.org/dc/dcmitype/Text>, Universidad de Jaén, 2012. [En línea]. Disponible: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=153852>
- [23] “A Multi-Scale Anti-Multipath Algorithm for GNSS-RTK Monitoring Application - PMC.” [En línea]. Disponible: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC10610554/>
- [24] “Evaluación del posicionamiento preciso GNSS-NRTK en los límites fronterizos de redes activas regionales en el SW y SE de la Península Ibérica | Física de la Tierra.” [En línea]. Disponible: <https://revistas.ucm.es/index.php/FITE/article/view/46976>
- [25] E. P. Velasco, M. Á. Muñoz-Bañón, F. A. Candelas, y S. T. Puente, “Implementación y evaluación de un sistema multi-GNSS en un vehículo terrestre no tripulado.” Universidade da Coruña, Servicio de Publicacións, 2021, pp. 588–592, accepted: 2021-08-26T11:03:44Z Journal Abbreviation: Integration and Evaluation of a Multi-GNSS System in an Unmanned Ground Vehicle. [En línea]. Disponible: <https://ruc.udc.es/dspace/handle/2183/28383>
- [26] V. Corchete, “Teoría de errores,” p. 13, 09 2019.
- [27] A. Blandon, G. Jimenez-Cleves, y J. Garzón, *Introducción a la planimetría*, May 2021.

- [28] S. Mahato, G. Shaw, A. Santra, S. Dan, S. Kundu, y A. Bose, “Low Cost GNSS Receiver RTK Performance in Forest Environment,” in *2020 URSI Regional Conference on Radio Science (URSI-RCRS)*. Varanasi, India: IEEE, Feb. 2020, pp. 1–4. [En línea]. Disponible: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9113621/>
- [29] P. Naraiah Rairala, N. Kumar Perumalla, P. Kaitha, y G. Chandra Shekar, “Analysis of position accuracy of NavIC Satellites -Preliminary Results,” in *2020 International Conference for Emerging Technology (INCET)*, Jun. 2020, pp. 1–3. [En línea]. Disponible: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9154106>
- [30] P. Sirish Kumar y V. B. S. Srilatha Indira Dutt, “The global positioning system: Popular accuracy measures,” *Materials Today: Proceedings*, vol. 33, pp. 4797–4801, Ene. 2020. [En línea]. Disponible: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214785320362520>
- [31] A. Santra, S. Mahato, S. Dan, y A. Bose, “Precision of satellite based navigation position solution: A review using NavIC data,” *Journal of Information and Optimization Sciences*, Nov. 2019, publisher: Taylor & Francis. [En línea]. Disponible: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/02522667.2019.1703264>
- [32] P. Kuras, D. Janos, y Ortyl, “Low-cost GNSS RTK receiver in structure monitoring under demanding conditions,” 2022.
- [33] V. Hamza, B. Stopar, y O. Sterle, “Testing the Performance of Multi-Frequency Low-Cost GNSS Receivers and Antennas,” *Sensors*, vol. 21, num. 6, p. 2029, Mar. 2021. [En línea]. Disponible: <https://www.mdpi.com/1424-8220/21/6/2029>
- [34] D. Janos y P. Kuras, “Evaluation of Low-Cost GNSS Receiver under Demanding Conditions in RTK Network Mode,” *Sensors*, vol. 21, num. 16, 2021. [En línea]. Disponible: <https://www.mdpi.com/1424-8220/21/16/5552>
- [35] X. Xue, H. Qin, y H. Lu, “High-precision time synchronization of kinematic navigation system using GNSS RTK differential carrier phase time transfer,” *Measurement*, vol. 176, p. 109132, May 2021. [En línea]. Disponible: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0263224121001597>

- [36] A. Broekman y P. J. Gräbe, “A low-cost, mobile real-time kinematic geolocation service for engineering and research applications,” *HardwareX*, vol. 10, p. e00203, Oct. 2021. [En línea]. Disponible: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2468067221000328>
- [37] “simpleRTK2B Lite.” [En línea]. Disponible: <https://www.ardusimple.com/product/simplertk2blite/>
- [38] “Radio Module Medium Range (MR).” [En línea]. Disponible: <https://www.ardusimple.com/product/radio-module-medium-range/>
- [39] “Budget Survey Tripleband GNSS Antenna (IP66).” [En línea]. Disponible: <https://www.ardusimple.com/product/budget-survey-tripleband-gnss-antenna-ip66/>
- [40] “u-blox F9 high precision GNSS module.”
- [41] “Topcon HiPer V Base & Rover.” [En línea]. Disponible: <https://precisionsurveystore.com/products/Topcon-HiPer-V-Base-%26-Rover.html>
- [42] P. Solutions, “Trimble R8s Base and Rover GNSS Package with Ranger 5 for Land Surveying.” [En línea]. Disponible: <https://positioningsolutions.com/products/trimble-r8s-base-and-rover-gnss-package-with-ranger-5-for-land-surveying-gps-1806-pkg>
- [43] E. Usiña y H. Legña, “Informe técnico de necesidad de compra de equipo topográfico,” *Compras Públicas*, Tech. Rep., 2014, número de páginas: 3. [En línea]. Disponible: https://www.compraspublicas.gob.ec/ProcesoContratacion/compras/PC/bajarArchivo.cpe?Archivo=L2uWU40npay0YzSKiz8rLF9i_I95HTkj7dmpjzDbplk
- [44] “Tinkercad - From mind to design in minutes.” [En línea]. Disponible: <https://www.tinkercad.com/dashboard>
- [45] “3D CAD STEP files.” [En línea]. Disponible: <https://www.ardusimple.com/3d-cad-step-files/>

Anexo

A. Configuración de la base

La configuración de la estación base implica seleccionar los modos de operación adecuados para la aplicación específica. Se explorarán los distintos modos de operación disponibles.

- **Survey-in:** La estación base realiza el cálculo de su posición de forma automática, permitiendo establecer un tiempo mínimo y una precisión mínima antes de determinar su ubicación. Este enfoque resulta bastante sencillo, ya que solo requiere encender la estación base y aguardar unos minutos sin necesidad de intervención adicional. La precisión absoluta que el *rover* alcanzará mediante este método será de aproximadamente 1-2 metros. En caso de reiniciar la estación base, la posición absoluta del *rover* se desplazará alrededor de 1-2 metros.
- **Modo Fijo:** En el proceso, se debe tener conocimiento preciso de la ubicación de la antena de la estación base para registrar manualmente las coordenadas correspondientes. Esta técnica implica la necesidad de conocer previamente las coordenadas, lo cual se logra típicamente al colocar la estación base en puntos de referencia conocidos o mediante la utilización de correcciones NTRIP durante un breve periodo para establecer su posición. La precisión absoluta que se puede lograr con este enfoque para el *rover* será de aproximadamente 1-2 cm. En caso de reiniciar la estación base, la posición absoluta del *rover* se mantendrá exactamente igual con una variación de 1-2 cm.

Ahora se explica cómo configurar la estación base usando ambos métodos.

Automatic Survey-In

1. Conecta la tarjeta *simpleRTK2B Lite* a una PC y ejecuta u-center.
2. En el sub menú *View >Messages View >UBX-CFG-TMODE3*, seleccionar **Mode 1 - Survey-in**.
3. Establecer el Tiempo de Observación Mínimo y la Precisión de Posición Requerida, los valores predeterminados son un buen punto de partida. Tener cuidado

de no establecer una precisión requerida demasiado baja porque es posible que nunca se la alcance. Hacer clic en el botón enviar

4. En el sub menú *View >Messages View >UBX-CFG-MSG* habilitar uno por uno todos los mensajes RTCM que se consideren necesarios para que la estación base envíe al *rover*. Los mensajes RTCM que recomienda el fabricante son: 1005, 1074, 1084, 1094, 1230. Para realizar el enlace entre base y *rover* se coloca en el puerto UART2 en las tarjetas, se selecciona este puerto para enviar los mensajes. Hacer clic en el botón Enviar para cada uno de los mensajes descritos.
5. En *View >Messages View >UBX-CFG-PRT*, seleccionar la interfaz del paso anterior en el campo Objetivo (UART2), para asegurar que los ajustes sean correctos, hacer clic en el botón Enviar.
6. Una vez terminado, en *View >Messages View >UBX-CFG-CFG*, se selecciona la opción de Guardar la configuración actual y hacer clic en el botón Enviar.
7. Siempre se puede monitorear el proceso de levantamiento en *View >Messages View >UBX-NAV-SVIN*, una vez que se cumplan los criterios de tiempo y precisión, tu receptor GNSS cambiará al modo de TIME, lo que significa que todo está bien.

Importante: En el punto 3 se debe tomar en cuenta los tiempos de observación mínimos y precisión requerida, por ejemplo: 1/2 metros, 300/600 segundos. Se recomienda cambiar los valores de forma manual cada vez de acuerdo al entorno geográfico y las condiciones climáticas.

Modo Fijo (*Fixed Mode*)

1. Se conecta la tarjeta *simpleRTK2B Lite* a una PC y ejecuta u-center.
2. En el sub menú *View >Messages View >UBX-CFG-TMODE3*, se selecciona *Mode 2 - Fixed Mode*.
3. Se selecciona a casilla de verificación Usar posición Lat / Lon / Alt.

4. Se escriben las coordenadas en sus respectivos campos, en Precisión, puedes establecer el valor como 0.01 [m]. Se hace clic en el botón Enviar.
5. En *View >Messages View >UBX-CFG-MSG* se habilita uno por uno todos los mensajes RTCM que Consideramos necesarios para que la estación base envíe al *rover*. Los mensajes recomendados por el fabricante son RTCM: 1005, 1074, 1084, 1094, 1230. Como la tarjeta para realizar el enlace entre bases y *rover* se coloca en el puerto UART2, se selecciona este puerto para enviar los mensajes. Hacer clic en el botón Enviar para cada uno de los mensaje que se activaron.
6. En *View >Messages View >UBX-CFG-PRT*, se seleccionó la interfaz del paso anterior en el campo Objetivo (UART2) y se asegura de que los ajustes sean correctos, hacer clic en el botón Enviar.
7. Una vez terminado, en *View >Messages View >UBX-CFG-CFG*, se selecciona la opción de Guardar la configuración actual y se hace clic en el botón Enviar.
8. El receptor GNSS cambiará al modo de *TIME*, lo que significa que todo está bien.

Tanto la base como el *rover* pueden conectarse a un servicio de corrección de errores a través de internet usando el protocolo NTRIP. Se puede levantar un servidor de NTRIP en una WLAN entre la base y *rover*. También se puede conectar con servidores NTRIP dedicados ya sea de manera gratuita mediante registro de usuario o servidores comerciales.

B. Configuración del *rover*

La configuración del *rover* RTK involucra varios pasos, incluyendo la inicialización del receptor, la configuración de los parámetros de RTK, y la conexión con la estación base. Se detallarán cada uno de estos pasos para asegurar una configuración adecuada del *rover*.

La configuración del *rover* es mas sencilla que la base, por lo tanto involucra menos pasos que los descrito en la base.

1. Se conecta la tarjeta *simpleRTK2B Lite* a una PC y ejecuta u-center.
2. En *View >Messages View >UBX-CFG-PRT*, se seleccionó la interfaz del puerto UART2 y se ajusta el parámetro de RTCM3 en las casillas de los protocolos de entrada y salida. Se verifica que el *baudrate* sea el mismo que el de la base. Finalmente hacer clic en el botón enviar.
3. En *View >Messages View >UBX-CFG-CFG*, seleccionar la opción de guardar la configuración actual. Hacer clic en el botón Enviar.

C. Modelos 3D

Una vez configurada las tarjetas *simpleRTK2B Lite* como base y como *rover*, se inicio un proceso de diseño y construcción de la estructura necesaria que faciliten la ejecución de las mediciones.

Diseño de *case* para los equipos

Para el diseño del *Case* se utilizó *Tinkercad* [44], esta es una herramienta digital gratuita, que está enfocada en la creación de animación virtual. Este software es compatible con múltiples formatos de diseño en 3D, lo que permite exportar modelos o diseños creados con otras herramientas similares.

Ardusimple, como parte de la documentación de sus equipos proporciona los modelos *CAD STEP 3D* de la mayoría de sus productos de forma gratuita. Por lo tanto, desde [45] se descargaron e importaron a *Tinkercad* los diseños de los circuitos impresos de la tarjeta y módulos que se usaron junto a esta. También, se importo el diseño de las antenas GNSS y *XBee* que se usaron en conjunto para desarrollar este trabajo. El contenedor que se creó tiene la forma de un paralelepípedo rectangular, en el sobresalen dos aberturas, una rectangular y otra circular en las cara opuestas del contenedor. Estas son para el conector USB-C y SMA. El case fue diseñado como 2 piezas separadas que se pueden autoacoplar, con el objetivo de que una vez que estas se junten formen una sola estructura, que mantengan seguros las tarjetas circuitales.

En total se crearon 4 diseños, los cuales se pueden observar en las capturas de las figuras 1, 2 y 3. En la captura de la figura 4 se muestra el diseño final creado. El primer diseño figura 1, no pudo encajar de manera adecuada con la tarjeta, debido al conector SMA. El segundo diseño, figura 2, tuvo un mejor desempeño; sin embargo, presentaba problemas al momento de conectarlo con el cable USB-C. El diseño final es una variación del segundo diseño, al cual se le agregó un par de ranuras que permitan fijar la tarjeta de mejor manera.

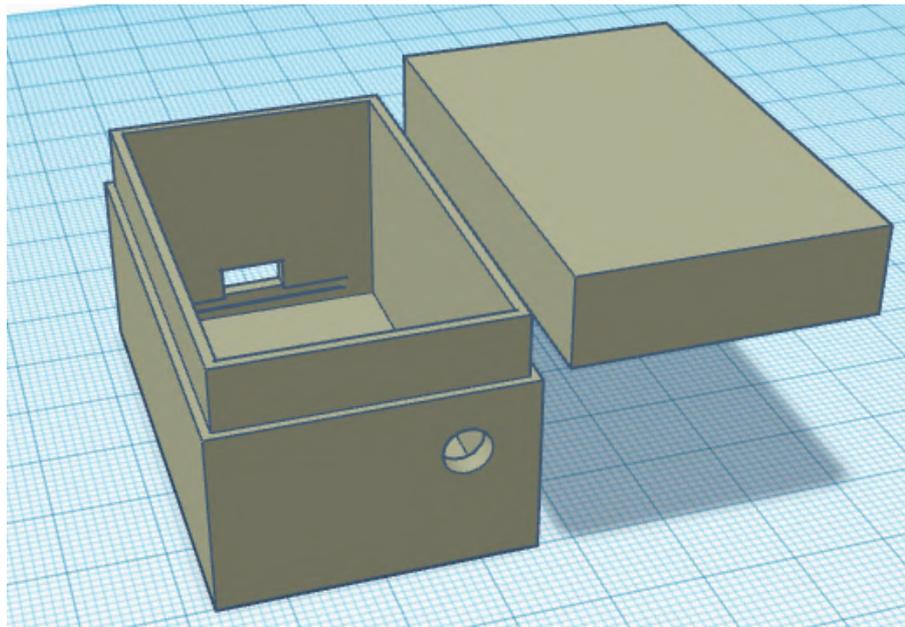


Figura 1: Primer diseño creado.

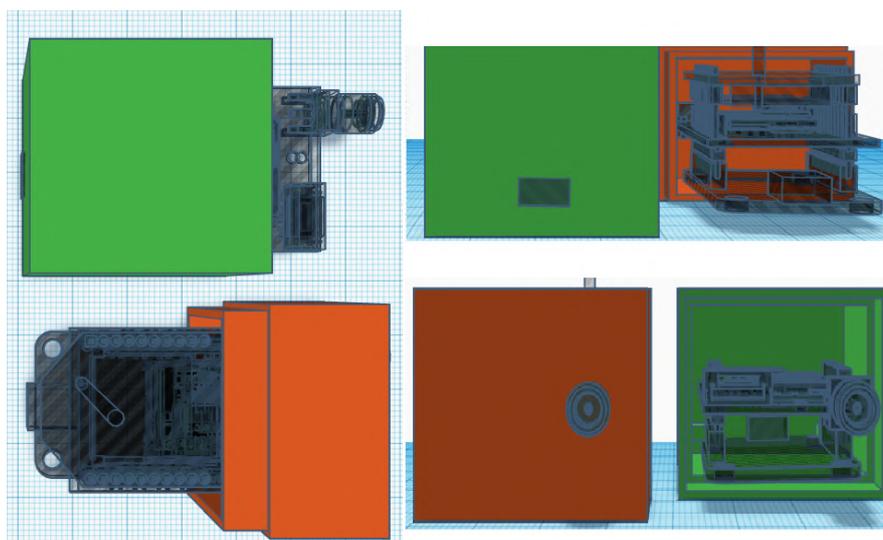


Figura 2: Segundo diseño creado, cortes superior, frontal y posterior.

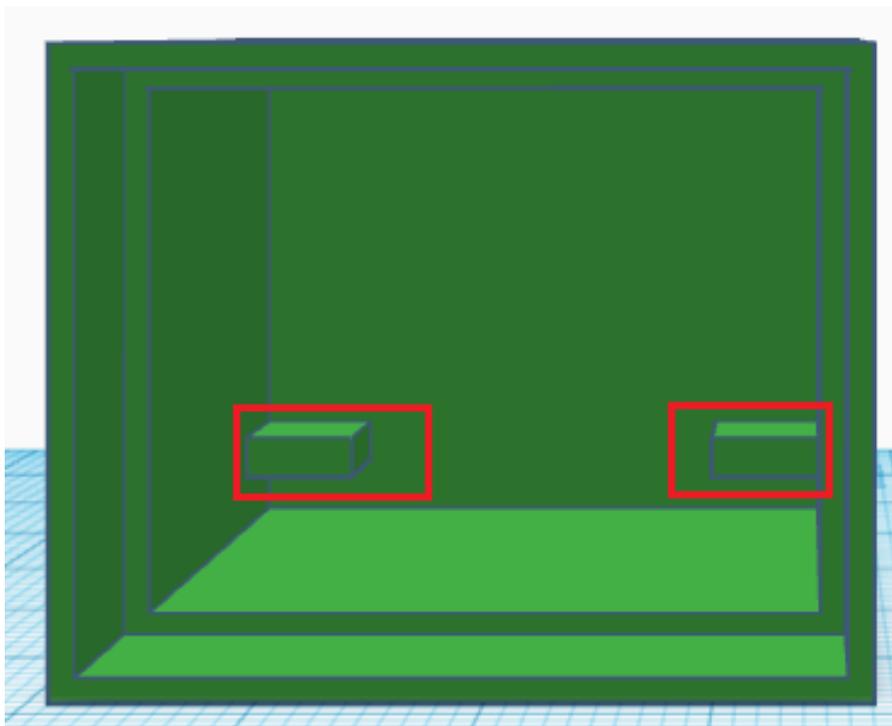


Figura 3: Tercer diseño creado a partir de 2, con las modificaciones realizadas.

El último diseño creado tiene 5 nuevos agujeros, los cuales son los encargados de fijar la tarjeta al contenedor y también fijar el contenedor a la estructura de los trípodes. La tapa de los equipos también incluye un diseño en relieve con la etiqueta "Base" y "Rover" según corresponda el equipo. Estas etiquetas permitirán identificar fácilmente que equipo se está utilizando, para evitar confusiones al momento de usarlos para realizar mediciones.

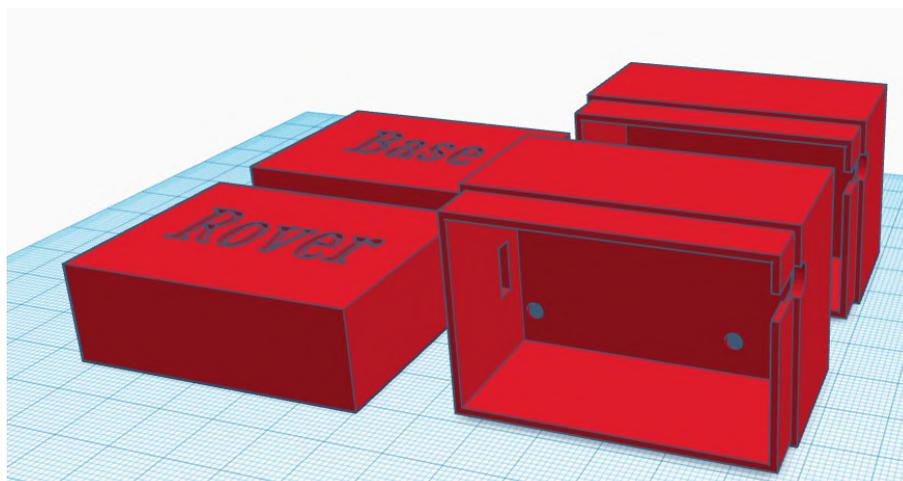


Figura 4: Cuarto diseño creado con ranuras y agujeros creados para fijar los equipos.

En la figura 5 se muestra la tarjeta *simpleRTK2B Lite* dentro del contenedor impreso en 3D del diseño de la figura 4. Allí se puede observar como la tarjeta encaja de manera adecuada.



Figura 5: Tarjeta dentro del contenedor.

Soporte 3D para antena

Con el diseño del contenedor para la base y *rover*, también se necesitaba una estructura en la cual se pueda colocar las antenas y los equipos. Para ello se adquirieron dos trípodes de 1.60 metros cada uno. Para acoplar la antena y su reflector metálico, se diseñó e imprimió en 3D un soporte rectangular, el cual consta de dos agujeros para fijar los tornillos de soporte de la antena a los extremos y uno agujero central que presenta un rosca para poder fijarlo al trípode. En la captura de la figura 6 se muestra el diseño del soporte implementado, junto con el diseño de la antena como referencia para orificios de soporte para la antena.

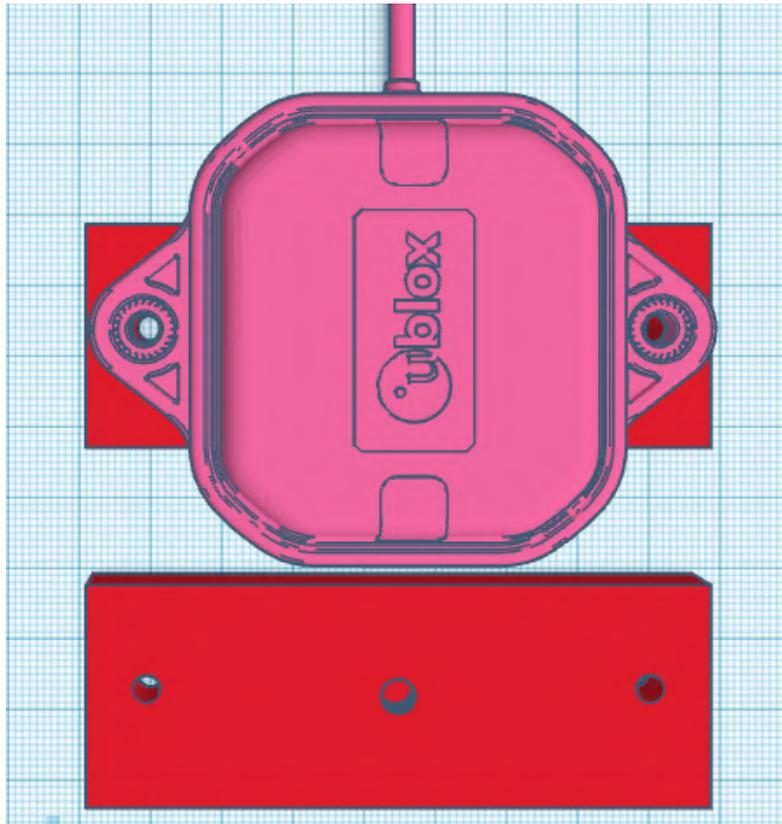


Figura 6: Corte superior e inferior del soporte diseñado

En la figura 7, se muestra como se acopló la antena y su reflector con el soporte rectangular del diseño de la figura 6.

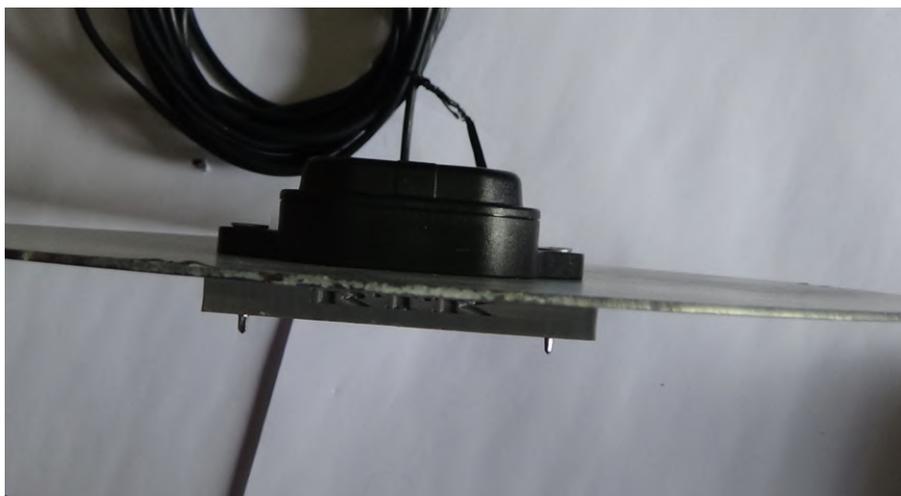


Figura 7: Antena y reflector acoplados con el soporte impreso.

D. Presupuesto del prototipo

En la tabla 1 se muestra la descripción de materiales, equipos y soportes usados para la implementación del prototipo que se usaron. También se incluye el precio de cada uno de ellos y el costo total del prototipo implementado.

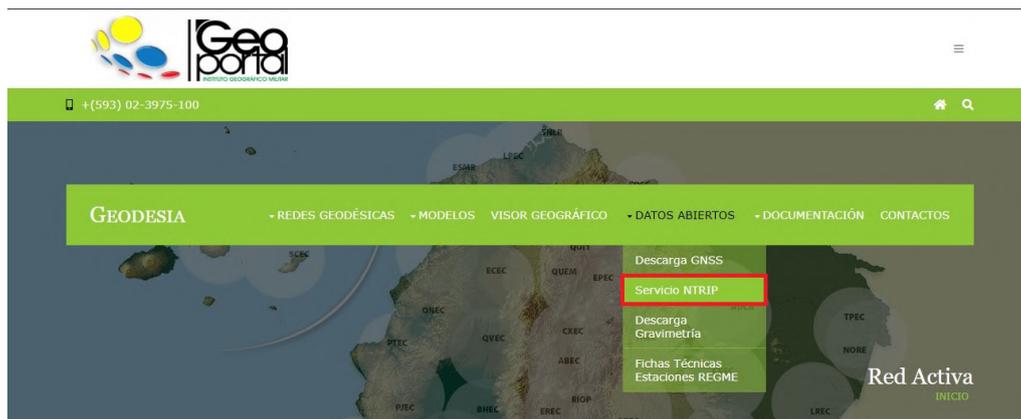
Tabla 1: Presupuesto empleado en el prototipo

Materiales	Descripción	Cantidad	Valor (USD)
<i>simpleRTK2B Lite</i>	Base y Rover	2	\$457,70
<i>xBee MR 2,4GHz</i>	Modulo de radio MR	2	\$128,80
<i>ANN-MB-00 (IP67)</i>	Antena Multibanda	2	\$114,08
Discos metálicos	Plano de tierra	2	\$5,00
Tripode	1,6 m	2	\$38,00
Tornillo	Autoperforante	12	\$1,20
Impresion 3D	Filamento PETG	5	\$50,00
USB tipo C	1,2m	2	\$8,00
Total			\$802,78

E. Registro servidor NTRIP del Instituto Geográfico Militar del Ecuador

En este anexo se muestra una guía para registrar y hacer uso del servicio NTRIP del Instituto Geográfico Militar. El IGM ofrece un servicio gratuito de correcciones NTRIP a todo el público que cumpla con los protocolos de registro y acceso. A continuación se detallan los pasos a seguir:

1. En uno de los navegadores compatibles con la página del geoportal de IGM (Chrome, Edge, Firefox y Safari), acceder a la siguiente dirección https://www.geoportalmgm.gob.ec/geodesia/index.php/red_activa/, en donde se mostrará la página que se puede observar en la captura de la figura 8.



RED GNSS DE MONITOREO CONTINUO DEL ECUADOR (REGME)

Figura 8: Pagina web del geoportal IGM.

2. En la pestaña datos abiertos se despliega un sub-menú, selecciona la opción **Servicio NTRIP** y hacer clic en ella. En la captura de la figura 8 se muestra el sub-menú mencionado.
3. Al hacer clic en la opción **Servicio NTRIP**, inmediatamente se abre una nueva pestaña como se muestra en la figura 9, hacer clic en la opción **Acceso al servicio**.

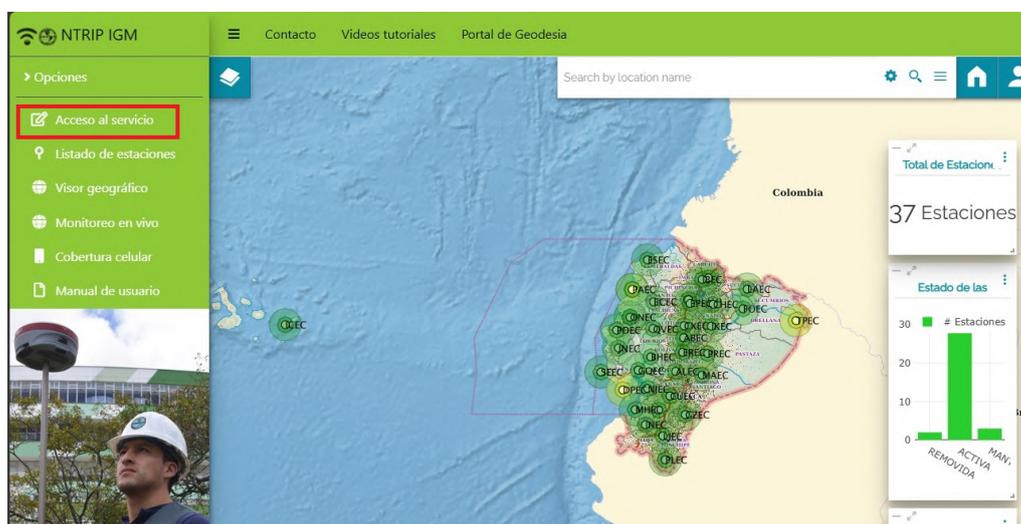


Figura 9: Acceso al servicio NTRIP.

4. En la ventana emergente de la captura de la figura 10 que muestra en donde se aclara que el servicio NTRIP es gratuito y que se debe realizar un registro, hacer clic en aceptar.



Figura 10: Ventana emergente.

5. Luego de dar clic en aceptar se muestra una pagina de registro con requerimientos que se muestran en las figuras 11 y 12.

Registro de usuarios para el acceso al servicio NTRIP



Nombre

Correo electrónico

Confirmar correo electrónico

País

Tipo de institución

Institución

Pregunta 1 ¿Tiene un receptor apto para recibir correcciones diferenciales en formato RTCM?

Figura 11: Datos requeridos para el registro(parte 1).

Pregunta 2 ¿De cuántas frecuencias es su receptor?

Seleccione la respuesta

Pregunta 3 ¿Con qué fin utilizará el servicio?

Seleccione la respuesta

Licencia de uso

LICENCIA Y POLÍTICAS DE USO DEL SERVICIO DE CORRECCIONES DIFERENCIALES MEDIANTE EL PROTOCOLO NTRIP

Apreciado Usuario:

El IGM solicita al usuario de esta página, que lea detallada y detenidamente las condiciones de uso (denominada en adelante como: Condiciones de Uso y la política de privacidad de la descarga de información), antes de iniciar su utilización. Si el usuario no está de acuerdo con estas Condiciones de Uso o con cualquier disposición de la Política de Privacidad, le sugerimos que se abstenga de acceder o descargar la información.

Las presentes condiciones generales vinculan a cualquier persona natural o jurídica que haga uso, rehúso y/o transformación de los datos y la información descargada en este sitio web.

El Instituto Geográfico Militar, como proveedor del servicio Ntrip, no se hace responsable de la continuidad, fallos o precisión y exactitud del servicio ni de los datos

I'm not a robot

reCAPTCHA
Privacy - Terms

Registro

Figura 12: Datos requeridos para el registro(parte 2).

6. Una vez llenados los datos requeridos, aceptar los términos, condiciones de uso y verificar el *reCAPTCHA* se da clic en el botón registro (ver figura 13).

Pregunta 3 ¿Con qué fin utilizará el servicio?

Académico

Licencia de uso

Este servicio Ntrip se considera una fuente generadora de los módulos de GNSS de la estación de referencia.

- Caster Ntrip: Es un servidor que gestiona principalmente la difusión de las correcciones GNSS a los usuarios finales
- Usuario Ntrip: Son los usuarios que pueden recibir los datos GNSS del caster Ntrip.
- RCTM: Comisión Técnica de Radio para Servicios Marítimos

ACERCA DE ESTA LICENCIA

Esta licencia está destinada a ser utilizada por las personas que descarguen información de los datos GNSS de la red de monitoreo continuo del Ecuador.

He leído y acepto los términos y condiciones de uso

 Descargar Licencia

I'm not a robot  reCAPTCHA
Privacy - Terms

Registro

Figura 13: Aceptar términos y condiciones.

7. Cuando se da clic en botón registro la página cambiará a la que se muestra en la captura de la figura 14.



Figura 14: Registro exitoso.

8. Al correo utilizado para el registro del servicio NTRIP llegarán las credenciales de usuario y contraseña como se muestra en la captura de la figura 15.



Figura 15: Credenciales de acceso al servicio NTRIP del Instituto Geográfico Militar vía correo electrónico.

F. Verificación y configuración de módulos de comunicación xBee MR

De manera previa, el lector deberá tener instalado el software de configuración XCTU, disponible en línea en <https://es.digi.com>.

1. Conectar vía USB-C los módulos XBee al computador. Realizar la búsqueda de los módulos con la opción *Add devices*, como se muestra en la figura 16 para visualizar los módulos XBee disponibles.

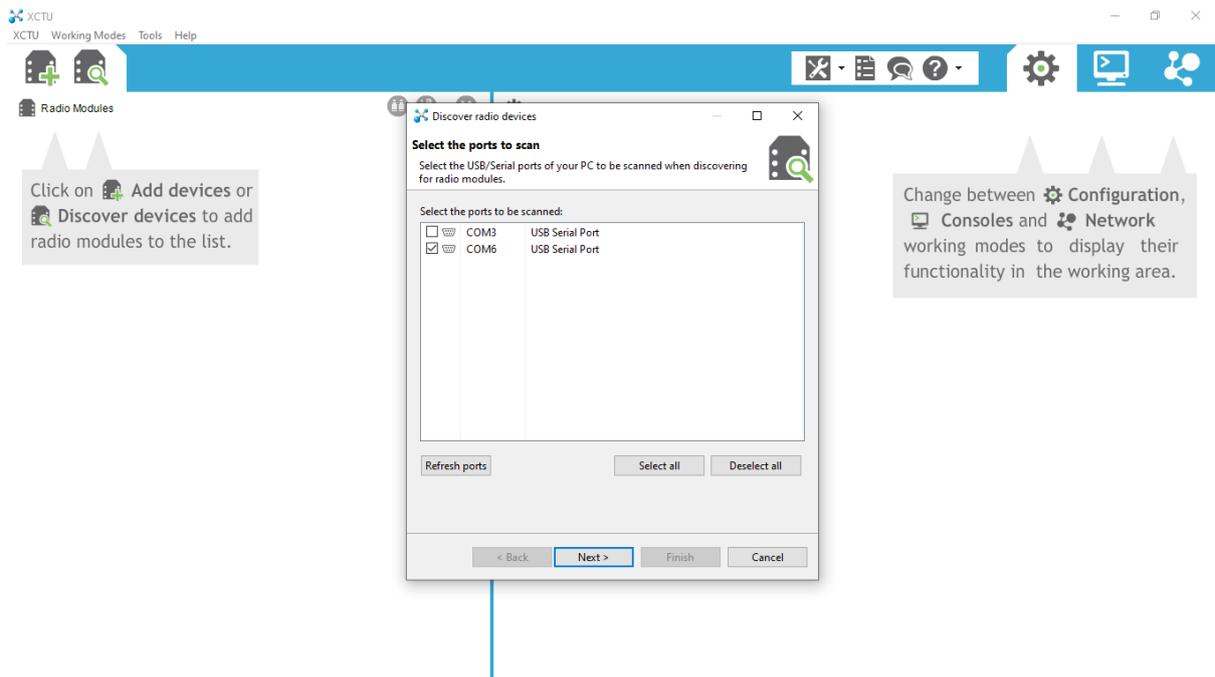


Figura 16: Búsqueda de módulos XBee disponibles.

2. Dar clic en *Next*, luego en *Finish* una vez configurados los parámetros del puerto COM, como se observa en la figura 17.

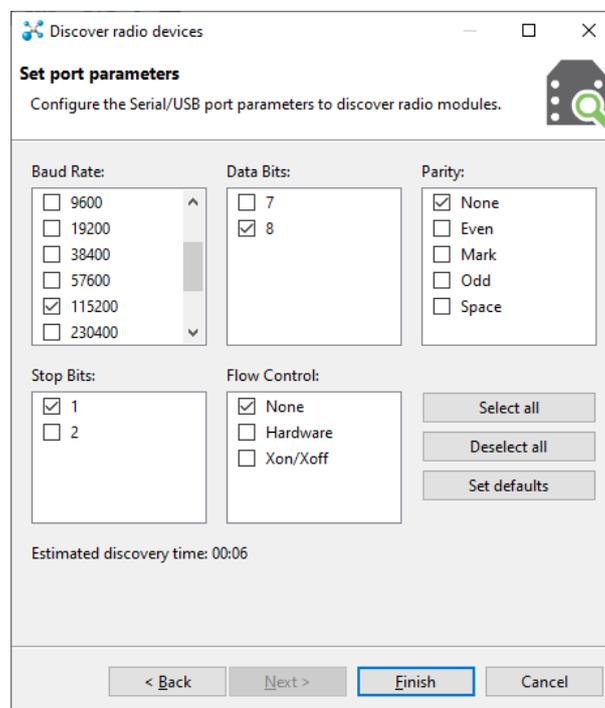


Figura 17: Configuración de parámetros del puerto COM.

3. Seleccionar los dispositivos de interés y dar clic en *Add selected devices* (ver figura 18). Se recomienda realizar este proceso en ventanas diferentes para la base y el *rover*.

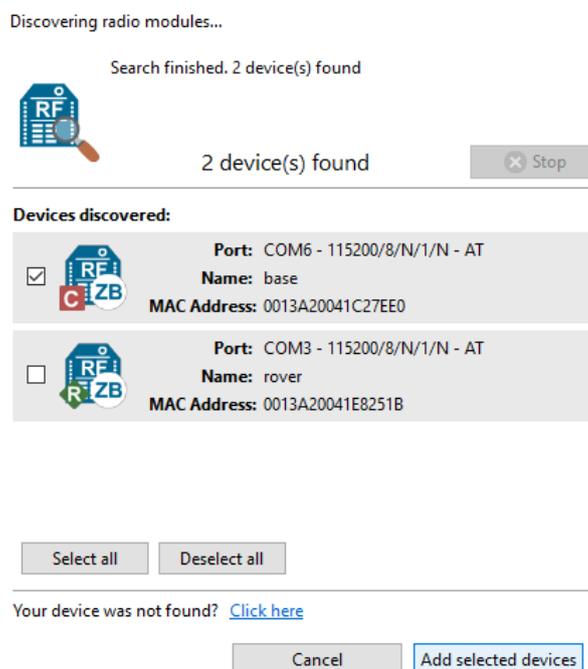


Figura 18: Selección de dispositivos XBee.

4. Configurar los modos de operación de los módulos XBee:
 - **Modo Coordinador:** Su función principal es iniciar y gestionar la red Zig-Bee. Es único en la red, asigna direcciones, gestiona la seguridad y actúa como punto central de comunicación.
 - **Modo Router:** Su función principal es reenviar datos y extender el alcance de la red. Pueden existir varios routers en una red, facilitan la topología en malla, aceptan nuevos dispositivos y no gestionan la red principal.
5. La configuración en la sección *Networking* se indica en la figura 19:

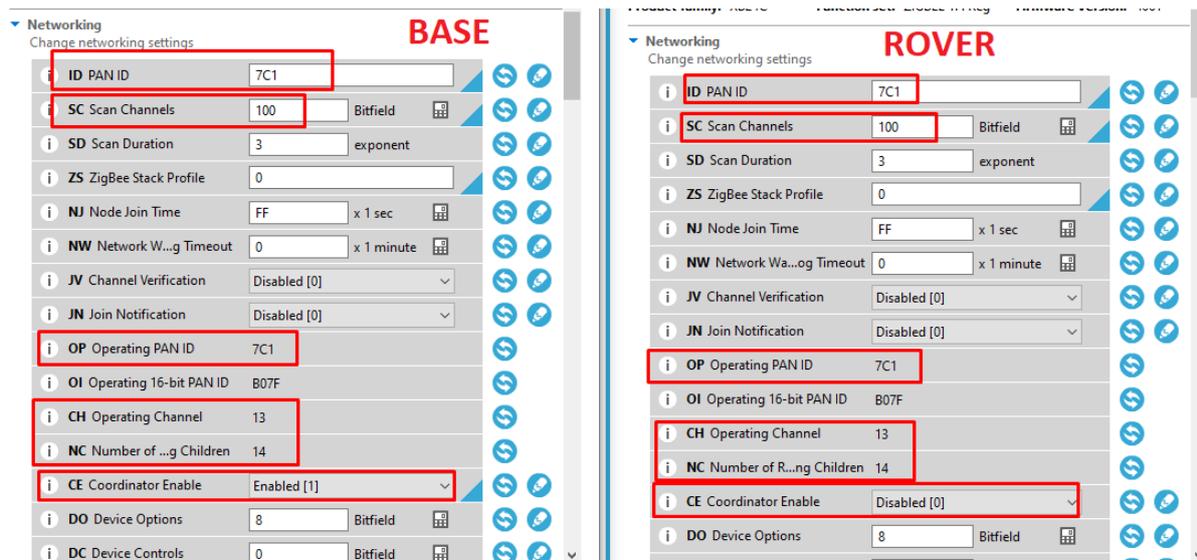


Figura 19: Configuración en la sección *Networking*.

- **ID PAN ID:** Identificador de red de área personal (PAN), que debe ser único para cada red, base y *rover* deben encontrarse en la misma red, en este caso 7C1.
 - **SC Scan Channels:** Canales que el dispositivo escaneará para encontrar la red. En formato de campo de bits, indica qué canales de radiofrecuencia serán examinados, base y *rover* configurados en un canal fijo, en este caso 100.
 - **CE Coordinator Enable:** Indica si el dispositivo está habilitado como Coordinador. Está deshabilitado ([0]) para el *rover* y habilitado ([1]) para la base.
6. En la sección *Addressing*, asignar las direcciones al *rover* con el cual debe comunicarse. Nótese que *Address High* y *Address Low* son las direcciones únicas de cada módulo XBee y serán asignadas como se observa en la figura 20.

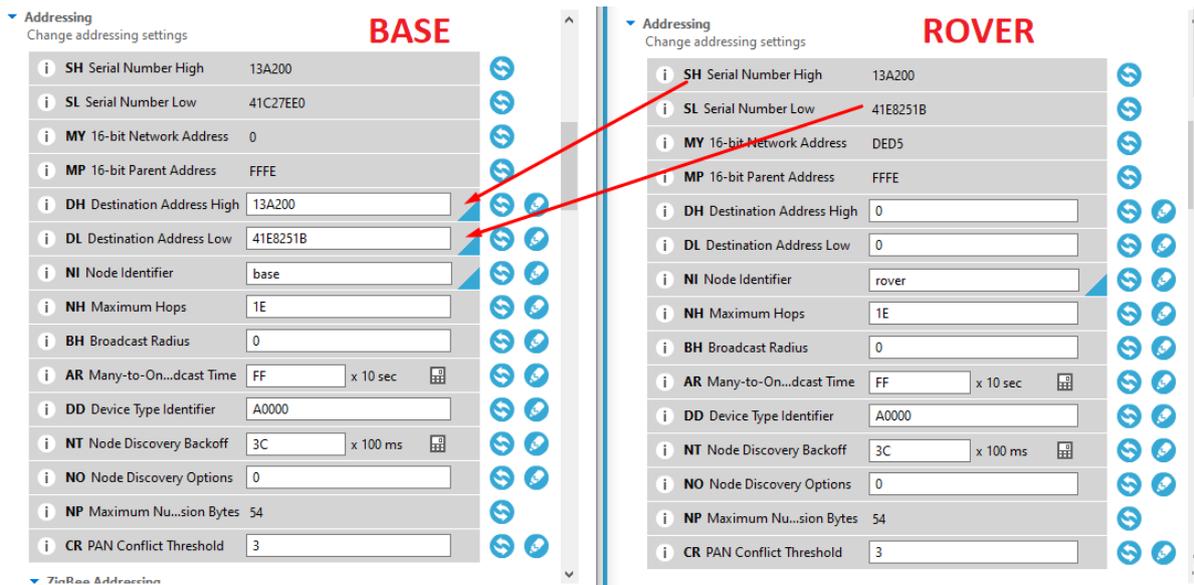


Figura 20: Configuración en la sección *Addressing*.

7. En la configuración *Serial Interfacing*, seleccionar el *baudrate* de 115000. Dar clic en el icono de *Write* para guardar la configuración.
8. Abrir una consola tanto para base y rover y dar clic en el icono *Open*, véase la figura 21 de la prueba de comunicación exitosa.

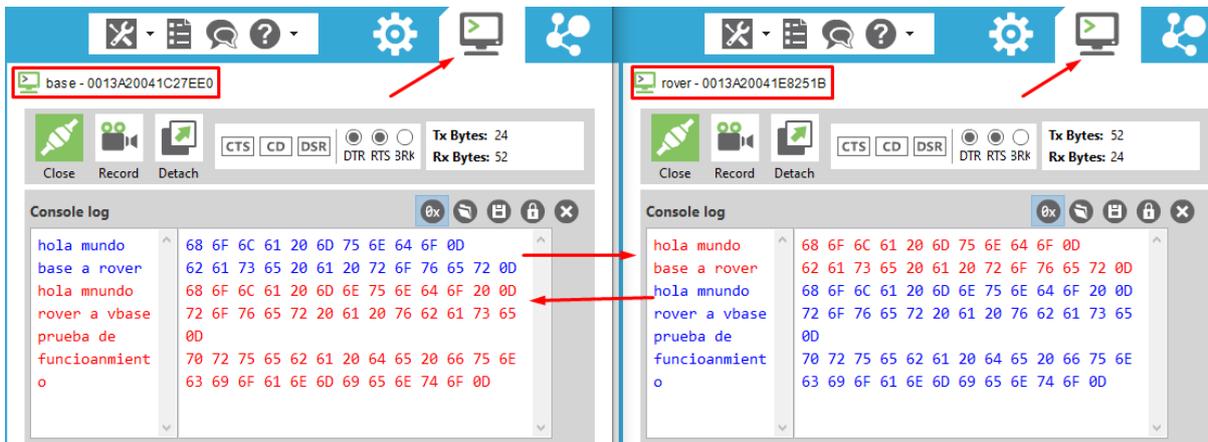


Figura 21: Prueba de comunicación entre base y rover

G. Permiso uso del espacio de MICRO-RED

Universidad de Cuenca

Autorización de Uso del Espacio en el Edificio de MICRO-RED

Fecha: 25/01/2024

Yo, Stalyn Andres Flores Lalvay, identificado con cédula de identidad número 0107049009, estudiante de Ingeniería en Telecomunicaciones de la Universidad de Cuenca, solicito formalmente la autorización para utilizar el espacio en el edificio de MICRO-RED con fines académicos relacionados con mi programa de estudios.

Descripción del Uso del Espacio:

El motivo de esta solicitud es llevar a cabo actividades académicas específicas relacionadas con el desarrollo de proyectos de telecomunicaciones, en concordancia con el plan de estudios de la carrera.

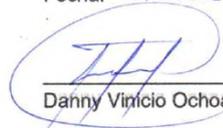
Compromisos:

Me comprometo a utilizar el espacio de manera responsable y conforme a las normativas establecidas por la Universidad. Asumo la responsabilidad de cualquier daño o inconveniente que pueda surgir durante mi uso del espacio.

Agradezco de antemano la consideración de mi solicitud y quedo a disposición para cualquier coordinación adicional que sea necesaria.



Stalyn Andrés Flores Lalvay
Fecha: 25/01/2024

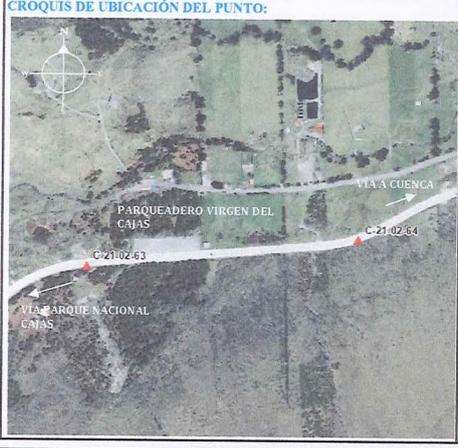
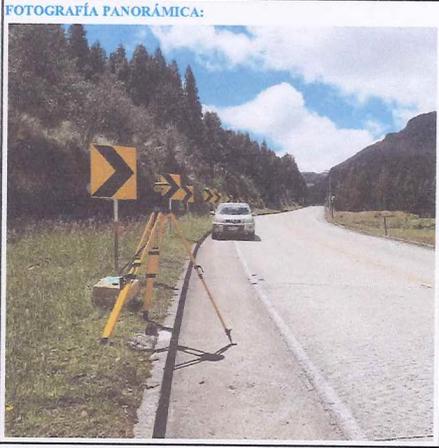
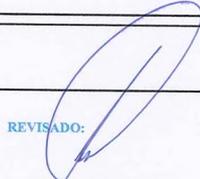


Danny Vinicio Ochoa Correa

Fecha: 25 DE ENERO DE 2024

H. Puntos de control geodésico

Puntos de control geodésico El Cajas

MONOGRAFÍA DE PUNTO DE CONTROL GEODÉSICO					
					
INFORMACIÓN DEL PUNTO:					
Proyecto:	Nominativo del punto:	Provincia:	Cantón:	Parroquia:	Sector:
Red Geodésica Cuenca	C-21-02-64	Azuay	Cuenca	Sayausí	Parque Nacional Cajas
CONTROL HORIZONTAL					
Coordenadas Geográficas:		Coordenadas UTM:		Datum Horizontal:	ITRF 2008
Latitud (° ' ")	02°46'57.2967" S	Este (m):	701524.716	Época de referencia:	2016.44
Longitud (° ' ")	79°11'13.6603" O	Norte (m):	9692283.798	Fecha de determinación:	03/12/2021
Altura elipsoidal (m):	3634.783	Zona:	17 S	Equipo utilizado:	TOPCON HIPER V
CONTROL VERTICAL					
Elevación (m):	3611.8695	Datum vertical:	Nivel medio del Mar	Línea de nivelación:	Radial
Método de nivelación:	Geométrica	Mareógrafo:	La Libertad	Fecha de determinación:	09/12/2021
CROQUIS DE UBICACIÓN DEL PUNTO:			FOTOGRAFÍA PANORÁMICA:		
					
DESCRIPCIÓN: El punto "C-21-02-64" se encuentra localizado en el kilómetro 24 , sobre bordillo Sur, 220 m. al Este de esquina Sur-Este del parqueadero del Santuario de la Virgen del Cajas.					
ACCESIBILIDAD: Se toma la vía Cuenca-Molleturo (Km 24) hasta llegar al parqueadero del Santuario de la Virgen del Cajas.					
MATERIALIZACIÓN DEL PUNTO: Placa de aluminio de 10 cm de diámetro, empotrada en bordillo, con la siguiente inscripción: GAD MUNICIPAL, CUENCA, C-21-02-64, PROHIBIDO DESTRUIR.					
OBSERVACIONES: La marca de referencia de este punto es el vértice C-21-02-63.					
ELABORADO:			REVISADO:		
 Ing. César A. Leiva G., MSc. Leiva & Leiva Ingeniería Cía. Ltda.			 Ing. Diego X. Sarmiento Administrador de contrato - GADM Cuenca		

MONOGRAFÍA DE PUNTO DE CONTROL GEODÉSICO



INFORMACIÓN DEL PUNTO:

Proyecto:	Nominativo del punto:	Provincia:	Cantón:	Parroquia:	Sector:
Red Geodésica Cuenca	C-21-02-63	Azuay	Cuenca	Sayausi	Parque Nacional Cajas

CONTROL HORIZONTAL

Coordenadas Geográficas:		Coordenadas UTM:		Datum Horizontal:	ITRF 2008
Latitud (° ' ") :	02°46'58.5789" S	Este (m):	701160.123	Época de referencia:	2016.44
Longitud (° ' ") :	79°11'25.4617" O	Norte (m):	9692244.969	Fecha de determinación:	03/12/2021
Altura elipsoidal (m):	3655.770	Zona:	17 S	Equipo utilizado:	TOPCON HIPER V

CONTROL VERTICAL

Elevación (m):	3632.8688	Datum vertical:	Nivel medio del Mar	Línea de nivelación:	Radial
Método de nivelación:	Geométrica	Mareógrafo:	La Libertad	Fecha de determinación:	09/12/2021

CROQUIS DE UBICACIÓN DEL PUNTO:



FOTOGRAFÍA PANORÁMICA:



DESCRIPCIÓN: El punto "C-21-02-63" se encuentra localizado en el kilómetro 24 de la vía Cuenca Molleturo, sobre bordillo Sur, 60 m al Sur-Oeste de esquina Sur-Oeste de parqueadero del Santuario de la Virgen del Cajas.

ACCESIBILIDAD: Se toma la vía Cuenca-Molleturo (Km 24) hasta llegar al parqueadero del Santuario de la Virgen del Cajas.

MATERIALIZACIÓN DEL PUNTO: Placa de aluminio de 10 cm de diámetro, empotrada en bordillo, con la siguiente inscripción: GAD MUNICIPAL, CUENCA, C-21-02-63, PROHIBIDO DESTRUIR.

OBSERVACIONES: La marca de referencia de este punto es el vértice C-21-02-64.

ELABORADO:



Ing. César A. Leiva G., MSc.

REVISADO:



Ing. Diego X. Sarmiento
Administrador de contrato - GADM Cuenca

Puntos de control geodésico Parque Calderón

MONOGRAFÍA DE PUNTO DE CONTROL GEODÉSICO


INFORMACIÓN DEL PUNTO:

Proyecto:	Nominativo del punto:	Provincia:	Cantón:	Parroquia:	Sector:
Red Geodésica Cuenca	C-21-02-71	Azuay	Cuenca	El Sagrario	Parque Calderón

CONTROL HORIZONTAL:

Coordenadas Geográficas:		Coordenadas UTM:		Datum Horizontal:	ITRF 2008
Latitud (° ' ")	02°53'51.9224" S	Este (m):	721778,466	Época de referencia:	2016.44
Longitud (° ' ")	79°00'17.2882" O	Norte (m):	9679512.857	Fecha de determinación:	10/12/2021
Altura elipsoidal (m):	2564.578	Zona:	17 S	Equipo utilizado:	TRIMBLE R8s

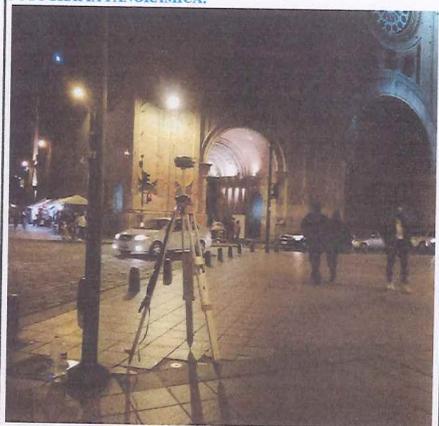
CONTROL VERTICAL:

Elevación (m):	2542.8247	Datum vertical:	Nivel medio del Mar	Línea de nivelación:	Radial
Método de nivelación:	Geométrica	Mareógrafo:	La Libertad	Fecha de determinación:	11/12/2021

CROQUIS DE UBICACIÓN DEL PUNTO:



FOTOGRAFÍA PANORÁMICA:



DESCRIPCIÓN: El punto "C-21-02-71" se encuentra localizado en esquina Sur-Oeste del Parque Calderón, 30 m al Sur-Este del ingreso a la Catedral de la Inmaculada Concepción, 35 m al Nor-Oeste del GAD Municipal de Cuenca, en la calle Mariscal Sucre.

ACCESIBILIDAD: Desde el Parque Calderón a través de la calle Sucre

MATERIALIZACIÓN DEL PUNTO: Placa de aluminio de 10 cm de diámetro, empotrada en base de concreto, con la siguiente inscripción: GAD MUNICIPAL, CUENCA, C-21-02-71, PROHIBIDO DESTRUIR.

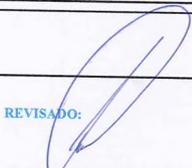
OBSERVACIONES: La marca de referencia de este punto es el vértice C-07-02-72.

ELABORADO:



Ing. César A. Leiva G., MSc.
Leiva & Leiva Ingeniería Cía. Ltda.

REVISADO:



Ing. Diego X. Sarmiento
Administrador de contrato - GADM Cuenca

MONOGRAFÍA DE PUNTO DE CONTROL GEODÉSICO


INFORMACIÓN DEL PUNTO:

Proyecto:	Nominativo del punto:	Provincia:	Cantón:	Parroquia:	Sector:
Red Geodésica Cuenca	C-07-02-72	Azuay	Cuenca	El Sagrario	Parque Calderón

CONTROL HORIZONTAL

Coordenadas Geográficas:		Coordenadas UTM:		Datum Horizontal:	ITRF 2008
Latitud (° ' ")	02°53'52.7339" S	Este (m):	721860.326	Época de referencia:	2016.44
Longitud (° ' ")	79°00'14.6366" O	Norte (m):	9679487.784	Fecha de determinación:	10/12/2021
Altura elipsoidal (m):	2563.196	Zona:	17 S	Equipo utilizado:	TRIMBLE R8s

CONTROL VERTICAL

Elevación (m):	2541.4186	Datum vertical:	Nivel medio del Mar	Línea de nivelación:	Radial
Método de nivelación:	Geométrica	Mareógrafo:	La Libertad	Fecha de determinación:	11/12/2021

CROQUIS DE UBICACIÓN DEL PUNTO:



FOTOGRAFÍA PANORÁMICA:



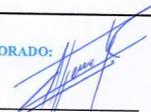
DESCRIPCIÓN: El punto "C-21-02-72" se encuentra localizado 20 m al Sur-Este de la esquina Sur-Este del Parque Calderón, 20 m al Sur-Oeste del acceso a la Iglesia del Sagrario (Antigua Catedral), en la calle Mariscal Sucre.

ACCESIBILIDAD: Desde el Parque Calderón a través de la calle Sucre.

MATERIALIZACIÓN DEL PUNTO: Placa de aluminio de 6 cm de diámetro con cápsula magnética, empotrada en cerámica decorativa, con la siguiente inscripción: I. MUNICIPALIDAD DE CUENCA, ETAPA, C-07-02-72, PROHIBIDO DESTRUIR.

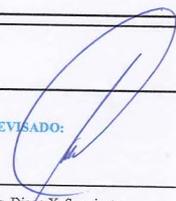
OBSERVACIONES: La marca de referencia de este punto es el vértice C-21-02-71.

ELABORADO:



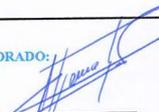
Ing. César A. Leiva G., MSc.
Leiva & Leiva Ingeniería Cía. Ltda.

REVISADO:



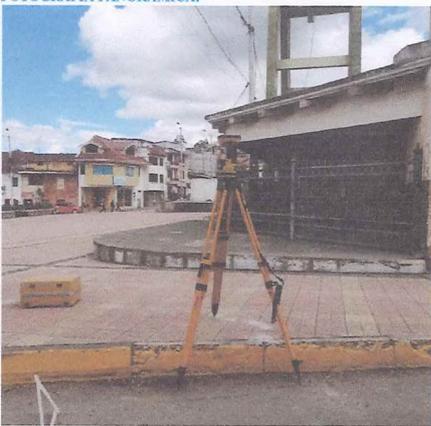
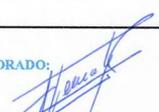
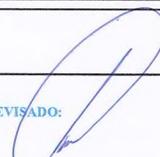
Ing. Diego X. Sarmiento
Administrador de contrato - GADM Cuenca

Puntos de control geodésico El Valle

MONOGRAFÍA DE PUNTO DE CONTROL GEODÉSICO					
					
INFORMACIÓN DEL PUNTO:					
Proyecto:	Nominativo del punto:	Provincia:	Cantón:	Parroquia:	Sector:
Red Geodésica Cuenca	C-21-02-27	Azuay	Cuenca	Sucre	Av. Solano
CONTROL HORIZONTAL					
Coordenadas Geográficas:		Coordenadas UTM:		Datum Horizontal:	ITRF 2008
Latitud (° ' ")	02°54'07.9927" S	Este (m):	721616.970	Época de referencia:	2016.44
Longitud (° ' ")	79°00'22.4883" O	Norte (m):	9679019.427	Fecha de determinación:	26/11/2021
Altura elipsoidal (m):	2545.818	Zona:	17 S	Equipo utilizado:	TOPCON HIPER V
CONTROL VERTICAL					
Elevación (m):	2524.1108	Datum vertical:	Nivel medio del Mar	Línea de nivelación:	Radial
Método de nivelación:	Geométrica	Mareógrafo:	La Libertad	Fecha de determinación:	04/12/2021
CROQUIS DE UBICACIÓN DEL PUNTO:			FOTOGRAFÍA PANORÁMICA:		
					
DESCRIPCIÓN: El punto "C-21-02-27" se encuentra localizado en extremo Nor-Oeste de parterre de la Av. Fray Vicente Solano y Av. 12 de Abril, 40 m al Sur del puente del Centenario.					
ACCESIBILIDAD: Desde el puente del Centenario se avanza 40 m. al Sur por la Av. Solano hasta localizar el punto sobre el parterre de esta vía.					
MATERIALIZACIÓN DEL PUNTO: Placa de aluminio de 10 cm de diámetro, empotrada en caminero de piedra, con la siguiente inscripción: GAD MUNICIPAL, CUENCA, C-21-02-27, PROHIBIDO DESTRUIR.					
OBSERVACIONES: La marca de referencia de este punto es el vértice C-21-02-28.					
ELABORADO:			REVISADO:		
 Ing. César A. Leiva G., MSc. Leiva & Leiva Ingeniería Cía. Ltda.			 Ing. Diego X. Sarmiento Administrador de contrato - GADM Cuenca		

Puntos de control geodésico Avenida Solano

MONOGRAFÍA DE PUNTO DE CONTROL GEODÉSICO					
					
INFORMACIÓN DEL PUNTO:					
Proyecto:	Nominativo del punto:	Provincia:	Cantón:	Parroquia:	Sector:
Red Geodésica Cuenca	C-21-02-28	Azuay	Cuenca	Sucre	Av. Solano
CONTROL HORIZONTAL					
Coordenadas Geográficas:		Coordenadas UTM:		Datum Horizontal:	ITRF 2008
Latitud (° ' ")	02°54'10.8142" S	Este (m):	721577.962	Época de referencia:	2016.44
Longitud (° ' ")	79°00'23.7461" O	Norte (m):	9678932.812	Fecha de determinación:	26/11/2021
Altura elipsoidal (m):	2546.325	Zona:	17 S	Equipo utilizado:	TOPCON HIPER V
CONTROL VERTICAL					
Elevación (m):	2524.6073	Datum vertical:	Nivel medio del Mar	Línea de nivelación:	Radial
Método de nivelación:	Geométrica	Mareógrafo:	La Libertad	Fecha de determinación:	04/12/2021
CROQUIS DE UBICACIÓN DEL PUNTO:			FOTOGRAFÍA PANORÁMICA:		
					
DESCRIPCIÓN: El punto "C-21-02-28" se encuentra localizado en la esquina Nor-Oeste de la intersección de la Av. Fray Vicente Solano y la calle Daniel Córdova Toral, 60 m. al Nor-Este de la puerta principal del Colegio Benigno Malo.					
ACCESIBILIDAD: Desde el puente del Centenario se avanza 140 m. al Sur por la Av. Fray Vicente Solano hasta su intersección con la calle Daniel Córdova Toral.					
MATERIALIZACIÓN DEL PUNTO: Placa de aluminio de 10 cm de diámetro, empotrada en base de concreto con la siguiente inscripción: GAD MUNICIPAL, CUENCA, C-21-02-28, PROHIBIDO DESTRUIR.					
OBSERVACIONES: La marca de referencia de este punto es el vértice C-21-02-27.					
ELABORADO:			REVISADO:		
 Ing. César A. Leiva G., MSc. Leiva & Leiva Ingeniería Cía. Ltda.			 Ing. Diego X. Sarmiento Administrador de contrato - GADM Cuenca		

MONOGRAFÍA DE PUNTO DE CONTROL GEODÉSICO					
					
INFORMACIÓN DEL PUNTO:					
Proyecto:	Nominativo del punto:	Provincia:	Cantón:	Parroquia:	Sector:
Red Geodésica Cuenca	C-07-02-29	Azuay	Cuenca	El Valle	Parque Central El Valle
CONTROL HORIZONTAL					
Coordenadas Geográficas:		Coordenadas UTM:		Datum Horizontal:	ITRF 2008
Latitud (° ' ")	02°56'17.4315" S	Este (m):	726009.390	Época de referencia:	2016.44
Longitud (° ' ")	78°58'00.0573" O	Norte (m):	9675034.851	Fecha de determinación:	04/12/2021
Altura elipsoidal (m):	2584.078	Zona:	17 S	Equipo utilizado:	TOPCON HIPER V
CONTROL VERTICAL					
Elevación (m):	2562.5292	Datum vertical:	Nivel medio del Mar	Línea de nivelación:	Radial
Método de nivelación:	GPS	Mareógrafo:	La Libertad	Fecha de determinación:	03/12/2021
CROQUIS DE UBICACIÓN DEL PUNTO:			FOTOGRAFÍA PANORÁMICA:		
					
<p>DESCRIPCIÓN: El punto "C-07-02-29" se encuentra localizado 20 m al Oeste de la puerta principal de la Iglesia Católica San Juan Bautista de El Valle, 70 m. al Sur-Este de la Unidad Educativa "Guillermo Mensi"</p>					
<p>ACCESIBILIDAD: El parque centra de la parroquia El Valle.</p>					
<p>MATERIALIZACIÓN DEL PUNTO: Placa de aluminio de 6 cm de diámetro con cápsula magnética, empotrada en bordillo, con la siguiente inscripción: I. MUNICIPALIDAD DE CUENCA, ETAPA, C-07-02-29, PROHIBIDO DESTRUIR.</p>					
<p>OBSERVACIONES: La marca de referencia de este punto es el vértice C-07-02-30.</p>					
<p>ELABORADO:</p> 			<p>REVISADO:</p> 		
<p>Ing. César A. Leiva G., MSc. Leiva & Leiva Ingeniería Cía. Ltda.</p>			<p>Ing. Diego X. Sarmiento Administrador de contrato - GADM Cuenca</p>		

MONOGRAFÍA DE PUNTO DE CONTROL GEODÉSICO



INFORMACIÓN DEL PUNTO:

Proyecto:	Nominativo del punto:	Provincia:	Cantón:	Parroquia:	Sector:
Red Geodésica Cuenca	C-07-02-30	Azuay	Cuenca	El Valle	Parque Central El Valle

CONTROL HORIZONTAL

Coordenadas Geográficas:		Coordenadas UTM:		Datum Horizontal:	ITRF 2008
Latitud (° ' ")	02°56'16.2775" S	Este (m):	726048.629	Época de referencia:	2016.44
Longitud (° ' ")	78°57'58.7890" O	Norte (m):	9675070.233	Fecha de determinación:	04/12/2021
Altura elipsoidal (m):	2582.371	Zona:	17 S	Equipo utilizado:	TOPCON HIPER V

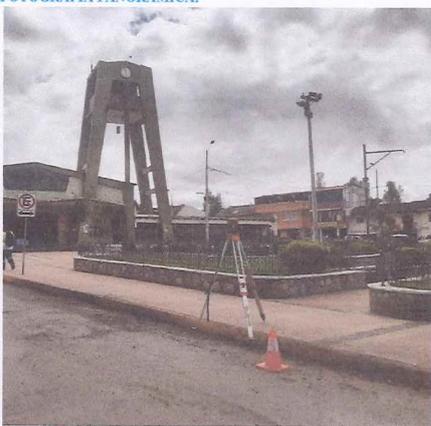
CONTROL VERTICAL

Elevación (m):	2560.820	Datum vertical:	Nivel medio del Mar	Línea de nivelación:	Radial
Método de nivelación:	GPS	Mareógrafo:	La Libertad	Fecha de determinación:	04/12/2021

CROQUIS DE UBICACIÓN DEL PUNTO:



FOTOGRAFÍA PANORÁMICA:



DESCRIPCIÓN: El punto "C-07-02-30" se encuentra localizado en bordillo, 45 m. al Nor-Oeste de la Iglesia Católica San Juan Bautista de El Valle.

ACCESIBILIDAD: El parque centra de la parroquia El Valle.

MATERIALIZACIÓN DEL PUNTO: Placa de aluminio de 6 cm de diámetro con cápsula magnética, empotrada en bordillo, con la siguiente inscripción: I. MUNICIPALIDAD DE CUENCA, ETAPA, C-07-02-30, PROHIBIDO DESTRUIR.

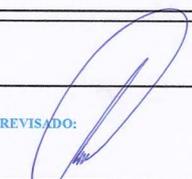
OBSERVACIONES: La marca de referencia de este punto es el vértice C-07-02-29.

ELABORADO:



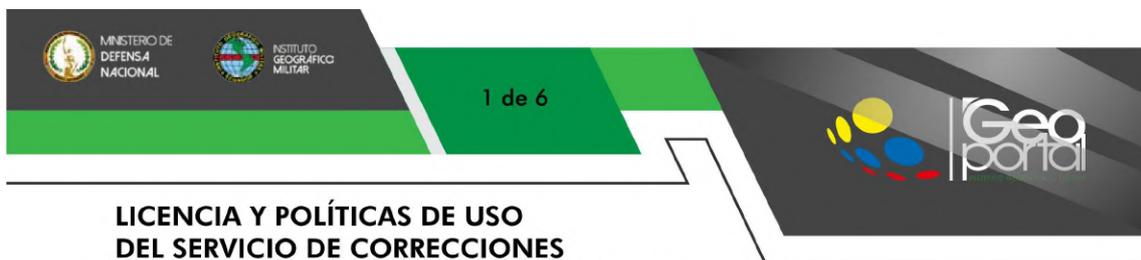
Ing. César A. Leiva G., MSc.
Leiva & Leiva Ingeniería Cía. Ltda.

REVISADO:



Ing. Diego X. Sarmiento
Administrador de contrato - GADM Cuenca

I. Licencia de servicio NTRIP



LICENCIA Y POLÍTICAS DE USO DEL SERVICIO DE CORRECCIONES DIFERENCIALES MEDIANTE EL PROTOCOLO NTRIP"

Apreciado Usuario:

El IGM solicita al usuario de esta página, que lea detallada y detenidamente las condiciones de uso (denominada en adelante como: Condiciones de Uso y la política de privacidad de la descarga de información), antes de iniciar su utilización. Si el usuario no está de acuerdo con estas Condiciones de Uso o con cualquier disposición de la Política de Privacidad, le sugerimos que se abstenga de acceder o descargar la información.

Las presentes condiciones generales vinculan a cualquier persona natural o jurídica que haga uso, rehúso y/o transformación de los datos y la información descargada en este sitio web.

El Instituto Geográfico Militar, como proveedor del servicio Ntrip, no se hace responsable de la continuidad, fallos o precisión y exactitud del servicio ni de los datos obtenidos y productos generados con su uso y se reserva el derecho de interrumpir el servicio total o parcialmente, o suspender el acceso a cualquier usuario que considere que está haciendo un uso abusivo del servicio o con fines ilegales. El usuario asume toda la responsabilidad derivada del uso del servicio.

El IGM otorga al usuario el derecho gratuito y no exclusivo de utilizar la información sujeta a esta licencia, de acuerdo con las siguientes condiciones.

El usuario es libre de utilizar las correcciones en tiempo real para:

UTILIZACIÓN Y REPRODUCCIÓN

- Adaptarlas, recuperarlas y transformarlas para crear "derivados de información", o nuevos productos y servicios.
- Para explotarlas con fines comerciales, por ejemplo, combinándolas con otra información, o incluyéndola en su propio producto o aplicación.

Sujeta a:

Un reconocimiento de la autoría de la información: La fuente, se citará con el nombre del Instituto Geográfico Militar, REGME-NTRIP y la fecha de uso del servicio; por Ejemplo:

- Instituto Geográfico Militar del Ecuador, REGME - NTRIP, http://www.geoportaligm.gob.ec/geodesia/index.php/visor_servicios_ntrip/, 14 de febrero de 2020.
- Este reconocimiento de autoría no confiere ningún estatus oficial al USO de la Información, así como también, no sugiere ningún tipo de reconocimiento o respaldo por parte del IGM.
- El usuario debe cumplir con las siguientes disposiciones:
- Está prohibido desnaturalizar el sentido de los datos.
- Debe citarse la fuente de los datos objeto del uso, rehúso y/o transformación.
- Debe mencionarse la fecha de la descarga.
- Está prohibida la comercialización de los datos descargados.

www.igm.gob.ec - www.geoportaligm.gob.ec



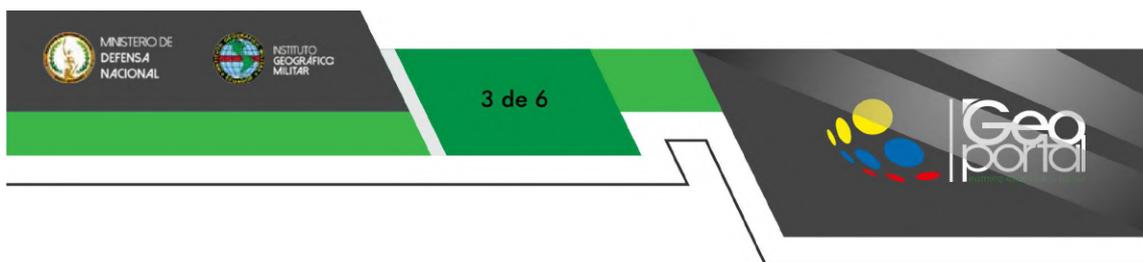
- No utilizar las descargas con el objeto de engañar o confundir a la población variando el sentido original de los datos y su veracidad.
- No aparentar que el uso que usted haga de los datos representa una postura oficial del Gobierno, o que el mismo está avalado por la fuente de origen.
- La utilización de los datos descargados se realizará por parte de los usuarios o agentes del uso y/o transformación, bajo su propia cuenta y riesgo, correspondiéndoles en exclusiva a ellos responder frente a terceros por daños o perjuicios de cualquier índole que pudieran derivarse de dicha utilización.
- El Instituto Geográfico Militar no será responsable del mal uso, errores de procesamiento de los datos descargados, ni tampoco de los daños sufridos o pérdidas económicas que, de forma directa o indirecta, produzcan o puedan producir perjuicios económicos, materiales o sobre datos y aplicaciones, provocados por el uso y/o transformación de los datos.

CONDICIONES DEL SERVICIO NTRIP

Del servidor:

- La conexión al servidor Caster Ntrip, es posible únicamente bajo registro previo del usuario, a través del Geoportall IGM y de acuerdo a la política vigente de uso:
- http://www.geoportalligm.gob.ec/portal_geodesia/, en tal virtud la clave y contraseña es intransferible.
- En ocasiones necesarias, el servidor se reinicia previa notificación, con el fin de ejecutar actividades de mantenimiento preventivo / correctivo, para lo cual el flujo de conexiones se desvían al servidor backup.
- Los formatos de stream disponibles son RTCM 2.3 y 3.0
- En caso de requerir agregar nuevas estaciones GNSS al Servidor Caster, se debe realizar la solicitud correspondiente al menos con 48 horas de anticipación con el fin de realizar las configuraciones necesarias, verificar la integridad de los datos y el correcto funcionamiento.
- La disponibilidad y cobertura del servicio Ntrip, está ligada al correcto funcionamiento y operación Online de cada estación REGME.
- Las estaciones REGME que cuentan con conexión al Internet banda ancha mediante IP Pública, Regla Nat (Network Address Translation), ancho de banda mínimo 512 kbps simétrico de subida y bajada; pueden integrarse al servidor Caster Ntrip, para prestar el servicio de posicionamiento en tiempo real.
- El Servidor Caster Ntrip Principal se encuentra ubicado en el Instituto Geográfico Militar, Quito, con las características que se indican en el cuadro 1.
- El Servidor Caster Ntrip Backup, se encuentra ubicado en la Facultad de Telecomunicaciones de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo y constituye un espejo de redundancia del servidor principal ubicado en el Instituto Geográfico Militar.

www.igm.gob.ec - www.geoportalligm.gob.ec



Disponibilidad de conexión BGK Ntrip Caster versión Estandar	100 usuarios por estación (al mismo tiempo)
Stream de datos	RTCM 2.3 y RTCM 3.0
Versión de NTRIP	1.0
Mount Points (source ntrip)	Estaciones REGME conexión online vía Internet

Del ISP:

- Dirección IP Fija para conexión directa al servidor.
- Nombre de Dominio Principal IGM, para conexión directa al servidor:
regme-ip.igm.gob.ec:2101
- Nombre de Dominio Backup ESPOCH, para conexión directa al servidor:
regme-ip.espoch.edu.ec:2101
- El Servidor Caster Ntrip principal ubicado en el IGM Quito, opera los 365 días al año, sin embargo, se garantiza la disponibilidad del servicio 5 días a la semana, 8 horas laborales, es decir de lunes a viernes de 7:30 am hasta 16:30 pm. En casos de eventuales caídas del servidor Caster Ntrip principal IGM (incidentes, siniestros, factores de riesgos y vulnerabilidades de carácter técnico y/o social), el servidor Caster Ntrip backup ubicado en la ESPOCH Riobamba, asume el flujo de tráfico de conexiones de los usuarios Ntrip y brinda el servicio de posicionamiento en tiempo real, hasta restablecer el servidor principal y viceversa.
- Latencia igual o menor a 2 segundos teóricos durante la transmisión punto a punto entre el Servidor Caster Ntrip y el Rover durante la propagación y transmisión de paquetes dentro de la red. Está sujeto a las condiciones de cobertura celular, velocidad de transmisión y tecnología utilizada en el área de operación de la operadora móvil seleccionada por el cliente.
- En caso de caída del ISP IGM, el tráfico de Clientes Ntrip, se re-direcciona hacia el Servidor Caster Ntrip Backup ESPOCH, y viceversa.

Del Cliente Ntrip (Rover)

- Latencia de conexión al servidor menor a 2 segundos, en sitios bajo condiciones de cobertura de la operadora móvil seleccionada por el cliente.
- Configuración, operación, levantamiento de puntos GNSS, bajo responsabilidad del Cliente Ntrip (técnico operador en campo).
- La precisión y resultados, dependen de las características técnicas del equipo rover

www.igm.gob.ec - www.geoportalmgm.gob.ec



Del soporte

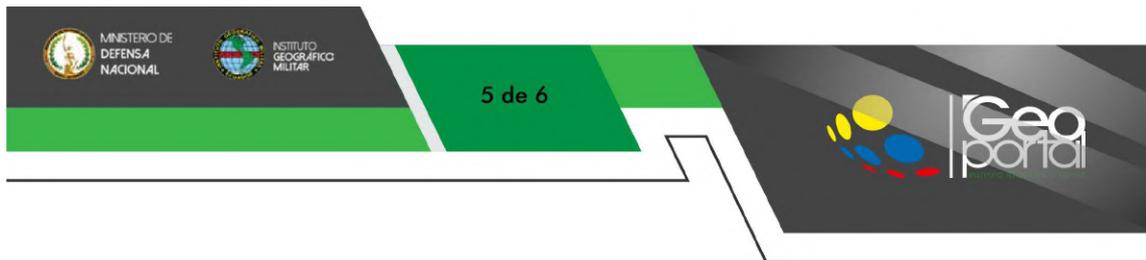
- Asistencia técnica en la configuración de las estaciones REGME, para el enlace y conexión al Servidor Caster Ntrip, en forma presencial o remota.
- Asistencia técnica en la configuración de los rovers para la conexión al Servidor Caster Ntrip, por medio de manuales, videos, información técnica complementaria disponible en: http://www.geoportaligm.gob.ec/portal_geodesia/
- Se permite la compatibilidad y escalabilidad entre estaciones GNSS y Rover de diversas marcas (independientemente de la marca), siendo el elemento intermediario el Servidor Caster Ntrip.

De la precisión Marco de Referencia Geocéntrico:

- Se debe considerar las restricciones de la técnica de diferencial GPS/GNSS, para valorar la precisión de las observaciones como condiciones ambientales, nivel de obstrucciones, multipath, distancia desde la estación base hasta el receptor y cobertura de la red móvil.
- La distancia máxima/óptima de operación entre el Source Ntrip (estación REGME) y el Cliente Ntrip (Rover), doble frecuencia L1/L2, es de 50 Km, para obtener una solución fija.
- La distancia máxima/óptima de operación entre el Source Ntrip (estación REGME) y el Cliente Ntrip (Rover), una frecuencia L1, es de 20 Km, para obtener una solución fija.
- El tiempo de posicionamiento bajo protocolo Ntrip, está definido por el Cliente Ntrip (usuario del servicio), por ejemplo 15", 30", 60" segundos, etc.
- Las correcciones de GNSS son transmitidas en formato RTCM 2.3 y 3.0 que implica la corrección por pseudorange y por frecuencia.
- El stream de correcciones diferenciales en formato RTCM 2.3 y RTCM 3.0, se estima una precisión horizontal y vertical centimétrica, dependiendo de las condiciones del levantamiento, citadas al inicio.
- Las correcciones se generan en función de la coordenada post-sismo de cada una de las estaciones permanentes REGME, por ello, la utilización del servicio de posicionamiento en tiempo real bajo el protocolo Ntrip, otorga resultados en la siguiente realización:

Marco de Referencia Geocéntrico: SIRGAS – ECUADOR
ITRF 2008
Época de Referencia: 2016.4

www.igm.gob.ec - www.geoportaligm.gob.ec



CONDICIONES DE CONECTIVIDAD

Acceso a internet (Cliente Ntrip)

- Para la conexión al Servicio Ntrip vía Servidor Caster, el dispositivo Rover debe tener conexión a Internet para la recepción de los streams a través de la tecnología de su elección:
 1. Telefonía móvil de preferencia 3G o 4G debido a los beneficios de tasa y velocidad de transmisión en cualquier operadora móvil del país de su elección.
 2. Wifi
 3. Hotspot entre otras.
- Los costos de consumo de datos es responsabilidad del usuario
- Chip celular GSM
- Saldo disponible (datos Internet) en el chip celular GSM, para conexión al Servidor Caster Ntrip.

Del Cliente Ntrip (Rover)

- El equipo Rover debe ser compatible con la tecnología NTRIP, para la conexión al Servidor Caster.
- El equipo Rover debe ser compatible con el stream de correcciones diferenciales en formato RTCM 2.3 y RTCM 3.0.
- El equipo Rover debe ser Doble Frecuencia L1, L2 y/o Simple Frecuencia L1.
- El Cliente Ntrip, debe poseer la solvencia técnica para la operación del equipo rover, conexión al Servidor Caster Ntrip y levantamiento del posicionamiento en tiempo real bajo el protocolo Ntrip.

INFORMACIÓN PERSONAL

Los datos personales proporcionados por el usuario serán almacenados y formarán parte de las estadísticas de servicio que permitan justificar la inversión del Estado en el servicio a la comunidad.

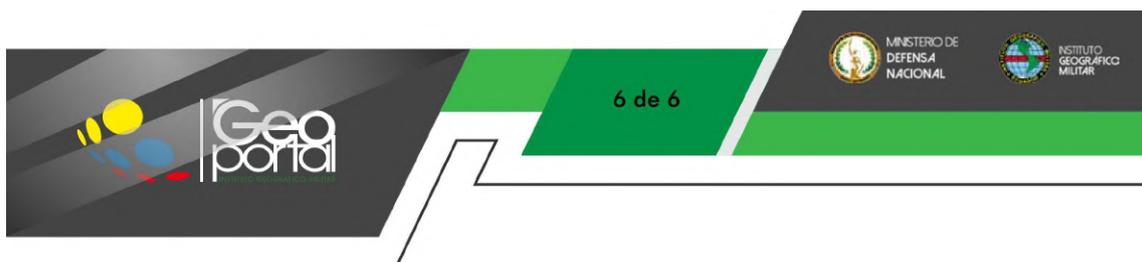
RESPONSABILIDAD

La Información se pone a disposición a medida que es producida o recibida por el IGM, sin ninguna otra garantía expresa o tácita que las establecidas en esta licencia. El IGM no garantiza la ausencia de errores o inexactitudes en la Información, ni un suministro continuo de la Información. El IGM no se responsabiliza por cualquier pérdida, perjuicio o daño de cualquier tipo causado a terceros como resultado de la utilización de la información.

LEGISLACION APLICABLE

Esta licencia se rige por las leyes ecuatorianas de información pública

www.igm.gob.ec - www.geoportalligm.gob.ec



DEFINICIONES

Dentro del significado de esta licencia, deben considerarse como:

Datos personales	Cualquier información relacionada con una identidad identificada o identificable. Persona física que puede ser identificada directa o indirectamente. Su USO se condiciona al respeto del marco legal existente.
El usuario	Cualquier persona que utiliza la Información de acuerdo con las condiciones de esta licencia.
GNSS (Global Navigation Satellite System)	Denominación genérica de los Sistemas de Navegación por Satélite que proporcionan un posicionamiento geoespacial con cobertura global.
Información derivada	Cualquier dato o información nueva creada directamente desde la Información o de una combinación de la Información y otros datos o información no sujeta a esta licencia.
HTTP	Protocolo de Transferencia de Hipertexto.
La información	Datos divulgados o publicados representados por las descargas de los datos GNSS de la red de monitoreo continuo del Ecuador.
Ntrip	Red de Transporte de datos en formato RTCM a través Protocolo de Internet.
Servidor Ntrip	Se considera a la fuente generadora de las medidas de GNSS es decir la estación de referencia.
Caster Ntrip	Caster Ntrip: Es un servidor que gestiona principalmente la difusión de las correcciones GNSS a los usuarios finales.
Usuario Ntrip	Usuario Ntrip: Son los usuarios que pueden recibir los datos GNSS del caster Ntrip.
RCTM	RCTM: Comisión Técnica de Radio para Servicios Marítimos.

ACERCA DE ESTA LICENCIA

Esta licencia está destinada a ser utilizada por las personas que descarguen información de los datos GNSS de la red de monitoreo continuo del Ecuador.

**Departamento de Geodesia
Instituto Geográfico Militar del Ecuador**

www.igm.gob.ec - www.geoportaligm.gob.ec