



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA

**ESCUELA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA TELECOMUNICACIONES
Y REDES**

**“EVALUACIÓN DE UN DISPOSITIVO ANDROID UTILIZADO
COMO ESTACIÓN GNSS PARA EJERCICIOS DE CORRECCIÓN
POR POSTPROCESO”**

TRABAJO DE TITULACIÓN

TIPO: PROPUESTA TECNOLÓGICA

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERA EN ELECTRÓNICA, TELECOMUNICACIONES Y REDES

AUTORA: MAYRA ALEXANDRA SALAZAR ASQUI

TUTORA: ING. ALEJANDRA OÑATE

Riobamba - Ecuador

2019

©2019, Mayra Alexandra Salazar Asqui

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Yo, Mayra Alexandra Salazar Asqui, declaro que el presente trabajo de titulación es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autora asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación; El patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 05 de julio de 2019

Mayra Alexandra Salazar Asqui

0604062521

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA

**ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN TELECOMUNICACIONES Y
REDES**

El Tribunal de trabajo de titulación certifica que: El trabajo de titulación: Tipo propuesta tecnológica **“EVALUACIÓN DE UN DISPOSITIVO ANDROID UTILIZADO COMO ESTACIÓN GNSS PARA EJERCICIOS DE CORRECCIÓN POR POSTPROCESO”**, de responsabilidad de la señorita Mayra Alexandra Salazar Asqui, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del trabajo de titulación. El mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

NOMBRE

FIRMA

FECHA

**ING. WASHINGTON LUNA.
DECANO DE LA FACULTAD DE
INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA**

**ING. PATRICIO ROMERO
DIRECTOR DE LA ESCUELA DE
INGENIERÍA ELECTRÓNICA,
TELECOMUNICACIONES Y REDES**

**ING. ALEJANDRA OÑATE
DIRECTORA DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN**

**ING. MÓNICA ZABALA M.Sc
MIEMBRO DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN**

DEDICATORIA

El presente trabajo de titulación quiero dedicarle primero a Dios por darme la fortaleza para cumplir con cada objetivo que me he planteado, a mi madre por regalarme la vida, pero sobre todo por todo el esfuerzo que ha realizado para educarme siempre de la mejor manera, a cada uno de mis hermanos por el apoyo que me han brindado.

A mi ángel que está en el cielo José Salazar que más que mi abuelito siempre fue y será mi padre por enseñarme a ser una buena persona e inculcarme buenos valores.

A una de las personas más importantes en mi vida Carlos Mafla por ayudarme a superar cada uno de los obstáculos que se han presentado en mi camino y por enseñarme a ser mejor persona cada día.

Mayra Alexandra Salazar Asqui

AGRADECIMIENTO

Mi más sincero agradecimiento a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo sobre todo a la Facultad de Informática y Electrónica por permitirme formarme académicamente para ser una profesional, a cada uno de los ingenieros que han compartido sus conocimientos, en especial a la Ing. Mónica Zabala y a la Ing. Alejandra Oñate por guiarme y ayudarme en todo este proceso.

Agradezco a Dios por darme la fuerza para superar cada obstáculo que se ha presentado a lo largo de mi vida y seguir adelante siempre, a mi querida madre María Asqui por todo el sacrificio que ha realizado para brindarme la mejor educación, pero sobre todo por apoyarme para que cumpla con cada uno de mis sueños, agradezco también a cada uno de mis hermanos por la ayuda y el cariño que me han brindado.

Quiero agradecer también a una persona muy especial en mi vida Carlos Mafla por motivarme a salir adelante a pesar de todos los obstáculos y por estar siempre a mi lado apoyándome sin esperar nada a cambio.

Mayra Alexandra Salazar Asqui

TABLA DE CONTENIDOS

INDICE DE TABLAS	X
INDICE DE FIGURAS	XI
INDICE DE ANEXOS	XIII
RESUMEN	XIV
SUMMARY	XV
INTRODUCCIÓN	1
1. MARCO TEÓRICO	5
1.1 Global Navigation Satellite System (GNSS)	5
<i>1.1.1 Definición</i>	5
<i>1.1.2 Arquitectura GNSS</i>	5
<i>1.1.2.1 Segmento espacial</i>	6
<i>1.1.2.2 Segmento de Control</i>	7
<i>1.1.2.3 Segmento de Usuario</i>	7
<i>1.1.3 Fases de desarrollo GNSS</i>	8
<i>1.1.3.1 GNSS-1</i>	8
<i>1.1.3.2 GNSS-2</i>	9
<i>1.1.4 Constelaciones GNSS</i>	9
<i>1.1.4.1 GPS</i>	10
<i>1.1.4.2 GLONASS</i>	10
<i>1.1.4.3 Galileo</i>	10
<i>1.1.4.4 BEIDOU- COMPASS</i>	10
1.2 GPS – Sistema de posicionamiento global	11
<i>1.2.1 Historia</i>	11
<i>1.2.2 Definición</i>	12
<i>1.2.3 Arquitectura de GPS</i>	13
<i>1.2.3.1 Segmento Espacial</i>	13
<i>1.2.3.2 Segmento de control</i>	14
<i>1.2.3.3 Segmento de Usuario</i>	15
<i>1.2.4 Servicios GPS</i>	15
<i>1.2.4.1 Servicio de Posicionamiento Estándar (SPS)</i>	15
<i>1.2.4.2 Servicio de Posicionamiento Preciso (PPS)</i>	16
<i>1.2.5 Posicionamiento con Código C/A</i>	16

1.2.5.1	<i>Posicionamiento Absoluto</i>	16
1.2.5.2	<i>Posicionamiento Diferencial</i>	17
1.2.6	Precisión del GPS	19
1.2.7	Fuentes de Error de GPS	19
1.3	Diferencial de GPS	22
1.3.1	<i>Estructura DGPS</i>	23
1.3.2	<i>Técnicas del diferencial de GPS</i>	23
1.3.3	<i>Principios de corrección del diferencial de GPS</i>	25
1.3.4	<i>Aplicaciones de la corrección diferencial</i>	25
1.3.4.1	<i>Post- Procesamiento</i>	25
1.3.4.2	<i>En Tiempo Real</i>	26
1.4	Posicionamiento en dispositivos móviles	26
1.5	ANDROID	28
1.5.1	<i>Arquitectura de posicionamiento Android</i>	29
1.5.2	<i>Extracción de datos brutos</i>	31
1.6	Herramienta para la recolección de datos GNSS	35
1.6.1	<i>Módulo Ublox Neo 6M</i>	35
1.7	Herramientas para el análisis y procesamiento de datos GNSS	36
1.7.1	<i>gLAB</i>	36
1.7.2	<i>RTKLIB</i>	36
1.7.3	<i>GNSS Analysis</i>	37
CAPÍTULO II		39
2.	MARCO METODOLÓGICO	39
2.1	Tipos, técnicas y métodos de investigación	39
2.1.1	<i>Tipo de investigación</i>	39
2.1.2	<i>Métodos de investigación</i>	39
2.1.3	<i>Técnicas de investigación</i>	39
2.2	Proceso para aplicar el diferencial de GPS por postproceso	40
2.2.1	<i>Etapas de diseño del sistema paralelo</i>	40
2.2.1.1	<i>Receptor GPS como estación de referencia</i>	41
2.2.1.2	<i>Receptor GPS móvil</i>	42
2.2.2	<i>Etapas de extracción y recolección de datos</i>	42
2.2.2.1	<i>Población y muestra</i>	42
2.2.2.2	<i>Escenarios Planteados</i>	42
2.2.2.3	<i>Trayectorias Ejecutadas</i>	45
2.2.2.4	<i>Adquisición de datos</i>	48
2.2.3	<i>Etapas de procesamiento de los datos extraídos de la antena Ublox Neo 6M</i>	48

2.2.4	<i>Etapa de Postprocesamiento aplicando el diferencial de GPS</i>	48
2.2.4.1	<i>Aplicar el Diferencial de GPS por postproceso</i>	49
CAPÍTULO III		51
3.	MARCO DE RESULTADOS	51
3.1	Resultados de la etapa de extracción y recolección de datos	51
3.2	DGPS por postproceso	51
3.2.1	<i>ESCENARIO 1: Parque del Estudiante</i>	51
3.2.2	<i>ESCENARIO 2: FIE- ESPOCH</i>	55
3.2.3	<i>ESCENARIO 3: Parque central de Guano</i>	58
3.2.4	<i>ESCENARIO 4: Dispositivo Android ubicado en el Parque Sesquicentenario</i>	63
3.2.5	<i>ESCENARIO 5: Dispositivo Android ubicado en la FIE</i>	67
3.2.6	<i>ESCENARIO 6: Dispositivo Android ubicado en el Parque del Estudiante</i>	70
CONCLUSIONES		75
RECOMENDACIONES		76
GLOSARIO		
BIBLIOGRAFÍA		
ANEXOS		

INDICE DE TABLAS

Tabla 1-1: Resumen de las fases de GNSS	9
Tabla 2-1: Características de las constelaciones GNSS	11
Tabla 3-1: Fases de desarrollo del proyecto GPS	12
Tabla 4-1: Resumen segmento de control GPS.....	15
Tabla 5-1: Exactitud de los servicios de GPS	16
Tabla 6-1: Precisión de GPS Estándar	19
Tabla 7-1: Fuentes de error GPS vs DGPS	21
Tabla 8-1: Android vs IOS	27
Tabla 9-1: Comparación de las herramientas de extracción de datos brutos	35
Tabla 10-1: Comparación de las herramientas de procesamiento.....	38
Tabla 1-2: Tiempo de observación en los tres escenarios	45
Tabla 1-3: Resultados de los errores en los ejes NEU del Parque del Estudiante.....	54
Tabla 2-3: Resultados de la corrección en los ejes NEU de la FIE-ESPOCH	57
Tabla 3-3: Resultados de la corrección en los ejes NEU Paseo Shopping a Guano	60
Tabla 4-3: Resultados de corrección en los ejes NEU del escenario 4	66
Tabla 5-3: Resultados de corrección en los ejes NEU del escenario 5	69
Tabla 6-3: Resultados de las correcciones en los ejes NEU del escenario 6.....	72

INDICE DE FIGURAS

Figura 1-0: Sistema Paralelo.....	3
Figura 2-0: Etapas del Sistema Paralelo.....	4
Figura 1-1: Arquitectura básica de los sistemas GNSS.	6
Figura 2-1: Fases de desarrollo GNSS.....	8
Figura 3-1: Constelación GPS	13
Figura 4-1: Distribución de las estaciones del segmento de control.....	14
Figura 5-1: Principio de corrección diferencial	17
Figura 6-1: Parámetros comunes en ambas estaciones.	18
Figura 7-1: Error Troposférico.....	20
Figura 8-1: Error multipath.....	21
Figura 9-1: Funcionamiento DGPS	22
Figura 10-1: Arquitectura Android	29
Figura 11-1: Arquitectura interna GPS de un móvil.....	30
Figura 12-1: Entorno GNSS Logger.....	32
Figura 13-1: Datos GNSS y encabezado de GNSS Logger	32
Figura 14-1: Entorno de Geo++ RINEX Logger	33
Figura 15-1: Entorno de GNSS Compare.	34
Figura 16-1: Modulo Ublox Neo 6M.....	35
Figura 17-1: GNSS Analysis	37
Figura 1-2: Diseño del sistema paralelo.....	41
Figura 2-2: Dispositivo Android para la extracción de datos brutos	42
Figura 3-2: Parque del Estudiante.....	43
Figura 4-2: FIE (edificio de la FIE)	44
Figura 5-2: Paseo Shopping – Parque Central de Guano.....	45
Figura 6-2: Trayectoria del Parque del Estudiante.....	46

Figura 7-2 Trayectoria FIE- ESPOCH.....	47
Figura 8-2 Trayectoria al Parque Central de Guano	47
Figura 9-2: Carga de archivos para aplicar el DGPS	49
Figura 10-2: Generar el archivo de corrección	50
Figura 11-2: Generar las gráficas de error NEU.....	50
Figura 1-3: Errores de los ejes NEU en SPS.....	52
Figura 2-3: Errores de los ejes NEU con postproceso con respecto a la estación EREC.	53
Figura 3-3: Errores de los ejes NEU con postproceso con respecto al dispositivo Android.....	54
Figura 4-3: Errores de los ejes NEU en SPS.....	55
Figura 5-3: Errores de los ejes NEU con postproceso con respecto a la estación EREC.	56
Figura 6-3: Errores de los ejes NEU con postproceso con respecto al dispositivo Android.....	57
Figura 7-3: Errores de los ejes NEU en SPS.....	58
Figura 8-3: Errores de los ejes NEU con postproceso con respecto a la estación EREC.	59
Figura 9-3: Errores de los ejes NEU con postproceso con respecto al dispositivo Android.....	60
Figura 10-3: Ubicación de los receptores a 950 metros.....	61
Figura 11-3: Ubicación de los receptores a 280 metros.....	62
Figura 12-3: Ubicación de los receptores a 70 metros.....	63
Figura 13-3: Trayectoria de los Escenarios.....	64
Figura 14-3: Errores de los ejes NEU en SPS.....	64
Figura 15-3: Errores de los ejes NEU con postproceso con respecto a la estación EREC.	65
Figura 16-3: Errores de los ejes NEU con postproceso con respecto al dispositivo Android....	66
Figura 17-3: Errores de los ejes NEU en SPS.....	67
Figura 18-3: Errores de los ejes NEU con postproceso con respecto a la estación EREC.	68
Figura 19-3: Errores de los ejes NEU con postproceso con respecto al dispositivo Android... 69	
Figura 20-3: Errores de los ejes NEU en SPS.....	70
Figura 21-3: Errores de los ejes NEU con postproceso con respecto a la estación EREC.	71
Figura 22-3: Errores de los ejes NEU con postproceso con respecto al dispositivo Android....	72

INDICE DE ANEXOS

ANEXO A: Configuración U-CENTER

ANEXO B: Procesamiento y conversión de datos

ANEXO C: Archivo RINEX del dispositivo móvil

ANEXO D: Archivo RINEX de observación

ANEXO E: Archivo RINEX de navegación.

ANEXO E: Archivo RINEX de la estación EREC

RESUMEN

El principal objetivo del presente trabajo de titulación fue evaluar el funcionamiento de un dispositivo celular Android como estación del Sistema de Navegación Global por Satélite (GNSS) para realizar ejercicios de corrección por postproceso. La investigación se la dividió en cuatro etapas, la primera correspondiente al diseño y selección de escenarios de prueba considerando los requerimientos básicos de la técnica, en la segunda se realizó la extracción y recolección de los datos en las trayectorias utilizando un receptor Rover de bajo costo de marca Ublox Neo 6M, además, se realizó la extracción de los datos brutos del dispositivo Android usando la aplicación Geo++ RINEX. En la tercera etapa se ejecutó el procesamiento y conversión de los archivos de observación y navegación a formatos estándar RINEX versión 3.02 de los datos recogidos y por último en la etapa cuatro se realizó el postprocesamiento aplicando el Diferencial del Sistema de Posicionamiento Global (DGPS) utilizando la herramienta de procesamiento de información GNSS gLAB. Los datos se recogieron en 3 escenarios de la ciudad de Riobamba tomando en cuenta la distancia de separación con respecto a la estación de monitoreo continuo Empresa Eléctrica Riobamba (EREC). Los resultados que se obtuvieron al utilizar un dispositivo Android como estación base en los primeros tres escenarios incrementó el error en los 3 ejes sobrepasando los 1000 metros y aplicando el DGPS con respecto a la estación EREC se alcanzó una precisión centimétrica, se concluye que a grandes distancias no funciona el sistema propuesto, por ello se optó tomar nuevos escenarios a distancias menores a 1 kilómetro, en donde a 280 metros de distancia se mejoró la precisión más de un 99% en todos los ejes, por lo tanto el dispositivo Android actúa y corrige errores como una estación GNSS profesional considerando distancias menores a 280 metros.

PALABRAS CLAVE: <TELECOMUNICACIONES>, <COMUNICACIONES SATELITALES>, <POSICIONAMIENTO ESTÁNDAR>, <SISTEMA DE NAVEGACION GLOBAL POR SATÉLITE (GNSS)>, <DIFERENCIAL DE GPS (DGPS)>, <CORRECIÓN DE ERRORES>, <ERRORES GPS>, <ANDROID (SOFTWARE)>.

SUMMARY

The main objective of the current degree work was to evaluate the operation of an Android smartphone device as a station of the Global Navigation Satellite System (GNSS) to perform correction exercises by post-processing. The research was divided into four stages. First, corresponding to the design and selection of test scenarios considering the basic requirements of the technique. Second, the extraction and collection of the data in the trajectories were done using a low-cost Rover receiver of Ublox Neo 6M brand; also, the extraction of the raw data of the Android device was performed using the Geo ++ RINEX application. Third, the processing and conversion of the observation and navigation files to standard formats RINEX version 3.02 of the collected data was executed. Finally, in the fourth stage, the postprocessing was performed applying the Differential of the Global Positioning System (DGPS) using the GNSS information processing tool gLAB. The data was collected in 3 scenarios of Riobamba city, taking into account the separation distance with respect to the continuous monitoring station “Empresa Eléctrica Riobamba” (EREC). The results obtained using an Android device as a base station in the first three scenarios increased the error in the 3 axes exceeding 1000 meters and applying the DGPS with respect to the EREC station, a centimeter accuracy was reached. Large distances do not work with the proposed system, so it was decided to take new scenarios at distances less than the kilometer, where at 280 meters away the accuracy was improved by more than 99% in all axes, therefore the Android device acts and corrects errors such as a professional GNSS station considering distances less than 280 meters.

KEYWORDS: <TELECOMMUNICATIONS>, <SATELITAL COMUNICACIONES>, <STANDARD POSITIONING>, < GLOBAL NAVIGATION SATELITAL SYSTEM (GNSS)>, < DIFERENTIAL GPS (DGPS)>, <ERRORS CORRECTION>, <GPS ERRORS >, <ANDROID SYSTEM (SOFTWARE)>.

INTRODUCCIÓN

ANTECEDENTES

Desde la antigüedad el hombre sintió la necesidad de conocer la posición en la que se encontraba, pero no fue hasta 1973 cuando la Defensa de los Estados Unidos desarrolló un sistema de posicionamiento con satélites denominado NAVSTAR/GPS que permitía por medio de un receptor adecuado obtener la posición, no obstante, este sistema presenta algunas imprecisiones en los resultados, pero se puede realizar las correcciones utilizando los diferenciales de GPS.

Las técnicas de corrección de la señal de GPS se han basado en la corrección de las medidas observadas a través de técnicas diferenciales que pueden ser por postproceso y en tiempo real como NTRIP. Se han realizado diferentes estudios que ayudan a mejorar la precisión de este sistema de posicionamiento, como “Correcciones diferenciales vía NTRIP para dispositivo móvil con aplicación Android”, en el cual se realizó correcciones diferenciales desde una estación base hacia un dispositivo móvil basado en Android utilizando la técnica NTRIP. A nivel local se realizó el análisis e implementación del diferencial de GPS en tiempo real utilizando la tecnología NTRIP para la EERSA, en el mismo que se logró alcanzar precisiones centimétrica (Carranza y Reyes 2017).

La técnica de postproceso se refiere al resultado de las medidas corregidas que se obtuvo después de un tiempo, generalmente luego de pasar por un proceso en una oficina y en tiempo real cuando el resultado se obtiene en el momento de la medición (Hoyer 2002, pág. 1).

En cuanto se refiere a la corrección postproceso en la actualidad existen receptores profesionales como Trimble NetR9 que funciona como una estación base obteniendo los registros de datos brutos GNSS, el cual envía las correcciones diferenciales por internet o por radio u otras opciones y permite realizar el postproceso (GEOCOM 2008).

Así con la ayuda de estación base ubicada en la ciudad de Riobamba se ha logrado realizar un estudio que trata del “Análisis e implementación del diferencial de GPS con configuración simple y doble, para mejorar la precisión de un receptor GPS en la ciudad de Riobamba”, con el que se logró obtener una disminución en los errores comunes del receptor GPS.

FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Es posible realizar ejercicios de corrección por postproceso utilizando un dispositivo Android como estación GNSS?

SISTEMATIZACIÓN DEL PROBLEMA

- ¿Se puede analizar los principios de corrección del diferencial de GPS?
- ¿Se puede obtener los datos brutos de un dispositivo móvil basado en Android para realizar postproceso?
- ¿Es posible evaluar y comparar los resultados obtenidos por el dispositivo móvil versus la estación base GNSS?

JUSTIFICACIÓN TEÓRICA

Con el fin de obtener cada día mejor precisión en los datos del sistema de posicionamiento global se han realizado algunos estudios como el trabajo de titulación “Análisis e implementación del diferencial de GPS con configuración simple y doble, para mejorar la precisión de un receptor GPS en la ciudad de Riobamba.” De los señores Ángel Gustavo Ortega Zhuilema y Franklin Benito López Taday estudiantes de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, en dicho estudio se pudo eliminar los errores comunes de GPS obteniendo como resultado que al implementar el diferencial de GPS tanto para la configuración simple y doble, se notó una disminución del error en 0.08 metros.

Hoy en día realizar el postprocesamiento de los datos GPS resulta muy costoso ya que se necesita de diferentes equipos, como los receptores que tienen costos elevados sobre los 10000 dólares, lo que representa un gasto muy elevado para las empresas que realizan mediciones GPS.

En la actualidad es importante conocer todas las ventajas que nos proporcionan los dispositivos móviles basados en Android sobre todo en cuanto al sistema de posicionamiento GPS ya que hoy en día es una de las herramientas muy utilizada por ende es importante aprovechar al máximo estos dispositivos, tomando en cuenta las ventajas que tenemos gracias a la tecnología, se busca extraer los datos brutos de un dispositivo móvil basado en Android el mismo que va a ser utilizado como una estación GNSS para luego realizar ejercicios de postproceso y poder comparar con los datos que se obtienen al utilizar una estación base tradicional ubicada en la ciudad de Riobamba que tiene como receptor GPS el Trimble NetR9 propiedad de la EERSA.

En el presente proyecto se quiere utilizar un dispositivo móvil basado en Android como estación base GNSS para realizar las correcciones por medio del diferencial de GPS, efectuando ejercicios de corrección por postproceso para de esta manera mejorar la precisión de las medidas observadas de un receptor GPS, con esto se busca generar un impacto tecnológico en la sociedad ya que gracias a los avances tecnológicos que tenemos hoy en día se quiere demostrar que no es necesario adquirir costosos equipos tanto para la recepción y el postproceso.

JUSTIFICACIÓN APLICATIVA

En la ciudad de Riobamba en la empresa eléctrica ubicada en las calles García Moreno y 10 de agosto existe una estación de monitoreo continuo denominado EREC la misma que consta con un receptor GPS y una antena, esta estación aplica la técnica de DGPS para la corrección de errores, utilizando tanto los archivos de navegación y de observación de GPS por postproceso.

Tomando en cuenta lo costosos que son los equipos utilizados para la ejecución de esta técnica se propone un sistema paralelo que está constituido de un teléfono móvil basado en Android el cual se considerará como estación móvil GNSS del cual se va a realizar la extracción de los datos brutos para luego con la ayuda de un software de procesamiento de información GNSS de postproceso realizar un análisis del error del receptor y aplicar así la técnica del diferencial de GPS para realizar las correcciones correspondientes, los resultados obtenidos de este proceso se los comparara con los resultados de una estación tradicional como EREC para analizar la factibilidad de tener una estación base de este tipo para abaratar costos en cuanto al postproceso de datos.

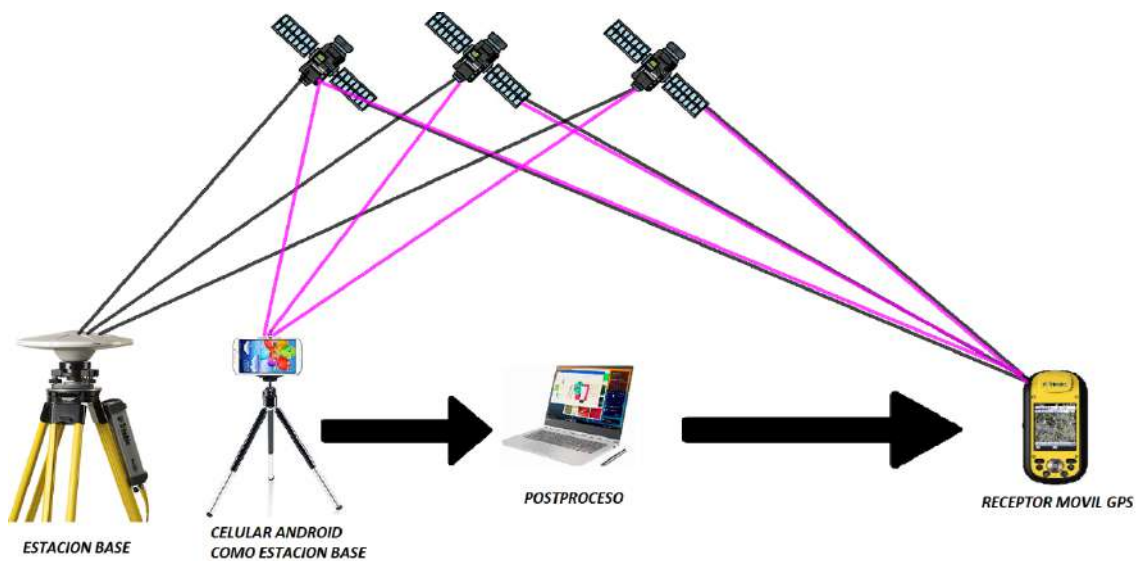


Figura 1-0: Sistema Paralelo
Realizado por: Salazar, Mayra, 2019.

Para la ejecución del proyecto se han definido cuatro etapas como se muestra en la Figura 2-0, la primera que es la etapa de extracción de datos brutos del dispositivo móvil Android mediante un software que nos permita analizar los parámetros GNSS que se extraigan, la segunda fase es el análisis de datos extraídos en la que se procederá a realizar el análisis de los diferentes parámetros y definir los necesarios para la siguiente etapa que es el postprocesamiento de datos, para esta etapa se va a utilizar un software para el postprocesado de los datos y luego se aplicará el diferencial de GPS para realizar las correcciones necesarias para mejorar la precisión de la

posición GPS y finalmente la etapa de evaluación del sistema implementado en la cual se realizará una comparación de los resultados obtenidos en el dispositivo móvil con una estación base tradicional.

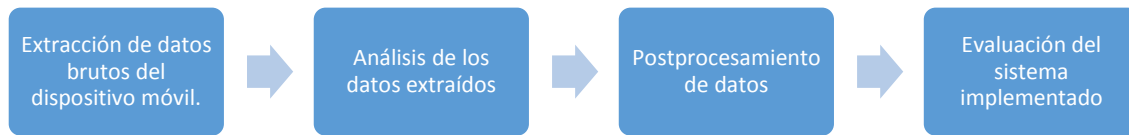


Figura 2-0: Etapas del Sistema Paralelo

Realizado por: Salazar, Mayra, 2019.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

- Evaluar un dispositivo Android para ser utilizado como estación GNSS para ejercicios de corrección por postproceso.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Analizar el estado del arte de los principios de corrección del diferencial de GPS.
- Obtener los datos brutos de un dispositivo móvil basado en Android para realizar postproceso.
- Evaluar y comparar los resultados en precisión alcanzados por el dispositivo móvil versus la estación base GNSS

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO

1.1 Global Navigation Satellite System (GNSS)

1.1.1 *Definición*

El término GNSS hace referencia a los Sistemas de Navegación Global por Satélite que permiten obtener el posicionamiento geoespacial a nivel global, ya sea de forma autónoma y con sistemas de aumentación (Berné et al. 2014, pág. 93).

Según (Barreiro et al. 2014, pág. 5) los GNSS son sistemas de posicionamiento mediante satélites que permiten acceder a información precisa acerca de la posición y tiempo, es decir en cuatro dimensiones de un objeto ubicado en cualquier parte el mundo, durante todo el día y sin importar las condiciones climáticas.

Un GNSS es un sistema que utiliza las señales que transmiten las constelaciones de satélites para proveer a un usuario de las coordenadas de su posición de manera precisa, siempre y cuando tenga un receptor adecuado (Fernández 2005, pág. 5).

Los sistemas GNSS operativos desde 2015 son GPS, GLONASS y Galileo, pero también se ha sumado el sistema chino BeiDou, además es importante tener en cuenta algunos sistemas de aumentación como WAAS y EGNOS (Berné et al. 2014, pág. 93).

Se puede concluir que un sistema de navegación global por satélite es un sistema de cobertura global que nos permite conocer la posición y tiempo de un objeto situado en cualquier parte del mundo.

1.1.2 *Arquitectura GNSS*

Los sistemas de navegación por satélite GNSS constan de tres segmentos importantes como son el segmento espacial, segmento de control y por último un segmento de usuario, cada uno de estos segmentos son esenciales para poder considerar un GNSS como tal (García 2008, pág. 6), en la figura 1-1 se muestra la arquitectura básica de un Sistema Global de Navegación por Satélite.

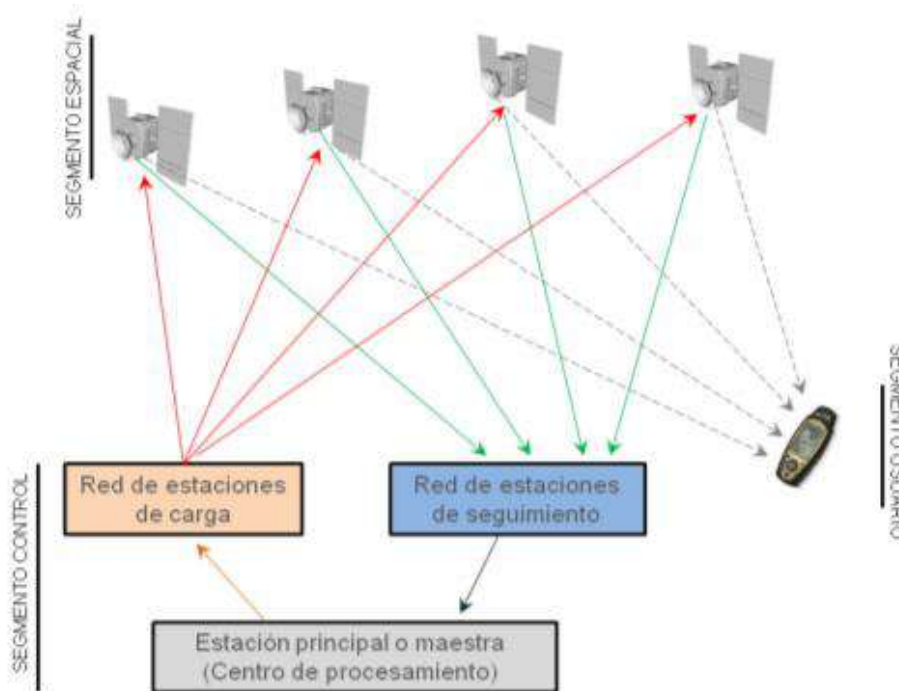


Figura 1-1: Arquitectura básica de los sistemas GNSS.

Fuente: (Barreiro et al. 2014, pág. 95).

1.1.2.1 Segmento espacial

El segmento espacial se encarga de la transmisión de señales codificadas en diferentes frecuencias y está conformado por todos los satélites del sistema, los mismos que pueden ser de navegación o de comunicación (Barreiro et al. 2014, pág. 95).

Satélites de navegación

Un satélite de navegación tiene como objetivo utilizar señales para conocer la posición exacta de un receptor en la Tierra (Rothe 2009).

El sistema GNSS en su segmento espacial que debe tener un número suficiente de satélites de navegación que garanticen la cobertura global a cualquier hora y que permitan transmitir la información redundante de tal manera que si algún satélite deja de funcionar los demás puedan prestar el servicio (García 2008, pág. 7).

Estos satélites están ubicados en diferentes planos orbitales de forma que se dé cobertura a toda la Tierra en cualquier momento, en la actualidad GPS es el sistema que garantiza la visibilidad de mínimo 5 satélites en cualquier parte del mundo (García 2008, pág. 7).

Satélites de Comunicación

Los satélites de comunicación son utilizados para la telecomunicación, es decir para la comunicación a distancia, estos satélites están ubicados por lo general en orbitas geosíncronas o en orbitas bajas terrestres (Rothe 2009).

Estos satélites forman los sistemas de aumento cuya función es retransmitir la información con las correcciones que se realicen en el segmento de control permitiendo aumentar la precisión del sistema, entre los sistemas de aumento más conocidos están WASS de Estados Unidos, EGNOS de Europa y MFSAS perteneciente a Japón y Australia (García 2008, pág. 7).

1.1.2.2 Segmento de Control

El segmento de control está compuesto por las estaciones terrenas que se encargan de recibir las señales provenientes de los satélites, las monitorean y actualizan, para luego enviar correcciones de vuelta a los satélites de ser necesario (García 2008, pág. 7).

El segmento de control de un sistema GNSS está formado por una estación de control y por un conjunto de estaciones de monitorización, cada estación de monitoreo tiene información propia acerca del funcionamiento del sistema y dicha información es enviada a la estación de control para aplicar las correcciones al satélite del sistema GNSS en cuanto a la posición orbital y a las coordenadas orbitales, o a su vez retransmite la información a un sistema de aumento (García 2008, pág. 7).

1.1.2.3 Segmento de Usuario

Constituido por los equipos que se utilizan para recibir las señales que emiten los satélites ya sea para la navegación, determinar la posición o tiempo con precisión (Berné et al. 2014, pág. 93).

Este segmento está formando por antenas y receptores, los receptores se caracterizan por el número de canales o señales que pueden captar de los satélites, por tener sistemas de corrección internos como DGPS y también por los protocolos que utilizan como por ejemplo Bluetooth o NMEA 0183 que permiten la comunicación entre dispositivos (García 2008, pág. 8).

1.1.3 Fases de desarrollo GNSS

Desde que apareció el término GNSS se han implementado sistemas de navegación por satélite en diferentes países alrededor del mundo, teniendo en cuenta la evolución de cada uno de los sistemas que se han desarrollado con el pasar del tiempo se ha dividido a los GNSS en dos fases de desarrollo: la primera fase GNSS-1 que se centra en los sistemas de aumentación y la segunda fase GNSS-2 que está formada por los sistemas de navegación por satélite más recientes (García 2008, pág. 8).

En la Figura 2-1 se muestra las fases de desarrollo GNSS con sus respectivos sistemas.

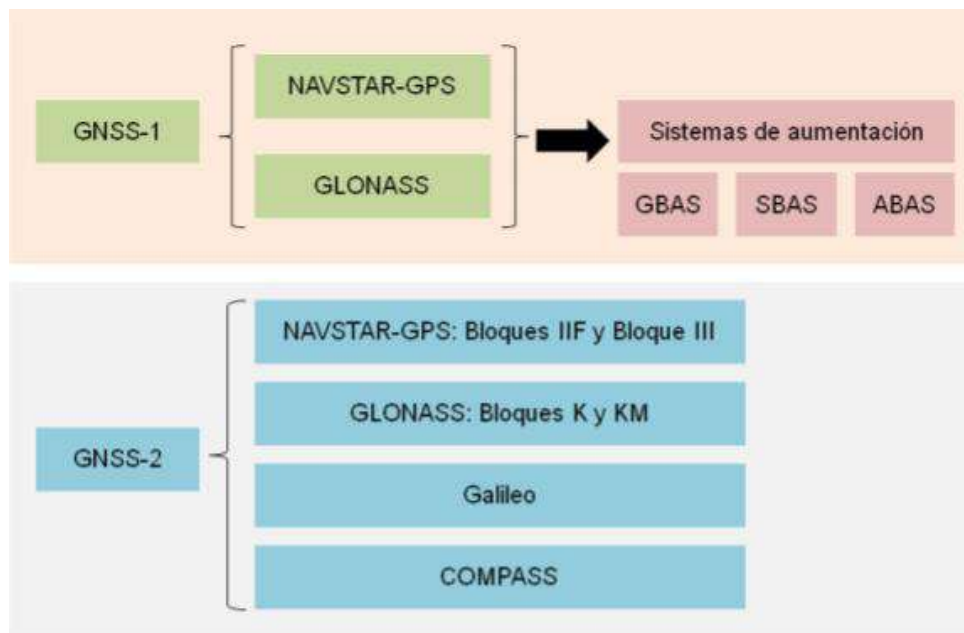


Figura 2-1: Fases de desarrollo GNSS
Fuente: (BARREIRO ET AL. 2014, pág. 87)

1.1.3.1 GNSS-1

Esta fase de desarrollo se dio en el periodo 2002 a 2015, a esta fase corresponden los sistemas de navegación actuales como GPS y GLONASS que se complementan con los sistemas de aumentación para mejorar las prestaciones, los sistemas de aumentación son equipos en aeronaves ABAS, estaciones terrestres GBAS o en satélites SBAS (Berné et al. 2014, pág. 97).

1.1.3.2 GNSS-2

Esta fase se dio a partir de 2015 conformado por el sistema Galileo, COMPASS de China, el QZSS de Japón, el IRNSS perteneciente a India, además de las actualizaciones de los sistemas GPS y GLONASS actuales (Berné et al. 2014, pág. 97).

En la tabla 1-1 contiene un resumen con las características más importantes de las dos fases GNSS.

Tabla 1-1: Resumen de las fases de GNSS

CARACTERÍSTICAS	GNSS-1	GNSS-2
Período	2002-2015	2015 en adelante
Sistemas de navegación	GPS y GLONASS	GALILEO, COMPASS, QZSS y IRNSS.
Sistemas de aumentación	ABAS, GBAS y SBAS.	
Desarrollos	Sistemas regionales de aumentación con satélites geoestacionarios.	Mayor cantidad de señales, más potentes y seguras.
	Niveles de calidad de servicio adecuados.	Servicios de posicionamiento de precisión en tiempo real.

Fuente: (Berné et al. 2014, pág. 97)

Realizado por: Salazar Mayra, 2019.

1.1.4 Constelaciones GNSS

La constelación de satélites GNSS es un conjunto de satélites puestos en órbita que emiten señales y datos al equipo de usuario. El sistema global de navegación por satélite GNSS es un conjunto de satélites que permiten determinar la posición en cualquier parte del mundo, existe diferentes constelaciones o sistemas GNSS como: GPS, GLONASS, Galileo y Beidou, las cuales se describirán de forma detallada más adelante.

Las constelaciones GNSS están formadas de 21 a 30 satélites ubicados en diferentes planos orbitales elípticos, con diferentes ángulos de inclinación con respecto al plano ecuatorial, a una altura de entre 21000 a 25000 km sobre la superficie, cada satélite tiene como objetivo emitir señales en la banda L para obtener la distancia entre satélite y el receptor que está ubicado en la Tierra. Los receptores reciben estas señales para luego calcular las posiciones (Berné et al. 2014, pág. 13).

1.1.4.1 GPS

El Sistema de Posicionamiento Global (GPS) es un sistema desarrollado por la Defensa de los Estados Unidos que permite determinar la posición de receptores que se encuentren entre el paralelo 70° Norte y 70° Sur, es decir entre el norte de Noruega y la Antártida (Botella y Olmedillas 2010, pág. 20).

1.1.4.2 GLONASS

EL Sistema Orbital Mundial de Navegación por Satélite conocido por las abreviaturas de sus siglas en inglés como GLONASS, es un sistema ruso similar a GPS que fue desarrollado por la Unión Soviética cuyo objetivo es proveer de posicionamiento en tiempo y espacio en cualquier parte del mundo, sin límite de usuarios y sin importar las circunstancias (García 2008, pág. 26).

1.1.4.3 Galileo

Galileo es un sistema de navegación por satélite europeo de uso civil en su totalidad que puede trabajar de forma independiente o en conjunto con los sistemas GPS y GLONASS, además ofrece mayor precisión en cuanto al posicionamiento sobre todo en los polos donde la señal del actual GPS disminuye (Villaruel et al. 2014, pág. 2).

1.1.4.4 BEIDOU- COMPASS

El sistema de navegación denominado Brújula, COMPASS o Beidou desarrollado por China tuvo sus inicios en el año 1997 y sus pruebas se realizaron en el 2011, se espera que tenga cobertura a nivel mundial en el año 2020, este sistema estará compuesto de 35 satélites distribuidos de la siguiente manera:

- 5 en órbitas geoestacionarias.
- 27 en órbita MEO.
- 3 en órbitas no geoestacionarias (Berné et al. 2014, pág. 13).

En la tabla 2-1 que se muestra a continuación se realiza un sucinto análisis comparativo de las principales características de las constelaciones GNSS que se encuentran operativas anteriormente mencionadas, entre las características más importantes está el número de satélites que conforma cada constelación, la cantidad de satélites que se encuentran operando así como los que se tiene de reserva, la altura a la que se encuentran orbitando los satélites en cada constelación,

el total de planos orbitales y la cantidad de satélites ubicados en cada plano, también es importante conocer el ángulo de inclinación del plano orbital con respecto al plano ecuatorial.

Tabla 2-1: Características de las constelaciones GNSS

CARACTERÍSTICAS	GPS	GALILEO	GLONASS
Número de satélites	27	30	24
Satélites operativos	24	27	21
Satélites de reserva	3	3	3
Altura de órbita en km	20182	23222	19140
Planos orbitales	6	3	3
Satélites por planos	4	9	8
Inclinación del plano orbital	55°	56°	64, 8°

Fuente: (Botella y Olmedillas 2010, pág. 26).

Realizado por: Salazar Mayra, 2019.

1.2 GPS – Sistema de posicionamiento global

1.2.1 Historia

TRANSIT fue el primer sistema de navegación por satélite que permitió determinar la posición de un receptor tomando en cuenta la posición de un satélite, este programa fue estudiado por la Fuerza Aérea y la Marina de los Estados Unidos en los años 60, este sistema se usó hasta el 31 de diciembre de 1996 (Capdevila 2018, pág. 1).

Gracias al gran éxito que tuvo el sistema TRANSIT la Defensa de los Estados Unidos se vio motivada para estudiar otros programas hasta 1973 cuando se desarrolló NAVSTAR-GPS (Navigation System Timing and Ranging - Global Position System) (Capdevila 2018, pág. 1).

El primer satélite fue lanzado el 22 de febrero de 1978 pero no fue hasta 1994 cuando se logró poner en órbita los 24 satélites que constituyen la constelación GPS, número mínimo para poder dar cobertura a toda la Tierra (Botella y Olmedillas 2010, pág. 20).

El proyecto GPS se desarrolló en diferentes fases las mismas que se muestran en la tabla 3-1 con sus principales características.

Tabla 3-1: Fases de desarrollo del proyecto GPS

FASES	PERÍODO	CARACTERÍSTICAS
1	1973-1977	Diseño y viabilidad del proyecto.
2	1979-1988	Lanzamiento del primer bloque de satélites.
3	1989-1995	Lanzamiento del segundo bloque de satélites
		Constitución de un segmento espacial operativo en su totalidad.
4	1996-2001	Lanzamiento y desarrollo del tercer bloque de satélites.
5	2002-2013	Desarrollo de satélites con mejores prestaciones.
		Sustitución de satélites antiguos.
		Obtención de una constelación más robusta.

Fuente: (GARCÍA 2008, pág. 20)

Realizado por: Salazar Mayra, 2019.

En sus inicios el sistema GPS fue de uso exclusivo militar pero luego se autorizó el uso civil, en la actualidad el GPS es más utilizado por usuarios civiles debido a su importancia y al sin número de aplicaciones existentes (Huerta et al. 2005).

1.2.2 Definición

Según (Huerta et al. 2005, pág. I-2) GPS tiene como objetivo determinar las coordenadas espaciales de diferentes puntos teniendo en cuenta un sistema de referencia a nivel mundial, estos puntos están ubicados en cualquier lugar del mundo de forma fija o en movimiento y se pueden realizar las observaciones a cualquier hora del día.

El GPS o sistema de posicionamiento global es un sistema de navegación basado en el espacio para determinar con precisión la posición, la velocidad y el tiempo en cualquier lugar del mundo (Hofmann et al. 2007, pág. 309).

Para los autores (Serpas et al. 2004, pág. 27) GPS es un sistema de navegación por satélite que se basa en las señales que emite los satélites de una constelación de 24 activos que orbitan alrededor de la Tierra para proveer de coordenadas en tres dimensiones en cualquier lugar de la superficie terrestre.

1.2.3 Arquitectura de GPS

El sistema GPS está formado por tres componentes importantes denominados sectores o segmentos que son: el segmento espacial, de control y de usuario que son necesarios para entender de mejor manera este sistema.

1.2.3.1 Segmento Espacial

La constelación GPS está constituida por 24 satélites ubicados en orbitas casi circulares con radios de 26560 km, tienen un periodo de 12 horas aproximadamente, están organizados en 6 planos orbitales con una inclinación de 55° con respecto al plano ecuatorial, cada plano tiene cuatro satélites distribuidos en cada órbita. A cada satélite se lo identifica con un código de dos caracteres una letra que puede ser de la A hasta F que identifica el plano orbital y un número del 1 al 4 para indicar el número de satélite en el plano (Misra y Enge 2006, pág. 33).

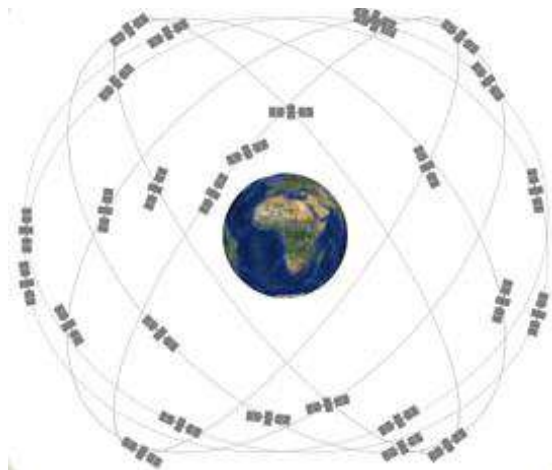


Figura 3-1: Constelación GPS

Fuente: <http://www.gps.gov/systems/gps/space>

Cada satélite se demora alrededor de 11 horas y 58 minutos en dar una vuelta completa a la Tierra, los satélites transmiten dos señales de radio en la banda L moduladas utilizando la técnica del espectro ensanchado (Olmedillas 2012, pág. 38). Estas señales se denominan L1 y L2:

- L1: es una señal que trabaja en la frecuencia 1575,42 MHz codificada con código C/A, de uso civil.
- L2: es una señal que trabaja en la frecuencia 1227,6 MHz codificada con clave P (Olmedillas 2012, pág. 38).

1.2.3.2 Segmento de control

El segmento de control de GPS está constituido por un conjunto de estaciones que controlan el segmento espacial, esto se lleva a cabo gracias al monitoreo constante de los satélites desde estaciones ubicadas en lugares estratégicos alrededor del mundo como se puede observar en la figura 4-1 (Capdevila 2018, pág. 11).



Figura 4-1: Distribución de las estaciones del segmento de control

Fuente: <http://www.gps.gov/systems/gps/control>

Cada una de las estaciones de monitoreo se encuentran ubicadas en coordenadas conocidas con gran precisión y se encuentran equipadas con receptores GPS de doble frecuencia, es decir, L1 y L2, la función principal de estas estaciones es determinar las distancias a todos los satélites que se encuentren visibles y luego transmitirlos a la estación de control maestra con datos meteorológicos de cada estación (Huerta et al. 2005, pág. I-9).

La estación maestra está ubicada en la Base de la Fuerza Aérea Schriever en Colorado, su función es recibir la información de las estaciones de monitoreo para calcular los diferentes parámetros orbitales, así como de los relojes para posteriormente transmitir a las antenas que transfieren estos datos a los satélites (Huerta et al. 2005, pág. I-9).

En la tabla 4-1 se muestra un resumen de las diferentes funciones y componentes que conforman el segmento de control.

Tabla 4-1: Resumen segmento de control GPS

SEGMENTO DE CONTROL	
Componentes	Funciones
<ul style="list-style-type: none">✓ Estación de Control Maestra (MCS)✓ Estaciones Monitoras (MS)✓ Antenas Terrestres (GA)	<ul style="list-style-type: none">✓ Monitorear las órbitas satelitales.✓ Mantener el tiempo del GPS.✓ Predecir las efemérides de los satélites y parámetros del reloj.✓ Actualizar los mensajes de navegación de los satélites.

Fuente: (Misra y Enge 2006, pág. 36)

Realizado por: Salazar Mayra, 2019.

1.2.3.3 Segmento de Usuario

El segmento de usuario está formado por todos los dispositivos utilizados para recibir y procesar la señal que emiten los satélites. Los principales instrumentos son la antena y el receptor. Los receptores ofrecen diversa información como por ejemplo los satélites localizados, la posición (longitud, latitud y altitud), condición de cada satélite y la intensidad que tiene la señal recibida (Huerta et al. 2005, pág. I-10).

1.2.4 Servicios GPS

El sistema de posicionamiento global presta dos niveles de servicio que son: SPS y PPS.

1.2.4.1 Servicio de Posicionamiento Estándar (SPS)

El SPS es un servicio de uso civil que está disponible a nivel mundial de forma gratuita para todos los usuarios GPS. A sus inicios la precisión horizontal era de 100 metros aproximadamente y de 156 vertical por la Disponibilidad Selectiva (SA), actualmente la SA no se utiliza por ende la precisión depende solo del número de satélites alcanzando los 10 y 20 metros para mínimo cuatro satélites (García 2008, pág. 25).

1.2.4.2 Servicio de Posicionamiento Preciso (PPS)

El Servicio de Posicionamiento Preciso es de uso exclusivo militar tiene una precisión horizontal de 21 metros y 27 metros vertical, el PPS puede ser utilizado por algunos civiles que posean una autorización de los Estados Unidos. La señal de este servicio se transmite en dos frecuencias distintas conocidas como L1 y L2 a diferencia del SPS que utiliza solo la frecuencia L1 (Correia 2001, pág. 13).

En la tabla 5-1 se indica la exactitud en metros que ofrece cada uno de los servicios de GPS.

Tabla 5-1: Exactitud de los servicios de GPS

Servicio	Exactitud
SPS	15 metros por término medio
PPS	30 centímetros como máximo
SPS con SA	125 metros por término medio

Fuente:(Botella y Olmedillas 2010, pág. 21)

Realizado por: Salazar Mayra, 2019.

1.2.5 Posicionamiento con Código C/A

El código C/A o también conocido como código de adquisición común se estableció cuando se diseñó GPS para que fuera de adquisición libre y no solo para uso militar, este código es muy utilizado para la medición de distancias entre los satélites y el receptor. En GPS la medición de las distancias se realiza en una única vía en donde no existe reflexión, para lo que se debe medir el tiempo necesario que utiliza la señal para recorrer la distancia entre satélite y el receptor (Huerta et al. 2005, pág. III-3).

El posicionamiento con código C/A esta dividido en dos grupos: el posicionamiento absoluto y posicionamiento diferencial.

1.2.5.1 Posicionamiento Absoluto

Se refiere a un receptor trabajando de forma autónoma, es decir, se calcula las coordenadas del receptor ubicado sobre la superficie terrestre, tomando en cuenta las mediciones de distancia hacia los satélites con los que tiene visibilidad y se muestra en el display del receptor las coordenadas sin realizar ninguna corrección. Este tipo de posicionamiento tiene dos modos de operación estático y móvil (Huerta et al. 2005, pág. IV-1), los mismos que se definen a continuación:

Modo estático: en este modo el receptor permanece en un punto fijo del que se quiere obtener las coordenadas durante un periodo de tiempo determinado, si el receptor está calculando las coordenadas se obtendrá una respuesta en 3 dimensiones que está conformada por un sistema de 4 ecuaciones con 4 incógnitas por cada instante de actualización en la toma de los datos. La posición final se podrá obtener con el promedio de todas las posiciones calculadas (Huerta et al. 2005, pág. IV-1).

Modo móvil: este modelo se basa en un receptor que está en movimiento del cual se obtiene soluciones de forma instantánea en tres dimensiones para cada momento de la toma de datos, es decir no que los datos obtenidos no corresponden al mismo punto. Se formará un sistema de 4 ecuaciones con 4 incógnitas por cada toma que nos proporciona las coordenadas del punto en que se ubicó el receptor a cada instante, es decir como resultado se obtendrá una sucesión de puntos que indican la trayectoria que siguió el receptor, esta solución es típica de la navegación (Huerta et al. 2005, pág. IV-1).

1.2.5.2 Posicionamiento Diferencial

Este tipo de posicionamiento consiste en la colocación de dos receptores que se encuentren no muy alejados entre sí, los que observan los mismos satélites de tal manera que se obtiene graficas equivalentes de las distribuciones de las posiciones horizontales calculadas por cada uno de los receptores tal como se muestra en la figura 5-1 (Huerta et al. 2005, pág. IV-3).

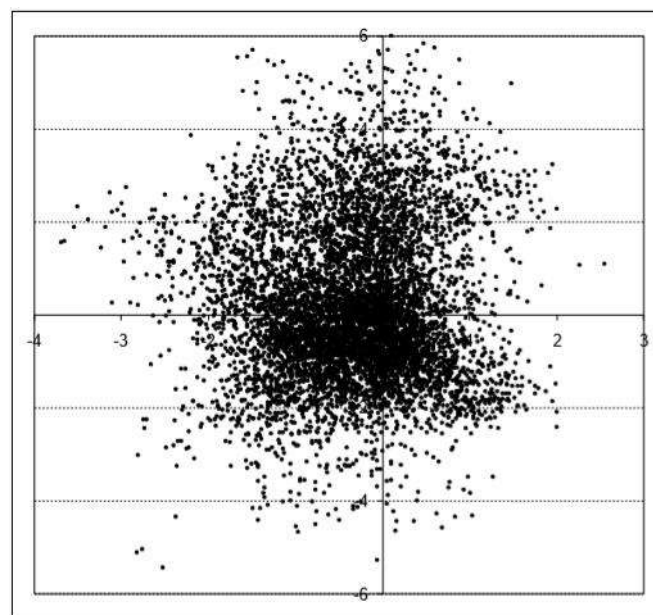


Figura 5-1: Principio de corrección diferencial
Fuente: (HUERTA, MANGIATERRA Y NOGUERA 2005, pág. IV-3).

Los errores de propagación causados por la ionosfera y troposfera afectan de manera parecida a dos estaciones que utilizan los mismos satélites y que se encuentren no muy alejadas entre sí. Esto se debe a que la distancia entre los receptores sobre la superficie terrestre es muy pequeña comparada con la distancia a la que se encuentran los satélites. En la figura 6-1 se puede observar el radio terrestre, la separación que tienen las estaciones y la distancia hacia los satélites, incluso si los receptores se encuentran alejados una distancia exagerada (500 km), la porción de atmosfera atravesada por la señal del mismo satélite es la misma (Huerta et al. 2005, pág. IV-4).

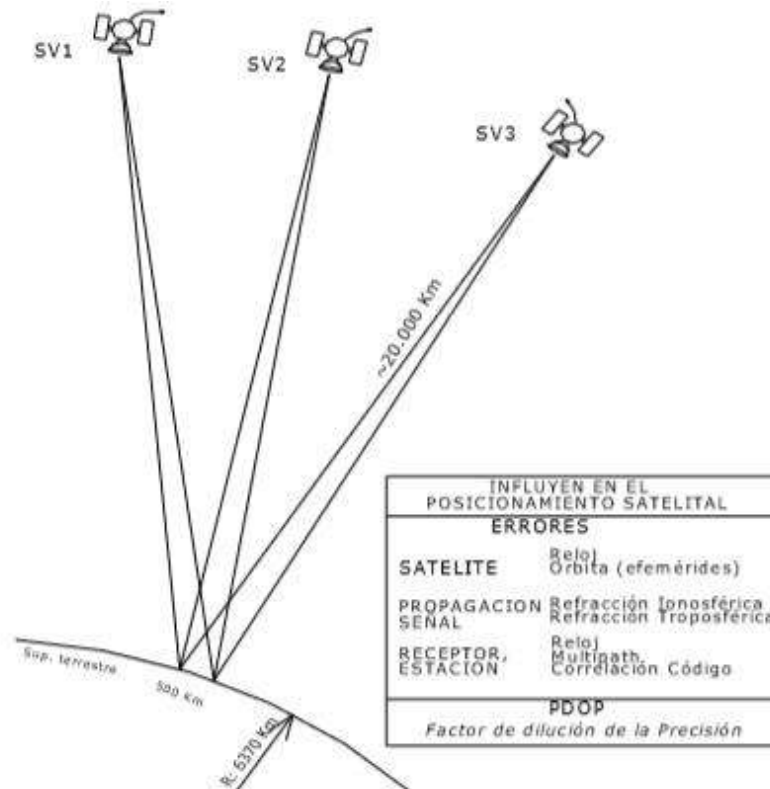


Figura 6-1: Parámetros comunes en ambas estaciones.
Fuente: (Huerta et al. 2005, pág. IV-4)

Los errores en cada satélite correspondientes al reloj y la órbita son comunes para las dos estaciones. La técnica de corrección diferencial permite excluir la influencia de estos errores al momento de realizar el cálculo de las posiciones en la segunda estación, a partir de la estación principal denominada base cuyas coordenadas son conocidas. Según este concepto si a cada posición calculada de la estación base se asigna un vector error y luego se aplica dicho vector cambiando de signo a la estación remota, se obtendrá las posiciones corregidas (López y Ortega 2017, pág. 29).

1.2.6 Precisión del GPS

La precisión del Sistema de Posicionamiento Global Puede llegar a centímetros si se aplica técnicas diferenciales, pero por lo general se tiene precisión a pocos metros en la tabla 6-1 se indica los errores tanto en la posición horizontal como vertical tomando en cuenta los mejores y peores casos que se tiene con GPS estándar.

Tabla 6-1: Precisión de GPS Estándar

	Promedio Global 95% del tiempo	Peor de los casos 95% del tiempo
Error en la posición Horizontal	13 metros (43 ft)	36 metros (118 ft)
Error en la posición Vertical	22 metros (72 ft)	77 metros (253 ft)

Fuente: (Zabala 2016)

Realizado por: Salazar Mayra, 2019.

1.2.7 Fuentes de Error de GPS

El posicionamiento de GPS como cualquier otra medición se ve afectada por errores los cuales pueden ser errores sistemáticos que son aquellos en los que se puede calcular su magnitud y el efecto se puede eliminar, por otro lado, están los errores aleatorios o accidentales, estos no pueden ser controlados por el observador y su efecto no puede ser eliminado solamente se lo puede minimizar (Pachas 2010, pág. 8).

Las fuentes de error sistemáticos que tiene el sistema de posicionamiento global pueden ser:

Error en Efemérides: se produce cuando el satélite transmite su posición la mayor parte de tiempo con mucha precisión, pero con pequeños errores, dichos errores son conocidos como efemérides transmitidas (Pachas 2010, pág. 8).

Error en el reloj Satelital: los satélites poseen relojes atómicos extremadamente precisos, pero con el pasar del tiempo presentan algunas fallas. Un parámetro de los mensajes de navegación es el estado del reloj que permite mantener controlado el funcionamiento. El satélite está ubicado en un campo gravitatorio más débil por lo que se produce un adelanto del reloj y como resultado de la mayor velocidad que lleva el satélite ocasiona un retraso del reloj (Capdevila 2018, pág. 20).

Error Ionosférico: es ocasionado por el retardo que sufre la señal GPS al pasar por la Ionosfera ya que esta capa se encuentra cargada de electrones, lo que modifica la velocidad de la señal

transmitida, este retardo depende de la cantidad de electrones que varía dependiendo de la latitud y de la hora del día (Pachas 2010, pág. 9)

Error Troposférico: Este tipo de errores se produce al cuando existe refracción de las ondas que dependen de las condiciones meteorológicas como la temperatura, presión y la humedad, que encuentran al paso. Existe la posibilidad de eliminar estos errores aplicando modelos troposféricos que ya establecidos o a su vez con algoritmos de estimación del retardo troposférico (González 2007, pág. 21).

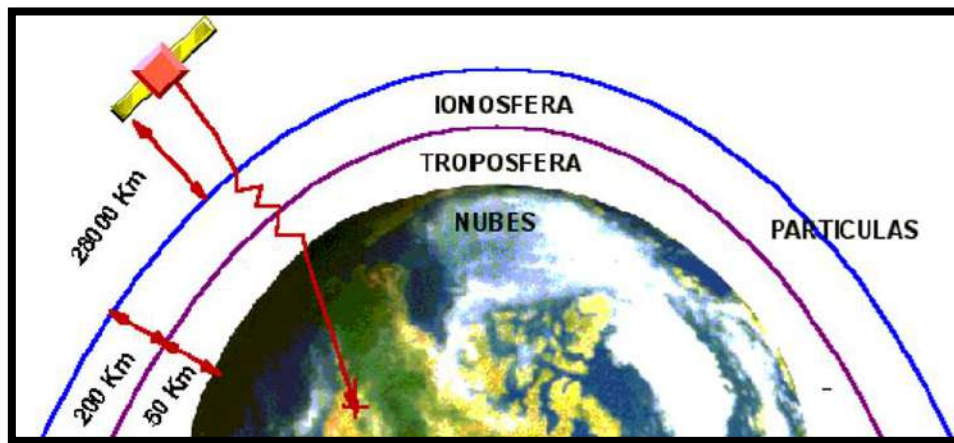


Figura 7-1: Error Troposférico

Fuente: (González 2007, pág. 21).

Error Multipath: la señal que recibe el receptor puede verse afectada por rutas múltiples, por lo general la señal directa llega antes que las que toman rutas múltiples. Este efecto puede generar ruido en la lectura del receptor y por ende se tendrá un error en el cálculo de la posición. El multipath es muy común en ambientes forestales y en entornos urbanos, debido a los grandes edificios. El error que se asocia a las rutas múltiples depende de las condiciones de trabajo y es de 1 metro. Actualmente existen antenas que disminuyen sustancialmente el efecto de multipath (Fallas 2010, pág. 10). Este tipo de error se muestra en la figura 8-1.

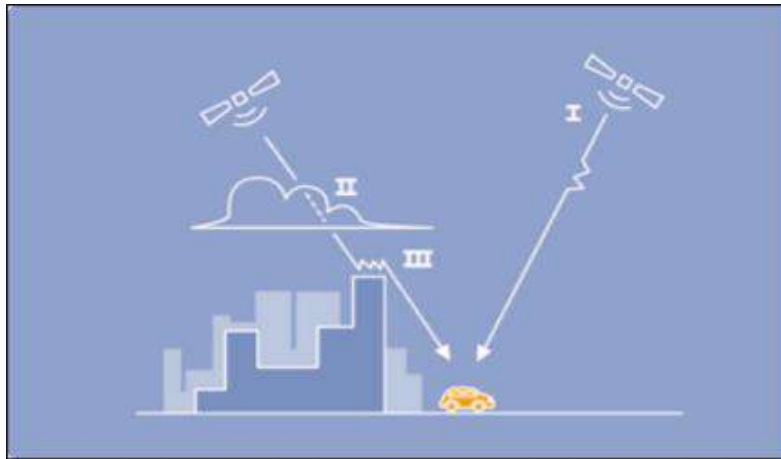


Figura 8-1: Error multipath

Fuente: (González 2007, pág. 21).

Disponibilidad Selectiva (SA): la SA era una fuente de error intencional generada por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos para asegurarse que no utilicen el GPS en su contra. Este error es de mayor importancia para los usuarios civiles y para eliminar este efecto es necesario utilizar un receptor fijo o estación base que tenga una ubicación conocida y operarla simultáneamente con el receptor móvil, luego se debe aplicar la técnica de corrección diferencial para alcanzar errores de 5 metros e incluso en algunos casos hasta décímetros (Fallas 2010, pág. 11).

En la tabla 7-1 se muestra las diferentes fuentes de error y la aproximación de cada error en metros tanto para el GPS estándar como para el GPS diferencial.

Tabla 7-1: Fuentes de error GPS vs DGPS

FUENTES DE ERROR	GPS ESTÁNDAR (metros)	GPS DIFERENCIAL (metros)
Reloj del Satélite	1.5	0
Errores Orbitales	2.5	0
Ionosfera	5.0	0.4
Troposfera	0.5	0.2
Ruido en el receptor	0.3	0.3
Multipath	0.6	0.6
Disponibilidad selectiva (SA)	30	0
Precisión de posición	GPS	DGPS
Horizontal	50	1.3
Vertical	78	2
3D	93	2.8

Fuente:(Giménez y Ros 2009, pág. 13)

Realizado por: Salazar Mayra, 2019.

1.3 Diferencial de GPS

El diferencial de GPS es un sistema que provee a los receptores las correcciones de los datos recibidos de los satélites GPS que tiene como objetivo proporcionar mayor precisión en la posición calculada y se originó con la introducción de la disponibilidad selectiva (Giménez y Ros 2009, pág. 13).

El DGPS se basa en el fundamento que los errores que se producen en el sistema GPS afectan de forma similar los receptores que se encuentran próximos entre sí. La señal que emiten los satélites del sistema se recibe en un receptor cuya ubicación es conocida gracias a la utilización de otras técnicas, y puede proceder a calcular los errores producidos por el sistema GPS. El receptor procederá a transmitir la corrección de errores a los receptores cercanos y de esta forma los demás receptores también corregirán los errores producidos por el sistema dentro del área de cobertura en que se transmite las señales del equipo de referencia (Giménez y Ros 2009, pág. 13).

El GPS diferencial es una técnica para reducir el error en las posiciones derivadas del GPS mediante el uso de datos adicionales del receptor GPS de referencia en una posición conocida. El DGPS permite eliminar los efectos de las efemérides del mensaje de navegación, los errores del reloj satelital y los efectos atmosféricos en una estación de referencia (Grewal et al. 2013, pág. 293).

Los errores que elimina el diferencial son los siguientes:

- Retardo ionosférico
- Retardo troposférico
- Disponibilidad selectiva o SA
- Error del reloj del satélite
- Efemérides (Peñañiel y Zayas 2001, pág 66)

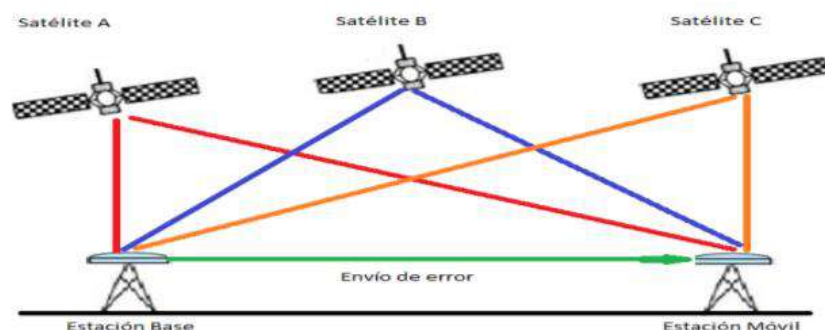


Figura 9-1: Funcionamiento DGPS

Fuente: (Montenegro y Vargas 2015, pág. 5)

1.3.1 Estructura DGPS

EL DGPS está constituido por dos elementos:

- Estación monitorizada
- Equipo de Usuario.

Estación monitorizada: Es una estación base de referencia de la cual se conoce su posición con una gran precisión y está compuesta por tres elementos principales que son:

- ✓ Un receptor GPS.
- ✓ Un microprocesador que permite calcular los errores del sistema GPS y genera la estructura del mensaje que se envía a los receptores.
- ✓ Un transmisor que establece un enlace de datos en una única vía hacia los receptores de los usuarios finales (Giménez y Ros 2009, pág. 13).

Equipo de usuario: Constituido por un receptor GPS y un receptor del enlace de datos desde la estación de referencia. Para obtener las correcciones del diferencial de GPS existen diferentes formas, dentro de las cuales se pueden destacar las correcciones recibidas a través de radio utilizando un canal como el RDS que es una emisora de FM, por medio de descargas en internet y utilizando conexiones inalámbricas (López y Ortega 2017, pág. 31).

Los mensajes que son enviados a los receptores próximos pueden tener dos tipos de correcciones:

- Aplicada directo a la posición, pero tiene el inconveniente que el usuario y la estación de referencia deben usar el mismo conjunto de satélites debido a que las correcciones se basan en estos (Montenegro y Vargas 2015, pág. 9).
- Una corrección que se utiliza para las pseudodistancias de cada uno de los satélites visibles. El usuario podrá aplicar las correcciones con todo el conjunto de satélites que se han encontrado (Montenegro y Vargas 2015, pág. 9).

1.3.2 Técnicas del diferencial de GPS

El DGPS tiene dos técnicas principales que son: Code phase y Carrier phase. La técnica del code phase se basa en las medidas del pseudo rango y la de Carrier phase en mediciones de fase de portadora.

Code phase: esta técnica permite calcular las correcciones del pseudorango o también conocido como pseudodistancia para cada satélite visible, en donde la estación base tiene como objetivo calcular la corrección de dicho pseudorango a la vez de la posición del receptor móvil. Se puede calcular la corrección al restar la distancia real, que se descifra mediante el estudio de la posición y el conocimiento de parámetros orbitales del pseudo rango medido (López y Ortega 2017, pág. 31).

Luego de haber realizado lo anterior el receptor móvil se dispone a elegir la corrección adecuada para cada satélite que está siguiendo y utiliza con el fin de solucionar su posición, de tal forma sustrae la corrección del pseudorango medido. La principal ventaja de utilizar este tipo de correcciones es la sencillez para realizar los cálculos y la desventaja es que tanto la estación de referencia y el usuario deben usar el mismo conjunto de satélites (López y Ortega 2017, pág. 31).

La expresión para aplicar la técnica de la pseudodistancia se muestra a continuación:

$$P1 = \rho_1 + c(\tau_R - \tau^{SI}) + I_1 + T_1 + rel_1 + K_1 + M_1 + \varepsilon_1$$

$$P2 = \rho_2 + c(\tau_R - \tau^{SI}) + I_2 + T_2 + rel_2 + K_2 + M_2 + \varepsilon_2 \quad \text{Ecuación (1.1)}$$

En donde:

ρ : es la distancia real

τ : representa los estados del reloj

I: los retrasos por la Ionósfera

T: retrasos por la tropósfera

K: el ruido del receptor

M: el multipath

ε : los errores no controlados (Prieto y Velasco 2014, pág. 9).

Teniendo en cuenta las ecuaciones anteriores en el receptor de referencia y en el receptor móvil lo que se hace es eliminar o restar los errores comunes entre ellos para de esta manera mejorar la precisión.

Carrier phase: está basado en la diferencia entre la fase de la portadora que recibe el receptor desde el satélite y la fase de la portadora que se produce en el oscilador del receptor. La técnica basada en Carrier phase utiliza la diferencia que se mide entre RS y UR, en donde la primera diferencia para un mismo satélite toma en cuenta la fase medida entre RS y UR logrando eliminar el error correspondiente al reloj del vehículo espacial (López y Ortega 2017, pág. 32).

1.3.3 Principios de corrección del diferencial de GPS

Para poder aplicar las correcciones del diferencial de GPS es necesario tomar en cuenta algunos principios de funcionamiento del DGPS que se detallan a continuación:

- ✓ Se necesita de al menos dos receptores, uno que este en un punto fijo y otro que se desplace.
- ✓ El DGPS se basa en la eliminación de diferentes errores comunes que presentan las mediciones normales de GPS.
- ✓ Los dos receptores deben estar trabajando de forma simultánea es decir en las mismas épocas.
- ✓ La distancia entre los receptores debe ser muy pequeña con respecto a las distancias a las que se encuentran los satélites y además debe ser una distancia conocida.
- ✓ El receptor de referencia debe estar ubicado en un punto cuya posición es conocida con exactitud.
- ✓ El receptor de referencia debe enviar las correcciones a los receptores cercanos para que también apliquen dichas correcciones.
- ✓ El receptor tanto de referencia como móvil deben trabajar con el mismo conjunto de satélites.
- ✓ Pueden aplicarse las correcciones ya sea en tiempo real o en no tiempo real conocido también como en postproceso (QUIEROAPUNTES 2019).

1.3.4 Aplicaciones de la corrección diferencial

1.3.4.1 Post- Procesamiento

Esta es una aplicación muy simple que consiste en descargar los datos a una computadora y enfrentar las mediciones de ambos receptores, es decir realizando el postprocesamiento.

Este método puede ser aplicado de forma particular, es decir, un usuario que disponga de 2 o más receptores, se dejara uno en un punto fijo de coordenadas conocidas, el mismo que actuara como base y el otro u otros estarán en movimiento recorriendo los puntos que interesan conocer (Huerta et al. 2005, pág. IV-11).

Una alternativa para este método es la instalación de una estación GPS permanente, es decir, un receptor GPS en un punto fijo de coordenadas conocidas como estación bases, esta estación debe

almacenar los datos de los satélites GPS durante 24 horas y pone dichos datos a disposición de los usuarios en forma de archivos dependiendo del lapso de tiempo que cada usuarios estuvo realizando mediciones, de tal manera que el usuario tome los archivos del receptor base y aplique la corrección diferencial a sus archivos tomados con el receptor móvil (Huerta et al. 2005, pág. IV-11).

1.3.4.2 En Tiempo Real

También conocido como RTDGPS consiste en obtener las coordenadas en tiempo real alcanzando una precisión métrica o submétrica. Este método diferencial consiste en un receptor fijo o de referencia que se encuentra estático ubicado en un punto de coordenadas conocidas y un receptor móvil o también conocido como Rover que se encuentra en movimiento del cual se va a determinar las coordenadas en tiempo real. Este método trabaja con la medida de las pseudodistancias, en el receptor móvil se realiza la corrección a las pseudodistancias calculadas tomando en cuenta los parámetros enviados por el receptor fijo. Una restricción para utilizar este método es que para la transmisión se necesita de algún sistema de telecomunicaciones entre el receptor de referencia y el Rover (González 2007, pág.29).

Teniendo en cuenta lo descrito anteriormente se concluye que el postprocesamiento es una aplicación de la corrección diferencial que presenta mejores ventajas frente a RTDGPS como la sencillez ya que solo se necesita descargar los datos en un computador y luego aplicar un proceso en ambos receptores, además el postprocesamiento no necesita de ningún sistema de telecomunicaciones para la transmisión entre receptor base y el móvil como el RTDGPS.

1.4 Posicionamiento en dispositivos móviles

Debido a diferentes circunstancias se ha impulsado el desarrollo de sistemas de posicionamiento en dispositivos móviles. En Estados Unidos esta tecnología cobro interés debido a una ley de la Comisión Federal de Comunicaciones (FCC), en la que se impuso que desde diciembre de 2005 las operadoras de telefonía móviles debían tener la capacidad de localizar a los usuarios que realicen alguna llamada de emergencia, teniendo una precisión de 50 metros en el caso del 67% de las llamadas y de 150 metros con la normativa E-911. Por otra parte, en Europa también se propuso que los operadores introduzcan tecnologías de posicionamiento en sus redes para ubicar a los usuarios que hagan llamadas de realicen llamadas de emergencia, pero con la diferencia que no se requiere de una precisión mínima (Gete y Roldán 2008, pág. 74).

Para el cumplimiento de estas normativas el modo más efectivo es utilizar el sistema GPS, por tal motivo los operadores de telefonía móvil han elegido la tecnología A-GPS para satisfacer las

exigencias. La utilización del sistema GPS en el móvil hace que los dispositivos aumenten el tamaño y peso, pero por otro lado lo encarece debido a los componentes que incluye, además se tiene un mayor consumo energético. La aparición de dispositivos móviles más avanzados o teléfonos inteligentes, de mayor tamaño, más memoria y diferentes capacidades han permitido la explotación del GPS a nivel de la telefonía móvil (Gete y Roldán 2008, pág. 74).

Se conoce como teléfonos inteligentes a los dispositivos que tiene una mayor cantidad de características tanto de proceso como de memoria que un teléfono normal, con una amplia gama de aplicaciones que se puede instalar para aumentar las funcionalidades. Se desarrollan diferentes tipos de aplicaciones por el fabricante sobre todo en los sistemas operativos de iPhone y Android. Las principales características es que la mayoría posee acceso a internet, GPS, acelerómetro, cámaras digitales integradas, programas de navegación, entre otros (Dulcey 2011, pág. 11).

En la tabla 8-1 se indica las principales características de los sistemas operativos de Android y iPhone.

Tabla 8-1: Android vs IOS

CARACTERÍSTICAS	ANDROID	IOS
Desarrollador	Google	Apple, Inc.
Familia de sistema operativo	Linux	OS X, UNIX
Personalización	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Se puede cambiar casi todo. ✓ Mejora la experiencia del usuario. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ El sistema operativo de Apple no se puede modificar.
Programado en	C, C++, Java.	C, C++, Objective-C.
Aplicaciones	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Gran variedad de aplicaciones, pueden ser programadas por cualquier persona. ✓ La mayoría son de acceso libre. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Tiene gran variedad de aplicaciones en la cuenta de iTunes. ✓ Muchas aplicaciones son de pago. ✓ Apple restringe el uso de algunas herramientas.

	✓ Gran control de malware.	
Widgets	Si	No
Mapas	Google Maps	Apple Maps

Fuente:(Diffen 2019)

Realizado por: Salazar Mayra, 2019.

Tomando en cuenta lo descrito en la tabla correspondiente a las características tanto del sistema operativo de iPhone como de Android, se puede concluir que existe una mayor variedad en aplicaciones y se tiene más libertad para acceder a las funciones el sistema operativo de Android por lo que resulta la mejor opción para poder acceder a los datos brutos de un celular.

1.5 ANDROID

Android es un sistema operativo variante de Linux que en sus inicios se orientó a dispositivos móviles y luego con los avances tecnológicos se expandió a tablets, relojes inteligentes, televisores, entre otros. Fue desarrollado en sus inicios por Android Inc. y posteriormente comprada por Google (Dulcey 2011, pág. 8).

El sistema operativo provee de las interfaces necesarias para poder desarrollar aplicaciones que permitan acceder a las diferentes funciones del teléfono de forma sencilla y utilizando un lenguaje de programación muy conocido como Java. La mejor característica que presenta este sistema operativo es la de ser un software completamente libre, es decir que no se necesita pagar nada ni para programar ni para incluirlo en un teléfono (Dulcey 2011, pág. 8).

En la figura 10-1 se muestra la arquitectura de Android y se puede notar que está dividida en cuatro capas, teniendo en cuenta que cada una de las capas está basada en software libre.

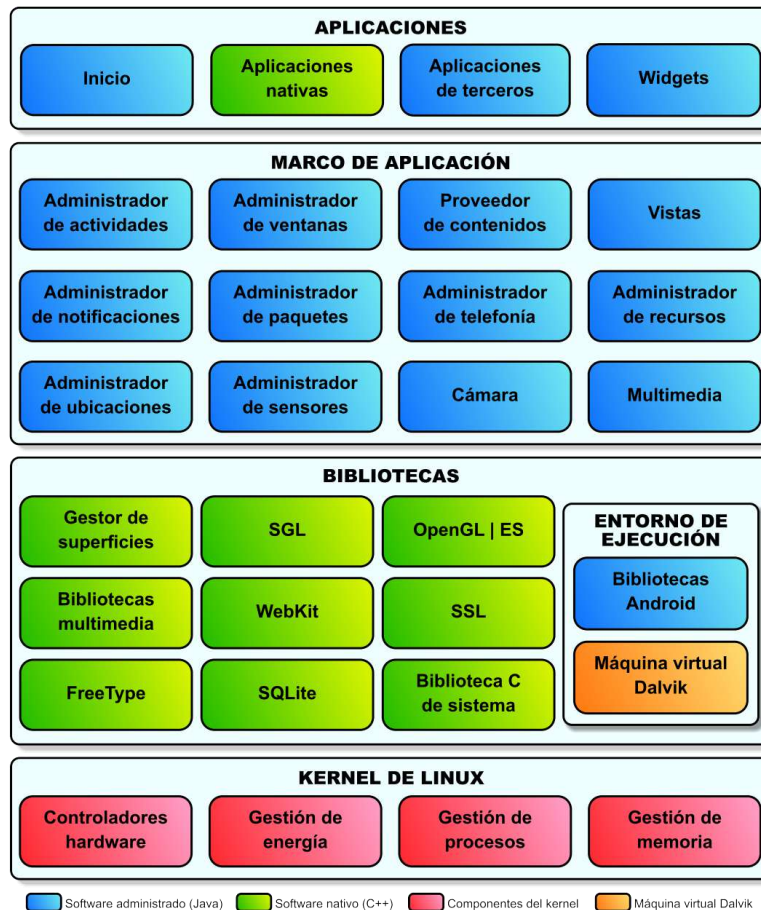


Figura 10-1: Arquitectura Android
Fuente:(Vico 2011)

1.5.1 Arquitectura de posicionamiento Android

Todos los dispositivos Android presentan un sin número de funciones, en la actualidad el servicio de GPS es el más utilizado para diferentes aplicaciones de navegación personal y localización en cualquier parte del mundo con la ayuda de mapas y gracias a que cuenta con receptores GPS le permite al usuario acceder a su ubicación (Sagñay y Freire 2018, pág. 44)

El sistema de posicionamiento de Android combina diferentes tecnologías como el sistema de posicionamiento global GPS que funciona cuando se tiene visibilidad directa con los satélites con la información recibida de las torres de telefonía celular y la información que se obtiene de los puntos de acceso de Wi-Fi, permitiendo de esta manera tener un sistema totalmente integrado, con el cual es posible la creación de diferentes aplicaciones de localización (Aguilar 2015, pág. 4).

La arquitectura del GPS presenta 5 componentes importantes como son:

- GPS Chip
- GPS Driver
- GL Engine

- Android Framework
- Aplicaciones de usuario

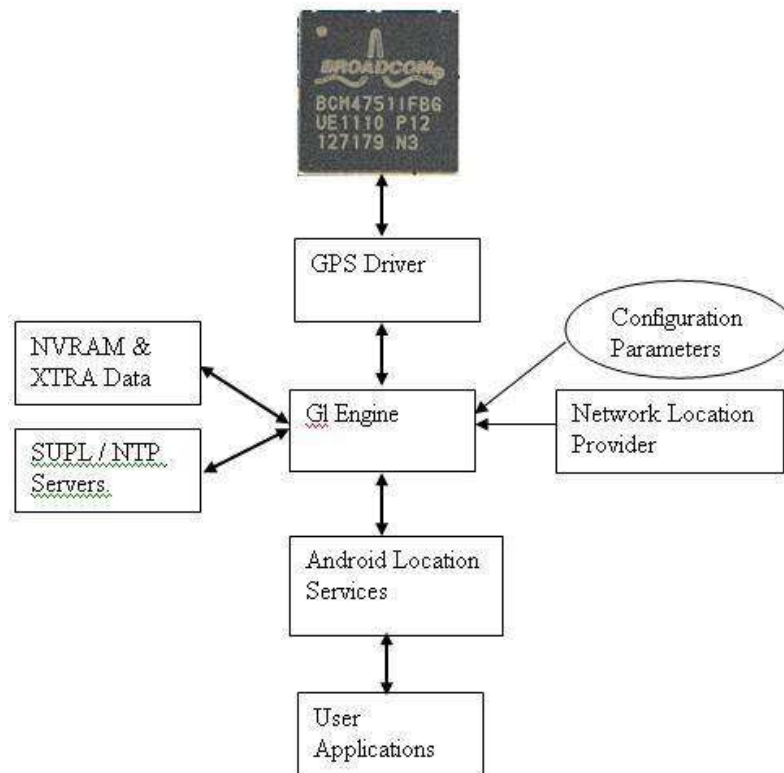


Figura 11-1: Arquitectura interna GPS de un móvil
Fuente: (Latorre 2012).

GPS Chip: se trata de un receptor de radio frecuencia que permite la comunicación directa con los satélites GPS (Latorre 2012).

GPS Driver: utiliza las denominadas APIs o interfaces de programación de aplicación de nivel bajo para establecer la comunicación con el Chip GPS, que consiste en una serie de archivos que por lo general empiezan con el prefijo GPS y termina con el sufijo SO, que depende de las diferentes versiones de Android, un ejemplo de este tipo de archivos es: gps.default.so. (Latorre 2012).

GL Engine: se encarga de manejar la información de localización que esta almacenada en la raíz del sistema que por lo general depende de la versión de Android, los diferentes parámetros de configuración se guardan en archivos que pueden ser .xml o .conf en la dirección /system/etc/gps, GL Engine suministra la información de localización de las estaciones base cercanas a las que se conecte móvil según cada operadora de red y guarda en la memoria los datos obtenidos. Si se necesita el posicionamiento en modo A-GPS, se debe acceder al directorio SUPL de un servidor NTP (Network Time Protocol), que utilizan los dispositivos para poder sincronizar los relojes por medio de la conexión a internet para de este modo reducir el tiempo de consulta. Los datos que

se obtiene en el proceso se almacenan en la memoria NVRAM que tienen los dispositivos móviles (Sagñay y Freire 2018, pág. 45).

Android Framework o servicios de Localización: son las interfaces programadas en lenguaje JAVA, que se usan en Android para controlar algunos aspectos de GPS un ejemplo es Location Manager que funciona como un puente entre las aplicaciones de usuario y los datos que se almacenan en el GL Engine utilizando APIs propias de Android (Sagñay y Freire 2018, pág. 46).

Aplicaciones: son todas las aplicaciones creadas por programadores, que nos permiten obtener la localización sin tanto esfuerzo, estas aplicaciones de usuario son instaladas en los teléfonos móviles Android entre algunos ejemplos tenemos Google Maps, GPS test, entre otras que permiten acceder a los datos de posicionamiento (Sagñay y Freire 2018, pág. 46).

1.5.2 Extracción de datos brutos

Para la extracción de los datos brutos de un dispositivo móvil basado en Android es necesario la utilización de algunas aplicaciones de registro de datos crudos de Android (Manandhar 2018), entre las cuales tenemos:

- GNSS Logger
- GEO++ RINEX Logger
- GNSS Compare

GNSS Logger: esta aplicación registra datos sin procesar, algunos dispositivos también emiten los datos de bits de navegación y AGC, además es compatible con múltiples bandas (Manandhar 2018). En la figura 12-1 se puede observar el entorno de trabajo de GNSS Logger.

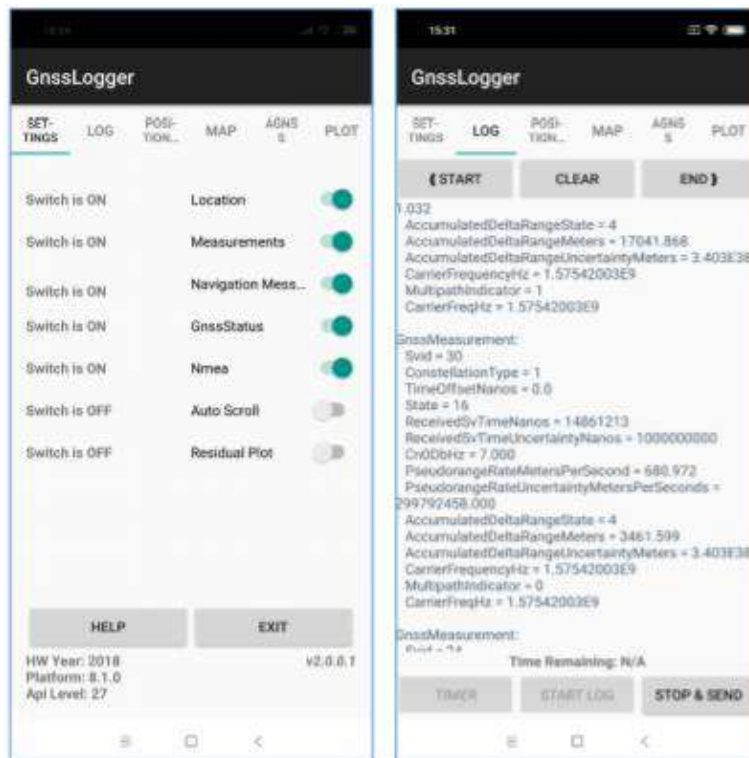


Figura 12-1: Entorno GNSS Logger.
Fuente: (Manandhar 2018).

Esta herramienta nos permite obtener datos GNSS de muestra sin formato, en la figura 13-1 se muestra este tipo de datos y el encabezado, en donde se puede encontrar información de la versión que se está utilizando, así como también el modelo del dispositivo Android.

Header Description:

Version: v2.0.0.1 Platform: 8.1.0 Manufacturer: Xiaomi Model: MI 8

##Raw,ElapsedRealtimeMillis,TimeNanos,LeapSecond,TimeUncertaintyNanos,FullBiasNanos,BiasNanos,BiasUncertaintyNanos,DriftNanosPerSecond,DriftUncertaintyNanosPerSecond,HardwareClockDiscontinuityCount,Svid,TimeOffsetNanos,State,ReceivedSvTimeNanos,ReceivedSvTimeUncertaintyNanos,Cn0DbHz,PseudorangeRateMetersPerSecond,PseudorangeRateUncertaintyMetersPerSecond,AccumulatedDeltaRangeState,AccumulatedDeltaRangeMeters,AccumulatedDeltaRangeUncertaintyMeters,CarrierFrequencyHz,CarrierCycles,CarrierPhase,CarrierPhaseUncertainty,MultipathIndicator,SnrInDb,ConstellationType,AgcDb,CarrierFrequencyHz

Fix,Provider,Latitude,Longitude,Altitude,Speed,Accuracy,(UTC)TimeInMs

Nav,Svid,Type,Status,MessageId,Sub-messageId,Data(Bytes)

Figura 13-1: Datos GNSS y encabezado de GNSS Logger
Fuente: (Manandhar 2018).

Además, esta aplicación permite obtener muestras GNSS de datos sin procesar, la posición y los mensajes de navegación NMEA.

GEO++ RINEX Logger: Es una aplicación que permite generar el archivo de observación RINEX para realizar el procesamiento posterior y el posicionamiento preciso, además es compatible con doble frecuencia. Hasta ahora es compatible con GPS, GLONASS, GALILEO y BDS (Manandhar 2018). En la figura 14-1 se muestra el entorno de trabajo de GEO++ RINEX Logger.

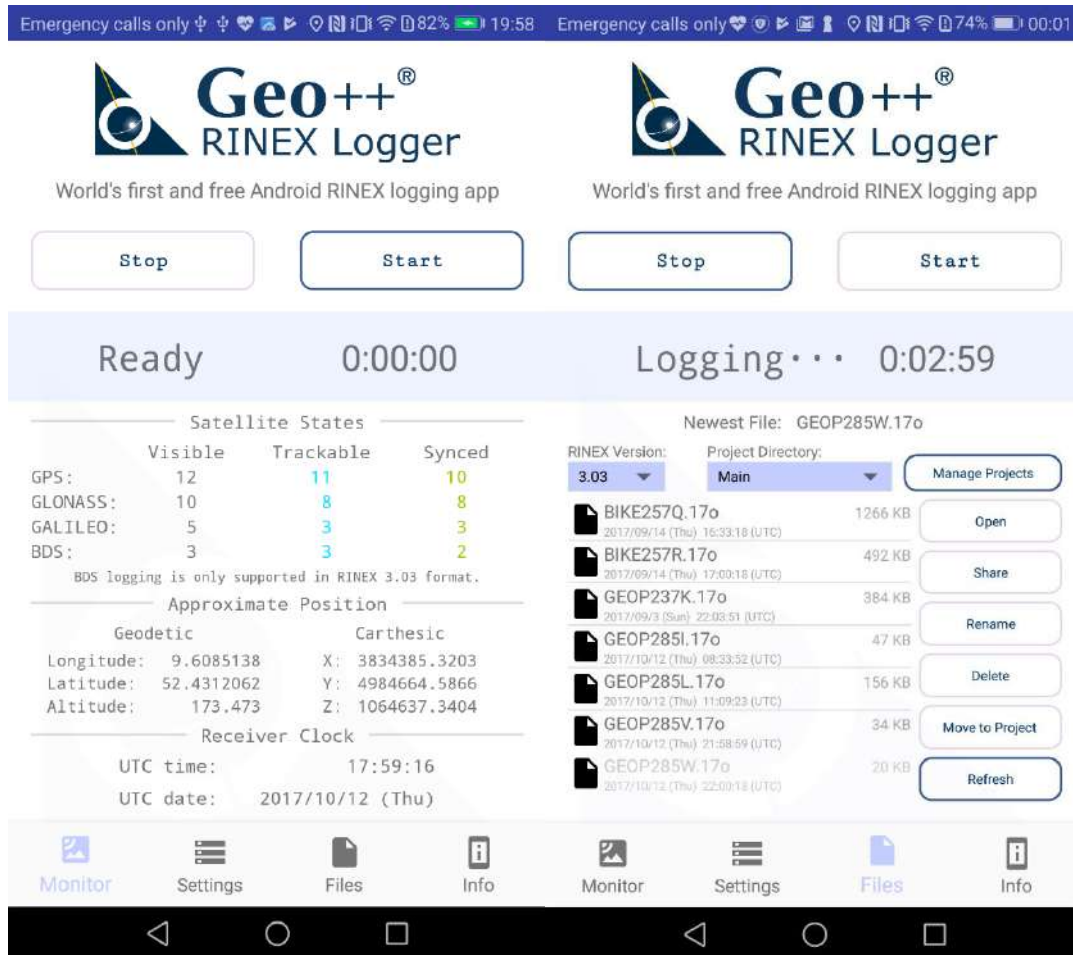


Figura 14-1: Entorno de Geo++ RINEX Logger
Fuente: (Manandhar 2018).

Esta aplicación presenta algunas características importantes como:

- Disponible para Android 7.0 o versiones posteriores.
- Registra los datos brutos de las mediciones GNSS del dispositivo móvil en un archivo RINEX.
- El archivo generado contiene pseudodistancias, fases de portadora, frecuencias Doppler y algunos valores de ruido.
- Genera los nombres de los archivos dependiendo de la hora y la fecha actuales del año (APKPLZ.NET 2019).

GNSS Compare: esta aplicación tiene como objetivo principal calcular la precisión de la posición de cada tipo de señal ya sea de GPS y Galileo. La aplicación muestra los detalles de los satélites en el celular para realizar los cálculos de posicionamiento, velocidad y tiempo, además la potencia de la señal relativa (GALILEOGNSS.eu 2018). En la figura 15-1 se observa el entorno de trabajo de GNSS Compare.

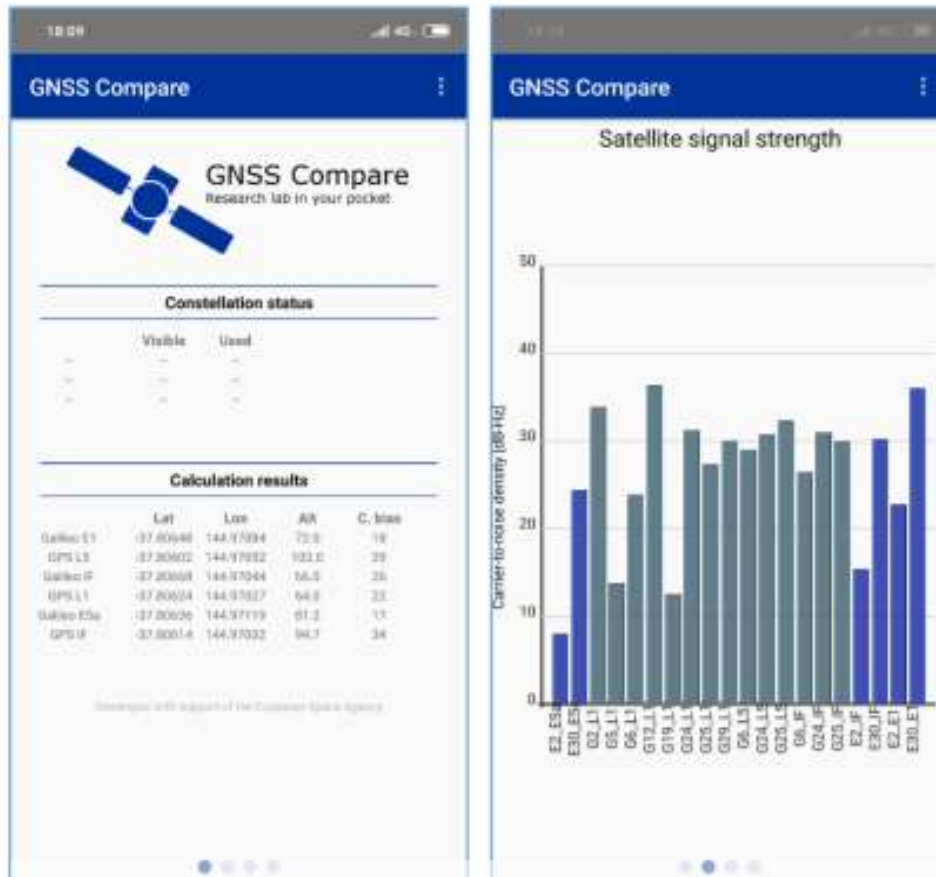


Figura 15-1: Entorno de GNSS Compare.
Fuente: (Manandhar 2018).

Las principales características de GNSS Compare son:

- Trabaja con código de fuente abierta
- Es compatible con las constelaciones GNSS: solo Galileo, solo GPS o las dos combinadas.
- Los formatos de registro de datos que posee son: registro simple, NMEA y mediciones GNSS en bruto (TFI Systems 2018).

A continuación, se muestra la tabla 9-1 la cual contiene un resumen de las diferentes características de las herramientas de extracción de datos antes mencionadas para realizar una comparación entre las mismas.

Tabla 9-1: Comparación de las herramientas de extracción de datos brutos

CARACTERÍSTICAS	APLICACIÓN		
	GNSS Logger	Geo++ RINEX Logger	GNSS Compare
Obtención de datos sin procesar	✓	✓	✓
Generación de Archivos RINEX	X	✓	X
Compatibilidad con doble frecuencia	✓	✓	✓
Compatibilidad con todas las constelaciones	✓	✓	X
Compatibilidad con diferentes softwares de procesamiento	X	✓	✓
Compatibilidad con versiones de Android 7 o superiores	✓	✓	✓

Fuente: (APKPLZ.NET 2019) - (GALILEOGNSS.eu 2018) - (TFI Systems 2018)

Realizado por: Salazar Mayra, 2019.

De las aplicaciones anteriormente mencionadas como se muestra en la tabla comparativa nos presta mejores ventajas GEO++ RINEX Logger ya que nos permite la extracción de datos brutos del dispositivo Android en archivos RINEX lo cual facilita el postprocesamiento de los mismos.

1.6 Herramienta para la recolección de datos GNSS

Para la recolección de datos GNSS se va a utilizar un receptor móvil, de entre varios tipos de receptores por la accesibilidad de costos y a sus prestaciones se a elegido el módulo GPS Ublox Neo 6M.

1.6.1 Módulo Ublox Neo 6M

El módulo Ublox Neo 6M posee una antena de cerámica y EEPROM integradas, lo que ayuda para tener una gran precisión y su uso es muy sencillo. La comunicación del módulo con el ordenador se realiza mediante un puerto serial que posee 4 pines, VCC, RX, TX y GND (Naylamp Mechatronics 2019).



Figura 16-1: Módulo Ublox Neo 6M

Fuente: (Naylamp Mechatronics 2019).

Entre las características más importantes se destacan las siguientes:

- Voltaje de alimentación de 3.5 - 5 V.
- Sensibilidad de captura -148dBm.
- Sensibilidad de rastreo de - 161dBm.
- Frecuencia receptora de L1 (1575,42 Mhz).
- Exactitud de 1 microsegundo (López y Ortega 2017, pág. 44).

1.7 Herramientas para el análisis y procesamiento de datos GNSS

1.7.1 gLAB

La herramienta gLAB es un software desarrollado por el grupo de Astronomía y Geomática (GAGE), bajo un contrato de la Agencia Espacial Europea (ESA). Esta herramienta permite realizar el modelado de los observables GNSS ya sea el pseudorange y fase a nivel de centímetros, lo que provee un posicionamiento GPS autónomo. gLAB contribuye para que cada error sea evaluado de forma independiente, además se puede adaptar a diferentes formatos estándar como los archivos RINEX-3.00, SP3, ANTEX, SINEX, entre otros (GAGE: Grupo de Investigación Astronómica y Geomática 2018).

El software gLAB es muy flexible ya que puede ser ejecutado en los diferentes softwares operativos como Linux, Windows y Mac (GAGE: Grupo de Investigación Astronómica y Geomática 2018).

1.7.2 RTKLIB

RTKLIB es una herramienta conformada por programas de código abierto que sirve para el posicionamiento estándar y preciso, se basa en las medidas GNSS. Este paquete está formado por bibliotecas portátiles y diferentes aplicaciones de programa (López y Ortega 2017, pág. 48).

Las principales características de RTKLIB son:

- Es compatible con las constelaciones: GPS, GLONASS, Galileo, QZSS, BeiDou y SBAS.
- Soporta diferentes modos de posicionamiento GNSS ya sea en tiempo real y en postproceso como: Uniforme, DGPS, Cinemático, Estático, Fijo, PPP-Cinemático, PPP-Estático y PPP-Fijo.
- Soporta diferentes formatos y protocolos estándar de GNSS
- La comunicación externa puede ser de tipo Serial, TCP / IP, NTRIP y FTP / HTTP conocido también como descarga automática.

- Presenta diferentes funciones de biblioteca y aplicaciones para el procesamiento de datos GNSS como: efemérides y funciones de reloj, datos brutos del receptor, posicionamiento preciso, post-procesamiento de datos, funciones RINEX, entre otras (López y Ortega 2017, pág. 48).

1.7.3 GNSS Analysis

La herramienta de análisis GNSS es un software libre de escritorio que toma permite extraer los datos brutos de las mediciones GNSS registradas desde su dispositivo Android como estación base. Esta aplicación de escritorio proporciona gráficos interactivos, organizados en tres columnas que muestran el comportamiento de RF, Reloj y Medidas. Estos datos permiten ver el comportamiento del receptor GNSS con gran detalle, incluido el desplazamiento y la desviación del reloj del receptor en el orden de 1 nanosegundo y los errores de medición satelital por cada satélite (Diggelen 2017).



Figura 17-1: GNSS Analysis
Fuente: (Diggelen 2017)

En la tabla 10-1 se muestra una comparación en cuanto a las herramientas de procesamiento de los datos que se han mencionado anteriormente.

Tabla 10-1: Comparación de las herramientas de procesamiento

CARACTERÍSTICAS	APLICACIÓN		
	GLAB	RTKLIB	GNSS Analysis
Evaluación de errores	✓	✓	✓
Acceso libre	✓	✓	✓
Compatibilidad con los diferentes sistemas operativos	✓	✓	✓
Soporta diferentes formatos y protocolos de GNSS	✓	✓	X
Trabaja con diferentes modos de posicionamiento	✓	✓	X
Procesamiento de datos	✓	✓	✓

Fuente: (GAGE 2018)- (López y Ortega 2017, pág. 48) (Diggelen 2017)

Realizado por: Salazar Mayra, 2019.

Tomando en cuenta las aplicaciones anteriormente mencionadas para el procesamiento y análisis de datos se utilizará RTKLIB ya que es compatible con los archivos de tipo RINEX y tiene herramientas que nos permiten la extracción de los archivos observables y de navegación, mientras que para aplicar el DGPS se utilizará gLAB ya que esta herramienta nos permite manipular de forma independiente los errores de GPS y tiene un entorno más amigable para poder observar las diferentes gráficas, además es mucho más flexible que las otras herramientas ya que GNSS Analysis trabaja únicamente con GNSS Logger motivo por el cual no puede ser utilizado.

CAPÍTULO II

2. MARCO METODOLÓGICO

En este capítulo se detalla el tipo de investigación, así como los métodos y técnicas de investigación que se consideran necesarios para la ejecución del presente trabajo.

2.1 Tipos, técnicas y métodos de investigación

2.1.1 *Tipo de investigación*

Para la ejecución del presente proyecto se realiza una investigación de tipo experimental en la cual se ha definido como variable de estudio la precisión y para mejorar la precisión se va a utilizar el diferencial de GPS, para esto se realizará tres pruebas en tres escenarios específicos dentro de la ciudad de Riobamba en los cuales se va a realizar la toma de datos GNSS con ayuda de un computador y una antena GPS, de forma simultánea se va a extraer los datos brutos tanto del dispositivo móvil como estación de referencia y de la estación GNSS propiedad de la Empresa Eléctrica (EREC), los resultados que se obtenga del dispositivo móvil basado en Android con los tomados en los escenarios planteados se van a comparar con los obtenidos de la estación tradicional con los mismos datos tomados para ver qué tan factible es utilizar un dispositivos móvil como estación base para abaratar costos en cuanto a la extracción de datos GNSS.

2.1.2 *Métodos de investigación*

En cuanto a los métodos de investigación para el presente estudio se va a utilizar un método empírico que es la medición ya que se procederá a realizar la extracción de los datos brutos tanto del dispositivo Android como estación base, así como de la estación de monitoreo EREC, además se procederá a tomar los datos de cada trayectoria planteada en los 3 escenarios dentro de la ciudad de Riobamba para posteriormente aplicar el diferencial de GPS.

2.1.3 *Técnicas de investigación*

Se utiliza la observación como técnica de investigación para constatar que los datos obtenidos tanto de la estación base, del dispositivo móvil y de los que se extraídos de la antena U-blox neo

6M en la computadora estén en las mismas épocas, es decir que se hayan recogido en los mismos intervalos de tiempo, además esta técnica se va a utilizar para saber si los archivos RINEX tanto del dispositivo Android así como los obtenidos mediante la antena tengan versiones compatibles entre sí, ya que esto es fundamental para poder aplicar el diferencial de GPS por postproceso.

2.2 Proceso para aplicar el diferencial de GPS por postproceso

Para la ejecución del presente trabajo se ha tomado como referencia una investigación tipo experimental en la cual se definió como variable de estudio la precisión, para medir la precisión alcanzada luego de aplicar el diferencial de GPS por postproceso se ha dividido en diferentes etapas que se detallan a continuación:

- Etapa de diseño del sistema paralelo.
- Etapa de extracción y recolección de datos.
- Etapa de procesamiento de los datos extraídos.
- Etapa de postprocesamiento aplicando el diferencial de GPS.

2.2.1 Etapa de diseño del sistema paralelo

Para el diseño del sistema paralelo se usa el diferencial de GPS ya que permite utilizar 2 o más receptores, se lo considera como sistema paralelo ya que consta de dos partes que operan de forma simultánea, la primera parte corresponde a la estación base EREC que es una estación GNSS tradicional, cuyos datos extraídos son necesarios para aplicar las correcciones necesarias a los datos del receptor móvil. La segunda parte consta de un dispositivo móvil basado en Android que funciona como estación base del cual se permite la extracción de datos brutos para aplicar el diferencial de GPS por postproceso a los datos obtenidos del receptor móvil. En la figura 1-2 se puede observar de mejor manera el diseño del sistema paralelo planteado.

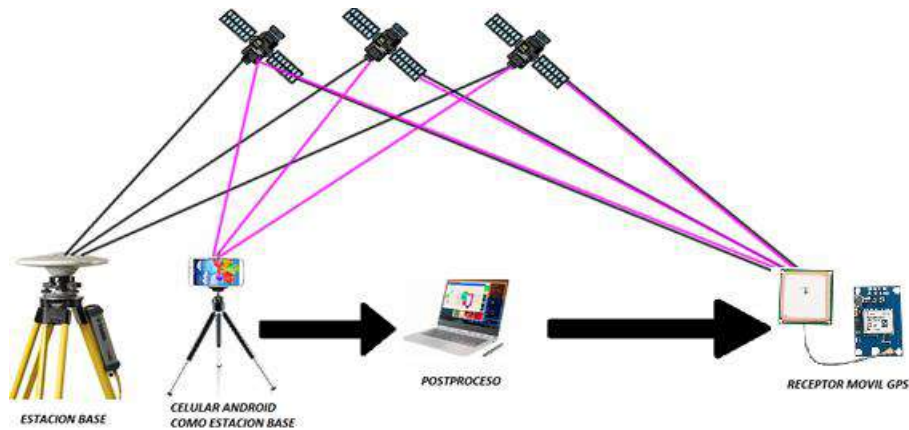


Figura 1-2: Diseño del sistema paralelo
Fuente: Salazar, Mayra 2019

Para el diseño del sistema paralelo como se observa en la figura 1-2 se necesita de dos tipos de receptores, el primer receptor que funciona como estación de referencia y el otro es un receptor móvil también conocido como Rover, estos receptores se detallan a continuación:

2.2.1.1 Receptor GPS como estación de referencia

Para el desarrollo del presente proyecto se va a tomar en cuenta una estación de referencia tradicional GNSS y para la segunda parte un dispositivo móvil basado en Android que actúe como estación base.

Receptor GPS de la Estación Base EREC

En la ciudad de Riobamba existe una estación GNSS de monitoreo continuo que pertenece a la Empresa Eléctrica de Riobamba denominada EREC. Esta estación GNSS trabaja con un receptor profesional que es el TRIMBLE NETR9 para el postprocesamiento.

Dispositivo móvil Android como estación base

El objetivo de este proyecto es demostrar que un dispositivo móvil basado en Android puede funcionar como estación base GNSS para realizar el postproceso, por esto se va a utilizar un celular con una versión de Android 7.0 o superior ya que estas versiones son compatibles con la aplicación GEO ++ RINEX Logger que es la herramienta que nos permitirá realizar la extracción de los datos brutos del dispositivo móvil.

En este caso se utiliza un dispositivo Xiaomi Mi A2 Lite, el mismo que es compatible con la herramienta para la extracción de los datos brutos GNSS.



Figura 2-2: Dispositivo Android para la extracción de datos brutos
Fuente: www.xatakandroid.com

2.2.1.2 Receptor GPS móvil

Este receptor es también conocido como Rover, para este estudio se toma en cuenta el módulo Ublox Neo 6M ya que es un receptor con un costo muy accesible con respecto a otros en el mercado, por la facilidad para obtener los datos gracias a su propio software Ucenter y además presenta diferentes características que se revisaron en el apartado 1.6.1.

2.2.2 Etapa de extracción y recolección de datos

2.2.2.1 Población y muestra

Para elegir los diferentes escenarios para la toma de datos se considera una población de tres escenarios ubicados en diferentes puntos dentro de la ciudad de Riobamba, dichos puntos se ubican a diferentes distancias con respecto a la estación base GNSS. Al ser una población pequeña se considera tomar como muestra los tres escenarios que constituyen la población.

2.2.2.2 Escenarios Planteados

La recolección de los datos se realiza en la ciudad de Riobamba para lo cual se considera tres escenarios, cada uno de los cuales cuenta con una trayectoria para la recolección de los datos. Se ha considerado estos escenarios tomando en cuenta dos parámetros importantes que son:

- La distancia entre la estación de referencia a los cinco escenarios planteados ya que este parámetro influye en la precisión que se alcanza.

- Zonas despejadas o densas de contaminación lo que influye en la señal de GPS debido al error de multipath que se analizó previamente en el apartado 1.2.7 dentro de las fuentes de error de GPS.

Considerando los parámetros mencionados anteriormente se establece escenarios que se encuentren a menor y mayor distancia de la estación EREC, además tomando en cuenta el tipo de zonas se dividen los escenarios en los mejores y peores casos, es decir, los lugares abiertos que no generen multipath se consideran como los mejores escenarios, las zonas más densas que tengan edificios o árboles que generen multipath como los peores escenarios. A continuación, se muestran los escenarios que se han planteado.

Escenario Uno: Parque del Estudiante

El primer escenario en donde se realiza la primera trayectoria es el parque del estudiante ubicado en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, este punto se considera como uno de los mejores escenarios ya que es un lugar amplio y abierto sin mucho multipath. La trayectoria considerada es alrededor del todo el parque. La distancia entre las estaciones de referencia ubicadas en la Empresa Eléctrica y el parque antes mencionado es de 3.44 km.



Figura 3-2: Parque del Estudiante

Fuente: <https://earth.google.com/web/>

Escenario Dos: FIE - ESPOCH

El segundo escenario considerado para la toma de datos es la Facultad de Informática y Electrónica de la ESPOCH, se puede considerar como un ambiente con bastante multipath ya que la trayectoria es alrededor del edificio de la facultad. La distancia desde EREC hasta la FIE es de 3.36 km como se muestra en la figura 4-2.



Figura 4-2: FIE (edificio de la FIE)
Fuente: <https://earth.google.com/web/>

Escenario tres: Paseo Shopping- Guano

Para el tercer escenario se ha planteado una trayectoria en donde la toma de datos se ejecuta desde el Paseo Shopping hasta el parque de Guano en él que se realizará un pequeño recorrido por sus alrededores para finalizar. La distancia que se tiene entre receptores es de 7.11 Km hasta cuando se llega al parque central de Guano. La trayectoria se muestra en la figura 5-2.



Figura 5-2: Paseo Shopping – Parque Central de Guano
 Fuente: www.google.com

El tiempo de recolección de datos en los escenarios anteriormente planteados depende de cada trayectoria ejecutada, estos tiempos y las distancias de la estación de referencia al móvil se muestran en la tabla 1-2.

Tabla 1-2: Tiempo de observación en los tres escenarios

ESCENARIO	MÉTODO	DISTANCIA A LA ESTACIÓN BASE (km)	FECHA	TIEMPO TOTAL (min)
Parque del Estudiante	Móvil	3,44	16/06/2019	12
FIE	Móvil	3,36	16/06/2019	11
Parque Central de Guano	Móvil	7,11	16/06/2019	18

Realizado por: Salazar Mayra, 2019.

2.2.2.3 Trayectorias Ejecutadas

Para la adquisición de datos en cada uno de los escenarios planteados en el apartado 2.2.2.1 se efectuó distintas trayectorias las cuales se muestran a continuación:

Trayectoria del Escenario Uno: Parque del Estudiante

La trayectoria del parque del estudiante se realizó el domingo 16 de junio de 2019 aproximadamente a las 12 horas 03 minutos, la toma de datos se realizó por los alrededores del parque del Estudiante de la ESPOCH.



Figura 6-2: Trayectoria del Parque del Estudiante
Realizado por: Salazar Mayra, 2019

En la figura 6-2 se puede observar que los puntos de la trayectoria se mantienen estables lo cual se debe a que este escenario está despejado y también el día que se realizó la toma de datos tenía un clima templado sin mucho sol.

Trayectoria del Escenario Dos: FIE- ESPOCH

La toma de datos en este escenario se realiza alrededor de la facultad de Informática y Electrónica aproximadamente a las 11 horas y 47 minutos del domingo 16 de junio de 2019, la trayectoria de la toma de datos se puede observar en la figura 7-2, en donde se visualizan que algunos puntos que sobresalen de la trayectoria esto se debe al multipath que generan los edificios de la Facultad.



Figura 7-2 Trayectoria FIE- ESPOCH
 Realizado por: Salazar Mayra, 2019

Trayectoria del Escenario Tres: Parque Central de Guano

El quinto escenario corresponde a una trayectoria en la cual se comenzó a tomar los datos desde el Paseo Shopping hasta llegar al Parque Central de Guano en donde se finaliza un pequeño recorrido, la toma de datos inicio a las 10 horas con 40 minutos aproximadamente. En la figura 8-2 se muestra la trayectoria, en la que se puede observar algunos puntos fuera de la trayectoria lo que se debe al efecto del multipath generado por los edificios que se encuentran alrededor del parque que es la zona en donde existe menos estabilidad en la trayectoria.



Figura 8-2 Trayectoria al Parque Central de Guano
 Realizado por: Salazar Mayra, 2019

2.2.2.4 Adquisición de datos

La toma de datos se realiza de forma simultánea en la estación de referencia EREC, en el dispositivo móvil basado en Android y en los diferentes escenarios.

A los datos de la estación EREC propiedad de la Empresa Eléctrica de Riobamba se puede acceder con una autorización previa para realizar la descarga de los archivos en formato RINEX del día que se requiera.

Para la extracción de datos brutos en el celular se utiliza la herramienta GEO ++ RINEX instalada previamente en un dispositivo móvil que se mencionó en el apartado 2.2.1.2, los datos en este dispositivo se empezaron a tomar desde las 10 horas y 25 minutos del domingo 16 de junio del 2019 y finalizó al ejecutar la última trayectoria aproximadamente a las 12 horas y 15 minutos.

En cada escenario se realiza la recolección de datos con ayuda del módulo Ublox Neo 6M con el software propio de Ublox denominado U-center v8.29 instalado previamente en un computador, para la correcta extracción de los datos de la antena Ublox Neo 6M ver ANEXO A.

2.2.3 Etapa de procesamiento de los datos extraídos de la antena Ublox Neo 6M

Para el procesamiento de los datos extraídos en la etapa anterior con la antena Ublox se va a utilizar otra herramienta que es RTKLIB versión 2.4.2 la misma que nos permite a partir del archivo .ubx de datos que se genera en el software U-center extraer los archivos de observación y navegación correspondientes, esto se realiza con un componente de RTKLIB, que es el RTKCONV ver ANEXO B.

2.2.4 Etapa de Postprocesamiento aplicando el diferencial de GPS

Para esta etapa se procede a aplicar el diferencial de GPS por postproceso utilizando la herramienta GLAB que se menciona en el apartado 1.7.1.

2.2.4.1 Aplicar el Diferencial de GPS por postproceso

Con los archivos RINEX de observación y navegación generados como se indica en el apartado 2.2.3 y con ayuda del software GLAB se aplica el diferencial de GPS, teniendo en cuenta los siguientes pasos:

1.- Se procede a cargar el archivo de navegación y observación en cada una de las pestañas que se muestran en la figura 9-2, activamos la pestaña DGPS para cargar el archivo ya sea del dispositivo Android o de la estación de referencia, luego damos clic en RUN gLAB.

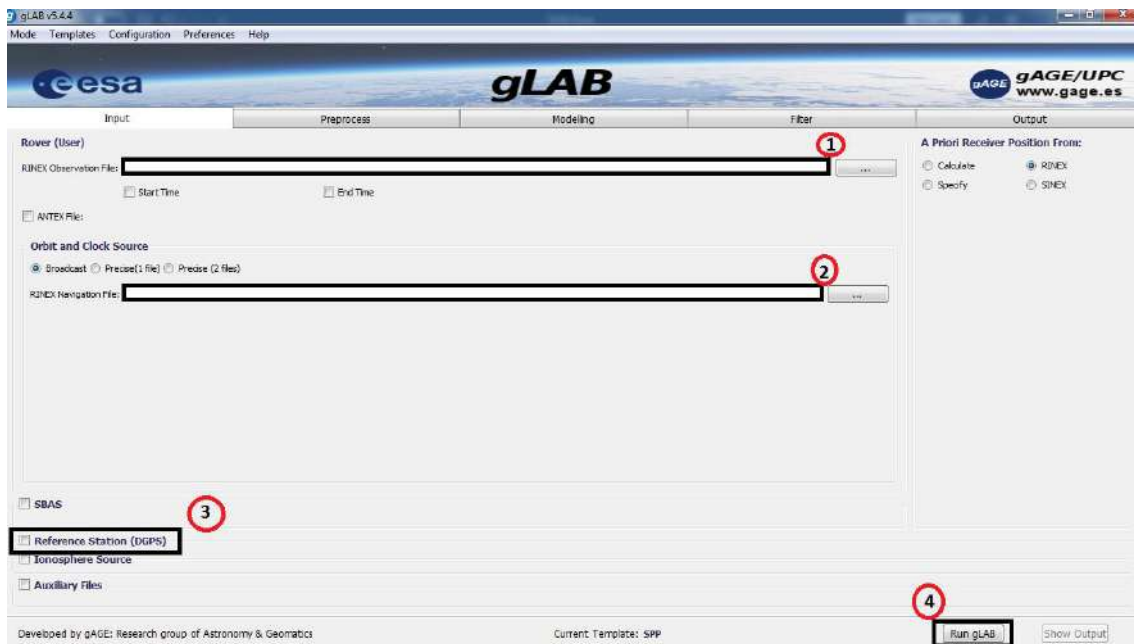


Figura 9-2: Carga de archivos para aplicar el DGPS

Fuente: Salazar Mayra, 2019

2.- Nos ubicamos en la pestaña OUTPUT para verificar donde se está generando el archivo de corrección y nuevamente damos clic en RUN gLAB, tal como se indica en la figura 10-2.

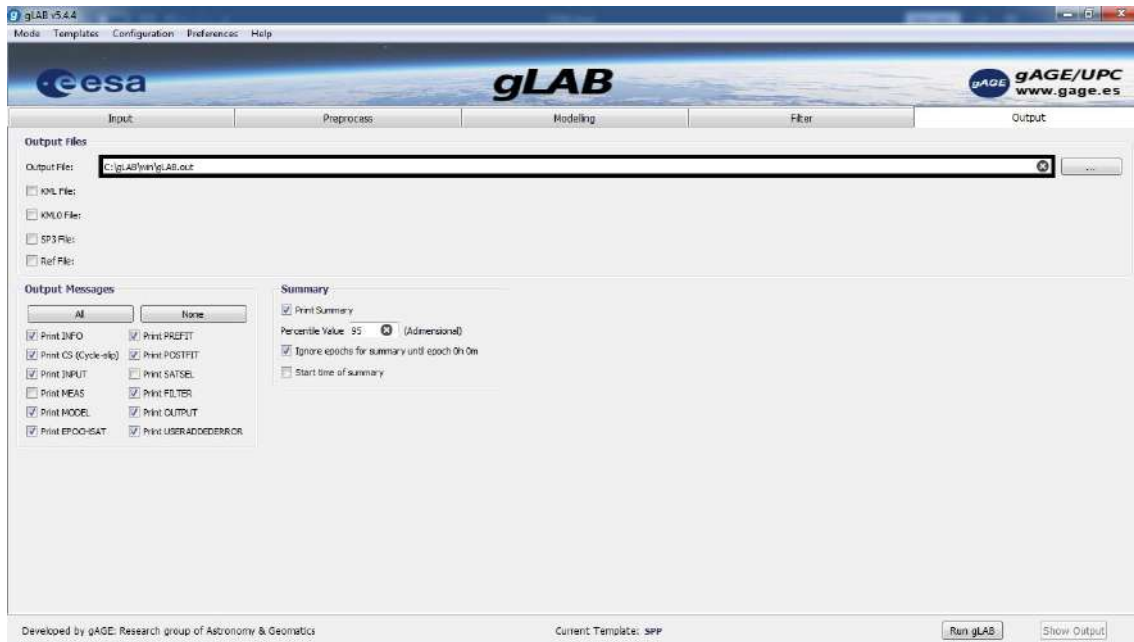


Figura 10-2: Generar el archivo de corrección

Fuente: Salazar Mayra, 2019

3.- Una vez ejecutados los pasos anteriores nos ubicamos en la pestaña MODE en donde seleccionaremos análisis.

4.- Una vez en la ventana de análisis damos clic en Neu Positioning Error para generar las gráficas de la precisión que se alcanza al aplicar el diferencial de GPS.

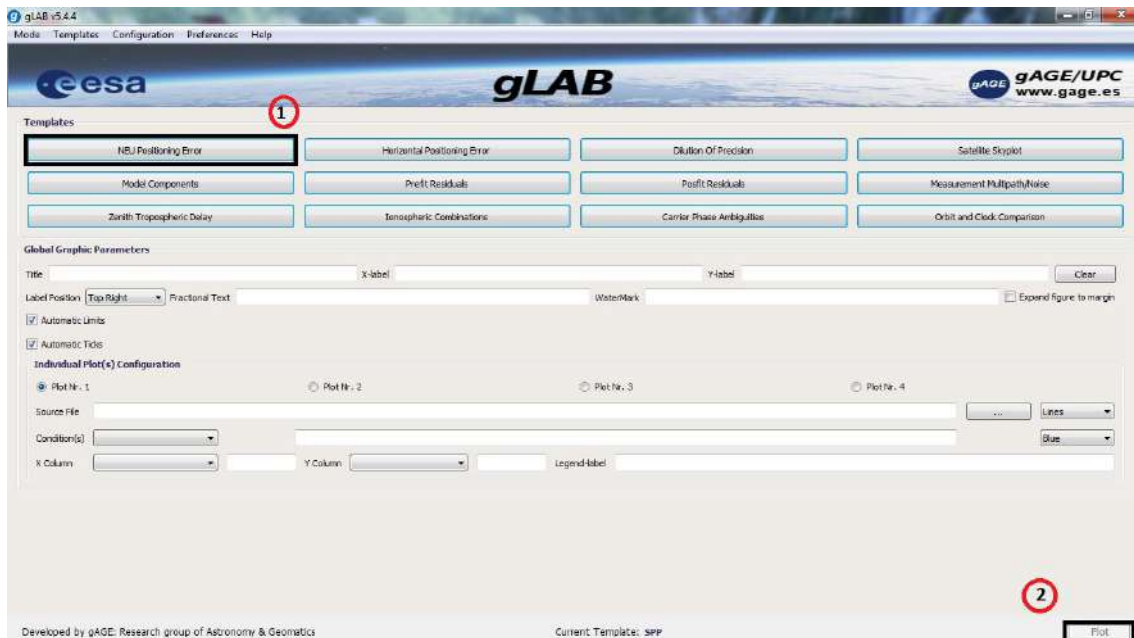


Figura 11-2: Generar las gráficas de error NEU

Realizado por: Salazar Mayra, 2019

CAPÍTULO III

3. MARCO DE RESULTADOS

Este capítulo muestra los resultados obtenidos al utilizar un dispositivo móvil basado en Android como estación base GNSS para ver qué tan factible es reemplazar un dispositivo de este tipo por una estación tradicional. Se analiza las gráficas en precisión alcanzadas basándose en el NEU Positioning Error que permite medir los errores en los ejes Norte, Este y Arriba. Se procederá a analizar las gráficas considerando tres casos de estudio: primero los escenarios planteados sin aplicar el diferencial de GPS, es decir considerando el posicionamiento estándar, el segundo caso aplicando el postproceso con los datos de la estación GNSS TRIMBLE y el tercer caso al aplicar el postproceso con los datos del dispositivo Android como estación base.

3.1 Resultados de la etapa de extracción y recolección de datos

En la etapa de extracción y recolección de datos se obtuvo los archivos RINEX del dispositivo móvil que se muestra en el ANEXO A, también se obtuvo los archivos que contienen los datos de las trayectorias realizadas en cada escenario, en el ANEXO B se muestra un archivo RINEX de observación y en el ANEXO C el de navegación.

Los datos de la estación base EREC se obtuvieron al descargar el Archivo RINEX de la página de la empresa con previa autorización esto se muestra en el ANEXO D.

3.2 DGPS por postproceso

En esta sección se muestra los resultados en precisión alcanzados en cada escenario considerando los tres casos de estudio, a continuación, se muestran los resultados alcanzados en cada caso.

3.2.1 *ESCENARIO 1: Parque del Estudiante*

Los datos tomados en el Parque del Estudiante en la ESPOCH permitieron obtener los resultados que se muestran a continuación:

Resultados del posicionamiento estándar GPS

Para estos resultados solo se evalúan los archivos de observación y navegación de la trayectoria realizada en el Parque del Estudiante.

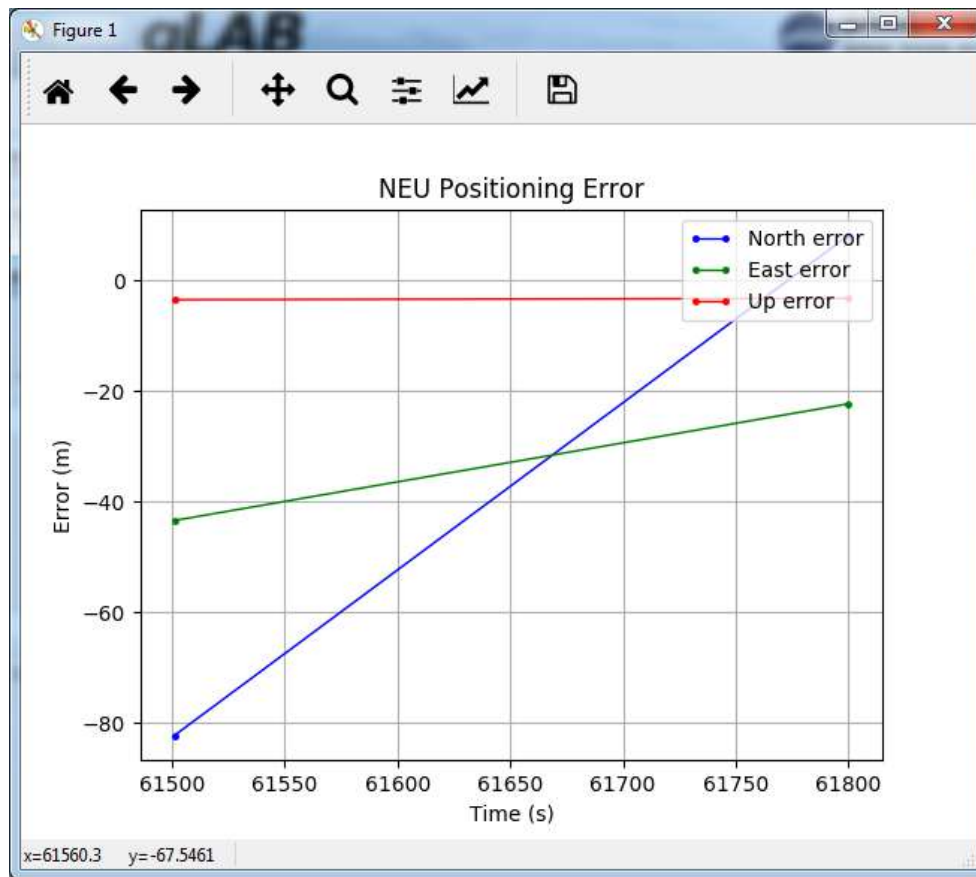


Figura 1-3: Errores de los ejes NEU en SPS
 Realizado por: Salazar Mayra, 2019

Postproceso respecto a la estación GNSS TRIMBLE

Al aplicar el diferencial de GPS tomando en cuenta los datos extraídos de la estación base EREC se obtuvo los siguientes resultados.

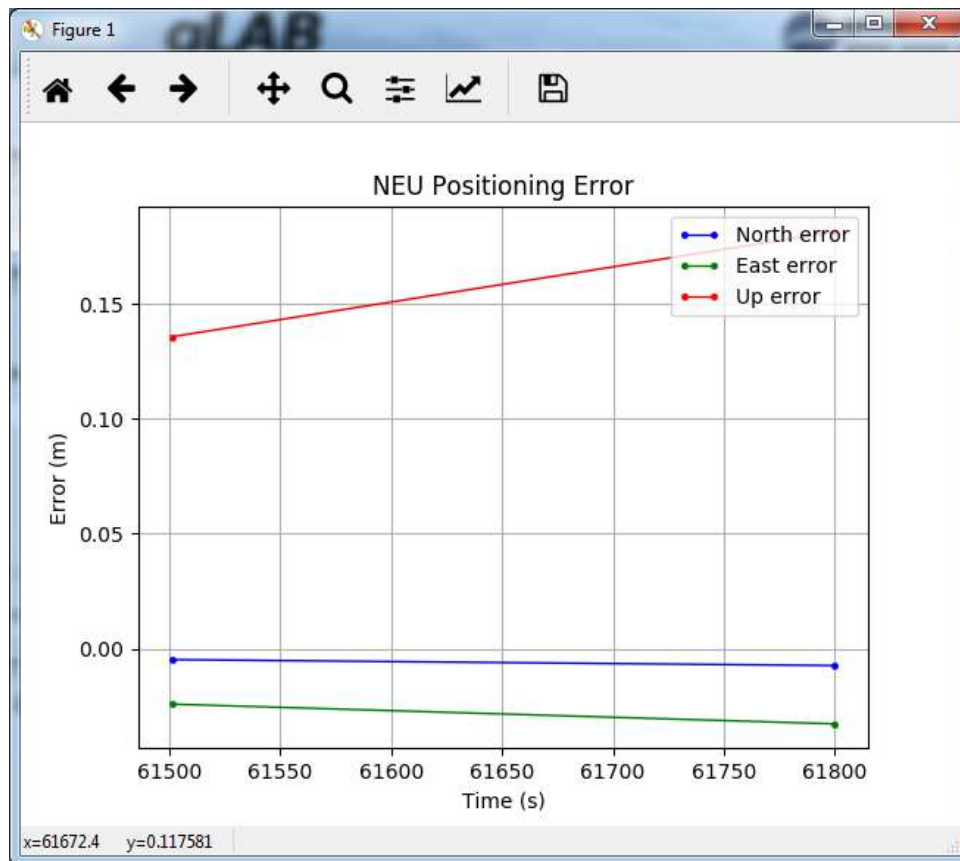


Figura 2-3: Errores de los ejes NEU con postproceso con respecto a la estación EREC.
 Realizado por: Salazar Mayra, 2019

Postproceso respecto al dispositivo Android como estación base

Al aplicar el diferencial de GPS tomando en cuenta los datos extraídos del dispositivo móvil basado en Android se obtuvo los siguientes resultados.

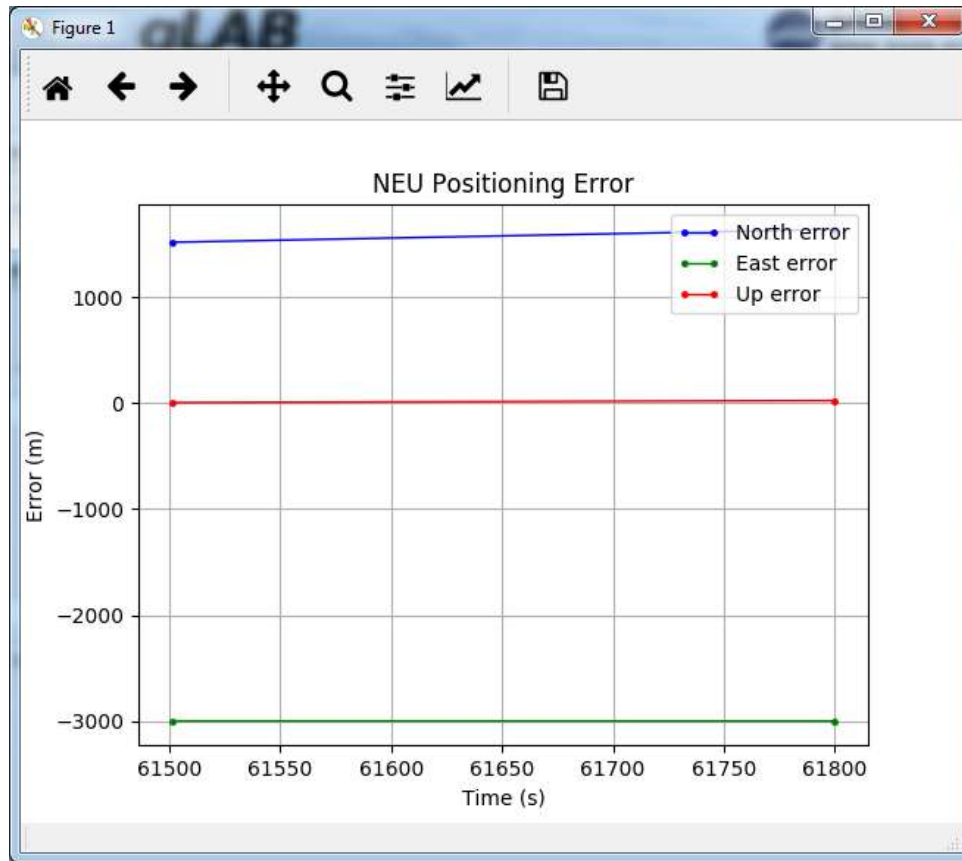


Figura 3-3: Errores de los ejes NEU con postproceso con respecto al dispositivo Android
 Realizado por: Salazar Mayra, 2019

Tabla 1-3: Resultados de los errores en los ejes NEU del Parque del Estudiante

RESULTADOS	NORTH ERROR (m)	EAST ERROR (m)	UP ERROR (m)
GPS ESTÁNDAR	-82.4	-43.4	-5.52
DGPS (EREC)	-0.007	-0.0325	0.181
DGPS (CELULAR)	1637.5	-3000	0

Realizado por: Salazar Mayra, 2019.

En la tabla 1-3 se muestra los resultados de los errores al aplicar los tres casos de estudio en el parque del Estudiante, tomando en cuenta estos datos se puede observar que el North error aplicando el diferencial de GPS con los datos de la estación GNSS se corrige un 99.99% , el East un 99.926% y el Up error un 96.56% En cambio con los datos obtenidos en el dispositivo móvil se presenta incrementos en los ejes norte y este, mientras que el up disminuye, por lo tanto se puede concluir que en este escenario con el dispositivo móvil solo se corrige los errores en el eje up ya que los otros ejes presentan un aumento considerable y los errores sobrepasan los 1000 metros.

3.2.2 ESCENARIO 2: FIE- ESPOCH

Teniendo en cuenta los datos recogidos a los alrededores de la Facultad de Informática y Electrónica de la ESPOCH se obtuvo los siguientes resultados:

Resultados del posicionamiento estándar GPS

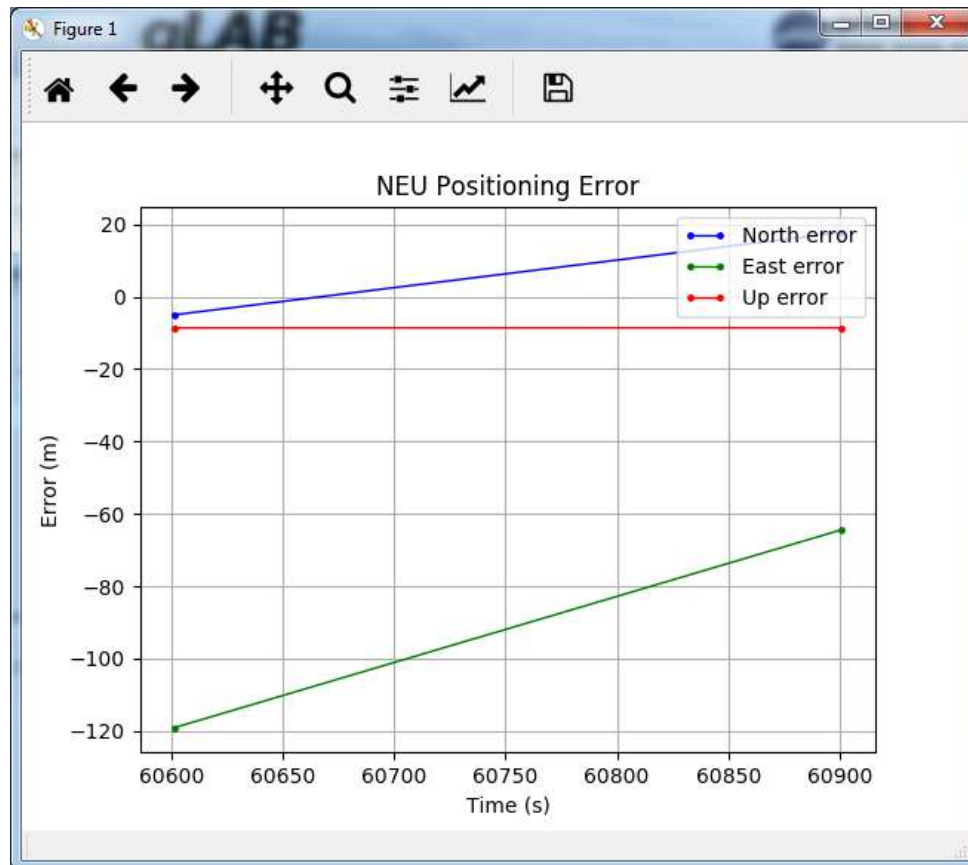


Figura 4-3: Errores de los ejes NEU en SPS
Realizado por: Salazar Mayra, 2019

Postproceso respecto a la estación GNSS TRIMBLE

Al aplicar el diferencial de GPS tomando en cuenta los datos de la estación base EREC obtuvo los siguientes resultados.

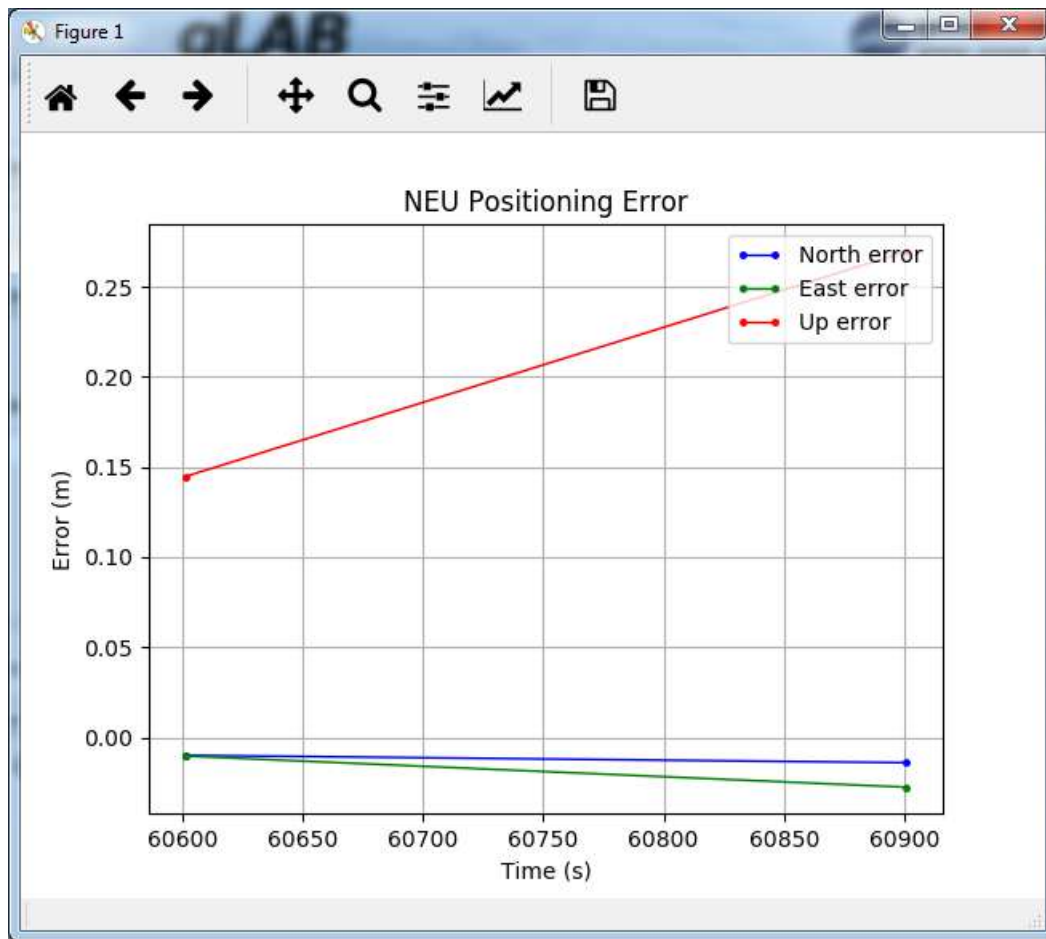


Figura 5-3: Errores de los ejes NEU con postproceso con respecto a la estación EREC.
 Realizado por: Salazar Mayra, 2019

Postproceso respecto al dispositivo Android como estación base

Al aplicar el diferencial de GPS con los datos extraídos del dispositivo móvil basado en Android se obtuvo los siguientes resultados.

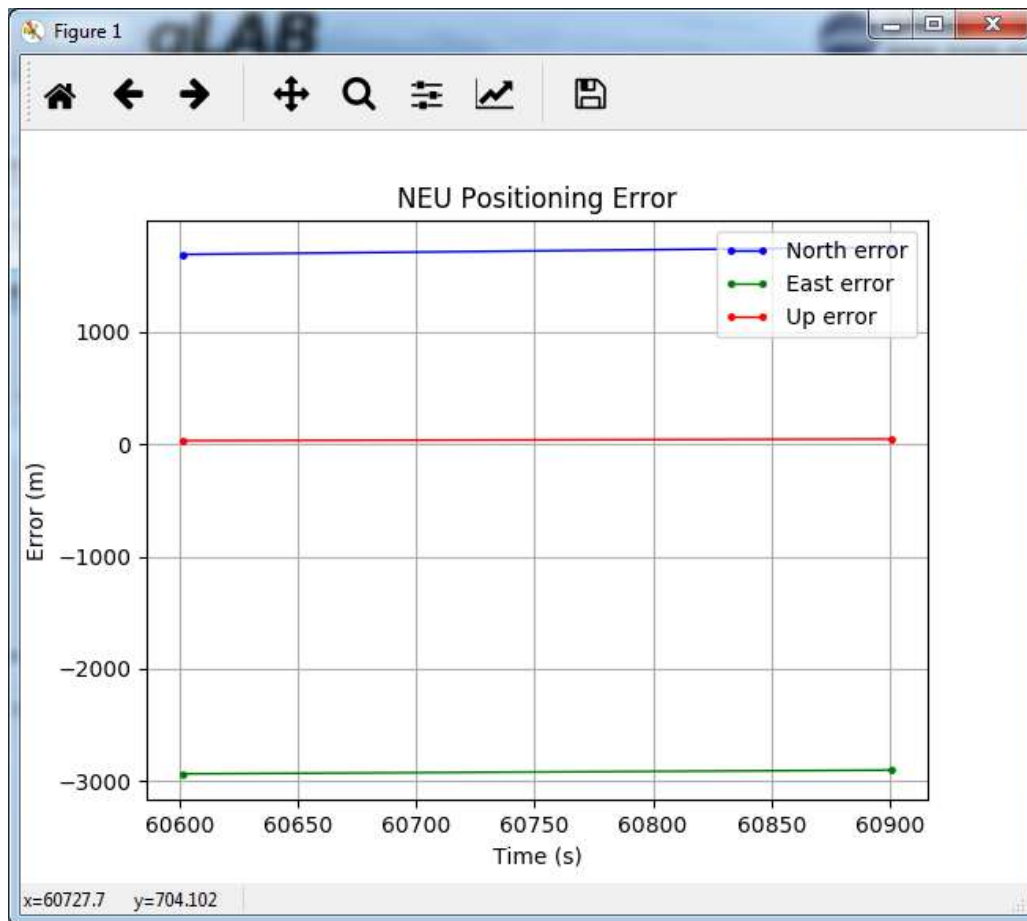


Figura 6-3: Errores de los ejes NEU con postproceso con respecto al dispositivo Android
 Realizado por: Salazar Mayra, 2019

Tabla 2-3: Resultados de la corrección en los ejes NEU de la FIE-ESPOCH

RESULTADOS	NORTH ERROR (m)	EAST ERROR (m)	UP ERROR (m)
GPS ESTÁNDAR	17.8	-119.15	-8.6
CON DGPS (EREC)	-0.0140	-0.0275	0.27
CON DGPS (CELULAR)	1753.7	-2934.8	46.4

Realizado por: Salazar Mayra, 2019.

En la tabla 2-3 se muestra los resultados que se alcanzaron en donde, al aplicar el postproceso con respecto a la estación GNSS TRIMBLE se tiene una mejora en la precisión de los tres ejes en donde, se mejora un 99.94% en la parte norte, un 99.976% en la parte Este y 96.86% en up. En cambio, se puede ver un incremento en todos los errores al aplicar el DGPS con los datos del dispositivo Android con respecto a los datos de SPS, debido a que la distancia de separación entre receptores es 3.36 km y a al multipath que tiene este escenario.

3.2.3 ESCENARIO 3: Parque central de Guano

El resultado que se muestra es de la toma de datos realizada desde el Paseo Shopping hasta el parque Central de Guano.

Resultados del posicionamiento estándar GPS

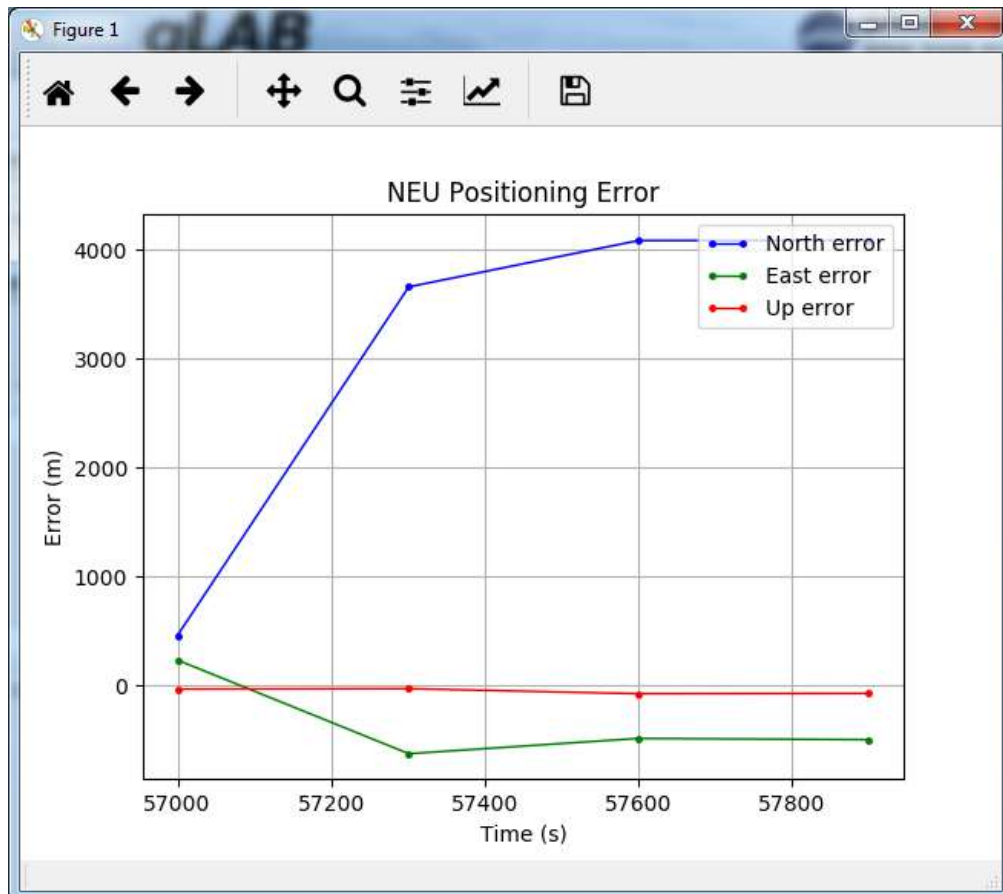


Figura 7-3: Errores de los ejes NEU en SPS
Realizado por: Salazar Mayra, 2019

Postproceso respecto a la estación GNSS TRIMBLE

Al aplicar el diferencial de GPS tomando en cuenta los datos extraídos de la estación base EREC se obtuvo los siguientes resultados.

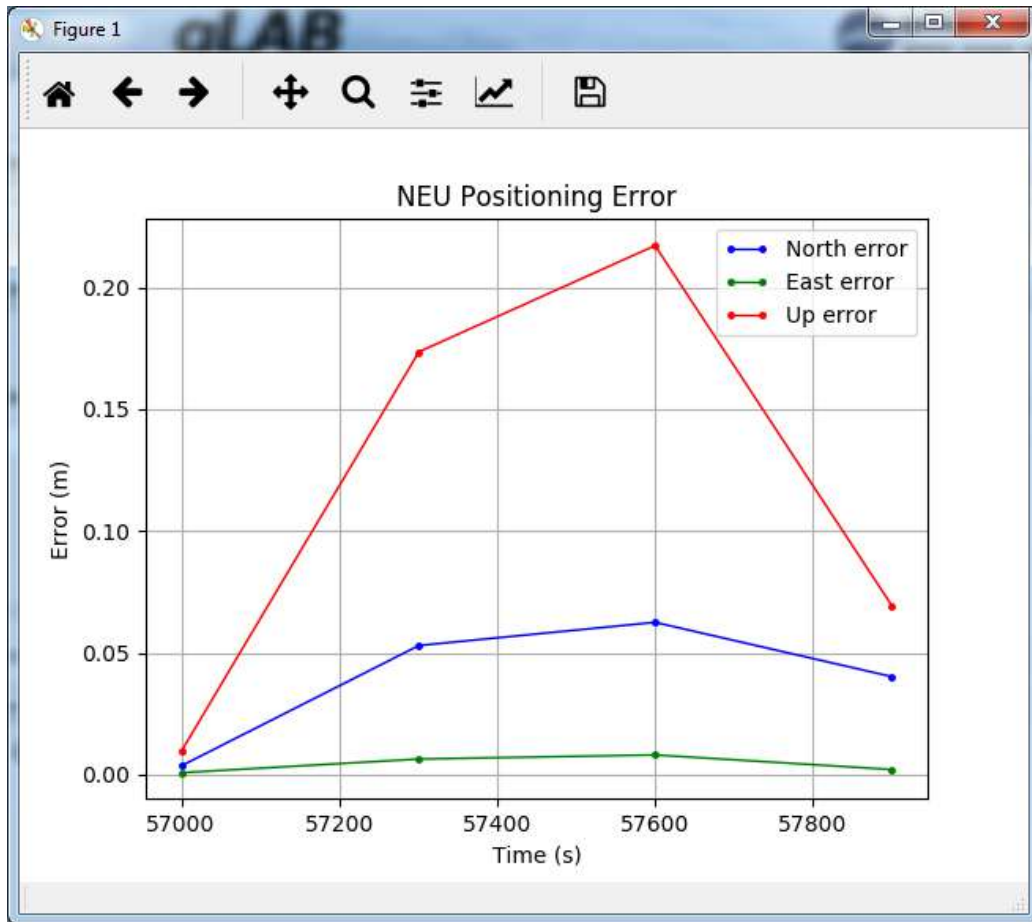


Figura 8-3: Errores de los ejes NEU con postproceso con respecto a la estación EREC.
 Realizado por: Salazar Mayra, 2019

Postproceso respecto al dispositivo Android como estación GNSS

Al aplicar el diferencial de GPS tomando en cuenta los datos extraídos del dispositivo móvil basado en Android se obtuvo los siguientes resultados.

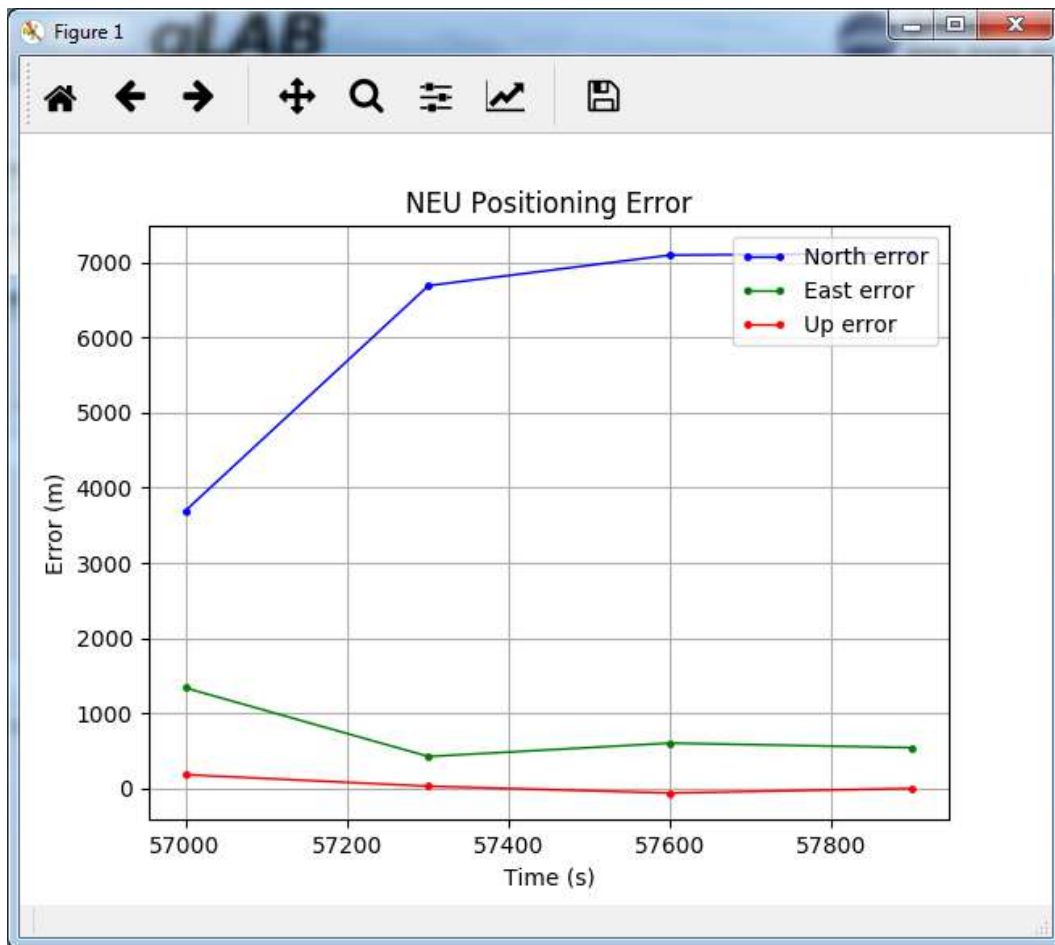


Figura 9-3: Errores de los ejes NEU con postproceso con respecto al dispositivo Android
 Realizado por: Salazar Mayra, 2019

Tabla 3-3: Resultados de la corrección en los ejes NEU Paseo Shopping a Guano

RESULTADOS	NORTH ERROR (m)	EAST ERROR (m)	UP ERROR (m)
gGPS ESTÁNDAR	4083.3	622.58	-70
CON DGPS (EREC)	- 0.625	0.008	0.216
CON DGPS (CELULAR)	7118.3	1337.8	183.1

Realizado por: Salazar Mayra, 2019.

En la tabla 3-3 se muestra los resultados del escenario en el cual la toma de datos desde el paseo Shopping hasta el Parque Central de Guano cuya distancia de la estación base es de 7,11 km. Al realizar el postproceso con los datos de la estación EREC se nota que se han aplicado las correcciones en los tres ejes obteniendo una mejora en la precisión alcanzando un 99.99% en el north error, un 99.998% el east y un 99.685% en up, en cambio cuando se aplica el diferencial de GPS tomando los datos del dispositivo Android como estación de referencia los errores

aumentaron tanto en up, norte y este, esto se debe a que esta trayectoria es la más alejada de la estación base.

Se concluye que la distancia es el factor más importante al momento de aplicar el diferencial de GPS, como la estación GNSS propiedad de la Empresa Eléctrica de Riobamba trabaja receptores profesionales con buenas capacidades para el postproceso nos permite mejorar la precisión en todos los escenarios sin importar la distancia, sin embargo, como el dispositivo Android trabaja con antenas de baja capacidad no permite tener gran alcance en los resultados al aplicar el diferencial e incluso se tuvo un incremento en los errores por la distancia a la que se encontraban los escenarios de la estación base, esto provocó que los errores en lugar de restarse se sumen. Por tal motivo se determina tomar nuevos escenarios ubicando el dispositivo Android a distancias más cercanas del escenario del Parque del Estudiante.

A continuación, se indican los nuevos escenarios considerando distancias menores a 1 km entre el celular y el Rover.

ESCENARIO 4: Dispositivo Android ubicado en el Parque Sesquicentenario

En la primera prueba se consideró que el dispositivo Android este ubicado a un kilómetro aproximadamente del Rover, teniendo en cuenta esta distancia para la toma de datos el celular se ubicó en el parque Sesquicentenario, como se muestra en la figura 10-3 están separados una distancia de 950 metros.

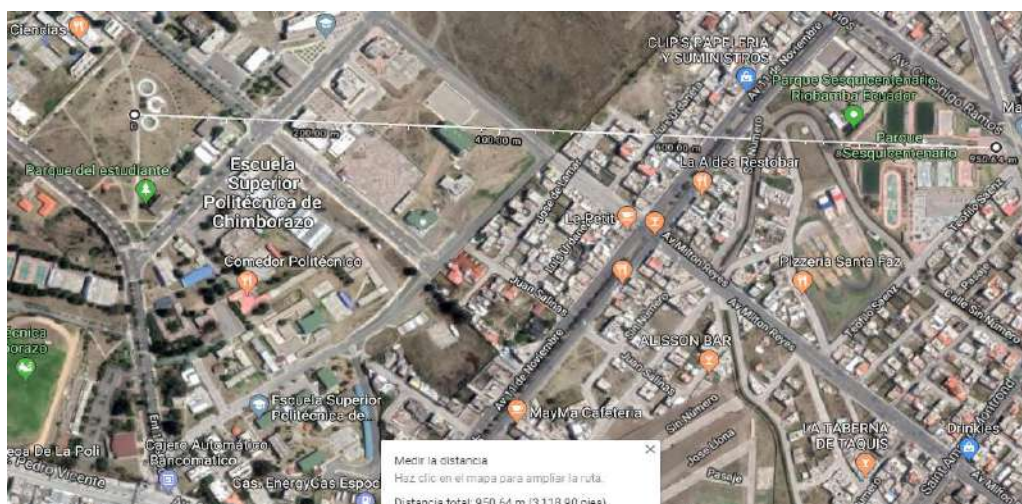


Figura 10-3: Ubicación de los receptores a 950 metros
Realizado por: Salazar Mayra, 2019

ESCENARIO 5: Dispositivo Android ubicado en la FIE-ESPOCH

Para la segunda prueba se consideró una distancia de 280 metros entre la estación base y el Rover para esto se ubicó el dispositivo Android en una oficina de la Facultad de Informática y Electrónica

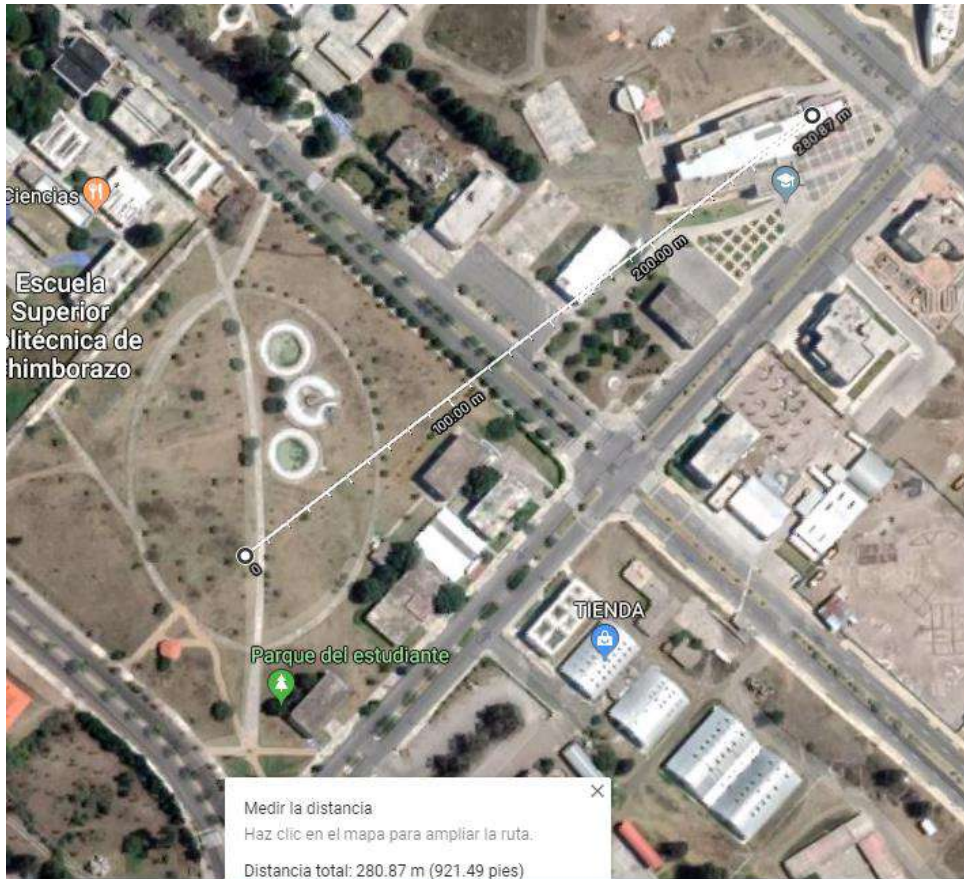


Figura 11-3: Ubicación de los receptores a 280 metros
Realizado por: Salazar Mayra, 2019

ESCENARIO 6: Dispositivo Android ubicado en el Parque del Estudiante

Para el quinto escenario se ubicó el dispositivo Android en la mitad del parque del Estudiante y la toma de datos se realiza por su alrededor, con una distancia de 70 metros aproximadamente entre el dispositivo y el receptor móvil.

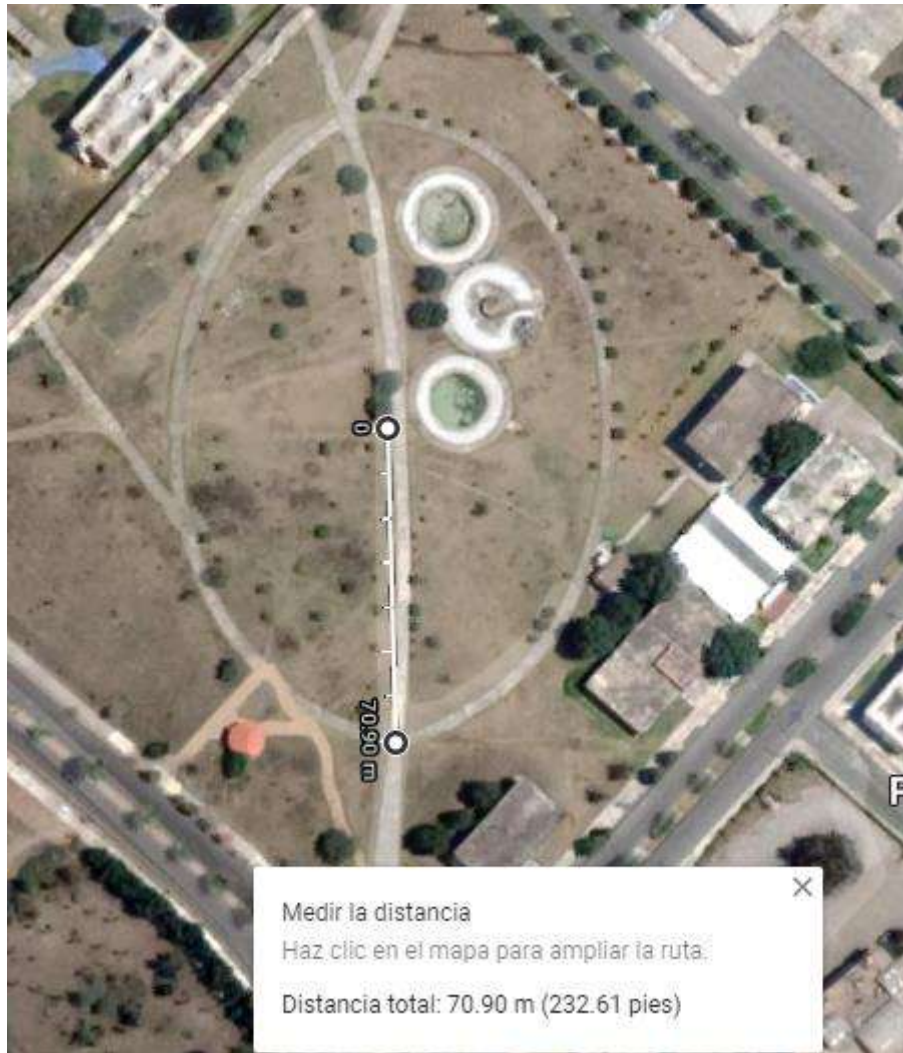


Figura 12-3: Ubicación de los receptores a 70 metros
Realizado por: Salazar Mayra, 2019

3.2.4 *ESCENARIO 4: Dispositivo Android ubicado en el Parque Sesquicentenario*

La toma de datos para este escenario se realizó el martes 01 de julio de 2019 a las 17 horas con 47 minutos aproximadamente y se obtuvo los siguientes resultados:



Figura 13-3: Trayectoria de los Escenarios
Realizado por: Salazar Mayra, 2019

En la figura 13-3 se muestra la trayectoria del escenario que es la misma para los 3 casos, ya que será el dispositivo Android es el que cambie de ubicación para variar la distancia entre receptores.

Resultados del posicionamiento estándar GPS

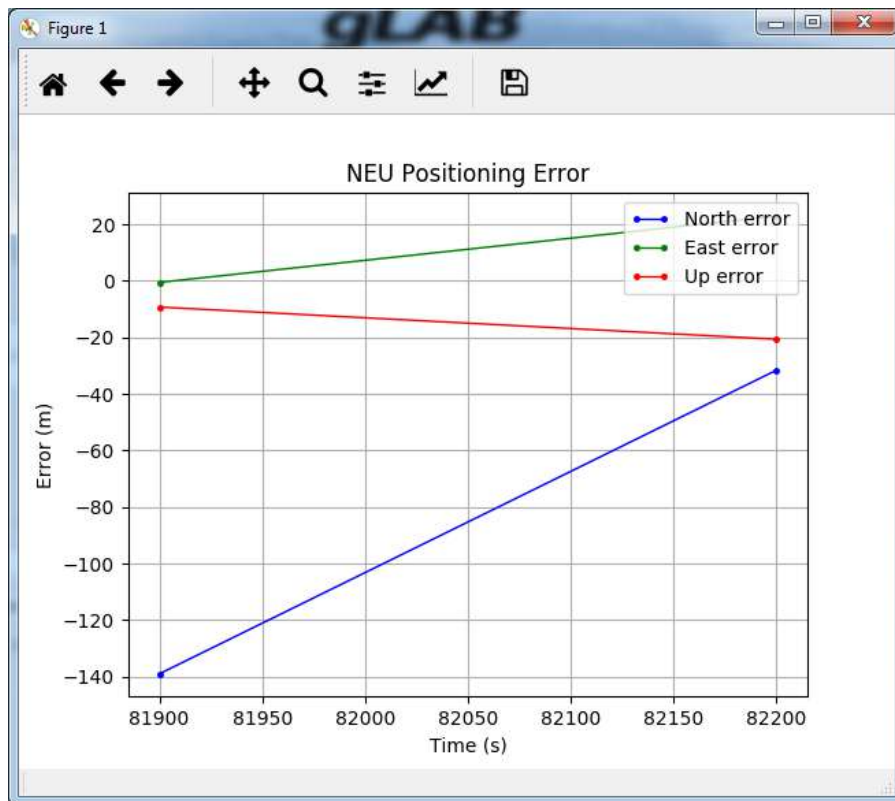


Figura 14-3: Errores de los ejes NEU en SPS
Realizado por: Salazar Mayra, 2019

Postproceso respecto a la estación GNSS TRIMBLE

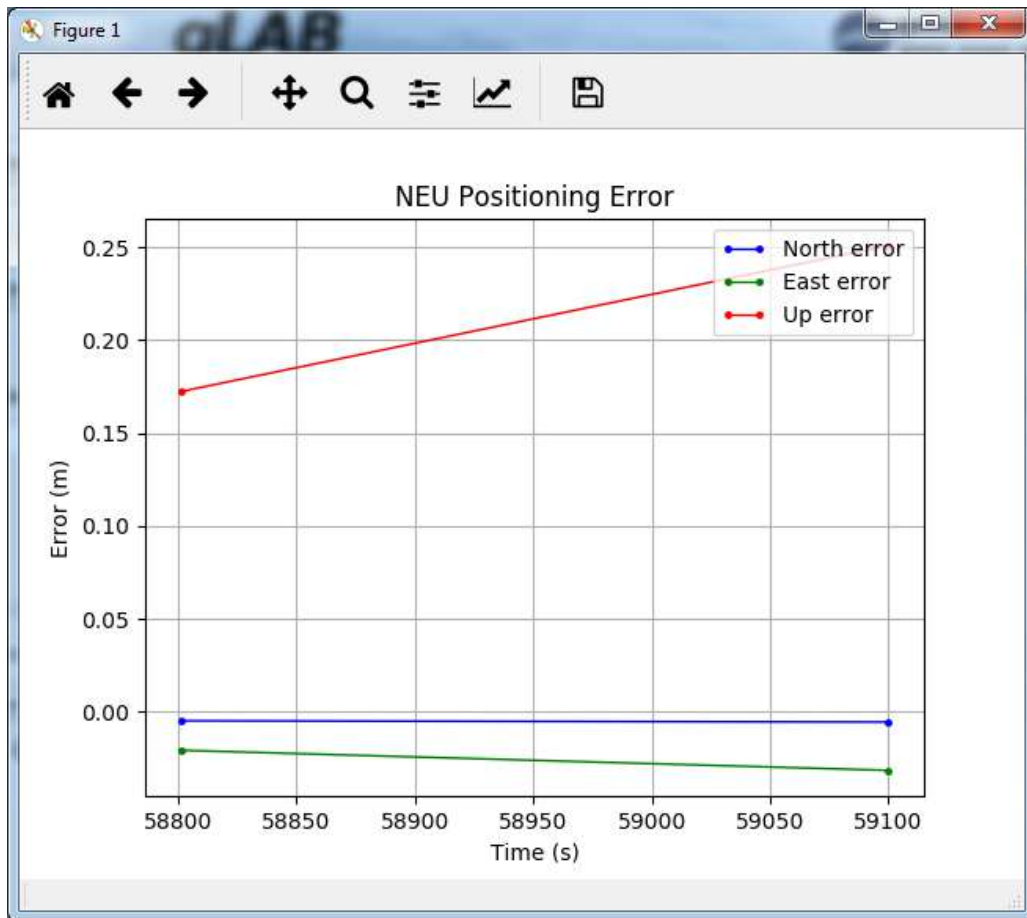


Figura 15-3: Errores de los ejes NEU con postproceso con respecto a la estación EREC.
Realizado por: Salazar Mayra, 2019

Postproceso respecto al dispositivo Android como estación base

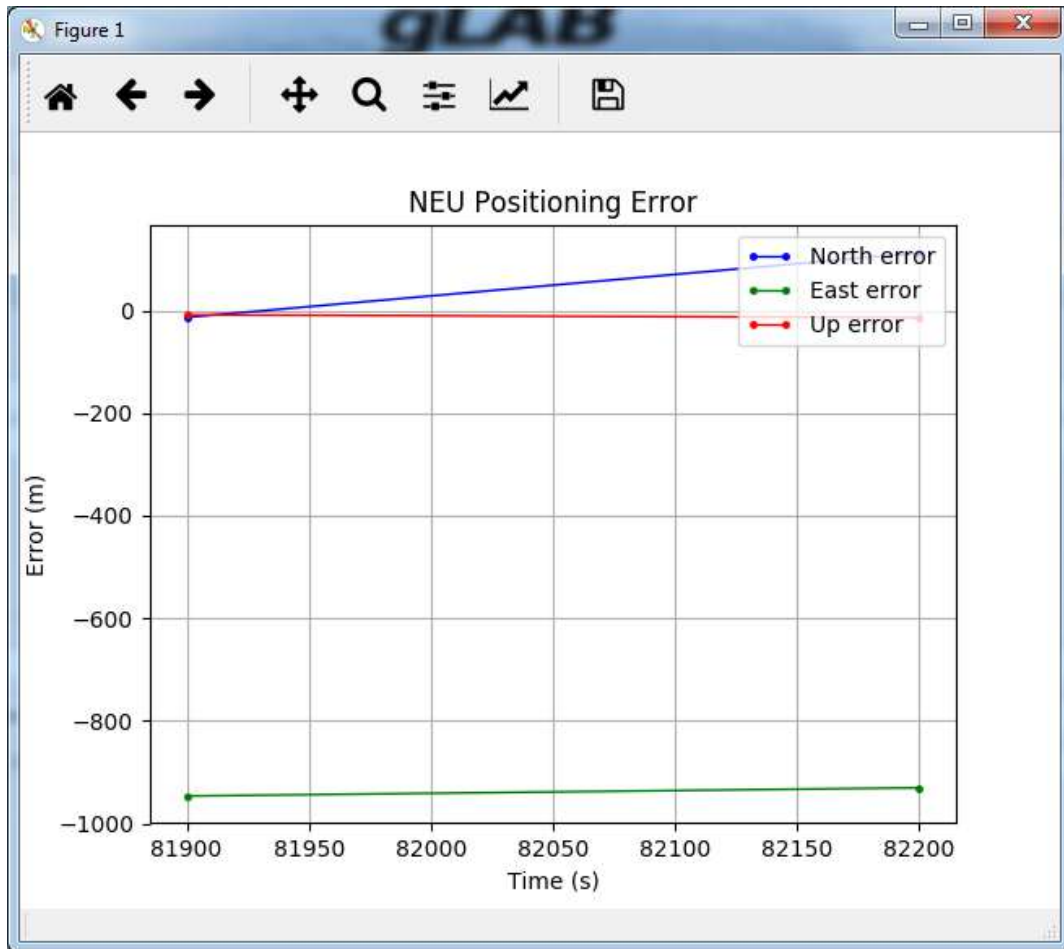


Figura 16-3: Errores de los ejes NEU con postproceso con respecto al dispositivo Android
 Realizado por: Salazar Mayra, 2019

Tabla 4-3: Resultados de corrección en los ejes NEU del escenario 4

RESULTADOS	NORTH ERROR (m)	EAST ERROR (m)	UP ERROR (m)
SIN DGPS	-139.1	22.8	-20.66
CON DGPS (EREC)	0.005	0.031	0.251
CON DGPS (CELULAR)	112.08	-946.23	-14.15

Realizado por: Salazar Mayra, 2019.

En la tabla 4-3 se muestra los resultados del escenario 4 ubicando el dispositivo Android a 950 metros del Rover, como se puede ver aplicando el diferencial con los datos de la estación EREC se tiene una mejora en la precisión de un 99.99% en el north error, 99.86% en east error y un 98.785% en el up error, mientras que el postproceso con el dispositivo Android a una distancia de 950 metros ya se tiene algunas correcciones sobre todo en cuanto al norte se alcanza mejorad

la precisión un 19.42% y en el eje up un 31.51%, pero aún no es una distancia apropiada ya que el error en el Este sufre un incremento de 923.42 metros.

3.2.5 ESCENARIO 5: Dispositivo Android ubicado en la FIE

En este escenario el dispositivo Android se ubicó a 280 metros del escenario planteado y se obtuvo los siguientes resultados.

Resultados del posicionamiento estándar GPS

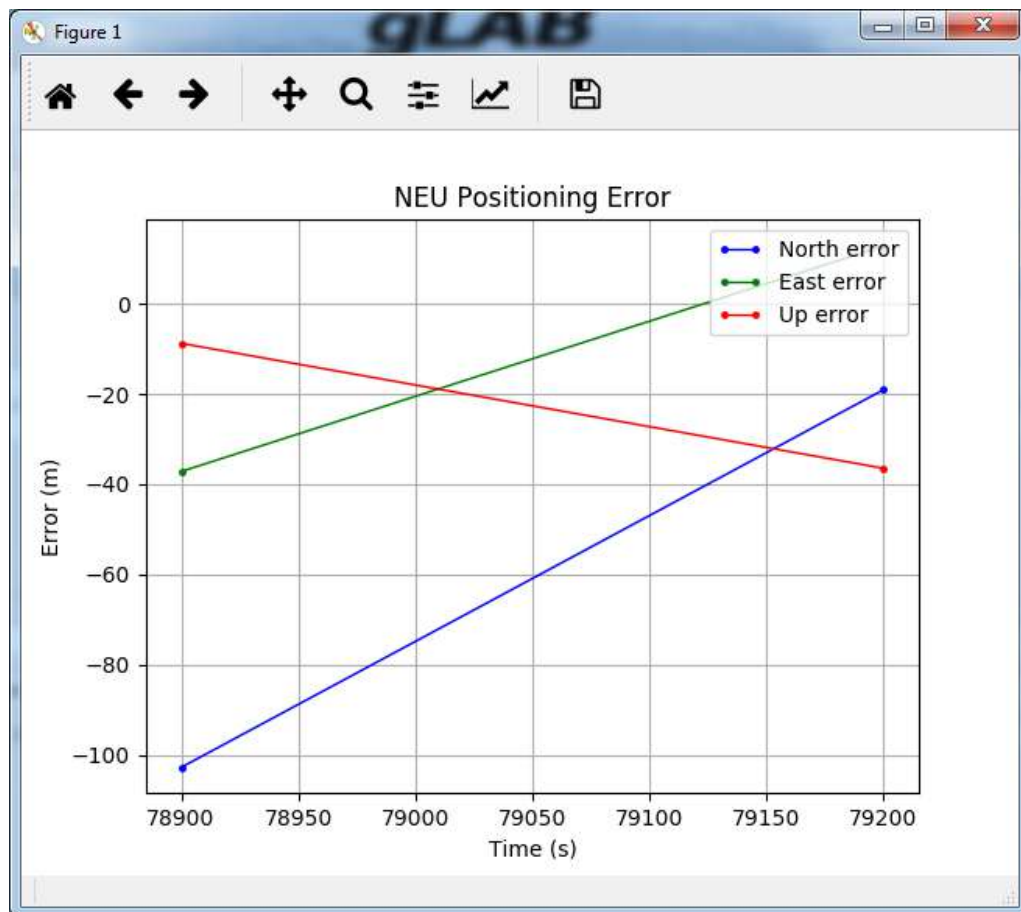


Figura 17-3: Errores de los ejes NEU en SPS
Realizado por: Salazar Mayra, 2019

Postproceso respecto a la estación GNSS TRIMBLE

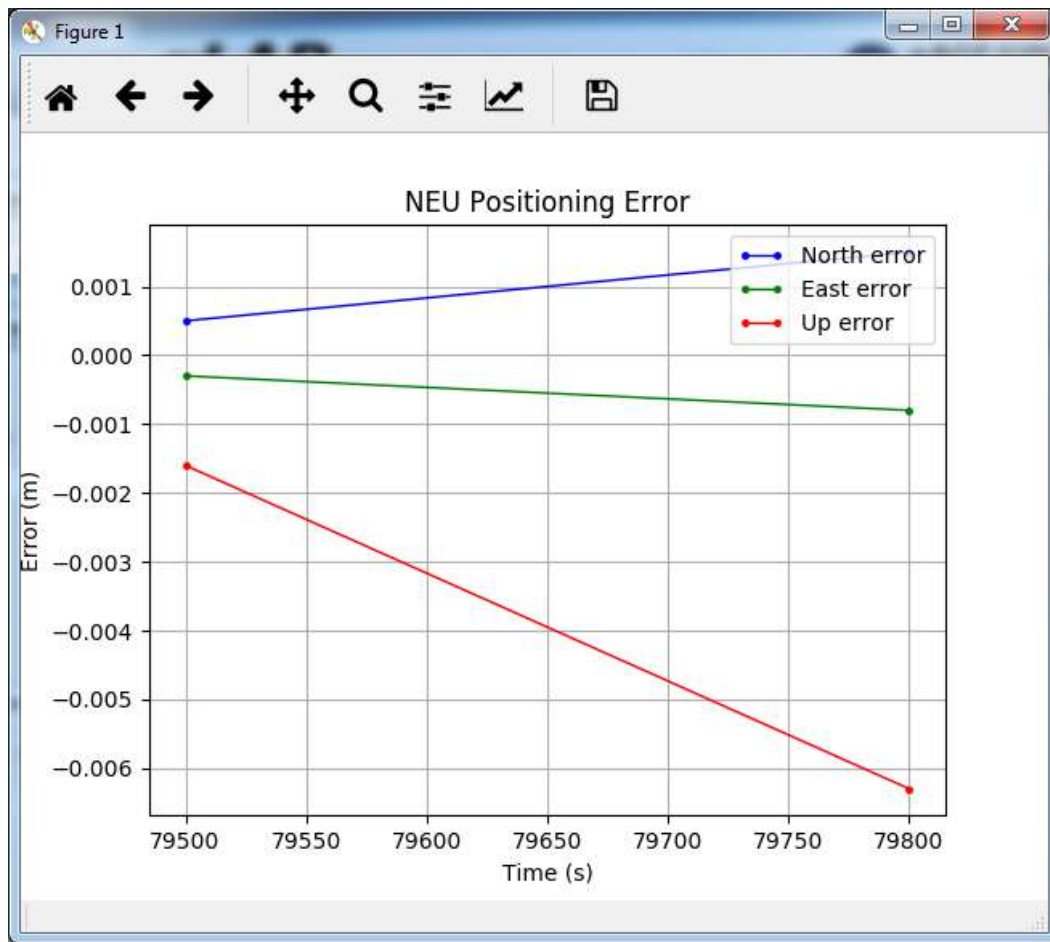


Figura 18-3: Errores de los ejes NEU con postproceso con respecto a la estación EREC.
 Realizado por: Salazar Mayra, 2019

Postproceso respecto al dispositivo Android como estación base

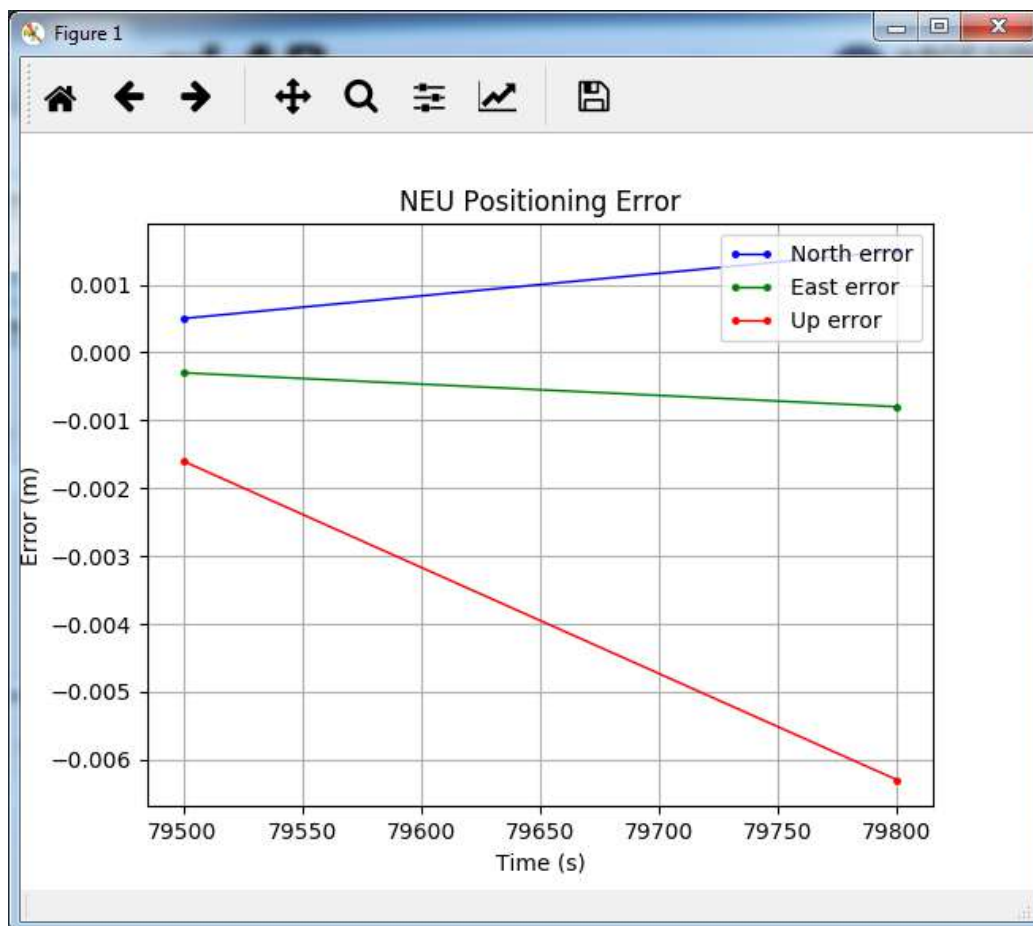


Figura 19-3: Errores de los ejes NEU con postproceso con respecto al dispositivo Android
Realizado por: Salazar Mayra, 2019

Tabla 5-3: Resultados de corrección en los ejes NEU del escenario 5

RESULTADOS	NORTH ERROR (m)	EAST ERROR (m)	UP ERROR (m)
GPS ESTÁNDAR	-102.8	-37.2	-36.4
CON DGPS (EREC)	0.0015	-0.0008	0.0063
CON DGPS (CELULAR)	0.0158	-0.0050	-0.0505

Realizado por: Salazar Mayra, 2019.

La tabla 5-3 muestra los resultados alcanzados en precisión tomando en cuenta los tres casos se puede concluir que el postproceso con respecto a la estación GNSS TRIMBLE mejora considerablemente la precisión alcanzando un 99.998% en el eje norte, 99.997% en el eje este 99.98% en el eje up con respecto a la trayectoria original. El postproceso con respecto al celular ya presenta mejoras en la precisión obteniendo un 99.98% en el north error, un 99.986% en el east error y un 99.86% en el error up, también con respecto al posicionamiento SPS. Se concluye que a una distancia de 250 metros entre receptores se tiene una gran mejora con los datos del

teléfono celular ya que la precisión se acerca bastante a la precisión que genera la estación profesional y en el caso del error en up se tiene un mejor resultado superando la precisión que se tiene con la estación GNSS.

3.2.6 ESCENARIO 6: Dispositivo Android ubicado en el Parque del Estudiante

Resultados del posicionamiento estándar GPS

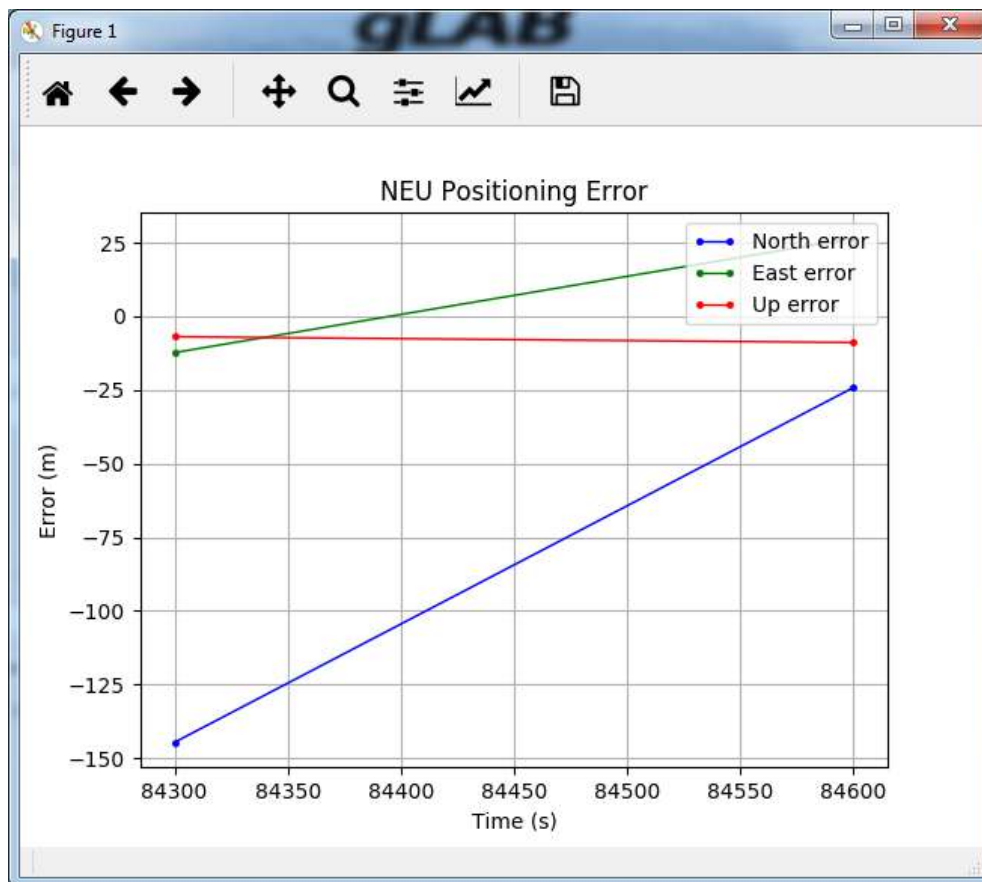


Figura 20-3: Errores de los ejes NEU en SPS
Realizado por: Salazar Mayra, 2019

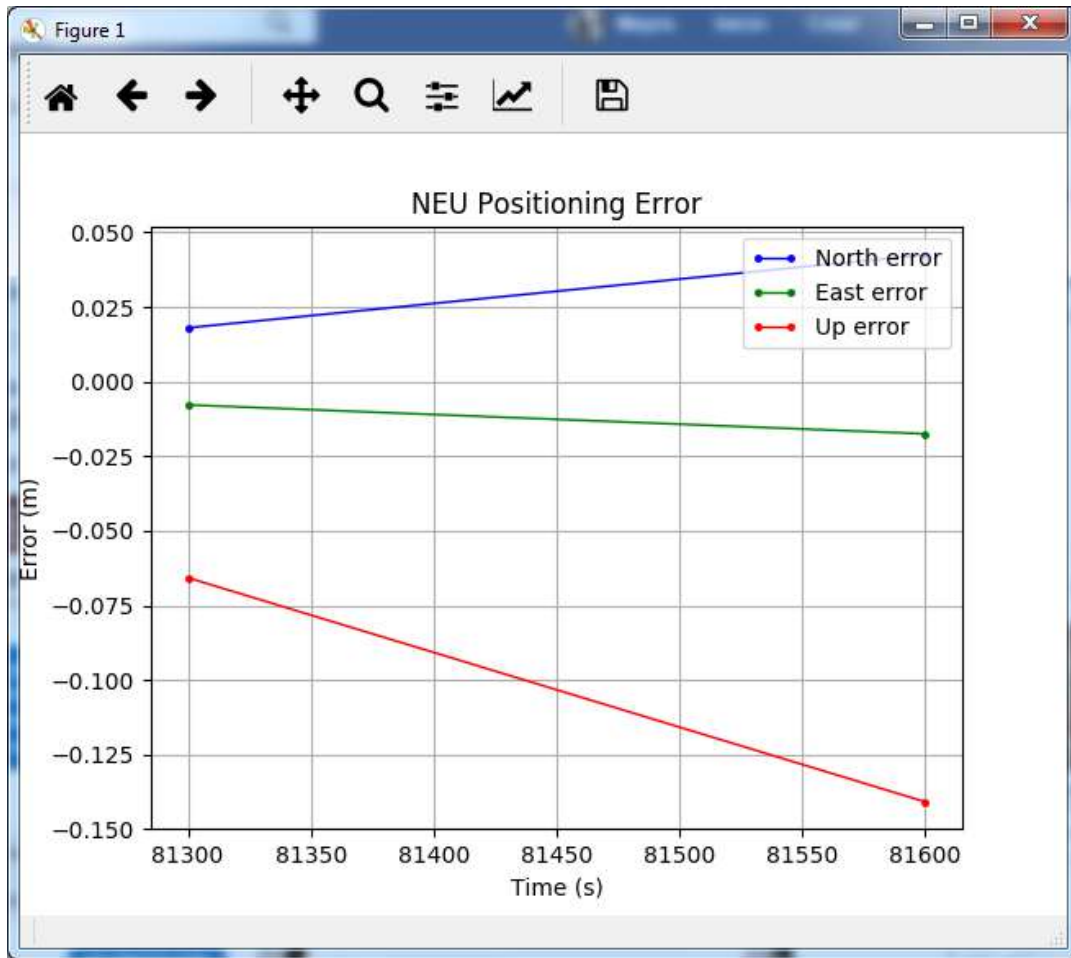


Figura 21-3: Errores de los ejes NEU con postproceso con respecto a la estación EREC.
 Realizado por: Salazar Mayra, 2019

Postproceso respecto al dispositivo Android como estación base

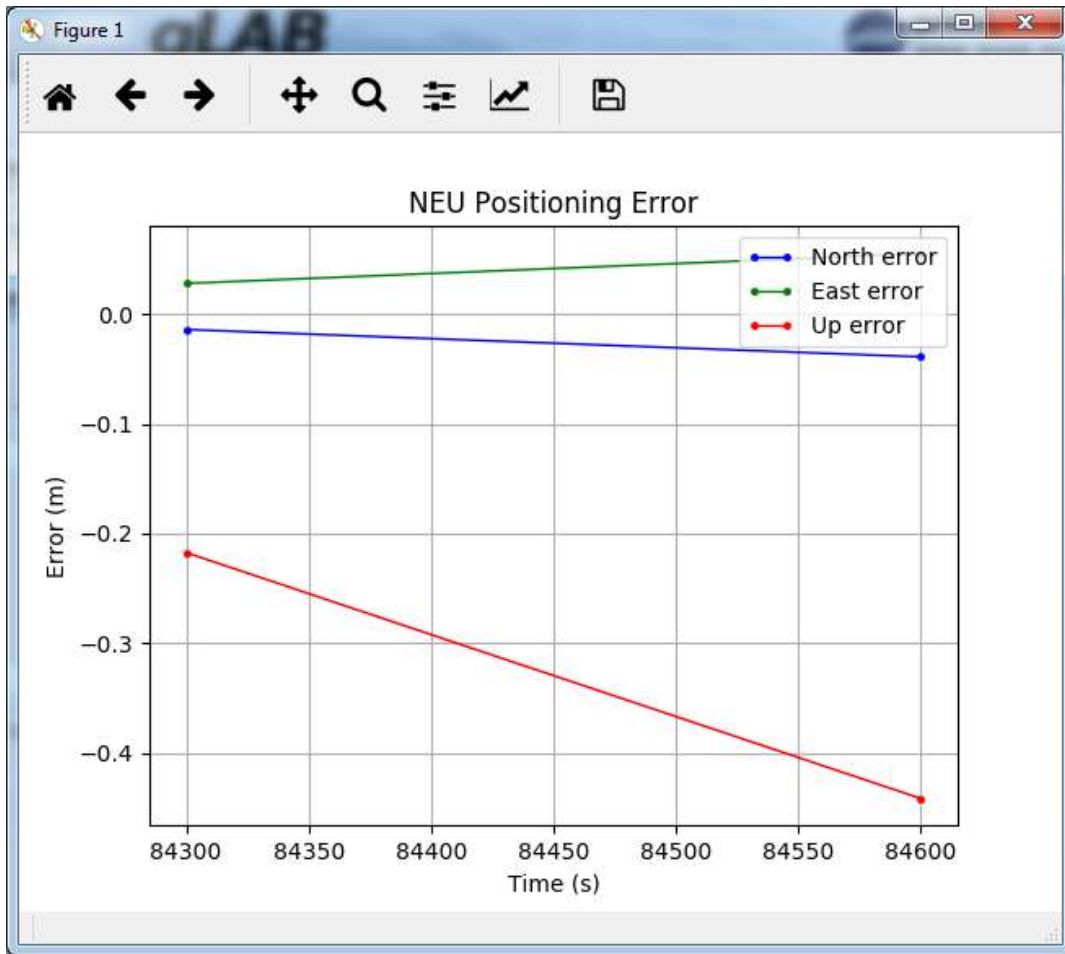


Figura 22-3: Errores de los ejes NEU con postproceso con respecto al dispositivo Android
Realizado por: Salazar Mayra, 2019

Tabla 6-3: Resultados de las correcciones en los ejes NEU del escenario 6

RESULTADOS	NORTH ERROR (m)	EAST ERROR (m)	UP ERROR (m)
SIN DGPS	-144.6	26.5	-8.917
CON DGPS (EREC)	0.042	-0.0175	-0.0141
CON DGPS (CELULAR)	-0.039	0.055	-0.442

Realizado por: Salazar Mayra, 2019.

La tabla 6-3 muestra los resultados alcanzados en precisión tomando en cuenta los tres casos se puede concluir que el postproceso con respecto a la estación GNSS TRIMBLE mejora considerable la precisión en se alcanza 99.97% en el eje norte, 99.93% en la parte Este y 99.84% en el eje up, con respecto a la trayectoria original. El postproceso con respecto al celular también presenta mejoras en la precisión obteniendo un 99.97% en el north error, un 99.79% en el east error y un 95.04% en el error up, con respecto a la trayectoria original. Se concluye que a una

distancia de 70 metros entre receptores se tiene una gran mejora con los datos del teléfono celular ya que la precisión se acerca bastante a la precisión que genera la estación EREC.

Resumen de Resultados

En la tabla 7-3 se muestra un resumen de los resultados que se obtuvieron al aplicar el diferencial de GPS tanto con respecto a la estación base GNSS como con el dispositivo móvil basado en Android.

Tabla 7-3: Resumen de precisión alcanzada en los escenarios

Realizado por: Salazar Mayra, 2019.

	Resultados	NORTH ERROR (m)	PRECISION (%)	EAST ERROR (m)	PRECISION (%)	UP ERROR (m)	PRECISION (%)
ESCENARIO 1	CON DGPS (EREC)	-0.007	99.99	-0.0325	99.92	0.181	96.72
	CON DGPS (CELULAR)	1637.5	0	-3000	0	0	100
ESCENARIO 2	CON DGPS (EREC)	-0.0140	99.92	-0.0275	99.97	0.27	96.86
	CON DGPS (CELULAR)	1753.7	0	-2934.8	0	46.4	0
ESCENARIO 3	CON DGPS (EREC)	- 0.625	99.98	0.008	99.998	0.216	99.69
	CON DGPS (CELULAR)	7118.3	0	1337.8	0	183.1	0
ESCENARIO 4	CON DGPS (EREC)	0.005	99.996	0.031	99.86	0.251	98.78
	CON DGPS (CELULAR)	112.08	19.42	-946.23	0	-14.15	31.51
ESCENARIO 5	CON DGPS (EREC)	0.0015	99.998	-0.0008	99.997	0.0063	99.98
	CON DGPS (CELULAR)	0.0158	99.98	-0.0050	99.986	-0.0505	99.86
ESCENARIO 6	CON DGPS (EREC)	0.042	99.97	-0.0175	99.93	- 0.0141	99.84
	CON DGPS (CELULAR)	-0.039	99.97	0.055	99.97	-0.442	95.04

Realizado por: Salazar Mayra, 2019.

Al tener en cuenta las distancias se tiene resultados en precisión similares tanto en el postproceso con respecto a la estación GNSS y al dispositivo Android a distancias aproximadas a 280 metros.

Tomando en cuenta el presupuesto para realizar el sistema planteado en comparación con una estación base GNSS normal se obtuvo los resultados en costos alcanzados que se muestran en la tabla 8-3.

Tabla 8-3: Comparación de presupuestos

	ESTACIÓN GNSS	SISTEMA PROPUESTO
Receptor como estación de referencia	\$ 10000.00	\$ 300.00
Receptor móvil	\$ 300.00	\$ 20.00
TOTAL	\$ 1300.00	\$ 320.00

Realizado por: Salazar Mayra, 2019.

Como se muestra en la comparación en cuanto al presupuesto utilizado es factible utilizar un dispositivo Android como estación GNSS para abaratar costos de postprocesamiento siempre y cuando se tome en cuenta las distancias

CONCLUSIONES

Al analizar el estado del arte de los principios de corrección del diferencial de GPS se concluye que existen parámetros importantes que hay que tener en cuenta para aplicar el DGPS como la distancia entre los receptores debe ser conocida, los receptores deben trabajar en las mismas épocas y con el mismo conjunto de satélites.

La extracción de los datos brutos del dispositivo móvil basado en Android para realizar el postproceso se realizó con ayuda de una aplicación de acceso libre que es GEO ++ RINEX Logger que permite generar un archivo de formato RINEX el cual es utilizado para el postprocesamiento y la extracción de los datos se realiza de forma sencilla.

Al momento de comparar los resultados que se obtuvieron al utilizar un dispositivo Android como estación base en los primeros tres escenarios se visualiza que el error en los 3 ejes norte, este y altura, presenta un incremento y cuando se aplica DGPS con la estación GNSS de la EERSA el error disminuye por ende la precisión mejora, se concluye que a grandes distancias no funciona el sistema propuesto por ello se opta por nuevos escenarios a distancias menores a 1 kilómetro considerando sitios cercanos a la trayectoria, en donde al considerar una distancia de 280 metros se observa mejoras en la precisión en los tres ejes north, east, up de 99.98%, 99.986%, 99.86% respectivamente y con una distancia de 70 metros se alcanza una precisión en los tres ejes north, east, up de 99.97%, 99.79%, 95.04% respectivamente, por lo tanto a distancias menores de 280 metros el dispositivo Android ya actúa y corrige errores como una estación GNSS profesional y puede sustituirla.

Al diseñar el sistema de DGPS utilizando como base a un dispositivo celular Android se comprobó que la técnica aplicada con los datos de una estación base tradicional GNSS alcanza resultados de corrección similares por lo que es viable reemplazar la estación por un teléfono móvil siempre y cuando se aplique en distancias cortas de 280 metros aproximadamente debido a la correlación de errores entre receptores lo que permite la eliminación de los mismos mejorando la precisión en la solución final de lo contrario estos se sumarían en lugar de restarse y el error incrementará.

El software de procesamiento de información GNSS gLAB permite ejecutar postproceso utilizando archivos de navegación y observación de ambos receptores visualizando gráficamente la reducción de los errores y facilitando la interpretación de resultados.

RECOMENDACIONES

Es recomendable realizar las observaciones considerando las condiciones climáticas, también teniendo en cuenta que los lugares en donde se va a realizar la toma sean zonas despejadas, además es necesario realizar las pruebas a diferentes distancias para observar los resultados al disminuir e incrementar la separación entre receptores.

La extracción de datos en el receptor de referencia y en el Rover se deben realizar en los mismos intervalos de tiempo épocas para que no exista errores al momento de aplicar el diferencial de GPS, por esto es importante verificar los archivos RINEX tanto del receptor móvil, así como del receptor que se utilice como estación de referencia.

Es importante considerar las herramientas de software como gLAB y RTKLIB que son de acceso libre, así como las herramientas hardware adecuadas para la extracción de datos, el procesamiento de los datos y el postprocesamiento de los mismos.

Se recomienda para trabajos futuros utilizar diferentes versiones de archivos RINEX para realizar el postproceso y crear una aplicación para la extracción de datos del dispositivo Android.

GLOSARIO

GNSS	Sistema Global de Navegación por Satélite
GPS	Sistema de Posicionamiento Global
SPS	Servicio de Posicionamiento Estándar
PPS	Servicio de Posicionamiento Preciso
GLONASS	Global Navigation Satellite System (Sistema Global De Navegación Por Satélite desarrollado por la Unión Soviética)
FTDI	Futuros Dispositivos de Tecnologías Internacionales
DOP	Dilución de precisión
RINEX	Formato de Intercambio Independiente del receptor
DGPS	Diferencial Sistema de Posicionamiento Global

BIBLIOGRAFÍA

AGUILAR, Fabricio, “*DESARROLLO DE UNA APLICACIÓN DE SOFTWARE (APP) ANDROID QUE SIRVA DE COMUNICACIÓN ENTRE UN RASTREADOR SATELITAL Y UN CELULAR INTELIGENTE*”. S.l.: ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL. 2015.

APKPLZ.NET, La descripción de Digital World Geo ++ RINEX Logger. [en línea]. 2019. [Consulta: 2 mayo 2019]. Disponible en: <https://apkplz.net/app/de.geopp.rinexlogger>.

BARREIRO, José Luis et al. *Aplicación de sistemas GNSS y SIG a infraestructuras de transporte: estudio sobre la conducción naturalista*. [en línea]. S.l.: Universidade da Coruña: Galicia, Spain. 2015. [Consulta: 1 mayo 2019]. Disponible en: <https://core.ac.uk/download/pdf/61913747.pdf>.

BERNÉ, J.L., ANQUELA, A. y GARRIDO, N., *GNSS GPS : fundamentos y aplicaciones en Geomática*. S.l.: s.n. 2014. ISBN 9788490482612.

BOTELLA, Albert y OLMEDILLAS, Joan Carles, Geotelemática Posicionamiento y navegación. [en línea], pp. 90. 2010. [Consulta: 6 mayo 2019]. Disponible en: [http://openaccess.uoc.edu/webapps/o2/bitstream/10609/51541/1/Geotelemática. Posicionamiento y navegación.pdf](http://openaccess.uoc.edu/webapps/o2/bitstream/10609/51541/1/Geotelemática.Posicionamiento%20y%20navegaci3n.pdf).

CAPDEVILA, Julio, El sistema de posicionamiento global GPS. *UNIVERSITY of FLORIDA* [en línea], pp. 28. 2018. Disponible en: <http://edis.ifas.ufl.edu/pdffiles/IN/IN65700.pdf>.

CARRANZA, Andrés y REYES, José, *ANÁLISIS E IMPLEMENTACIÓN DE DIFERENCIAL DE GPS EN TIEMPO REAL A TRAVÉS DE LA TECNOLOGÍA NTRIP PARA LA EERSA*. S.l.: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. 2017.

CORREIA, Paul, *Guía Practica del GPS* [en línea]. España: s.n. 2001. [Consulta: 9 mayo 2019]. ISBN 8426713246. Disponible en: https://books.google.com.ec/books?id=iTW7BBKScHsC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbg_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false.

DIFFEN, Android vs iOS. [en línea]. 2019. [Consulta: 24 abril 2019]. Disponible en: <https://es.diffen.com/tecnologia/Android-vs-iOS>.

- DIGGELEN, Frank**, Herramientas de análisis GNSS de Google. [en línea]. 2017. [Consulta: 5 mayo 2019]. Disponible en: <https://android-developers.googleblog.com/2017/10/gnss-analysis-tools-from-google.html>.
- DULCEY, Héctor**, *Desarrollo de un prototipo de guía turística de Guayaquil para celulares con GPS sobre la plataforma Android*. S.l.: Universidad Internacional del Ecuador - UIDE. 2011.
- FALLAS, Jorge**, SISTEMA DE POSICIONAMIENTO GLOBAL. *Programa Regional en Manejo de Vida Silvestre y Escuela de Ciencias Ambientales* [en línea], no. January 2002, pp. 8-9. 2010. [Consulta: 10 mayo 2019]. Disponible en: https://www.researchgate.net/profile/Jorge_Fallas5/publication/228389461_SISTEMA_DE_POSICIONAMIENTO_GLOBAL/links/55a529f008ae81aec9133e7e/SISTEMA-DE-POSICIONAMIENTO-GLOBAL.pdf.
- FERNÁNDEZ, Unai**, *Técnicas de resolución de la ambigüedad de las medidas de fase en sistemas de navegación por satélite* [en línea]. S.l.: Universidad de Málaga. 2005. [Consulta: 9 mayo 2019]. Disponible en: <https://riuma.uma.es/xmlui/bitstream/handle/10630/4632/UFP.pdf?sequence=1>.
- GAGE: GRUPO DE INVESTIGACION ASTRONÓMICA Y GEOMÁTICA**, Herramienta GNSS-Lab (gLAB). [en línea]. 2018. [Consulta: 3 abril 2019]. Disponible en: <https://gage.upc.es/gLAB/>.
- GALILEOGNSS.EU**, Aplicación Gnss Compare. [en línea]. 2018. [Consulta: 2 mayo 2019]. Disponible en: <https://galileognss.eu/gnss-compare-app/>.
- GARCÍA, David Abelardo**, *Sistema GNSS (global navigation satellite system)*. S.l.: Universidad Autónoma de Madrid. 2008.
- GEOCOM**, Soluciones Geoespaciales. *TRIMBLE NET R9 GNSS* [en línea]. 2008. Disponible en: <https://www.geocom.cl/productos/trimble-net-r9-gnss/>.
- GETE, Oscar y ROLDÁN, Alonso**, *Estudio de Disponibilidad de Señales De Localización Gps / Gsm*. S.l.: Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Telecomunicación de Barcelona. 2008.
- GIMÉNEZ, Tamara y ROS, María Elena.**, Sistema de Posicionamiento Global (GPS). *Sociedad de Especialistas Latinoamericanos en Percepción Remota y Sistemas de Información Espacial* Sesión, pp. 8-11. 2009.

- GONZÁLEZ, Pablo**, *Levantamiento Mediante Gps* [en línea]. S.l.: UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA. 2007. [Consulta: 7 mayo 2019]. Disponible en: <http://repositorio.upct.es/bitstream/handle/10317/4651/pfc5890.pdf?sequence=1>.
- GREWAL, M., ANDREWS, A.y BARTONE, C.**, *Global positioning systems, inertial navigation, and integration*. THIRD EDIT. New Jersey: John Wiley & Sons. 2013. ISBN 9781118447000.
- HOFMANN, BERNHARD LICHTENEGGER, H. y WASLE, E.**, *GNSS – Global Navigation Satellite Systems GPS, GLONASS, Galileo, and more*. S.l.: s.n. 2007. ISBN 9783211730126.
- HOYER, Melvin**, Conceptos Básicos Del Posicionamiento Gns En Tiempo Real. Ntrip Y Tópicos Relacionados Con El Tema. [en línea], 2002. [Consulta: 13 mayo 2019]. Disponible en: ftp://ftp.sirgas.org/pub/gps/SIRGAS-RT/03_Hoyer_GNSS_en_Tiempo_Real.pdf.
- HUERTA, E.MANGIATERRA, A.y NOGUERA, G.**, *GPS Posicionamiento satelital*. S.l.: s.n. 2005. ISBN 9788578110796.
- LATORRE, Adrian**, Cómo está estructurado el GPS en Android. *El Android Libre* [en línea]. 2012. [Consulta: 24 abril 2019]. Disponible en: <https://elandroidelibre.lespanol.com/2012/12/cmo-est-estructurado-el-gps-en-android.html>.
- LÓPEZ, Franklin y ORTEGA, Ángel**, *Análisis e implementación del diferencial de GPS con configuración simple y doble, para mejorar la precisión de un receptor GPS en la ciudad de Riobamba*. S.l.: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. 2017.
- MANANDHAR, Dinesh**, *MGA Webinar Series : 8 GNSS Raw Data Measurement from Android Device*. S.l.: Center for Spatial Information Science. The University of Tokyo Contact. 2018.
- MECHATRONICS, N.**, Módulo GPS NEO-6M. [en línea]. 2019. [Consulta: 8 mayo 2019]. Disponible en: <https://naylorlampmechatronics.com/sensores-posicion-inerciales-gps/106-modulo-gps.html>.
- MISRA, Patrap y ENGE, Per**, *Global Positioning System*. Segunda Ed. Lincoln, Massachusetts: s.n. 2006. ISBN 0970954417.
- MONTENEGRO, Kleber y VARGAS, Darwin**, *Determinación de puntos Geográficos para el cálculo de áreas exactas utilizando GPS Diferencial (DGPS)* [en línea]. S.l.: Universidad Politécnica Salesiana Sede Quito. 2015. [Consulta: 18 mayo 2019]. Disponible en:

<http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/5081/1/UPS-CYT00109.pdf>.

OLMEDILLAS, Joan Carles, *Introducción a los sistemas de navegación por satélite*. S.l.: Editorial UOC. 2012. ISBN 9788490291672.

PACHAS, Raquel, Posicionamiento estático y diferencial: errores y postproceso. [en línea]. 2010. [Consulta: 20 abril 2019]. Disponible en:
<http://erevistas.saber.ula.ve/index.php/academia/article/view/6067/5872>.

PEÑAFIEL, J. y ZAYAS, J., Fundamentos del sistema GPS y aplicaciones en la topografía. *Colegio Oficial de IT en Topografía. Delegación ...*, pp. 66. 2001.

PRIETO, Juan y VELASCO, Jesús, Métodos de posicionamiento con GNSS en Geodesia, Topografía y Geomática. *Encyclopedia of the Solar System* [en línea], pp. 29-54. 2014. [Consulta: 5 mayo 2019]. Disponible en:
<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/B9780124158450000025>.

QUIEROAPUNTES, GPS y DGPS. [en línea]. 2019. [Consulta: 18 mayo 2019]. Disponible en:
<https://www.quieroapuntes.com/gps-y-dgps.html>.

ROTHER, Alfredo, Los Satélites. *Tipos de Satélites*. [en línea]. 2009. [Consulta: 18 abril 2019]. Disponible en: <http://rotheleprocesos.blogspot.com/2009/06/tipos-de-satelites.html>.

SAGÑAY, Julio y FREIRE, Wilson, *DETERMINAR Y COMPARAR LA PRECISIÓN EN LOS DISPOSITIVOS MÓVILES ANDROID DE GAMA MEDIA Y ALTA EN MODO SPS VS A-GPS POR LA RED MÓVIL*. S.l.: ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO. 2018.

SERPAS, J.MANUEL, R.y OBALDÍA, F., GPS: EL SISTEMA DE POSICIONAMIENTO GLOBAL. [en línea], pp. 35. 2004. [Consulta: 20 mayo 2019]. Disponible en:
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5381247>.

TFI SYSTEMS, GNSS Compare. [en línea]. 2018. [Consulta: 3 abril 2019]. Disponible en:
https://play.google.com/store/apps/details?id=com.galfins.gnss_compare&hl=es_EC.

VICO, Ángel, Arquitectura de Android. [en línea]. 2011. [Consulta: 22 abril 2019]. Disponible en: <https://columna80.wordpress.com/2011/02/17/arquitectura-de-android/>.

VILLARROEL, D.D.SCARAMUZZA, F.M.MÉNDEZ, A.A.y VÉLEZ, J.P., El posicionamiento satelital y sus sistemas de corrección. *Curso Internacional de Agricultura de Precisión* [en línea], no. 13, pp. 175-182. 2014. [Consulta: 19 mayo 2019]. Disponible

en:

http://www.agriculturadeprecision.org/descargaItem.asp?item=/13roCursoAgPrec/Libro/c3_Libro13CursoAP2014.pdf.

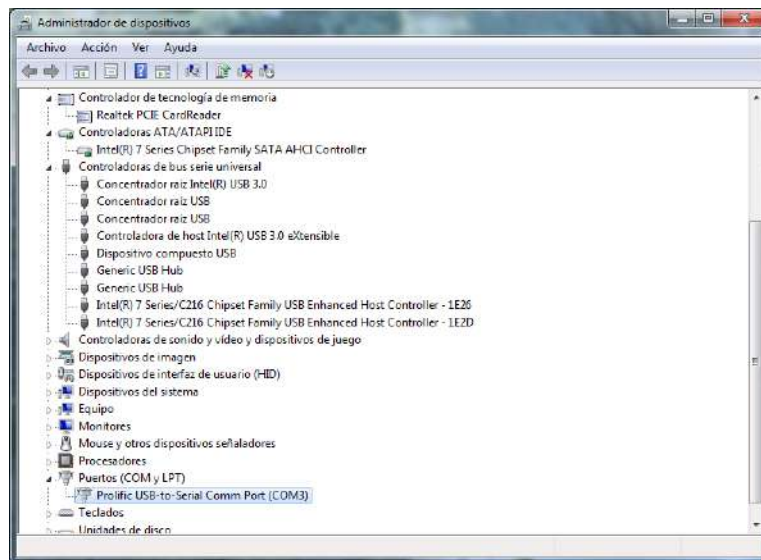
ZABALA, Mónica, 2016. *Tecnologías de posicionamiento y localización*. 2016. S.l.: s.n.

ANEXOS

ANEXO A: Configuración en U-CENTER

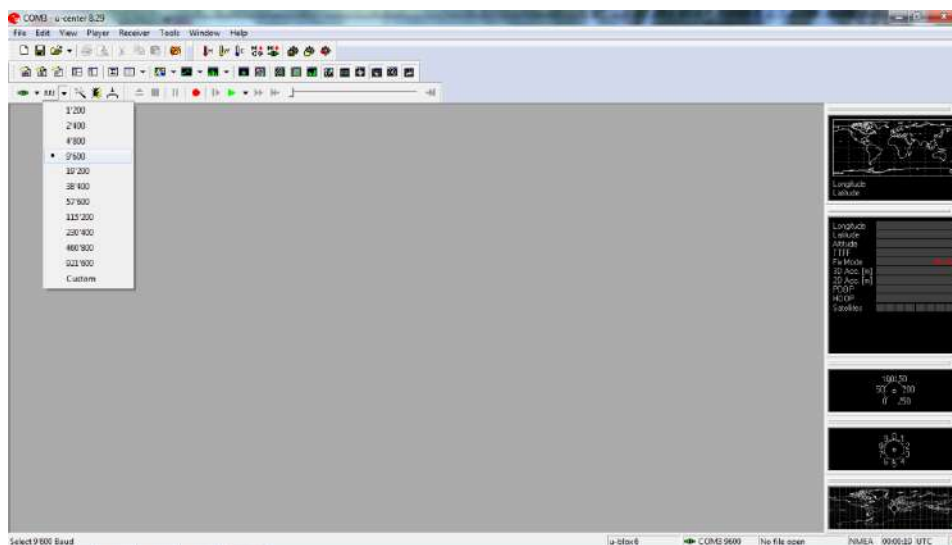
1.- La comunicación entre el receptor GPS y el computador se realiza mediante el cable FTDI, para la correcta conexión es necesario verificar que el controlador este instalado tal y como se muestra en la figura, en el administrador de dispositivos se indica que el puerto con el que se va a trabajar es el COM3.

Verificación de conexión del puerto COM3



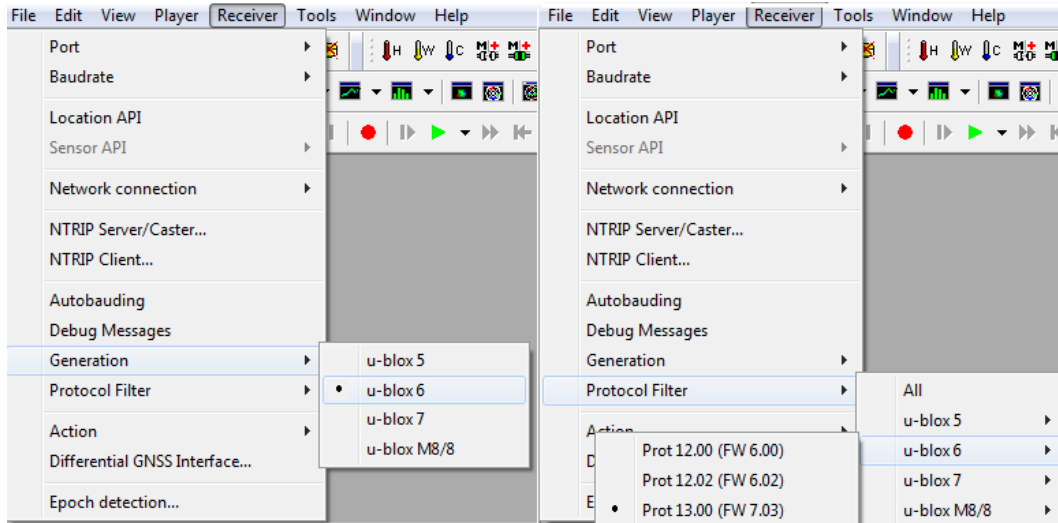
2.- Conectar el módulo GPS al computador y abrir el software de Ublox U-center, el mismo que viene configurado con una velocidad de 9600 por defecto como se muestra a continuación:

Velocidad de transferencia por defecto de U-center



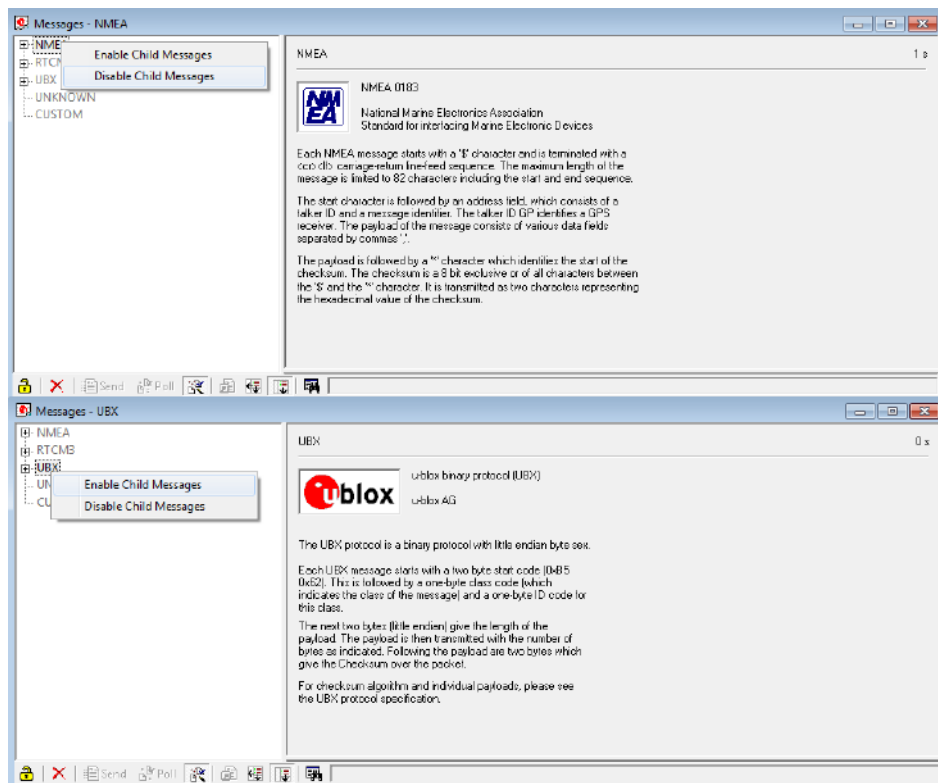
3.- En la pestaña del receptor se debe configurar el modelo y protocolo del receptor de GPS en este caso de Ublox- 6M en la figura se puede observar en la parte izquierda el modelo mientras que en la parte derecha se visualiza el protocolo.

Configuración del Modelo y Protocolo de Ublox Neo 6M



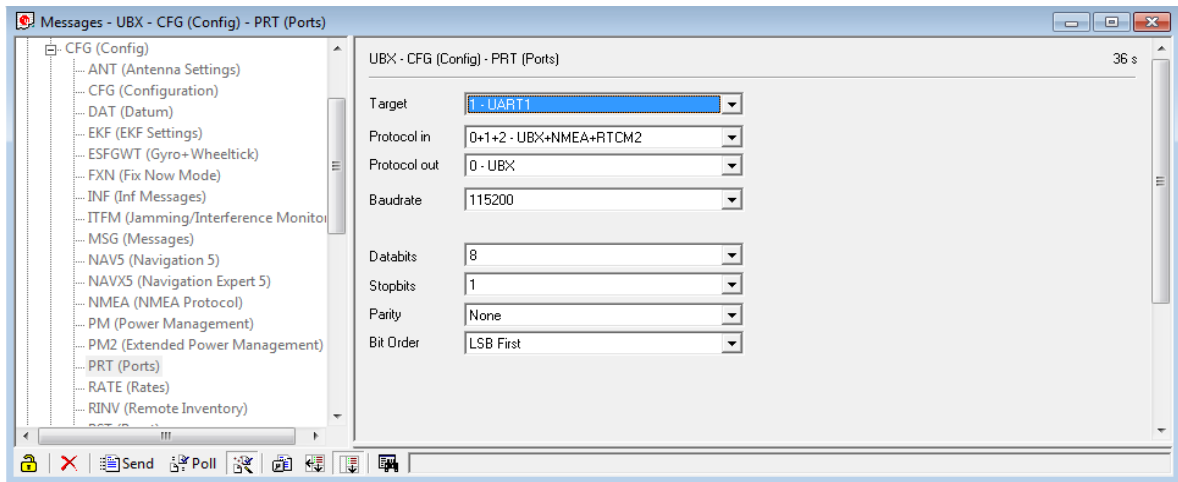
4.- En la pestaña View seleccionamos View Messages en donde se debe desactivar los mensajes NMEA y activar UBX, en la figura se muestra el proceso mencionado.

Desactivación de mensajes NMEA y activación de UBX



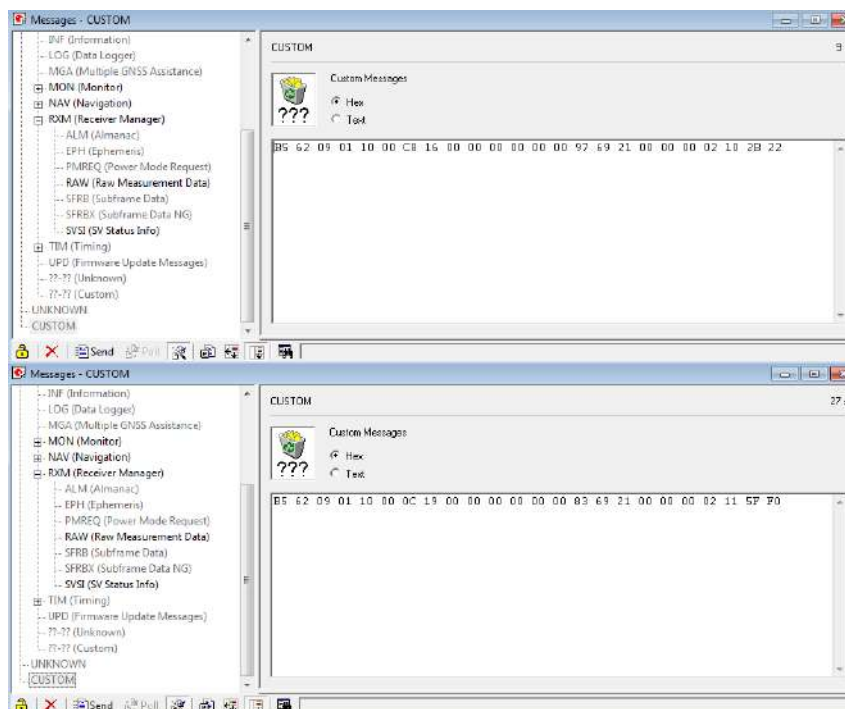
5.- Se procede a cambiar la velocidad de transferencia de datos del dispositivo a la computadora, esto lo realizaremos en la pestaña CFG (config) – PRT (port) configurando los parámetros que se muestran y luego presionamos Send.

Configuración de la velocidad de transferencia de datos



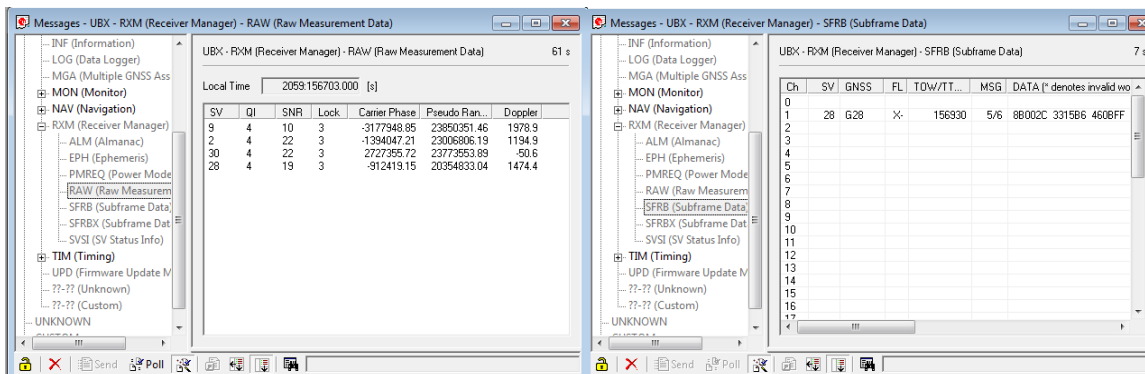
6.- Se debe activar los datos RAW del computador para luego poder transformar los archivos generados a formato RINEX, para esto es necesario activar la salida RXM-RAM y RXM SFRB para lo cual se debe activar los códigos uno a uno en la opción CUSTOM presionando enviar después de cada entrada. Los códigos para activar cada salida se muestran a continuación, en la parte superior para activar la salida RXM-RAM y en la parte inferior para activar la salida RXM-SFRB.

Activación de las salidas RXM-RAW y RXM-SFRB



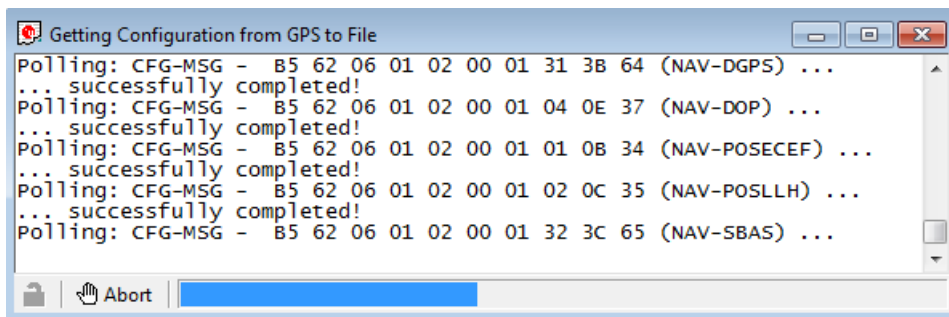
7.- Luego de realizar el paso anterior ya se debe activar los mensajes RXM-RAW y RXM-SFRB, por lo tanto, ya se debe estar recibiendo los datos tal como se muestra.

Recepción de datos GNSS



8.- Una vez realizados los pasos anteriores se puede guardar los datos siempre se genera un archivo con extensión .ubx propio del software, una vez almacenados los datos el software procesa los datos de la trayectoria, este proceso demorará dependiendo del tiempo en que se recolectó los datos. A continuación, se puede observar el momento en que se procesa los datos de la trayectoria.

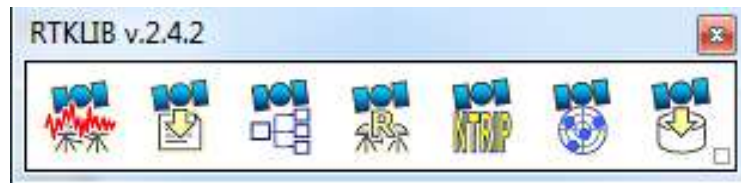
Procesamiento de los datos



ANEXO B: Procesamiento y conversión de datos

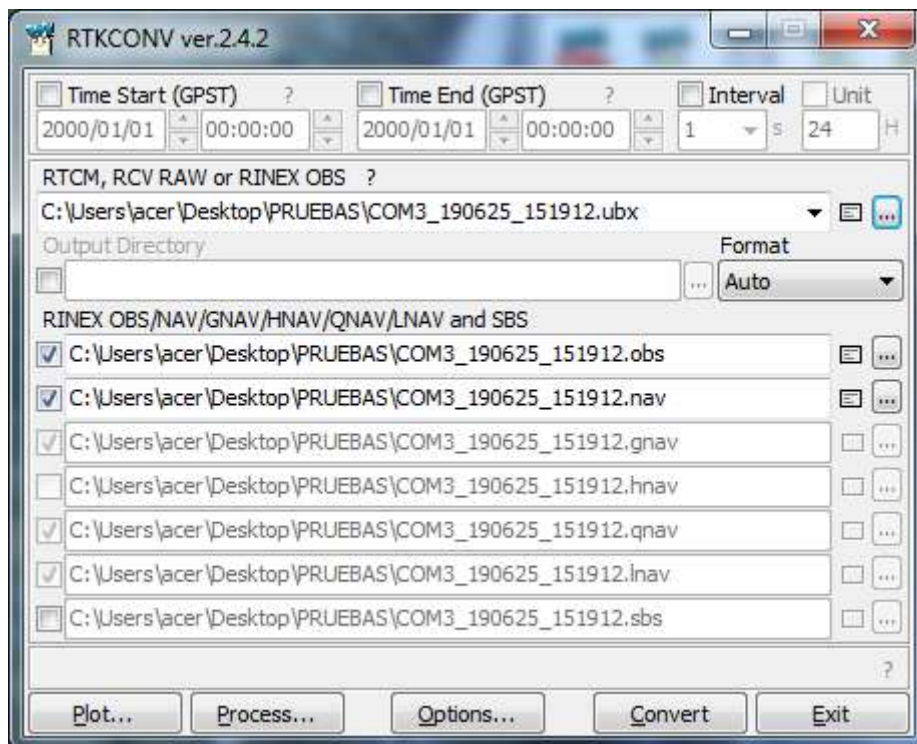
1.- Abrir RTKLAUNCH que se muestra en la figura y buscar la herramienta RTKCONV que es el segundo ícono.

RTKLAUNCH



2.- Abrimos el complemento RTKCONV y procedemos a cargar el archivo .ubx en la primera pestaña tal como se muestra en la figura , posteriormente damos clic en Convertir y se genera los archivos RINEX tanto de observación y de navegación en la carpeta indicada.

Obtención de los archivos RINEX de observación y de navegación



Además, RTKLIB permite por medio del componente RTKPOST interpretar los archivos de navegación y observación generados anteriormente para visualizar la trayectoria que se ejecutó en cada uno de los escenarios con la ayuda del complemento RTKPLOTT. Con la ayuda de RTKPOST también se leer archivos .kml para poder visualizarlos en Google Earth.

ANEXO C: Archivos RINEX del dispositivo móvil

En el archivo RINEX que se genera en el dispositivo Android en la parte superior se muestra la cabecera en donde se indica la versión del archivo RINEX, el modelo del teléfono, el nombre de

la aplicación que se está utilizando y el tiempo en el que inicio la primera observación. En la parte inferior se muestra ya los datos que se extraen.

Archivo RINEX del celular

```
3.03 OBSERVATION DATA M: Mixed
RINEX VERSION / TYPE
Geo++ RINEX Logger Geo++ 20190625 155739 UTC
PGM / RUN BY / DATE
*****
COMMENT
This file was generated by the Geo++ RINEX Logger App
COMMENT
for Android devices (Version 2.1). If you encounter
COMMENT
any issues, please send an email to android@geopp.de
COMMENT
*****
COMMENT
Geo++
MARKER NAME
GEODETTIC
MARKER TYPE
Geo++ Geo++
OBSERVER / AGENCY
unknown Xiaomi Mi A2 Lite
REC # / TYPE / VERS
unknown Mi A2 Lite
ANT # / TYPE
1252621.3702 -6254132.0197 -182949.4831
APPROX POSITION XYZ
0.0000 0.0000 0.0000
ANTENNA: DELTA H/E/W
G 8 C1C L1C D1C S1C C5Q L5Q D5Q S5Q
SYS / # / OBS TYPES
R 4 C1C L1C D1C S1C
SYS / # / OBS TYPES
E 12 C1B L1B D1B S1B C1C L1C D1C S1C C5Q L5Q D5Q S5Q
SYS / # / OBS TYPES
C 4 C2I L2I D2I S2I
SYS / # / OBS TYPES
J 8 C1C L1C D1C S1C C5Q L5Q D5Q S5Q
SYS / # / OBS TYPES
2019 6 25 15 57 57.8759000 GPS
TIME OF FIRST OBS
24 R01 1 R02 -4 R03 5 R04 6 R05 1 R06 -4 R07 5 R08 6
GLONASS SLOT / FRQ #
R09 -2 R10 -7 R11 0 R12 -1 R13 -2 R14 -7 R15 0 R16 -1
GLONASS SLOT / FRQ #
R17 4 R18 -3 R19 3 R20 2 R21 4 R22 -3 R23 3 R24 2
GLONASS SLOT / FRQ #
G L1C
SYS / PHASE SHIFT
G L5Q -0.25000
SYS / PHASE SHIFT
R L1C
SYS / PHASE SHIFT
E L1B
SYS / PHASE SHIFT
E L1C +0.50000
SYS / PHASE SHIFT
E L5Q -0.25000
SYS / PHASE SHIFT
C L2I
SYS / PHASE SHIFT
J L1C
SYS / PHASE SHIFT
J L5Q -0.25000
SYS / PHASE SHIFT
C1C 0.000 C1P 0.000 C2C 0.000 C2P 0.000
GLONASS COD/PHS/BIS

END OF HEADER
> 2019 6 25 15 57 57.3987590 3 1
Geo++
MARKER NAME
> 2019 6 25 15 57 57.3987590 0 27
C12 25979605.208 3766.461
28.700
C19 24280891.203 3297.400
23.900
C20 25555660.298 2587.584
31.200
C22 25645321.927 3510.864
31.900
```

ANEXO D: Archivo RINEX de observación

En el archivo RINEX de observación también contiene el encabezado en el que se muestra datos como el tiempo de la primera y última observación.

Archivo RINEX de observación

```
3.02          OBSERVATION DATA    M: Mixed
RINEX VERSION / TYPE
RTKCONV 2.4.2                      20190624 222542 UTC
PGM / RUN BY / DATE
log: C:\Users\acer\Desktop\PRUEBAS\ESTECOTURISMO.ubx
COMMENT
format: u-blox
COMMENT

MARKER NAME

MARKER NUMBER

MARKER TYPE

OBSERVER / AGENCY

REC # / TYPE / VERS

ANT # / TYPE
1252258.1420 -6254192.0100 -183236.9503
APPROX POSITION XYZ
0.0000      0.0000      0.0000
ANTENNA: DELTA H/E/N
G 4 C1C L1C D1C S1C
SYS / # / OBS TYPES
S 4 C1C L1C D1C S1C
SYS / # / OBS TYPES
2019 6 24 22 15 47.0000000 GPS
TIME OF FIRST OBS
2019 6 24 22 25 37.0000000 GPS
TIME OF LAST OBS
G
SYS / PHASE SHIFT
S
SYS / PHASE SHIFT
0
GLONASS SLOT / FRQ #
C1C 0.000 C1P 0.000 C2C 0.000 C2P 0.000
GLONASS COD/PHS/BIS

END OF HEADER
> 2019 6 24 22 15 47.0000000 0 9
G 5 21718616.480 16836073.228 -6328.407
46.000
G24 24519191.272 6476234.5032 -3206.011
36.000
```


ANEXO E: Archivo RINEX de navegación.

El archivo RINEX de navegación en la cabecera contiene datos como la hora en formato UTC, la versión del formato que es 3.02 y después contiene los datos recolectados.

Archivo RINEX de navegación.

```
3.02          N: GNSS NAV DATA  M: Mixed          RINEX
VERSION / TYPE
RTKCONV 2.4.2          20190624 222542 UTC PGM /
RUN BY / DATE
log: C:\Users\acer\Desktop\PRUEBAS\ESTECOTURISMO.ubx
COMMENT
format: u-blox
COMMENT
END

OF HEADER
S38 2019 6 24 22 16 32 -.256113708019E-07 -.636646291241E-11
.166567000000E+06
-.125225104000E+05 .322500000000E-03 -.125000000000E-06
.000000000000E+00
-.402577692800E+05 -.101875000000E-02 .125000000000E-07
.240000000000E+01
.341492000000E+02 .220000000000E-03 -.187500000000E-06
.000000000000E+00
G13 2019 6 25 0 0 0 -.575631856918E-04 .170530256582E-11
.000000000000E+00
.370000000000E+02 .734375000000E+01 .439625455022E-08
-.791481611677E+00
.337138772011E-06 .351994496305E-02 .922009348869E-05
.515366719818E+04
.172800000000E+06 -.540167093277E-07 -.126769454207E+01
.353902578354E-07
.967578713594E+00 .202281250000E+03 .126713773058E+01
-.794604527039E-08
-.585738684082E-10 .100000000000E+01 .205900000000E+04
.000000000000E+00
.240000000000E+01 .000000000000E+00 -.111758708954E-07
.370000000000E+02
.166566000000E+06 .400000000000E+01
G 5 2019 6 25 0 0 0 .387895852327E-06 -.227373675443E-12
.000000000000E+00
.620000000000E+02 -.575000000000E+02 .505663920075E-08
.965211757493E+00
-.272318720818E-05 .570517499000E-02 .684149563313E-05
.515371350288E+04
.172800000000E+06 .149011611938E-07 -.246490430132E+01
.484287738800E-07
.950055004553E+00 .242968750000E+03 .722070626809E+00
-.838249202158E-08
-.148934775160E-09 .100000000000E+01 .205900000000E+04
.000000000000E+00
.240000000000E+01 .000000000000E+00 -.111758708954E-07
.620000000000E+02
```

ANEXO F: Archivo RINEX de EREC

En el archivo RINEX de la estación base EREC se puede observar más información en el encabezado como el día de la toma de datos, el tipo de antena y el tiempo de la primera observación.

Archivo RINEX de la estación GNSS

```
2.11 OBSERVATION DATA M (MIXED)
RINEX VERSION / TYPE
NetR9 4.80 Receiver Operator 25-JUN-19 00:00:00
PGM / RUN BY / DATE
EREC
MARKER NAME
EREC
MARKER NUMBER
GNSS Observer Survey Agency
OBSERVER / AGENCY
5209K82766 Trimble NetR9 4.80
REC # / TYPE / VERS
1212118416 TRM57971.00 NONE
ANT # / TYPE
1255116.4454 -6253531.7421 -184844.5026
APPROX POSITION XYZ
0.0001 0.0000 0.0000
ANTENNA: DELTA H/E/N
1 1
WAVELENGTH FACT L1/2
8 C1 L1 S1 P1 C2 L2 S2 P2 #
/ TYPES OF OBSERV
1.000
INTERVAL
2019 6 25 0 0 0.0000000 GPS
TIME OF FIRST OBS
L2C CARRIER PHASE MEASUREMENTS: PHASE SHIFTS REMOVED
COMMENT
L2C PHASE MATCHES L2 P PHASE
COMMENT
GLONASS C/A & P PHASE MATCH: PHASE SHIFTS REMOVED
COMMENT
GIOVE-A if present is mapped to satellite ID 51
COMMENT
GIOVE-B if present is mapped to satellite ID 52
COMMENT

END OF HEADER
19 6 25 0 0 0.0000000 0 21R23R 5G 2G24R13G12G29R 2G 6G
5R14G25 0.000000000
R17G20R 3R 4G15R18G19R24G13
24211301.227 2 129514170.304 2 31.900 24211298.824
1
100733248.310 1 26.200 24211305.137 1
24089332.227 6 128771185.965 6 38.600 24089331.535
5
100155461.206 5 36.800 24089336.176 5
```