



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA
ESCUELA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA TELECOMUNICACIONES
Y REDES

**“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.”**

Trabajo de titulación presentado para optar el grado académico de:
INGENIERO EN ELECTRÓNICA, TELECOMUNICACIONES Y REDES

AUTORES: LOPEZ TADAY FRANKLIN BENITO
ORTEGA ZHUILEMA ANGEL GUSTAVO

TUTORA: Ing. MONICA ANDREA ZABALA HARO, Msc.

Riobamba - Ecuador

2017

©2017, Angel Gustavo Ortega Zhuilema & Franklin Benito Lopez Taday

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.

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA

INGENIERO EN ELECTRÓNICA, TELECOMUNICACIONES Y REDES

El tribunal del trabajo de titulación certifica que: 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 responsabilidad del señor Ángel Gustavo Ortega Zhuilema y el señor Franklin Benito Lopez Taday, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del trabajo de titulación quedando autorizada su presentación.

| NOMBRE | FIRMA | FECHA |
|---|--------------|--------------|
| ING. WASHINGTON LUNA DECANO DE LA FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA | _____ | _____ |
| ING. FRANKLIN MORENO DIRECTOR DE LA ESCUELA DE INGENIERIA ELECTRÓNICA, TELECOMUNICACIONES Y REDES | _____ | _____ |
| ING. MÓNICA ZABALA DIRECTOR DE TESIS | _____ | _____ |
| ING. FRANKLIN MORENO MIEMBRO DEL TRIBUNAL | _____ | _____ |

Nosotros, Angel Gustavo Ortega Zhuilema y Franklin Benito Lopez Taday somos los responsables de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en esta tesis y el patrimonio intelectual del Proyecto de Titulación pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Angel Gustavo Ortega Zhuilema

Franklin Benito Lopez Taday

DEDICATORIA

Dedicamos este trabajo a Dios, a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, a nuestra familia por su apoyo incondicional en nuestra formación profesional, a todas las personas que de una u otra forma colaboraron en la realización del presente trabajo de titulación.

Franklin – Angel

AGRADECIMIENTO

Le agradezco a la ing. Mónica Zabala por guiarnos, por su paciencia y dedicación, quien ha sido un pilar fundamental en esta investigación.

Le agradezco a Dios, a mi madre, a mi tía Delfina por brindarme su amor incondicional, por ser los cimientos en el crecimiento de mi vida profesional. A mis primos Cristian, Víctor y a un gran amigo Lenin quienes han sido como mis hermanos y han estado en los momentos buenos y malos de mi carrera universitaria.

A mi gran amigo Angel quien compartimos gran parte de la vida estudiantil y siempre nos hemos apoyado para cumplir esta gran meta, y a todas las personas que están aquí conmigo y otras en mis recuerdos les agradezco por su apoyo, amistad, ánimos, consejos y compañía en los momentos más difíciles de mi vida.

Franklin

A Dios, por haberme dado la vida y permitirme llegar hasta este momento de mi formación profesional

Un profundo agradecimiento a mis padres Manuel y Lucinda quienes a base de mucho esfuerzo han logrado que esta meta se cumpla, de igual forma a mi hermano, hermana y esposa quienes me apoyaron en todo momento.

A mis amigos y familiares quienes colaboraron para cumplir esta meta, de manera especial a mi amigo de muchos años Franklin por su confianza y apoyo constante.

A la ing. Mónica Zabala y al Ing. Franklin Moreno por su apoyo y predisposición para efectuar este trabajo.

Angel

TABLA DE CONTENIDO

| | |
|------------------------|-----|
| ÍNDICE DE TABLAS..... | x |
| ÍNDICE DE FIGURAS..... | xi |
| ÍNDICE DE ANEXOS..... | xiv |
| RESUMEN..... | xv |
| SUMMARY..... | xvi |
| INTRODUCCIÓN..... | 1 |

CAPÍTULO I

| | |
|---|-----------|
| 1. MARCO TEÓRICO..... | 6 |
| 1.1 La navegación..... | 6 |
| <i>1.1.1 Introducción.....</i> | <i>6</i> |
| <i>1.1.2 Evolución.....</i> | <i>7</i> |
| 1.2 Global Navigation Satellite Systems - GNSS..... | 8 |
| <i>1.2.1 Historia.....</i> | <i>9</i> |
| <i>1.2.2 Generalidades.....</i> | <i>10</i> |
| <i>1.2.3 Constelaciones de GNSS.....</i> | <i>11</i> |
| <i>1.2.4 Calculo de la posición del receptor GNSS.....</i> | <i>12</i> |
| <i>1.2.5 Mediciones GNSS en tiempo real.....</i> | <i>12</i> |
| 1.3 Global Positioning System – GPS..... | 13 |
| <i>1.3.1 Fundamentos del Sistema de Posicionamiento Global GPS.....</i> | <i>14</i> |
| <i>1.3.2 Estructura de la Señal del Sistema GPS.....</i> | <i>16</i> |
| <i>1.3.3 Arquitectura.....</i> | <i>17</i> |
| <i>1.3.3.1 Segmento Espacial.....</i> | <i>18</i> |
| <i>1.3.3.2 Segmento Terrestre.....</i> | <i>18</i> |
| <i>1.3.3.3 Segmento Usuario.....</i> | <i>19</i> |
| <i>1.3.4 Funcionamiento del GPS.....</i> | <i>19</i> |
| <i>1.3.4.1 Determinación de la posición.....</i> | <i>20</i> |
| <i>1.3.4.2 Triangulación espacial.....</i> | <i>22</i> |
| <i>1.3.5 Fuentes de Errores en los sistemas GPS.....</i> | <i>24</i> |
| <i>1.3.5.1 Error de segmentos espaciales.....</i> | <i>24</i> |
| <i>1.3.5.2 Error de propagación.....</i> | <i>24</i> |
| <i>1.3.5.3 Errores locales.....</i> | <i>25</i> |
| <i>1.3.6 Posicionamiento con código C/A.....</i> | <i>27</i> |
| <i>1.3.6.1 Posicionamiento absoluto.....</i> | <i>27</i> |
| <i>1.3.6.2 Posicionamiento Diferencial.....</i> | <i>28</i> |

| | | |
|------------------------|--|-----------|
| 1.4 | Diferencial de GPS | 30 |
| <i>1.4.1</i> | <i>Introducción</i> | <i>30</i> |
| <i>1.4.2</i> | <i>Arquitectura DGPS.</i> | <i>30</i> |
| <i>1.4.3</i> | <i>Técnicas DGPS.....</i> | <i>31</i> |
| <i>1.4.3.1</i> | <i>Diferenciación simple en pseudo-rango.....</i> | <i>32</i> |
| <i>1.4.3.2</i> | <i>Diferenciación Doble en pseudo-rango</i> | <i>33</i> |
| <i>1.4.3.3</i> | <i>Precisión y limitaciones de DGPS</i> | <i>33</i> |
| <i>1.4.3.4</i> | <i>Modelos matemáticos de posicionamiento, diferencial simple y doble.....</i> | <i>33</i> |
| <i>1.4.3.4.1</i> | <i>Estimación de la posición mediante medidas de pseudo-rango.....</i> | <i>33</i> |
| <i>1.4.3.4.2</i> | <i>Dispersión de la precisión por la geometría de los satélites</i> | <i>36</i> |
| <i>1.4.3.4.3</i> | <i>Técnicas diferenciales.....</i> | <i>37</i> |
| <i>1.4.4</i> | <i>Aplicaciones.....</i> | <i>40</i> |
| 1.5 | Red GNSS de monitoreo continuo del Ecuador (REGME)..... | 41 |
| <i>1.5.1</i> | <i>Definición</i> | <i>41</i> |
| <i>1.5.2</i> | <i>Tecnología (Trimble netR9).....</i> | <i>42</i> |
| <i>1.5.3</i> | <i>Características principales</i> | <i>43</i> |
| <i>1.5.4</i> | <i>Precisión</i> | <i>43</i> |
| 1.6 | Módulo Ublox Neo 6m | 44 |
| 1.7 | Receiver Independent Exchange Format - RINEX..... | 44 |
| <i>1.7.1</i> | <i>Descripción General.....</i> | <i>44</i> |
| <i>1.7.2</i> | <i>Fichero de Observación</i> | <i>45</i> |
| <i>1.7.3</i> | <i>Fichero de Navegación.....</i> | <i>47</i> |
| 1.8 | RTKLIB | 48 |
| <i>1.8.1</i> | <i>Características</i> | <i>48</i> |
| CAPITULO II | | |
| 2. | MARCO METODOLÓGICO..... | 49 |
| 2.1 | Análisis de la técnica DGPS utilizada..... | 49 |
| 2.2 | Receptores GPS | 50 |
| <i>2.2.1</i> | <i>Receptor GPS de la Estación de Referencia.....</i> | <i>50</i> |
| <i>2.2.2</i> | <i>Receptor GPS móvil (Rover)</i> | <i>50</i> |
| 2.3 | Puntos de localización | 50 |
| <i>2.3.1</i> | <i>Registro de datos en el formato RINEX</i> | <i>52</i> |
| 2.4 | Desarrollo del algoritmo del diferencial de GPS | 57 |
| <i>2.4.1</i> | <i>Diferencial de GPS en configuración simple</i> | <i>59</i> |
| <i>2.4.1.1</i> | <i>Lectura de información del fichero RINEX.....</i> | <i>59</i> |
| <i>2.4.1.1.1</i> | <i>Lectura del fichero de observación</i> | <i>59</i> |

| | | |
|-----------|--|-----------|
| 2.4.1.1.2 | <i>Lectura del fichero de navegación</i> | 61 |
| 2.4.1.2 | <i>Algoritmos de Diferencial de GPS</i> | 64 |
| a. | Inicialización de variables | 64 |
| 2.4.2 | <i>Diferencial de GPS en Configuración Doble</i> | 66 |
| 2.4.3 | <i>Diseño de la Interfaz Gráfica de Usuario – GUI</i> | 69 |

CAPITULO III

| | | |
|--------------|---|-----------|
| 3. | MARCO DE RESULTADOS | 70 |
| 3.1 | Evaluación de las Técnicas de Posicionamiento | 71 |
| 3.2.1 | <i>Error cuadrático Medio</i> | 71 |
| 3.3 | Análisis de errores de posicionamiento | 71 |
| 3.4.1 | <i>Punto uno – Sector Colegio Isabel de Godín</i> | 72 |
| 3.4.1.1 | <i>Corrección en Configuración Simple</i> | 72 |
| 3.4.1.2 | <i>Corrección en Configuración Doble</i> | 73 |
| 3.4.1.3 | <i>Comparativa del diferencial en configuración simple y doble en el punto dos</i> | 73 |
| 3.4.2 | <i>Punto dos – Sector ECU-911</i> | 75 |
| 3.4.2.1 | <i>Corrección en Configuración Simple</i> | 75 |
| 3.4.2.2 | <i>Corrección en Configuración Doble</i> | 76 |
| 3.4.2.3 | <i>Comparativa del diferencial en configuración simple y doble en el punto tres</i> | 76 |
| 3.4.3 | <i>Punto tres – ESPOCH</i> | 78 |
| 3.4.3.1 | <i>Corrección en Configuración Simple</i> | 78 |
| 3.4.3.2 | <i>Corrección en Configuración Doble</i> | 79 |
| 3.4.3.3 | <i>Comparativa del diferencial en configuración simple y doble en el punto cuatro</i> | 79 |
| 3.4.4 | <i>Punto cuatro – Yaruqués</i> | 80 |
| 3.4.4.1 | <i>Corrección en Configuración Simple</i> | 81 |
| 3.4.4.2 | <i>Corrección en Configuración Doble</i> | 81 |
| 3.4.4.3 | <i>Comparativa del diferencial en configuración simple y doble en el punto cinco</i> | 82 |
| 3.4.5 | <i>Resumen comparativo de errores</i> | 84 |

| | |
|---------------------------|-----------|
| CONCLUSIONES | 87 |
|---------------------------|-----------|

| | |
|------------------------------|-----------|
| RECOMENDACIONES | 88 |
|------------------------------|-----------|

GLOSARIO

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|---|----|
| Tabla 1-1: Número de satélites GNSS planificados | 12 |
| Tabla 2-1: Resumen los errores típicos y su respectiva fuente | 27 |
| Tabla 3-1: Resumen de las técnicas de posicionamiento en código | 30 |
| Tabla 4-1: Principales aplicaciones | 41 |
| Tabla 5-1: Estructura del fichero de observación | 46 |
| Tabla 6-1: Estructura del fichero de navegación. | 47 |
| Tabla 1-2: Lugares de recolección de datos en la ciudad de Riobamba. | 51 |
| Tabla 2-2: Tiempo de observación de los cuatro puntos óptimos..... | 52 |
| Tabla 1-3: Puntos con mejores condiciones..... | 70 |
| Tabla 2-3: Errores de posicionamiento en el punto dos..... | 74 |
| Tabla 3-3: Errores de posicionamiento en el punto tres | 77 |
| Tabla 4-3: Errores de posicionamiento en el punto cuatro | 80 |
| Tabla 5-3: Errores de posicionamiento en el punto cinco..... | 83 |
| Tabla 6-3: Resumen de resultados. | 84 |
| Tabla 7-3: Condiciones externas presentes en la toma de datos brutos | 85 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1-1: Orientación mediante Estrella Polar y el Sol. | 7 |
| Figura 2-1: GPS..... | 15 |
| Figura 3-1: Estructura de la señal de GPS..... | 17 |
| Figura 4-1: Arquitectura GPS..... | 17 |
| Figura 5-1: Sistema de referencia geográfico para latitud y longitud..... | 18 |
| Figura 6-1: Geometría de los satélites y de la medición de pseudo-rangos..... | 21 |
| Figura 7-1: Un satélite | 22 |
| Figura 8-1: Dos satélites | 23 |
| Figura 9-1: Tres satélites | 23 |
| Figura 10-1: Errores GPS | 24 |
| Figura 11-1: Principio de la técnica de corrección diferencial | 28 |
| Figura 12-1: Radio terrestre, separación entre estaciones y distancia a los satélites..... | 29 |
| Figura 13-1: Linealización en un punto aproximado..... | 35 |
| Figura 14-1: Linealización en un punto aproxima..... | 39 |
| Figura 15-1: Red GNSS de monitoreo continuo del Ecuador REGME- Zona de Influencia. .. | 42 |
| Figura 16-1: GPS Ublox NEO-6M..... | 44 |
| Figura 1-2: Puntos de recolección en Riobamba | 51 |
| Figura 2-2: Página oficial Trimble EREC | 53 |
| Figura 3-2: Diagrama de la estación base..... | 53 |
| Figura 4-2: Obtención y procesamiento de RAW DATA en receptor GPS | 54 |
| Figura 5-2: Mensaje para obtener los raw data..... | 54 |
| Figura 6-2: Funcionamiento de RTKNAVI..... | 55 |
| Figura 7-2: Software RTKNAVI..... | 56 |
| Figura 8-2: Software RTKCONV..... | 56 |

| | |
|--|----|
| Figura 9-2: Obtención de datos en el Rover | 57 |
| Figura 10-2: Arquitectura de la estación base y rover. | 57 |
| Figura 11-2: Diagrama de bloques Etapas DGPS..... | 58 |
| Figura 12-2: Diagrama de Flujo Etapas DGPS..... | 58 |
| Figura 13-2: Diagrama de bloques Etapas DGPS-Simple | 59 |
| Figura 14-2: Lectura de la cabecera del RINEX de observación. | 60 |
| Figura 15-2: Almacenamiento de datos de observación..... | 61 |
| Figura 16-2: Procesamiento de datos de observación..... | 61 |
| Figura 17-2: Diagrama de flujo de lectura de archivo RINEX..... | 62 |
| Figura 18-2: Archivo Rinex Observación | 63 |
| Figura 19-2: Archivo RINEX Navegación..... | 63 |
| Figura 20-2: Diagrama de Flujo para calcular la posición por Diferencial Simple | 65 |
| Figura 21-2: Épocas comunes en los RINEX..... | 65 |
| Figura 22-2: Diagrama de flujo – Diferencial Simple de Pseudo-rangos..... | 66 |
| Figura 23-2: Diagrama del diferencial doble..... | 67 |
| Figura 24-2: Diagrama de flujo para calcular la posición por Diferencial Doble | 67 |
| Figura 25-2: Diagrama de flujo – Diferencial Doble de Pseudo-rangos | 68 |
| Figura 26-2: Pantalla principal DGPS-LAB..... | 69 |
| Figura 1-3: Puntos de recolección de datos en Riobamba..... | 70 |
| Figura 2-3: Dispersión Horizontal. Autónomo vs Diferencial Simple | 72 |
| Figura 3-3: Dispersión Horizontal. Diferencial Simple vs Diferencial Doble | 73 |
| Figura 4-3: Dispersión Horizontal. Autónomo vs Diferencial Simple y Doble | 73 |
| Figura 5-3: Error vs épocas en autónomo, diferencial simple y doble | 74 |
| Figura 6-3: Dispersión Horizontal. Autónomo vs Diferencial Simple | 75 |
| Figura 7-3: Dispersión Horizontal. Diferencial Simple vs Diferencial Doble | 76 |
| Figura 8-3: Dispersión Horizontal. Autónomo vs Diferencial Simple y Doble | 76 |

| | |
|--|----|
| Figura 9-3: Error vs épocas en autónomo, diferencial simple y doble | 77 |
| Figura 10-3: Dispersión Horizontal. Autónomo vs Diferencial Simple | 78 |
| Figura 11-3: Dispersión Horizontal. Diferencial Simple vs Diferencial Doble | 79 |
| Figura 12-3: Dispersión Horizontal. Autónomo vs Diferencial Simple y Doble | 79 |
| Figura 13-3: Dispersión Horizontal. Autónomo vs Diferencial Simple | 81 |
| Figura 14-3: Dispersión Horizontal. Diferencial Simple vs Diferencial Doble | 81 |
| Figura 15-3: Dispersión Horizontal. Autónomo vs Diferencial Simple y Doble | 82 |
| Figura 16-3: Error vs épocas en autónomo, diferencial simple y doble | 82 |
| Figura 17-3: Error de posición. Autónomo vs Diferencial Simple y Doble - ESPOCH | 85 |
| Figura 18-3: Error receptor TRIMBLE NETR9..... | 86 |

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A: Configuración en u-center

ANEXO B: Obtención y conversión de los datos raw

ANEXO C: Uso de la aplicación Dgps

ANEXO D: Código de Matlab

ANEXO E: Ficha técnica de u-blox neo 6m

ANEXO F: Ficha técnica de REGME-EREC

RESUMEN

El objetivo principal del presente trabajo de titulación fue analizar e implementar la técnica diferencial del Sistema de Posicionamiento Global (GPS) en configuración simple y doble con el fin de mejorar la precisión de los datos de un receptor GPS situado en la ciudad de Riobamba. La investigación se desarrolló en dos fases, la primera constituye la recolección de datos brutos (raw data) con un receptor GPS de bajo costo u-blox NEO 6M y la segunda fase consta de la implementación de los algoritmos de corrección diferencial utilizando las medidas de pseudo-rangos en configuración simple y doble además del desarrollo de una interfaz gráfica en matlab para la ejecución de la misma. Los datos se recolectaron en ocho localizaciones dentro de la ciudad de Riobamba de los cuales se tomaron los cuatro mejores basados en las condiciones de distancia hacia la estación del sistema global de navegación por satélite (GNSS) local de referencia “EREC” que corresponde a la Red GNSS de Monitoreo Continuo Del Ecuador (REGME). La precisión estándar ofrecida por los dispositivos GPS de bajo costo es de 2.5m y al aplicar las técnicas de diferenciación de GPS los resultados obtenidos respecto a la precisión se redujeron considerablemente, se concluyó que la corrección más notable se divisó en el punto de localización en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH) a una distancia de 3.44 Km. desde la estación de referencia obteniendo una disminución de 69.54% del error en configuración simple y 69.99% en configuración doble, en referencia al posicionamiento autónomo. Se recomienda utilizar la aplicación para fines educativos y de verificación de las técnicas en las diferentes configuraciones mas no para aplicaciones críticas.

Palabras Clave: <TECNOLOGÍA Y CIENCIAS DE LA INGENIERÍA>, <TELECOMUNICACIONES>, <SISTEMA DE POSICIONAMIENTO GLOBAL (GPS)>, <DIFERENCIAL DE GPS (DGPS)>, < MATLAB (SOFTWARE) >, <ERRORES GPS>

SUMMARY

The main objective of the present titling work was to analyze and implement the differential technique of the global positioning system (GPS) in a simple and double configuration with the purpose of improving the precision of the GPS receptor data situated in the city of Riobamba. The investigation was developed two phases, the first constituted of raw data recollection with a low cost u-blox NEO 6M GPS receptor and the second phase consisted of the implementation of differential correction algorithms using pseudo-range measures in simple and double configurations aside from the development of a graphic interphase in Matlab for the execution of the same. The data was collected in eight zones within the city of Riobamba of which four of the best were taken based on distance conditions to the station of the global navigation satellite system (GNSS) reference location “EREC” that corresponds to the GNSS network of continuous monitoring of Ecuador (REGME). The standard precision offered by the low cost GPS devices is of 2.5m and when applying GPS differentiation techniques the obtained results of precision were considerably reduced. It was concluded that the most notable correction was seen in the station point of the Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH) at a distance of 3.44Km from the reference station obtaining a decrease of 69.54% of error in a simple configuration and 69.99% in double configuration, in reference to the autonomous positioning. It is recommended to use the application for educational purposes and for technical verification in the different configurations rather than critical applications.

Keywords: <ENGINEERING TECHNOLOGY AND SCIENCES>, <TELECOMMUNICATIONS>, <GLOBAL POSITIONING SYSTEM (GPS)>, <DIFFERENTIAL GLOBAL POSITIONING SYSTEM (DGPS)>, <MATLAB (SOFTWARE)>, <GPS ERRORS>

INTRODUCCIÓN

ANTECEDENTES

Desde tiempos inmemorables ha sido una necesidad para el hombre conocer su posición y la de otros lugares o entidades con el propósito de determinar la manera de llegar a los mismos, a lo largo de su historia se han utilizado varios métodos para determinar su posición hasta llegar a sofisticados sistemas de navegación basados en satélites. (VARELA PÉREZ, 2003 pág. 10)

Entre más sofisticado sea un sistema de navegación mayor probabilidad de completar el viaje sin errores y en consecuencia con los avances tecnológicos de la electrónica y las telecomunicaciones se han desarrollado sistemas de navegación basados en satélite.

En 1959 el satélite Vanguard demostró el concepto básico de la radionavegación satelital cuando se comprobó que la frecuencia doppler variaba en función de la localización del observador. En este principio se basó el sistema Transit desarrollado por la marina de los Estados Unidos. Este sistema tenía una precisión de un error esférico de 500 metros, pero el sistema no daba una cobertura continua ni global.

Basándose en estos resultados las fuerzas armadas norteamericanas comenzaron a desarrollar el sistema de posicionamiento global GPS (Global Position System), que debería entrar en operación en 1988. Este sistema actualmente brinda una cobertura mundial. Básicamente su funcionamiento se basa en la medición de las distancias desde un receptor con respecto a un conjunto de satélites cuya posición se conoce en todo momento de manera exacta y precisa. Dado que los satélites son los puntos de referencia, el cálculo de las distancias se efectúa tras medir el tiempo que tardan en llegar a la tierra las señales radioeléctricas que emiten los satélites. (VARELA PÉREZ, 2003).

GPS tiene 2 tipos de servicios: SPS y PPS.

El SPS es de uso civil y por razones de seguridad nacional entre marzo de 1990 y 1 de mayo del 2000 es afectado intencionalmente por la disponibilidad selectiva (SA) que es un ruido intencional introducido por DoD (Department of Defense) de los Estados Unidos en las señales del satélite afectando la precisión de GPS en un rango de hasta 100 metros. (FALLAS, 2002).

En el año 2000 se elimina la SA por disposiciones gubernamentales con ello mejoró la precisión en los receptores de uso civil (SPS) por lo que los receptores GPS de cualquier fabricante puede lograr una precisión de aproximadamente 10 metros.

Sin embargo, existen servicios donde la precisión es crítica como: ubicación de emergencia, topografía, agricultura de alta precisión, navegación entre otros y es necesario mitigar los errores que provocan esta imprecisión en GPS.

Para alcanzar este objetivo, existen técnicas de corrección de errores que basan sus correcciones con los parámetros y medidas obtenidas por GPS, como: órbitas, relojes PPP, code phase y carrier phase que al combinarlos y diferenciarlos se reduce los errores y mejora la precisión al rango de centímetros y milímetros.

FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Imprecisión en el posicionamiento debido a factores que afectan la señal de GPS ocasionando el error.

GPS tiene una gran variedad de aplicaciones que pueden trabajar con precisiones como las que ofrece el equipo GPS convencional, con márgenes aproximados de error de más de 20 metros en situaciones adversas, ya que lo que se desea tener es una idea clara pero no exacta de la ubicación actual de un objeto, como sucede en los sistemas de navegación comercial para vehículos de transporte terrestre sin embargo también existen aplicaciones donde se requieren niveles más precisos en el posicionamiento, puesto que en un área de cinco metros a la redonda (error promedio de un módulo de GPS), se pueden presentar infinidad de posibles lugares distintos al deseado. Esto puede ocurrir en aplicaciones de navegación de alta precisión como pueden ser navegaciones aéreas, incluso maniobras de aterrizaje y/o despegue asistidos, y muchas otras aplicaciones, para las cuales la ubicación no es muy útil, si la misma no se da con una alta precisión.

SISTEMATIZACIÓN DEL PROBLEMA

- ¿Cuáles son los factores que ocasionan el error en el posicionamiento de un receptor GPS?
- ¿Qué es y cómo funciona la técnica Diferencial de GPS?
- ¿Cuánto se podrá mejorar la precisión en el posicionamiento utilizando el Diferencial de GPS

JUSTIFICACIÓN TEÓRICA

En este proyecto de investigación se busca mitigar el error en el posicionamiento de un receptor GPS a través de la identificación de las fuentes de los errores que provocan esta degradación y de la técnica que se utiliza para su implementación, en este caso se analiza DGPS.

Actualmente es un tema relevante ya que el posicionamiento en ciertas áreas puede ser de vital importancia por ejemplo en proyectos de seguridad nacional, áreas de desastres, localización personal, georreferencia entre otras, haciendo de la precisión un factor indispensable.

Para alcanzar este objetivo, existen técnicas de corrección de errores que basan sus correcciones con los parámetros y medidas obtenidas por GPS, como: orbitas, relojes, PPP, code phase y carrier phase, que al combinarlos y diferenciarlos se reduce los errores y mejora la posición al rango de centímetro y milímetro.

Los errores al que GPS enfrenta durante su transmisión son varios que involucran a cada uno de los segmentos espaciales, terrestre, usuario, de propagación y efemérides, que alteran la precisión de un objeto. DGPS es una técnica basada en GPS que proporciona cálculos exactos en metros en móviles y mejoras en sistemas estacionarios, este método de corrección diferencial ayuda a mejorar la calidad de datos de localización recogidas por el sistema de posicionamiento global (GPS), DGPS requiere de dos receptores ubicados en la misma región, se configura un receptor como estación de referencia y su ubicación se obtiene mediante equipos de alta precisión. El segundo receptor se le conoce como receptor móvil y su posición se obtiene mediante GPS y a la misma se aplicará la corrección por medio de postprocesado de datos utilizando un software de post procesamiento.

Unas de las limitantes para aplicar el diferencial de GPS es la distancia existente entre la estación de referencia y el receptor móvil debido que no se verían afectados por los mismos errores. La solución de navegación (posicionamiento) será analizada antes y después de la aplicación DGPS y se demostrará la mejora que produce respecto a la posición de la posición final de un receptor GPS común.

JUSTIFICACIÓN APLICATIVA

Nuestro país cuenta con una red GNSS de Monitoreo Continuo del Ecuador (REGME) actualmente consta con 33 estaciones de GNSS cuya distribución tiene el objeto de brindar una cobertura nacional, para aplicaciones geodésicas de alta precisión, para lo cual utiliza técnicas para las correcciones de errores entre una de ellas, DGPS.

Para el análisis y aplicación de la técnica de DGPS se utilizará los archivos de navegación y observación de GPS de una estación de referencia y un dispositivo móvil. En la ciudad de Riobamba contamos con dos estaciones de referencia denominados EREC y RIOP ubicados en la calle García Moreno y 10 de agosto y en el aeropuerto de la ciudad respectivamente los cuales nos permitirán realizar la diferenciación con los dispositivos móviles que se situara en los puntos que se desea obtener su posición, considerando las restricciones de DGPS, la principal de ellas la distancia de base línea.

Para el postprocesado de datos se utilizará software de post-procesamiento que nos ayudaran a analizar los datos de posicionamiento GPS, evaluando el error en el receptor.

Como resultado de la aplicación DGPS se incrementa la confiabilidad de la ubicación del usuario, ya que la mayoría de los errores han sido eliminados y se ha incrementado su precisión, requisito indispensable para aplicaciones de alta precisión sean civiles o militares.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Analizar e implementar el diferencial de GPS con configuración simple y doble, para mejorar la precisión de un receptor GPS en la ciudad de Riobamba.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Investigar el funcionamiento del Sistema de Posicionamiento Global – GPS.
- Estudiar las técnicas del Diferencial de GPS y sus diferentes configuraciones.
- Implementar un receptor GPS mediante un arduino y el módulo GPS.
- Recolectar los datos de navegación de la estación de referencia y el receptor GPS móvil.
- Desarrollar la técnica diferencial de GPS mediante un algoritmo en las medidas del receptor GPS.
- Comparar las correcciones obtenidas de la técnica diferencial de GPS entre sus configuraciones.

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO

1.1 La Navegación

1.1.1 *Introducción*

Se define como un compendio de métodos y técnicas que facilitan al desplazamiento cualquiera sea este, permite encontrar con pericia y en cualquier momento la localización espacial del elemento que este en uso como transporte, mismo que mantiene una trayectoria determinada. (RIVERA MEDINA, 2014 pág. 2)

De acuerdo a otro autor, se puede definir como el conjunto de satélites mismos que transfieren señales, las cuales son usadas para conocer localización y posición en cualquier parte de la Tierra (HEGARTY, y otros, 2008)

Bajo este contexto se puede observar que mediante la navegación se definirán coordenadas geográficas, así como también datos de altitud, provenientes de constelaciones de satélites artificiales del globo terrestre mismos que deberán poseer fines geodésicos, de transporte y navegación entre otros, estas señales podrán ser receptadas desde cualquier ubicación. (HEGARTY, y otros, 2008 pág. 3)

También es posible detectar u obtener información exacta de la hora y posición, todo el tiempo las veinticuatro horas del día y a pesar de cualquier condición climatológica que se presente (HEGARTY, y otros, 2008 pág. 3).

Los principales sistemas de posicionamiento y navegación más reconocidos son: GPS mismo que fue desarrollado por los Estados Unidos, puesto en funcionamiento en el año de 1969 y GLONASS creado por la Unión Soviética, puso a andar su proyecto de posicionamiento en el año 1970, ambos sistemas usados con fines civiles y a su vez militares. En la actualidad GLONASS pertenece a la Federación Rusa, misma que pretende mejorar su sistema a través de adecuaciones al mismo. (FERNÁNDEZ PLAZAOLA, 2005 pág. 5)

1.1.2 Evolución

De acuerdo a la evolución de la navegación en el mundo, los fenicios fueron los primeros que consiguieron navegar fuera de la zona costera, orientándose por la Estrella Polar, misma que sólo se puede apreciar desde el hemisferio norte del planeta y señala el mismo punto, y mediante el Sol, en donde la forma de orientarse es por la sombra de un objeto, y mirando hacia donde se mueve la sombra que este produce, que será el este. (POSPELOVA, 2014 pág. 3)

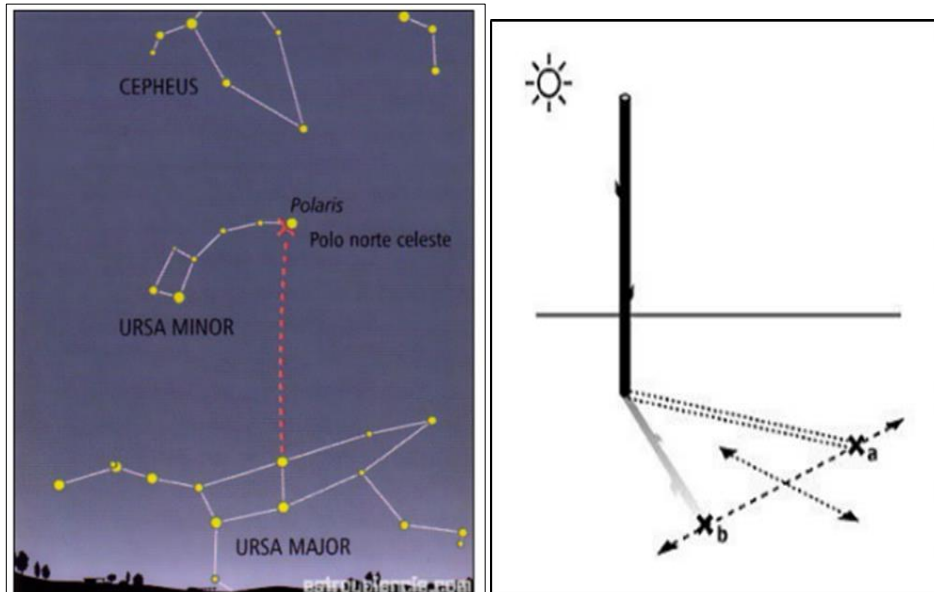


Figura 1-1 Orientación mediante Estrella Polar y el Sol.

Fuente: (POSPELOVA, 2014 pág. 3)

Para medir el rumbo a seguir se utilizaron instrumentos como el compás magnético, lo que registró las primeras referencias escritas en el siglo XII. La brújula fue descubierta por los chinos quienes enseñaron su uso a los árabes y ellos instruyeron a los navegantes europeos del mediterráneo, este instrumento señala mediante un imán el norte y el sur magnético de la Tierra debido al campo magnético que siguen las líneas de fuerza. A la par surgió el astrolabio, que es un artefacto con el que se puede conocer la latitud midiendo la altura de la estrella polar o del sol al medio día por encima del horizonte, de los cual se derivaron otros instrumentos como el cuadrante y el sextante. (POSPELOVA, 2014 pág. 4)

Destacaron además los faros, que servían como punto de referencia en la navegación y se empezó a hacer cartas de navegación y mediante el uso de la trigonometría se dio un comienzo para el cálculo y determinación de las distancias. Partiendo de el año 1520 el profesor flamenco Frisius quien demostró como calcular la diferencial de longitud entre 2 puntos de la tierra, Galileo mejoró su método, el cual subsistió hasta el siglo XIX. (POSPELOVA, 2014 pág. 4)

En 1761 el británico John Harrison inventó el cronómetro marino, mismo que era utilizado para obtener una precisión en la navegación de 20 millas náuticas en un viaje de 3 meses. Hasta la aparición de la radionavegación se usaron el sextante, la brújula y el cronómetro marino como instrumentos básicos de navegación. En el siglo XX surgió la radionavegación debido a los experimentos de Macorni quien fue el precursor de este método, mismo que consiste en determinar la posición de un barco o aeronave a través de señales de radio emitidas desde tierra. Con el objetivo de conseguir mayor precisión en los datos obtenidos se utilizaron satélites artificiales para transmitir señales de radiolocalización. (VARELA PÉREZ, 2003 pág. 7)

En 1959 el satélite Vanguard demostró el concepto básico de la radionavegación satelital, mediante este principio se basó el sistema Transit desarrollado por la Marina de los EEUU. Basándose en dichos resultados las fuerzas armadas norteamericanas empezaron a desarrollar el sistema de posicionamiento global GPS que entró en operación en 1988, seguido del sistema GLONASS basado en los mismos principios de GPS que fue creado por la Federación rusa y puesto en operación en 1996. (VARELA PÉREZ, 2003 pág. 7)

1.2 Global Navigation Satellite Systems - GNSS

El GNSS es determinado como un sistema que abarca a todo el mundo mismo que actúa como fuente de determinación de la posición, este está compuesto por constelaciones principales de satélites, sistemas de aumento, receptores y de supervisión de integridad del propio sistema, lo que ayudan a que las funciones de las constelaciones centrales mejoren. (RIVERA MEDINA, 2014 pág. 3)

De acuerdo a los autores (SANCHEZ, y otros, 2011, pág. 13):

Se entiende por Sistemas Globales de Posicionamiento (GNSS) a sistemas pasivos de navegación basado en satélites emisores de radiofrecuencias, que proporcionan un marco de referencia espacio-temporal con cobertura global, independiente de las condiciones atmosféricas, de forma continua en cualquier lugar de la Tierra, y disponible para cualquier número de usuarios (SANCHEZ, y otros, 2011 pág. 13)

(MANUEL, 2012, pág. 3), expone que:

GNSS (Global Navigation Satellite System), es el acrónimo que se refiere al conjunto de tecnologías de sistemas de navegación por satélite que proveen de posicionamiento geoespacial con cobertura global de manera autónoma. Un receptor de GNSS es capaz de determinar su

posición en cuatro dimensiones (longitud, latitud, altitud, y tiempo), lo que ha dado lugar a multitud de aplicaciones civiles y militares (MANUEL, 2012 pág. 3)

GNSS, en resumen, es el compendio de tecnologías que tienen que ver son sistemas de navegación mismos que son dirigidos por satélites, estos transmiten datos de posicionamiento geoespacial con cobertura integral en todo el globo terrestre de manera autónoma. (DE LA FUENTE PATIÑO, 2012 pág. 18)

En otro contexto este sistema posee variadas características que permiten poseer al sistema una diversidad de aplicaciones, desde las más simples como lo son la navegación en vehículos a las que requieren de mayor conocimiento como lo son datos que tiene que ver con dinámica terrestre. (MOYA ZAMORA, y otros, 2014 pág. 8)

Es decir, el GNSS se refiere a un conjunto de sistemas que actúan como emisores de radiofrecuencia que transmiten una señal, misma que ayuda a proveer información acerca del posicionamiento en las cuatro dimensiones, longitud, latitud, altitud, y tiempo, esta posee la cobertura global del planeta y no depende de las condiciones climáticas ni atmosféricas para determinar estos datos, mediante el GNSS se ha permitido disponer de esta información tanto a usuarios civiles como a militares.

1.1.3 Historia

Para conocer acerca de las bases en donde surgieron los pensamientos que ayudaron a crear el GNSS se detalla a continuación las fechas relevantes de la historia en donde existieron sucesos trascendentales en este avance:

- En 1957 la URSS ubica el satélite Sputnik, este es monitoreado por efecto Doppler. (UNNE-CONICET, 2011 pág. 5)
- En 1964 la Armada estadounidense provee a su flota un sistema de navegación para observaciones de posiciones actualizadas y precisas denominado sistema TRANSIT. (UNNE-CONICET, 2011 pág. 5)
- En 1973 se fusionan desarrollos de la Armada y fuerza Aérea estadounidenses y adoptan una señal modulada con un código de ruido pseudo-aleatorio llamado Pseudo-Random Noise. (UNNE-CONICET, 2011 pág. 5)
- Entre 1978 y 1985 se desarrollaron y lanzaron once satélites del sistema NAVSTAR-GPS. (UNNE-CONICET, 2011 pág. 6)

- En 1982 la URSS comenzó a lanzar satélites de su constelación GLONASS. (UNNE-CONICET, 2011 pág. 6)
- El sistema NAVSTAR-GPS toma capacidad operacional inicial en 1993 y adquiere capacidad operacional total en 1995. (UNNE-CONICET, 2011 pág. 6)
- En 2002 se elimina la disponibilidad selectiva, es decir el error inducido (UNNE-CONICET, 2011 pág. 6)

1.1.4 Generalidades

Los sistemas Globales de Navegación por satélite, son un conjunto de sistemas de elementos que tienen como objetivo principal el permitir la localización en tiempo real de un usuario que se encuentre situado en cualquier momento, condición meteorológica y lugar del globo terrestre permitiendo así mismo la propagación de tiempos precisos. (MANUEL, 2012 pág. 7)

Están compuestos básicamente por una constelación de satélites que se encuentran en la órbita de alrededor de la Tierra dentro de una distancia media de 20.000 Km., de altitud, desde esa posición se emiten señales mediante las cuales el receptor puede calcular diferentes datos tales como la distancia, posición de los satélites, y su propio sitio en el espacio esto mediante el proceso de trilateración. Además, se los denominan sistemas pasivos debido a que no es necesario que se dé la interacción conjunta de todos los receptores, ya que generalmente el último receptor en uso será capaz de ejecutar los cálculos de manera autónoma. Dicha característica denominada como unidireccional es de gran ayuda para los usuarios, ya que permite que los sistemas sean accesibles a un número considerable de usuarios. (MANUEL, 2012 pág. 7)

En la actualidad existen dos Sistemas Globales de Navegación por Satélite activos:

- El Sistema de Posicionamiento Global (GPS) de los Estados Unidos de América. (MANUEL, 2012 pág. 7)
- El Sistema Orbital Mundial de Navegación por Satélite (GLONASS) de la Federación Rusa. (MANUEL, 2012 pág. 7)

Estos forman parte del concepto GNSS, ya que poseen características compatibles y similares, la Unión Europea GALILEO con el objetivo de formar parte de GNSS pues posee un gran avance en lo que tiene que ver a su evolución y desarrollo, debido a aquello se ha logrado ajustar y formar parte del mismo en el año 2013. (MANUEL, 2012 pág. 7)

Se han presentado proyectos nuevos de Sistemas de navegación satelital mismos que tiene el fin de formar parte de GNSS, dichos proyectos están inmersos en un proceso de desarrollo, de los cuales se mencionan los siguientes:

- El BEIDOU, COMPASS o BNTS (BeiDou/Compass Navigation Test System) de República Popular China.
- El QZSS (Quasi-Zenith Satellite System) de Japón
- El IRNSS (Indian Regional Navigation Satellite System) de la India. (MANUEL, 2012 pág. 7)

1.1.5 Constelaciones de GNSS

GNSS (Global Navigation Satellite System): es un sistema de navegación global por satélite, mismo que ofrece la generación de coordenadas y las determina de manera puntual, resultados que se dan por la presencia de señales que son transmitidas por una constelación de satélites, para obtener la información necesaria el usuario que requiere de la información debe contar con un receptor eficaz y adecuado. (FERNÁNDEZ PLAZAOLA, 2005 pág. 1).

GPS: Sistema de localización, diseñado por el departamento de Defensa de los EEUU, que en un principio fue diseñado con fines militares, este proporciona datos estimados de posición, tiempo y velocidad de determinado objeto en todo el mundo, está formado por 24 satélites. (DE LA FUENTE PATIÑO, 2012 pág. 20)

GLONASS: Desarrollado por la antigua Unión Soviética y propiedad ahora de la Federación Rusa, de similares características del GPS, diferenciados únicamente en que este sistema de localización está conformado por 11 satélites que ayudan en su funcionamiento. (FERNÁNDEZ PLAZAOLA, 2005 pág. 1)

GALILEO: Este sistema es un proyecto conjunto de la Comisión Europea y la Agencia Espacial europea. Determinado como una alternativa al GPS diseñado para uso frecuente civil, mismo que cuenta con variados tipos de servicios de posicionamiento en carreteras, para emergencias y demás, dicho segmento espacial se encuentra formado por 30 satélites. (FERNÁNDEZ PLAZAOLA, 2005 pág. 6)

COMPASS: El sistema de navegación por satélite de China empezó a prestar servicios operativos iniciales, incluyendo posicionamiento, navegación y sincronización, a China y sus alrededores a partir del martes 27 de diciembre de 2011, este puede proporcionar dos tipos de servicio a nivel mundial: servicio abierto y servicio autorizado. A través de su servicio abierto, proporciona

servicios gratuitos de posicionamiento, velocidad y sincronización. A través de su servicio autorizado, proporciona servicios de posicionamiento, velocidad y sincronización más seguros, así como información de integridad del sistema, para usuarios autorizados (PIKE, 2017 pág. 1).

Tabla 1-1: Número de satélites GNSS planificados

| SYSTEM | 2010 | 2013 | 2016 | 2019 |
|---------|--------|--------|--------|--------|
| GPS | 31 | 32 | 32 | 32 |
| GLONASS | 23(+2) | 24(+3) | 24(+3) | 24(+3) |
| Galileo | 0 | 4 | 18 | 27(+3) |
| Compass | 6 | 12 | 30 | 32(+3) |

Fuente: (UNIVERSIDAD DE TOKIO, 2011 pág. 22)

Realizado por: Ángel Ortega, Franklin Lopez (2017)

1.1.6 Cálculo de la posición del receptor GNSS

El receptor GNSS lleva a cabo sus mediciones mediante la utilización de información que ayudan a calcular su posición. Misma que se mide mediante el cálculo del tiempo que la señal demora en llegar al receptor. (SANCHEZ, y otros, 2011 pág. 20)

Cada uno de los satélites marca el punto exacto de referencia en donde está ubicado el receptor, para ello son necesarios por lo menos cuatro satélites mismos que ayudarán a obtener dicha posición, mientras que con tres satélites se podrá ser capaz de calcular la posición de las tres dimensiones. (SANCHEZ, y otros, 2011 pág. 22)

Para el cálculo de la posición del receptor GNSS, es importante tomar en cuenta también los datos que emiten los relojes de los satélites, mismo que si no se encuentran sincronizados con el reloj del receptor, los datos arrojaran resultados con cierto margen de error. Los relojes atómicos de los satélites son más precisos a comparación con los relojes de los receptores, siendo esto una variante también en el momento de la medición del tiempo. (SANCHEZ, y otros, 2011 pág. 23)

1.1.7 Mediciones GNSS en tiempo real

Para realizar mediciones en GNSS en tiempo real es de suma importancia obtener la calidad deseada en el mismo momento de la medición. Para ello el instrumento a utilizar requiere de toda su capacidad para recibir información ya sea esta información principal o transmitida adicionalmente, con el fin de poder comunicarse de manera unidireccional o bidireccional con otro satélite, estación o red, esto con el propósito de ser capaz de recibir correcciones adicionales a las mediciones que ya se han realizado. (HOYER, 2002 pág. 1)

Debido a esto, se puede observar que existen varias opciones para efectuar mediciones GNSS en tiempo real, las más significativas son las siguientes:

- WAAS o EGNOS, mismas que son sistemas de aumentación
- RTK, reconocido como sistemas de radio
- Omnistar, CNAV, mismos que son sistemas de suscripción
- Finalmente, como NTRIP, que son sistemas comunes de internet y telefonía celular.
(HOYER, 2002 pág. 2)

1.3 Global Positioning System – GPS

Como ya se había mencionado con anterioridad el GPS, es un conjunto de satélites que se encuentran orbitando el globo terráqueo, este sistema fue creado por el Gobierno de los Estados Unidos de América con la intención de obtener información acerca de posiciones geográficas dentro de la superficie terrestre. (UNNE-CONICET, 2011 pág. 3)

Para el autor, (RIVERA MEDINA, 2014 pág. 3) el GPS es un sistema que se caracteriza por permitir un número ilimitado de usuarios mismos que desean conocer su localización y hacerlo de manera continua, además este sistema permite saber el tiempo, siendo los datos transmitidos llamados de tiempo universal coordinado; la velocidad del móvil y la posición 3D, que son las coordenadas y la altura a la que se encuentra el usuario.

A modo de investigación se describe un concepto adicional mismo que define al GPS como un sistema de radionavegación, mismo que a través de datos transmitidos y generados por satélites permite conocer datos geográficos de posicionamiento, velocidad, altura, durante las 24 horas del día, en cualquier punto de la Tierra y bajo cualquier situación atmosférica. (INFORMATICAHOY, 2007)

Bajo este contexto se dirá entonces que el GPS se determina como un sistema bajo el funcionamiento de satélites artificiales, que aportarán con información al usuario acerca de datos puntuales de localización, tiempo, altura, velocidad; sistema que está disponible para cumplir con las exigencias del usuario y que abastece a un número ilimitado de ellos. (Bradford, y otros, 2005 pág. 10)

1.1.8 Fundamentos del Sistema de Posicionamiento Global GPS.

El fundamento del GPS está en determinar el escenario del móvil por el que está contenido un receptor, a continuación, se determinarán los procesos de los fundamentos del Sistema de Posicionamiento Global. Es decir, GPS con respecto al satélite R_r , y debido a que los datos de trayectoria y posicionamiento del satélite son conocidos en todo momento, a estos se denominan R_s , entonces la posición que tenga el móvil será la diferencia así: $R = R_s - R_r$. (VARELA PÉREZ, 2003 pág. 11)

En tal situación se observa que el satélite R_r , transfiere dos señales en la banda L mismas que estarán moduladas por un código lo que ayudará a la determinación de la distancia. Se plantea entonces una hipótesis misma que dicta de la siguiente manera, si se tuviera un conocimiento acerca de la distancia a un único satélite el lugar geométrico en donde estaría posicionado el receptor sería en forma esférica; de igual manera si se tendrían los datos de distancia de dos satélites el lugar geométrico sería una circunferencia, y si se tendría conocimiento de la distancia de tres satélites el lugar sería uno o dos puntos de los que se rechazaría por lógica evidente. (VARELA PÉREZ, 2003 pág. 11)

Dicho esto, si los satélites y el receptor estuvieran sincronizados en el tiempo el problema matemático se vería reducido a un problema de tres ecuaciones con tres incógnitas, pero como esta sincronización no existe, aparece una nueva incógnita dada por el desplazamiento del reloj del móvil. Entonces se necesita una cuarta medida con lo que el problema matemático a resolver es de cuatro ecuaciones con cuatro incógnitas. Como el reloj del receptor no está sincronizado con el del transmisor del satélite cada medida de distancia contiene un error, por lo que a esta distancia es conocida como pseudo-rango, misma que se determina con la siguiente ecuación: Pseudo-rango = $c \cdot (t_r - t_t) = \text{distancia} + e \cdot \text{error del reloj}$. (VARELA PÉREZ, 2003 pág. 11)

Si ocurriera la variación de distancia a medida que se mueve el móvil y esta es medida por el receptor, se puede calcular también la velocidad, entonces la posición del móvil estará dada por:

$$R_a(i) = [(X_i - x_a)^2 + (Y_i - y_a)^2 + (Z_i - z_a)^2]^{1/2} + c \cdot \Delta t_a$$

Siendo: c = Velocidad de la luz

Δt_a = polarización del reloj del receptor

$i = 1, 2, 3, 4$ (VARELA PÉREZ, 2003 pág. 11)

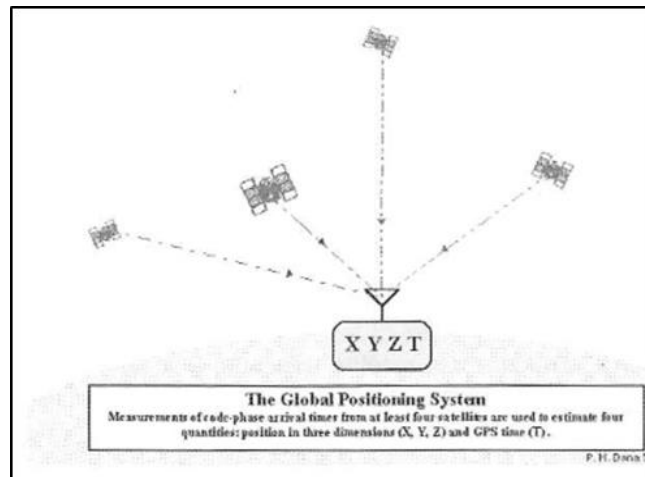


Figura 2-1. GPS

Fuente: (VARELA PÉREZ, 2003 pág. 11)

Bajo otro contexto, los fundamentos básicos del GPS se determinan por el cálculo de las distancias entre el receptor hacia otros de referencia mismos que son los satélites. En conocimiento de la separación por la que se mide la distancia se definirá la posición relativa, esto a través de la conjunción de circunferencias cuyas medidas son los radios mismos que serán iguales a las distancias entre los satélites y el receptor o viceversa. Así cada satélite transmite una señal la cual es acogida por el receptor, éste mide el tiempo que las señales demoran en llegar hasta él. La distancia del receptor- satélite se obtendrá mediante la multiplicación del tiempo medido por la velocidad de la señal, esta es la velocidad de la luz. Así mediante la fórmula: Distancia= Velocidad x Tiempo. (INFORMATICAHOY, 2007)

De acuerdo a otro autor, el fundamento de GPS se ve relacionado a la admisión de señales de radio con un mínimo de cuatro satélites conociendo que al momento existen veinticuatro satélites en órbita, de los cuales su posición es conocida con exactitud. Cada satélite emite continuamente una señal, dicha señal transfiere datos precisos de la hora y el tiempo en el que esta señal es emitida. En la Tierra los receptores de GPS, reciben la señal y mediante un cálculo se obtiene la distancia al satélite que es bastante preciso. (Instituto Geográfico Agustín Codazzi, 2007 pág. 5)

De acuerdo al (Instituto Geográfico Agustín Codazzi, 2007, p. 4), dicha fórmula se pone en funcionamiento:

Conociendo la posición de los satélites, la velocidad de propagación de sus señales que es igual a la velocidad de la luz y el tiempo empleado en recorrer el camino hasta el usuario, por triangulación se puede establecer la posición en términos absolutos del receptor (Instituto Geográfico Agustín Codazzi, 2007, p. 4).

Después de lo anterior se puede definir a los fundamentos del GPS como un proceso permanente y complejo de cálculos que sirven para determinar la posición de la señal que, mediante una automatización estratégica y el conocimiento de los diferentes valores necesarios, se llega a establecer la posición requerida por el receptor.

1.1.9 Estructura de la Señal del Sistema GPS

El sistema GPS posee dos clases de códigos, el primero es utilizado con la finalidad de adquirir datos de posición y para la navegación esto con una precisión por debajo del rango medio, este código es denominado Coarse I Acquisition o C/A; el segundo elemento es utilizado para la navegación que requiere de precisión este código se encuentra restringido y es únicamente para uso militar, fue nombrado código P. (VARELA PÉREZ, 2003 pág. 12)

Además, los satélites GPS emiten dos señales nombradas L1 y L2 cuya característica principal es que son señales de bajo poder. Para las aplicaciones de uso urbano la frecuencia destinada para este grupo es L1 misma que posee 1575.42 MHz en la banda UHF. Esta señal posee un enlace llamado de línea vista cuya característica principal es la de traspasar superficies como vidrio, plástico y nubes, no siendo así en superficies más sólidas tales como edificios y montañas. (VARELA PÉREZ, 2003 pág. 12)

La señal de GPS está compuesto por un código pseudoaleatorio, mismo que identifica que satélite transmite la información, dicha identificación se la puede observar en el receptor de GPS; datos de almanaque, dotan de información al receptor de GPS de la posición supuesta de cada uno de los satélites del sistema, las veinticuatro horas del día, hay que tener en cuenta que cada satélite emite datos de almanaque en donde muestra información acerca de la órbita del satélite y para cualquier satélite en el sistema; y los datos de efemérides, son constantemente emitidos por cada satélite, mismos que poseen información sobre el estado actual del satélite, el tiempo y la fecha, dicha señal es parte primordial para el cálculo de una posición. (VARELA PÉREZ, 2003 pág. 12)

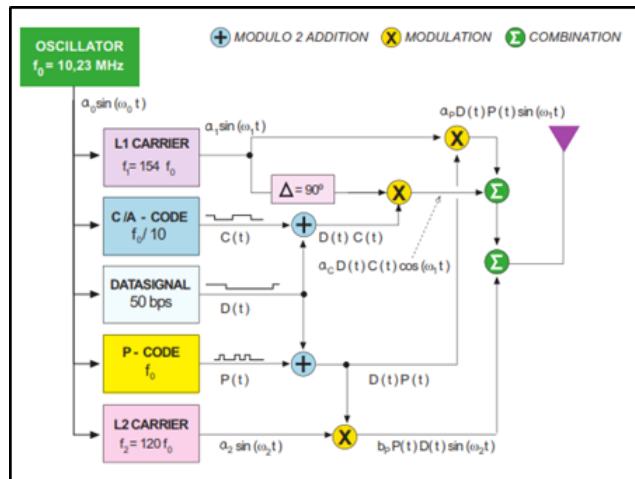


Figura 3-1. Estructura de la señal de GPS
Fuente: (HERNÁNDEZ PAJARES, y otros, 2008 pág. 18)

1.1.10 Arquitectura

Dicho sistema ya antes mencionado está conformado por tres segmentos:

- Segmento espacial
- Segmento de control
- Segmento de usuarios

La arquitectura del sistema GPS se muestra en el gráfico a continuación:

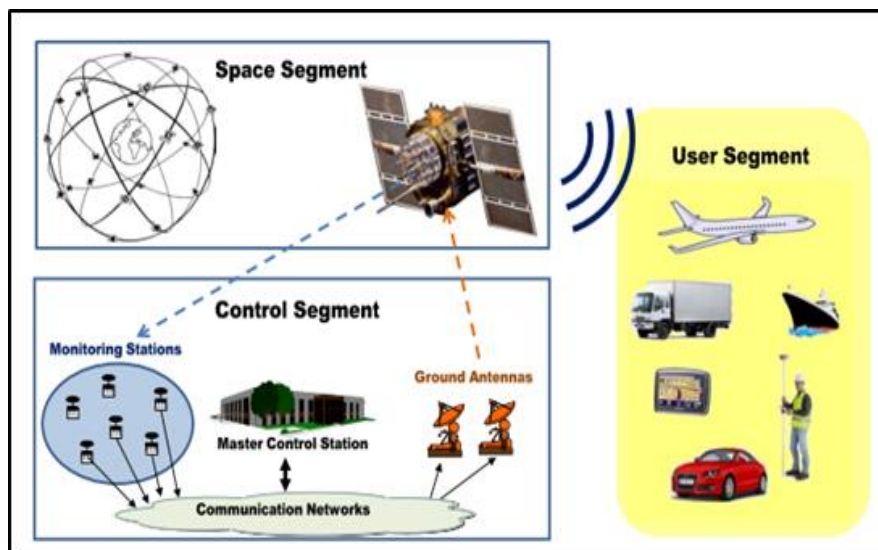


Figura 4-1. Arquitectura GPS
Fuente: (HERNÁNDEZ PAJARES, y otros, 2013 pág. 8)

1.3.1.1 Segmento Espacial

Lo conforman veintiún satélites de tipo operacional y tres de reserva, los satélites se encuentran instalados a una altitud media de 20.169 km. en órbitas circulares medias (MEO), dichas orbitas poseen un ángulo de 55 grados de inclinación con respecto al plano del Ecuador, realizan dos vueltas a la tierra en un día ya que poseen un período estimado de tiempo de doce horas. Esta configuración da cabida a que sea posible detectar al menos cuatro satélites desde cualquier punto del globo terrestre a lo largo del día, dato importante que es primordial para el cálculo de la determinación de la posición, tiempo y velocidad, esto debido a que dichos datos aportan con datos de las tres dimensiones y así cubrir los requerimientos del usuario ubicado desde aire, mar o tierra. (RIVERA MEDINA, 2014 pág. 4).

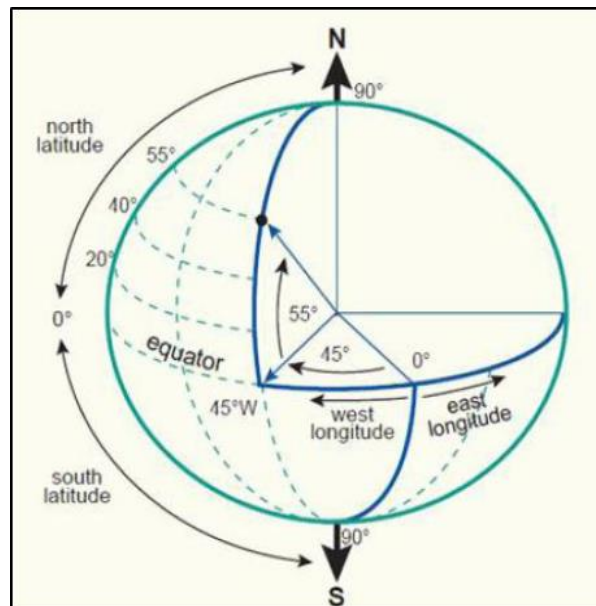


Figura 5-1. Sistema de referencia geográfico para latitud y longitud
Fuente: (RIVERA MEDINA, 2014 pág. 5)

1.3.1.2 Segmento Terrestre

Dicho segmento está conformado por un número de cinco estaciones denominadas de rastreo cuya ubicación se encuentra dispersa a lo largo del globo terráqueo y además posee una estación de control principal. Este componente persigue los satélites, restablece las posiciones de las órbitas, regulariza y gradúa los relojes del satélite. Además, posee una función primordial misma que se establece para establecer las órbitas de cada uno de los satélites y prever su recorrido durante las 24 horas próximas. (INFORMATICAHoy, 2007)

El sistema de GPS está dirigido por las fuerzas áreas de EEUU, mismos que cumplen las funciones de planificación, mantenimiento, mediciones de posición del sistema y predicción sus órbitas, además hacen mantenimiento y mediciones de los relojes atómicos, se encargan de analizar señales que son transmitidas por los satélites y emitir datos y las correcciones de los satélites. Dichas actividades son realizadas desde las cinco estaciones existentes, mismas que están repartidas por el mundo en: la Isla Ascensión, Diego García, Kwajalein, Hawái y Colorado. (RIVERA MEDINA, 2014 pág. 5)

Estas estaciones terrestres poseen dos relojes atómicos de cesio referenciados al sistema de tiempo del GPS. De forma continua, calculan las posiciones y la hora de todos los satélites que tengan a la vista. Estas operaciones se efectúan con una precisión extrema, teniéndose en cuenta incluso el estado de la atmósfera y su influencia en la refracción de las señales. Con estos datos, se calculan las órbitas y las correcciones temporales. (RIVERA MEDINA, 2014 pág. 5)

1.3.1.3 Segmento Usuario

El tercer componente es el usuario quien recibe las señales enviadas por los satélites mediante el uso de un receptor equipado con una antena. El usuario del SPG tendrá acceso a 6 o más satélites en un 96% del tiempo, a 8 satélites en un 32% del tiempo y a 9 satélites un 5% del tiempo (FALLAS, 2002 pág. 3).

Incluye todos aquellos que usan un receptor GPS para recibir y convertir la señal GPS en posición, velocidad y tiempo. Incluye además todos los elementos necesarios en este proceso, como las antenas y el software de procesamiento. (INFORMATICAHOY, 2007 pág. 1)

Algunas aplicaciones a las que el segmento usuario puede acceder son a las descritas a continuación; La navegación en 3 dimensiones es la aplicación principal del GPS, el posicionamiento de precisión puede conseguirse mediante técnicas diferenciales, la difusión del tiempo y para el desarrollo de proyectos de investigación.

1.1.11 Funcionamiento del GPS

Los 5 pasos principales, en los cuales se resume el funcionamiento del sistema GPS son:

1. Triangulación. La base del GPS es la "triangulación" desde los satélites. (Instituto Geográfico Agustín Codazzi, 2007 pág. 9)

2. Distancias. Para "triangular", el receptor de GPS mide distancias utilizando el tiempo de viaje de señales de radio. (Instituto Geográfico Agustín Codazzi, 2007 pág. 9)
3. Tiempo. Para medir el tiempo de viaje de estas señales, el GPS necesita un control muy estricto del tiempo y lo logra con ciertos trucos. (Instituto Geográfico Agustín Codazzi, 2007 pág. 9)
4. Posición. Además de la distancia, el GPS necesita conocer exactamente donde se encuentran los satélites en el espacio. Órbitas de mucha altura y cuidadoso monitoreo, le permiten hacerlo. (Instituto Geográfico Agustín Codazzi, 2007 pág. 9).
5. Corrección. Finalmente, el GPS debe corregir cualquier demora en el tiempo de viaje de la señal que esta pueda sufrir mientras atraviesa la atmósfera. (Instituto Geográfico Agustín Codazzi, 2007 pág. 9).

1.3.1.4 Determinación de la posición

La ubicación de cualquier punto es posible cuando se tiene un sistema de referencia en el cual se conoce la posición exacta del punto de inicio del sistema. El sistema de Posicionamiento Global Satelital requería de un sistema de referencia mundial fijo, o sea, de un sistema de coordenadas que permitiera determinar la posición de cualquier punto sobre la Tierra sin ambigüedad. De los sistemas disponibles, el Departamento de Defensa de los Estados Unidos eligió el sistema de coordenadas geocéntrico conocido como WGS84 (World Geodetic System 1984); el cual fue creado por la antigua Agencia de Cartografía Militar de los Estados Unidos (actualmente parte de NIMA "National Imagery and Mapping Agency"). Este sistema de referencia mundial tiene la gran ventaja de que no depende de un datum geodésico local como los sistemas de referencia propios de un país o de una región. Al utilizar datos de un georeceptor con la cartografía local, el usuario(a) debe seleccionar el datum apropiado o realizar posteriormente la transformación de datum. (FALLAS, 2002 pág. 6)

Una vez definido el sistema de referencia, solamente se requiere conocer la distancia de tres puntos de referencia para poder estimar la posición de un objeto. Bajo condiciones normales, para determinar el tiempo transcurrido entre la transmisión de una señal por un emisor y la recepción de la misma por un receptor es necesario que tanto el reloj del emisor como el del receptor estén sincronizados. Sin embargo, este requerimiento puede obviarse en el sistema de Posicionamiento Global Satelital gracias al uso de un satélite extra al realizar la determinación de posición. Los georeceptores no poseen relojes atómicos sino de cuarzo y por tanto su exactitud es inferior a los primeros. Esto ocasiona que se introduzca un sesgo en la medición del tiempo (lo subestima o lo

sobre estima); sin embargo, este error es el mismo para todos los satélites. Debido a este error las lecturas de tiempo se denominan “pseudo rangos” (el término rango indica la diferencia entre dos valores: valor final-valor inicial). Para resolver esta incógnita en el sistema se requiere utilizar un sistema de ecuaciones con 4 incógnitas: una representa la ubicación en X, otra la ubicación en Y, una tercera la elevación y la cuarta el error en el reloj del receptor. Por esta razón el usuario(a) requiere de al menos cuatro satélites para realizar una localización en 3D (X, Y, Z). (FALLAS, 2002 pág. 6).

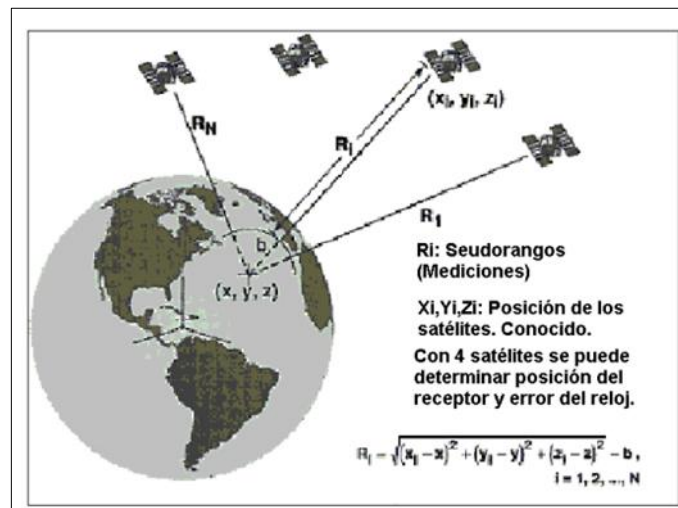


Figura 6-1. Geometría de los satélites y de la medición de pseudo-rangos
 Fuente: (FALLAS, 2002 pág. 7)

La medición de pseudo-rango es un proceso conceptualmente simple que consiste en correlacionar dos señales con una estructura conocida. El código “PRN” transmitido por cada satélite es único y conocido por el geo receptor, el cual a su vez genera una réplica del mismo. El receptor está diseñado para “trasladar” la señal que ha generado hasta que coincida con la señal producida por el satélite (correlación entre las dos señales). La diferencia en tiempo entre el código generado por el satélite y la réplica generada por el receptor es el tiempo aparente de viaje de la señal. Una vez que se ha determinado dicha diferencia solo tiene que multiplicarse por la velocidad de la luz para estimar la pseudo distancia entre el receptor y el satélite. (FALLAS, 2002 pág. 7).

Dado que el reloj de cuarzo del receptor es menos preciso que el reloj atómico del satélite, el tiempo estimado de viaje de la señal tiene un sesgo (sobre ó sub estimación); sin embargo, esto aplica por igual a todos los satélites y por ende puede corregirse utilizando la señal proveniente de un cuarto satélite. Cuantos más satélites tenga disponible el geo receptor, mejor será la estimación de posición que pueda realizar, ya que puede elegir los satélites con la mejor geometría. El cambio en el efecto Doppler, causado por el movimiento relativo del satélite y del

usuario, puede convertirse en una tasa de pseudo-rango y a partir de la tasa de cambio de 4 satélites y sus respectivos vectores de velocidad (transmitidos en el mensaje de navegación) es posible determinar la velocidad a la que se desplaza el usuario. (FALLAS, 2002 pág. 7).

1.3.1.5 Triangulación espacial

Cada satélite envía señales codificadas que los receptores en tierra pueden decodificar y de esta manera estimar el tiempo que tardó la señal en viajar desde el satélite Navstar-GPS (emisor) hasta el receptor. Posteriormente el receptor determina la diferencia en tiempo y finalmente utilizando la velocidad de la luz determina la distancia.

$Distancia = (T1-T2)*300.000 \text{ km/s}$ en donde: (FALLAS, 2002 pág. 8)

$T1$: Tiempo en que es emitida la señal por el satélite

$T2$: Tiempo en que es recibida la señal por el receptor en tierra

El receptor en tierra utiliza el tiempo de viaje de la señal enviada por el satélite para determinar su distancia. Veamos porqué se requieren al menos tres satélites para determinar la posición de un punto sobre la superficie de la Tierra. (FALLAS, 2002 pág. 8)

Un satélite: Cuando se recibe la señal de un satélite sabemos que nos encontramos dentro de una esfera imaginaria cuyo radio es de 26.560Km. Esto nos ubica en algún sector del Sistema Solar; sin embargo, no es lo suficientemente exacto como para resolver nuestra necesidad de saber dónde nos encontramos en la Tierra. (FALLAS, 2002 pág. 8)

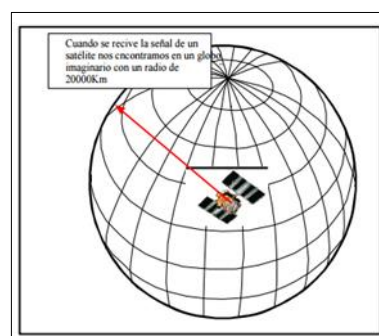


Figura 7-1. Un satélite
Fuente: (FALLAS, 2002 pág. 8)

Dos satélites: A partir de la lectura de distancia de dos satélites es posible definir dos esferas cuya área común define a su vez un tercer círculo. Este círculo define el lugar en donde nos encontramos en el Universo. Aun cuando hemos reducido la incertidumbre con respecto a nuestra

posible ubicación, todavía no es lo suficientemente exacta como para resolver nuestra necesidad de saber dónde nos encontramos. (FALLAS, 2002 pág. 8)

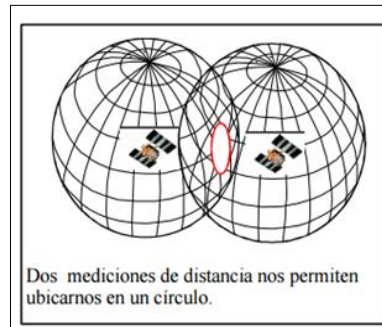


Figura 8-1. Dos satélites
Fuente: (FALLAS, 2002 pág. 8)

Tres satélites: La adición de un tercer satélite creará una tercera esfera que a su vez interceptará a las dos primeras en dos puntos. De esta manera el receptor ha reducido su posible ubicación a dos puntos en la Tierra. Para definir cuál de los dos puntos es el apropiado se requiere de un cuarto satélite, el cual formará otra esfera cuya circunferencia tocará sólo uno de los dos puntos ya definidos. En la práctica, el cuarto satélite se utiliza para sincronizar el tiempo del receptor con el tiempo del reloj atómico. De esta manera es posible utilizar relojes de bajo costo y menor precisión en los receptores manuales. (FALLAS, 2002 pág. 9)

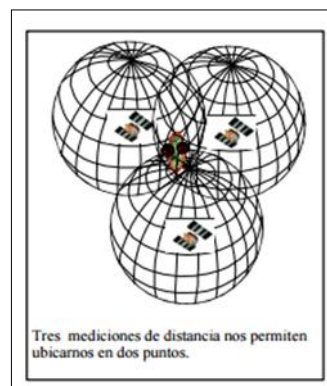


Figura 9-1. Tres satélites
Fuente: (FALLAS, 2002 pág. 9)

1.1.12 Fuentes de Errores en los sistemas GPS

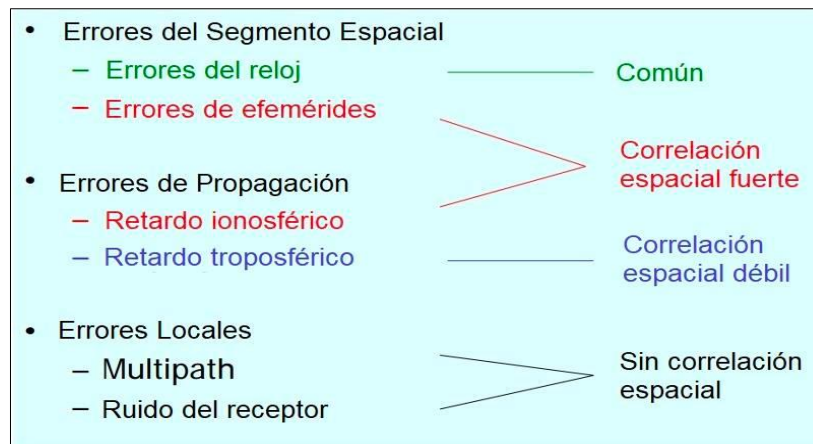


Figura 10-1. Errores GPS
Fuente: (SANZ, y otros, 2014 pág. 7)

Como se observa en el **Figura 10-1** los principales errores que puede contener un GPS son los que a continuación se detallan:

1.3.1.6 Error de segmentos espaciales

Error de reloj: Este puede generarse en los relojes de los satélites, pueden ocurrir minúsculas diferencias que se transforman en errores de medición del tiempo de viaje de las señales, y aunque la posición de los satélites es controlada permanentemente, no son controlados en cada segundo, de esa manera pequeñas variaciones de posición o de efemérides pueden ocurrir entre los tiempos de monitoreo, la geometría básica por si misma puede aumentar o disminuir estos errores mediante un principio denominado "Dilación Geométrica de la Precisión", o DGDP. (Instituto Geográfico Agustín Codazzi, 2007 pág. 14)

Error de efemérides: Sólo la Línea de Visión (LOS) de error afecta al posicionamiento. Este error es pequeño (~ 2m RMS) y cambia lentamente en minutos. El error residual, después de aplicar las correcciones diferenciales, depende de la separación entre el LOS del usuario y la estación de referencia. (SANZ, y otros, 2014 pág. 47)

1.3.1.7 Error de propagación

Retraso ionosférico y troposférico: Este tipo de error se produce al pasar la señal del satélite a través de la ionosfera, su velocidad disminuye, produciéndose un efecto similar a la refracción. Estos retrasos atmosféricos pueden introducir un error en el cálculo de la distancia, ya que la

velocidad de la señal se ve afectada. Este retraso, no es constante de manera que existen diversos factores que influyen: (DETOPOGRAFIA, 2012 pág. 1)

- Elevación del satélite. Las señales de satélites que se encuentran en un ángulo de elevación bajo se verán más afectadas que las señales de satélites que se encuentran en un ángulo de elevación mayor, debido a que la distancia a recorrer es mayor.
- La densidad de la ionosfera está afectada por el Sol. Durante la noche, la influencia ionosférica es mínima. Durante el día, el efecto de la ionosfera se incrementa y disminuye la velocidad de la señal. (DETOPOGRAFIA, 2012 pág. 1)
- El Vapor de agua. El vapor de agua contenido en la atmósfera también puede afectar las señales GPS. Este efecto, el cual puede resultar en una degradación de la posición, puede ser reducido utilizando modelos atmosféricos. (DETOPOGRAFIA, 2012 pág. 1)

1.3.1.8 Errores locales

Multipath: Descrito como un error local, puede originarse en el momento en el que el receptor se posiciona cerca de una superficie de características reflectivas, como una laguna o a su vez una edificación. Esto ocurre por razones antes descritas las cuales mencionaban que la señal del satélite no se transmite directamente hacia la antena receptora, más bien dicha señal se queda en el primero elemento cercano para después reflejarse a la antena, provocando errores en las mediciones. (DETOPOGRAFIA, 2012 pág. 1)

En tal contexto se puede dar solución a este error a través de la colocación de antenas GPS, estas poseen la función de filtrar la señal que vienen de un ángulo de elevación bajo. A su vez para dar una solución más apta una opción es la colocación de la antena de bobina anular, esta posee la característica de estar compuesta de cuatro a cinco anillos concéntricos mismos que están alrededor de la antena y atrapan cualquier señal. Este efecto multitraectoria afecta principalmente en las mediciones de tipo topográficas de alta precisión. (DETOPOGRAFIA, 2012 pág. 1).

Ruido del receptor: El receptor posee una precisión muy alta, en ocasiones se presentan minúsculas variaciones en los datos que emiten en cuanto a velocidad de marcha, esto produce errores cuya magnitud no es muy alta, pero que siguen siendo errores. Estos errores son corregidos por el departamento de defensa de los EEUU, quienes están en constante rastreo de los datos que

arrojan los receptores, esto lo realizan a través del segmento de control y así corregir los errores encontrados. (DETOPOGRAFIA, 2012 pág. 1).

Así, después de analizar los diferentes errores que se producen en la señal del GPS, se puede decir que además de los mencionados la señal y los datos suelen tornarse en datos no confiables ya que son errados, existe una gran cantidad y diferentes errores, el tomarlos en cuenta resulta una opción válida en el momento de efectuar cálculos y mediciones, a continuación, se describen otros posibles errores que se observan en la señal de GPS. (Instituto Geográfico Agustín Codazzi, 2007 pág. 17)

Tomando en cuenta que la velocidad de la luz es constante únicamente cuando está en el vacío, el cálculo que se efectúa con el objetivo de conocer la distancia a un satélite es realizando una multiplicación del tiempo de viaje de la señal por la velocidad de la luz, y debido a que la señal viaja y atraviesa diferentes factores que afectan a la velocidad de esta, es entonces cuando se crea el mismo efecto que el error de precisión en los relojes. (Instituto Geográfico Agustín Codazzi, 2007 pág. 17)

Otro error común es el que describe la presencia de mínimo cuatro satélites, lo cual no siempre es así ya que en ocasiones existen más satélites disponibles que los que el receptor de GPS necesita, cuando el receptor toma los datos de satélites que se encuentra muy juntos, la circunferencia de intersección hará que se crucen ángulos dejando una casi nula diferencia entre sí, aumentando el área gris acerca de una posición. (Instituto Geográfico Agustín Codazzi, 2007 pág. 17)

Así mismo existe el error en el que el receptor toma datos de satélites que se encuentran demasiado separados, esto ocasiona que al intersecarse las circunferencias se provoquen ángulos rectos, lo cual maximiza el margen de error, existen receptores que son capaces de definir cuáles de los satélites dan el menor error y lo hacen mediante dilución geométrica de la precisión. (Bradford, y otros, 2005 pág. 33)

Por último, se puede describir un sin número de errores que pueden llegar a suscitarse, entre los cuales para finalizar se mencionará a los errores intencionales, de disponibilidad selectiva y el error de efecto anti-spoofing. De este error descrito al final se tiene una descripción básica misma que será puntualizada a continuación, este error hace que los usuarios de equipos GPS quienes son civiles captarán cifras con una precisión de 15 a 100 metros, mientras que los GPS utilizados por usuarios militares obtendrán una precisión de 5 metros; ya que el efecto anti-spoofing encripta el código P en una señal conocida como código Y, misma que únicamente puede ser descifrada por los usuarios militares. (DETOPOGRAFIA, 2012 pág. 23).

Tabla 2-1. Resumen los errores típicos y su respectiva fuente

| FUENTES DE ERROR GPS | ESTÁNDAR GPS (mts) | DIFERENCIAL GPS (mts) |
|---------------------------------|-------------------------------|----------------------------------|
| 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 |
| Disponibilidad Selectiva | 30 | 0 |
| Horizontal | 50 | 1.3 |
| Vertical | 78 | 2.0 |

Fuente: (Instituto Geográfico Agustín Codazzi, 2007 pag 17)

Elaborado por: Franklin Lopez, Ángel Ortega (2016).

1.1.13 Posicionamiento con código C/A

1.3.1.9 Posicionamiento absoluto

Al hablar de posicionamiento absoluto se determina el caso de un solo receptor operando en modo autónomo, en el que se calculan las coordenadas del receptor sobre la superficie terrestre con base a las mediciones de distancia que realiza a los satélites visibles y exponiendo estas coordenadas, sin ningún tipo de corrección, en el display del receptor. Se pueden diferenciar dos modos de operación: estático y móvil, mismos que serán descritos a continuación (HUERTA, y otros, 2005 pág. IV.1).

Modo estático: Este significa que el receptor se mantiene estacionado sobre el punto del cual se requiere obtener las coordenadas durante un periodo de tiempo determinado; si este receptor se encuentra calculando coordenadas se podrá obtener para la solución en 3 dimensiones un sistema de 4 ecuaciones con 4 incógnitas por cada instante de actualización en la toma de datos. Con ello se tendrá la oportunidad de obtener la posición final, coordenadas del punto estación, mismas que corresponderán al promedio de todas las posiciones calculadas. (HUERTA, y otros, 2005 pág. IV.1)

Modo móvil: Este modo está relacionado con el uso del receptor en movimiento, para lo cual en este caso se obtendrán soluciones instantáneas en tres dimensiones para cada momento de toma, que no corresponderán al mismo punto. Se formará un sistema de 4 ecuaciones con 4 incógnitas por cada toma, lo que dará como resultado las coordenadas del punto en que se ubica el receptor a cada instante, siendo esta la solución típica de navegación, describiéndolo como una sucesión de puntos misma que describe la trayectoria seguida por el receptor. (HUERTA, y otros, 2005 págs. IV.1- IV.2)

1.3.1.10 Posicionamiento Diferencial

Este posicionamiento describe la colocación de dos receptores mismos que no deberán estar alejados entre sí que observan los mismos satélites, de ello se obtendrá que las gráficas de las distribuciones de las posiciones horizontales calculadas por cada uno resultan equivalentes, como se puede observar en la figura siguiente.

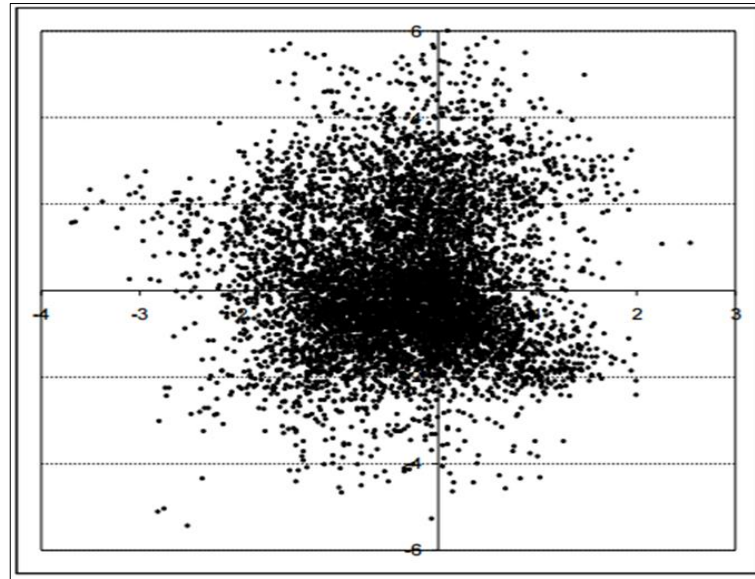


Figura 11-1. Principio de la técnica de corrección diferencial
Fuente: (HUERTA, y otros, 2005 pág. IV.3)

Los errores en la propagación de la señal afectan de manera similar a dos estaciones no que se encuentren alejadas mínimamente entre sí, que utilizan iguales satélites. Esto se debe a que la distancia entre los receptores sobre la superficie terrestre resulta pequeña en comparación con la distancia de los satélites, inclusive esto ocurrirá si los receptores se encuentran excesivamente separados, ya que la porción de atmósfera que atraviesan las señales del mismo satélite es prácticamente la misma. (HUERTA, y otros, 2005 págs. IV.3- IV.4), a continuación la imagen explicativa acerca de la distancia del radio terrestre, la separación entre otras estaciones y distancias a los satélites.

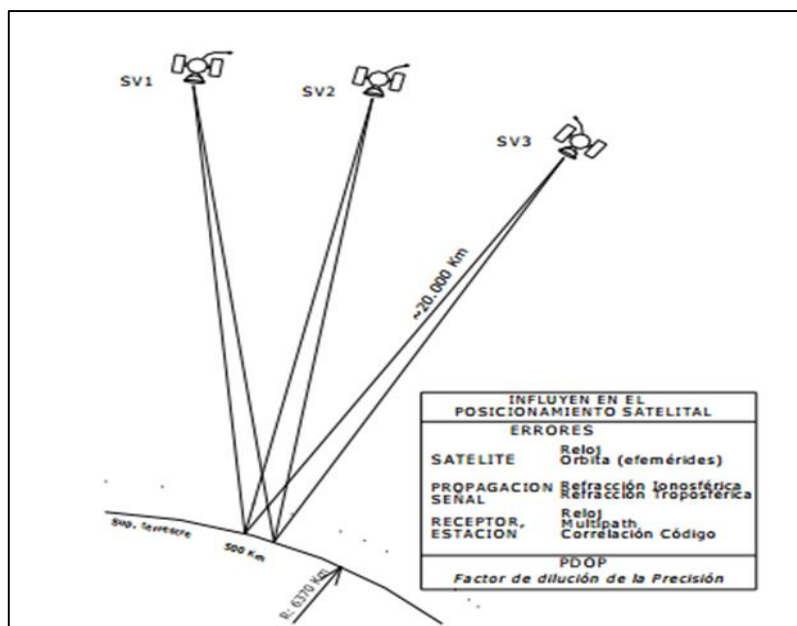


Figura 12-1. Radio terrestre, separación entre estaciones y distancia a los satélites
Fuente: (HUERTA, y otros, 2005 pág. IV.4)

Los errores en cada satélite, errores del reloj, y de órbita, son comunes para ambas estaciones. La técnica de corrección diferencial hace uso de sus características para excluir las influencias de estos errores en el momento del cálculo de las posiciones de la segunda estación, a partir de los datos de la primera estación también denominada base de la que se conocen sus coordenadas. Bajo este contexto resulta que si para cada posición calculada por la estación base se asigna un vector error y luego se lo aplica cambiado de signo a la posición calculada en la estación remota, se obtendrán las posiciones corregidas. (HUERTA, y otros, 2005 págs. IV.4- IV.5).

Es importante tomar en cuenta que dicha técnica no elimina todos los errores que influyen en el posicionamiento satelital, debido a que los errores propios de cada estación permanecen, el multipath y la correlación propia de cada receptor, lo que resulta en la disminución de la precisión general del posicionamiento (HUERTA, y otros, 2005 pág. IV.5).

Tabla 3-1. Resumen de las técnicas de posicionamiento en código

| MÉTODO | CONCEPTOS BÁSICOS | NÚMERO MÍNIMO DE RECEPTORES | TIEMPO DE OBSERVACIÓN | PRECISIÓN (95% de probabilidad) |
|--|---|------------------------------------|------------------------------|---|
| ABSOLUTO (Estático o cinemático) | Necesita por lo menos de cuatro satélites Ofrece posiciones en forma instantánea | 1 | 1-10 segundos | 100 m componente horizontal 156 m componente vertical |
| DIFERENCIA L (estático o cinemático) | Necesita por lo menos de cuatro satélites Aplica correcciones a las mediciones | 2 | 1-50 segundos | 3-12 m en el componente horizontal y vertical |

Fuente: (Lachapelle, 1995 pág. 55)

Elaborado por: Franklin Lopez, Angel Ortega (2016).

1.4 Diferencial de GPS

1.1.14 Introducción

El DGPS o GPS diferencial, este sistema provee a los receptores de GPS correcciones de los datos que son recibidos por los satélites, con el propósito de proveer una mayor precisión en la posición calculada. Este se fundamentó básicamente debido a la introducción a la disponibilidad selectiva. Esto se dio debido a que los errores que se originan en el sistema GPS afectan igualmente a los receptores cuyos sitios están colindantes entre sí. (JIMÉMEZ RODRÍGUEZ, y otros, 2010 pág. 13)

En tal razonamiento se puede hallar que los errores están potentemente correlacionados en los receptores adyacentes. La posición emitida por el sistema, es recibida a través de un receptor cuya ubicación es conocida a través de otras técnicas, y de este modo está en la pre disponibilidad de calcular aquellos errores que se producen por el sistema GPS. El receptor en mención transmite la corrección de errores a aquellos receptores que se encuentra más cercanos a él y de esta manera los errores producidos por el sistema se corregirán a la par, dentro del área de cobertura de transmisión de señales del equipo GPS de referencia. (JIMÉMEZ RODRÍGUEZ, y otros, 2010 pág. 13)

1.1.15 Arquitectura DGPS.

La estructura DGPS se describe de la siguiente manera:

1. Estación monitorizada, que conoce su posición con una precisión muy alta, esta estación está compuesta por: Un receptor GPS, un microprocesador que sirve para calcular los errores del sistema GPS y para generar la estructura del mensaje que se envía a los receptores, un transmisor, mismo que ayuda a establecer un enlace de datos unidireccional hacia los receptores de los usuarios finales. (JIMÉMEZ RODRÍGUEZ, y otros, 2010 pág. 13)
2. Equipo de usuario, compuesto por un receptor que posee GPS y un receptor del enlace de datos desde la base monitorizada. Existen varias formas de obtener las correcciones DGPS., las más usadas son: las que son recibidas a través de radio, mediante cierto canal preparado para ello, como el RDS que es una emisora de FM; y mediante las descargadas de internet, o con una conexión inalámbrica. (JIMÉMEZ RODRÍGUEZ, y otros, 2010 pág. 14)

En Estados Unidos existe el WAAS, en Europa el EGNOS y en Japón el MSAS, todos compatibles entre sí. En los mensajes que se envían a los receptores próximos se pueden circunscribir dos tipos de correcciones:

1. La primera que está estrechamente ligada a una corrección que está claramente definida y aplicada a la posición, dicha descripción posee un inconveniente en cuanto a lo que tiene que ver con el usuario y a su vez con la estación de monitoreo ya que están expuestos a emplear los mismos satélites, ya que las correcciones a realizar se establecen en los mencionados satélites. (JIMÉMEZ RODRÍGUEZ, y otros, 2010 pág. 14)
2. En otro caso el usuario está en la posibilidad de realizar las correcciones de cuatro de los satélites que posan mejor relación señal – ruido, determinando una corrección que es aplicada a las pseudo-rangos de cada uno de los satélites visibles, provocando que este tipo de correcciones sean más flexibles. (JIMÉMEZ RODRÍGUEZ, y otros, 2010 pág. 14)

1.1.16 Técnicas DGPS

Existen dos técnicas principales de DGPS que son: code phase y carrier phase. La primera técnica está fundamentada en las medidas del pseudo-rango y la segunda técnica se basa en las mediciones de la fase portadora.

Code phase.- Calcula las correcciones del pseudo-rango para cada uno de los satélites visibles, la estación de referencia se toma con el objetivo de calcular la corrección de este o a su vez de la posición del receptor móvil. La corrección se calcula restando la distancia real, que es descifrada

por el estudio de la posición y el conocimiento de los parámetros orbitales del pseudo-rango medido. (PUGLIA COSTAS, y otros, 2012 pág. 23)

Ya habiendo conocido y realizado lo anterior, el receptor móvil elige la corrección adecuada para cada uno de los satélites que está persiguiendo y lo utiliza con el objeto de solucionar su posición, de modo que sustraer la corrección del pseudo-rango que ha medido. El receptor móvil solo deberá utilizar aquellos satélites para los que se han conseguido las correcciones. (PUGLIA COSTAS, y otros, 2012 pág. 23)

Por otro lado, el beneficio que se obtiene por el uso de este tipo de correcciones es la simplicidad de los cálculos, la desventaja es que la estación de referencia y el usuario deben utilizar de forma precisa el mismo conjunto de satélites. Es por esta razón que es de mayor flexibilidad y eficacia el suministrar correcciones pseudo-rango en vez de correcciones de la posición. (RIVERA MEDINA, 2014 pág. 18)

Carrier phase.- Reside en la diferencia entre la fase de la portadora que recibe el receptor y que procede del satélite y la fase de la portadora producida por el oscilador del receptor. La técnica diferencial basada en carrier phase utiliza la diferencia entre la fase medida en RS y UR. La primera diferencia para un mismo satélite que implica la fase medida entre RS y UR, logra eliminar el error de reloj del vehículo espacial. (RIVERA MEDINA, 2014 pág. 20)

1.4.1.1 Diferenciación simple en pseudo-rango

Para el caso de la estación de referencia, se obtiene la medida del pseudo-rango que el propio receptor es capaz de generar, a continuación, se le resta el verdadero valor de la distancia, conocida a través del estudio de su posición fija de ello se obtiene en pseudo-rango corrección (PRC). (RIVERA MEDINA, 2014 pág. 18)

Mediante estas operaciones se puede eliminar el reloj del satélite y los errores orbitales, pertenecientes a la posición del satélite. Además, la disponibilidad selectiva, en el caso de que hubiera, se vería reducida y hasta totalmente eliminada sólo si las señales transmitidas a cada receptor, son emitidas exactamente en el mismo tiempo. Cualquier error atmosférico también se verá reducido significativamente con esta diferencia simple. (RIVERA MEDINA, 2014 pág. 18)

1.4.1.2 Diferenciación Doble en pseudo-rango

Mediante la toma de datos generados por correcciones simples y diferenciándolas entre ellas se obtendrán diferencias dobles. Dicho procedimiento ayudará a eliminar toda la dependencia con los satélites, además atenúa errores de atmosféricos y de multipath. (RIVERA MEDINA, 2014 pág. 19)

1.4.1.3 Precisión y limitaciones de DGPS

Las pruebas controladas y el uso operacional ampliamente extendido del DGPS, han demostrado en repetidas ocasiones que el sistema pseudo-rango resulta en una precisión del orden aproximadamente de 1 a 10 metros. Esta cifra es en gran medida independiente del tipo de receptor y a distancias de hasta 500 km de la estación de referencia, con los sistemas de Kinematic GPS (KGPS), los cuales requieren la resolución de las ambigüedades de fase de la portadora mientras el receptor se encuentra en movimiento, se puede lograr precisiones de centímetros. (WILDERMANN, y otros, 1992 pág. 45)

Las correcciones del DGPS son locales, por lo tanto, sus valores sólo son aplicables en áreas cercanas a la estación de referencia. La distancia máxima depende de la aplicación y la técnica de procesamiento de la señal por parte del receptor. En general, se hace necesario un estudio particular para determinar si los errores debidos a la distancia son aceptables y si se pueden seguir aplicando las correcciones. (WILDERMANN, y otros, 1992 pág. 45)

1.4.1.4 Modelos matemáticos de posicionamiento, diferencial simple y doble

1.4.3.4.1 Estimación de la posición mediante medidas de pseudo-rango

De acuerdo al autor (PLAZAOLA, 2005, pp. 29-32; 34-35) se han tomado los siguientes modelos matemáticos mismos que se describen a continuación:

Las medidas de pseudo-rango se ven afectadas por varias fuentes de error. De todas las fuentes, la más significativa es la derivada del reloj del receptor. El resto de fuentes se considerará que tienen media nula y no se tendrán en cuenta para este cálculo. En esas condiciones, una medida de pseudo-rango particularizada para un satélite i es (FERNÁNDEZ PLAZAOLA, 2005 pág. 29)

$$\rho_i = d_i + ct_r \quad \text{Ecuación. (1. 1)}$$

Las incógnitas a resolver son las tres coordenadas de la posición del receptor y la deriva del reloj t_r , por lo que son necesarias al menos 4 medidas o ecuaciones. De esta forma el sistema de

ecuaciones, suponiendo que se cuenta con medidas de s satélites, con $s \geq 4$, es (FERNÁNDEZ PLAZAOLA, 2005 pág. 29)

$$\begin{aligned}\rho_1 &= \sqrt{(x_1 - x_r)^2 + (y_1 - y_r)^2 + (z_1 - z_r)^2} + ct_r \\ \rho_2 &= \sqrt{(x_2 - x_r)^2 + (y_2 - y_r)^2 + (z_2 - z_r)^2} + ct_r \\ &\dots \\ \rho_s &= \sqrt{(x_s - x_r)^2 + (y_s - y_r)^2 + (z_s - z_r)^2} + ct_r\end{aligned}\quad \text{Ecuación. (1. 2)}$$

Donde se han expandido las distancias d_i para hacer visibles las incógnitas de posición del receptor x_r , y_r y z_r . El sistema de ecuaciones 1.2 no es lineal, por lo que su solución no es inmediata. Normalmente se cuenta con una posición aproximada del receptor y lo que se hace es linealizar las ecuaciones en torno a esa posición aproximada. Si las coordenadas de dicha posición son \hat{x}_r , \hat{y}_r y \hat{z}_r , su relación con la posición real vendrá dada por (FERNÁNDEZ PLAZAOLA, 2005 pág. 29)

$$\begin{aligned}x_r &= \hat{x}_r + \Delta x_r \\ y_r &= \hat{y}_r + \Delta y_r \\ z_r &= \hat{z}_r + \Delta z_r\end{aligned}\quad \text{Ecuación. (1. 3)}$$

La linealización del sistema de ecuaciones 1.2 consiste en expandir las ecuaciones mediante un desarrollo de Taylor alrededor de la posición aproximada y sólo utilizar los términos de dependencia lineal. Con este proceder cada una de las ecuaciones se convierte en (FERNÁNDEZ PLAZAOLA, 2005 pág. 29)

$$\rho_i = d_i - u_{xi} \Delta x_r - u_{yi} \Delta y_r - u_{zi} \Delta z_r + ct_r = d_i - u_i \Delta r + ct_r \quad \text{Ecuación. (1. 4)}$$

Donde d_i es la distancia de la posición aproximada al satélite, Δr un vector formado por $\Delta x_r, \Delta y_r, \Delta z_r$, y u_{xi}, u_{yi}, u_{zi} , son las componentes del vector unitario u_i en la dirección del satélite, definidas como (FERNÁNDEZ PLAZAOLA, 2005 pág. 30)

$$\begin{aligned}u_{xi} &= \frac{x_i + \hat{x}_r}{\hat{d}_i} \\ u_{yi} &= \frac{y_i + \hat{y}_r}{\hat{d}_i}\end{aligned}$$

$$u_{zi} = \frac{z_i + \hat{z}_r}{\hat{d}_i} \quad \text{Ecuación. (1. 5)}$$

La **Figura 1.1** representa la relación geométrica entre d_i , \hat{d}_i y Δr . Los términos de la **Ecuación 1.4** se pueden reordenar y expresar la ecuación como (FERNÁNDEZ PLAZAOLA, 2005 pág. 30)

$$\hat{d}_i - \rho_i = u_{xi} \Delta x_r + u_{yi} \Delta y_r + u_{zi} \Delta z_r - ct_r \quad \text{Ecuación. (1. 6)}$$

Con lo que el sistema de ecuaciones, en formato matricial, queda (FERNÁNDEZ PLAZAOLA, 2005 pág. 30)

$$\Delta \rho = \begin{bmatrix} \hat{d}_1 - \rho_1 \\ \hat{d}_2 - \rho_2 \\ \dots \\ \hat{d}_s - \rho_s \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} u_{x1} & u_{y1} & u_{z1} \\ u_{x2} & u_{y2} & u_{z2} \\ \dots & \dots & \dots \\ u_{xs} & u_{ys} & u_{zs} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta x_r \\ \Delta y_r \\ \Delta z_r \\ -ct_r \end{bmatrix} = H \Delta x \quad \text{Ecuación. (1. 7)}$$

Que es un sistema de ecuaciones sobre determinado. La solución de mínimos cuadrados ordinaria viene dada por (FERNÁNDEZ PLAZAOLA, 2005 pág. 30)

$$\Delta x = (H^T H)^{-1} H^T \Delta \rho \quad \text{Ecuación. (1. 8)}$$

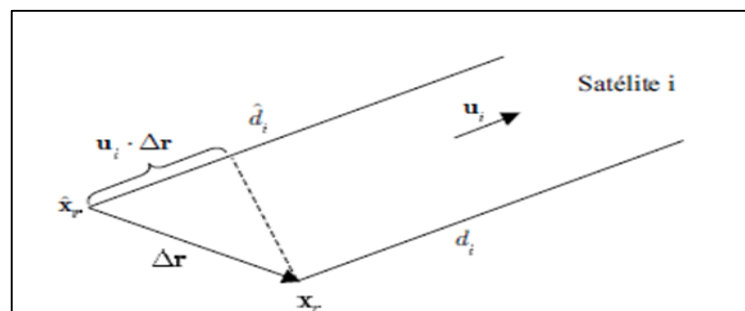


Figura 13-1. Linealización en un punto aproximado
Fuente: (FERNÁNDEZ PLAZAOLA, 2005 pág. 30)

Que aporta los desplazamientos que hay que realizar a la posición aproximada para obtener la estimación de la posición real (Ecu. 1.3) y la estimación de la deriva del reloj del receptor. Normalmente, este procedimiento se repite época a época, utilizando la estimación conseguida en una época como aproximación para la siguiente época. De esta forma, aún en el caso de que la

aproximación inicial no sea muy buena, al cabo de varias épocas se converge a una buena aproximación (FERNÁNDEZ PLAZAOLA, 2005 pág. 31)

1.5.3.4.2 Dispersión de la precisión por la geometría de los satélites

La precisión que se alcanza en el cálculo de la posición del receptor depende, además de la precisión de las medidas, de la geometría particular de los satélites. En ese sentido, se definen los parámetros de dispersión de precisión, que caracterizan la geometría particular de los satélites (FERNÁNDEZ PLAZAOLA, 2005 pág. 31).

En el apartado anterior se ha descrito el proceso por el cual un receptor calcula su posición a partir de las medidas, que finalmente viene dada por la ecuación 1.8. Si se asume que los errores que afectan a las medidas son independientes y de igual varianza σ_c^2 , entonces la covarianza de las medidas $\Delta\rho$ se puede expresar como (FERNÁNDEZ PLAZAOLA, 2005 pág. 31).

$$Q_{\Delta\rho} = I\sigma_c^2 \quad \text{Ecuación. (1. 9)}$$

Donde **I** es la matriz identidad. De esta forma, la covarianza de la posición y de la deriva del reloj del receptor estimado $Q_{\Delta x}$ viene dada por (FERNÁNDEZ PLAZAOLA, 2005 pág. 31).

$$\begin{aligned} Q_{\Delta x} &= (H^T H)^{-1} H^T Q_{\Delta\rho} H (H^T H)^{-1} \\ &= (H^T H)^{-1} H^T I \sigma_c^2 H (H^T H)^{-1} \\ &= (H^T H)^{-1} \sigma_c^2 \end{aligned} \quad \text{Ecuación. (1. 10)}$$

La ecuación 1.10 refleja cómo afecta la geometría de los satélites al cálculo de la posición final. La covarianza de la estimación $Q_{\Delta x}$ queda expresada como el producto de la varianza de las medidas σ_c^2 y la matriz $(H^T H)^{-1}$ que depende de los vectores unitarios a los satélites. Los parámetros DOP se definen a partir de la matriz $(H^T H)^{-1}$. Para ello, conviene expandir la covarianza $Q_{\Delta x}$ como (FERNÁNDEZ PLAZAOLA, 2005 pág. 31).

$$Q_{\Delta x} = \begin{bmatrix} D_{11} & D_{12} & D_{13} & D_{14} \\ D_{21} & D_{22} & D_{23} & D_{24} \\ D_{31} & D_{32} & D_{33} & D_{34} \\ D_{41} & D_{42} & D_{43} & D_{44} \end{bmatrix} \sigma_c^2 = \begin{bmatrix} \sigma_x^2 & \sigma_{xy}^2 & \sigma_{zz}^2 & \sigma_{xt}^2 \\ \sigma_{xy}^2 & \sigma_y^2 & \sigma_{yz}^2 & \sigma_{yt}^2 \\ \sigma_{zz}^2 & \sigma_{yz}^2 & \sigma_z^2 & \sigma_{zt}^2 \\ \sigma_{xt}^2 & \sigma_{yt}^2 & \sigma_{zt}^2 & \sigma_t^2 \end{bmatrix} \quad \text{Ecuación. (1. 11)}$$

Donde se ha denotado cada uno de los elementos de la covarianza, para indicar la información que dan sobre la varianza de cada una de las coordenadas de la posición del receptor (σ_x^2 σ_y^2 ...) y de la deriva del reloj del receptor (σ_t^2). Se definen cinco tipos de parámetros: DOP geométrico (GDOP), DOP de posición

(PDOP), DOP horizontal (HDOP), DOP vertical (VDOP) y DOP temporal (TDOP), siendo sus expresiones (FERNÁNDEZ PLAZAOLA, 2005 pág. 32)

$$GDOP = \frac{\sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + \sigma_z^2 + \sigma_t^2}}{\sigma_c} = \sqrt{D_{11} + D_{22} + D_{33} + D_{44}} \quad \text{Ecuación. (1. 12)}$$

$$PDOP = \frac{\sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + \sigma_z^2}}{\sigma_c} = \sqrt{D_{11} + D_{22} + D_{33}} \quad \text{Ecuación. (1. 13)}$$

$$HDOP = \frac{\sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2}}{\sigma_c} = \sqrt{D_{11} + D_{22}} \quad \text{Ecuación. (1. 14)}$$

$$VDOP = \frac{\sigma_z}{\sigma_c} = \sqrt{D_{33}} \quad \text{Ecuación. (1. 15)}$$

$$TDOP = \frac{\sigma_t}{\sigma_c} = \sqrt{D_{44}} \quad \text{Ecuación. (1. 16)}$$

1.5.3.4.3 Técnicas diferenciales

La precisión que se alcanza en la estimación de la posición del receptor puede verse mejorada cuando se utilizan técnicas diferenciales, puesto que pueden eliminarse muchas de las fuentes de error. Para que sean aplicables estas técnicas es necesario contar con un receptor fijo, del que se conoce con precisión su posición. Este receptor permitirá estimar la posición de un segundo receptor, en general, móvil con gran precisión. Ambos receptores toman medidas que se ven afectadas por los mismos tipos de errores. La ventaja que tienen las técnicas diferenciales es que muchos de esos errores son comunes a ambos receptores y pueden ser cancelados. A continuación, se describe cómo se estima la posición del receptor móvil con las técnicas diferenciales, utilizando las medidas de pseudo-rango. (FERNÁNDEZ PLAZAOLA, 2005 pág. 34)

La medida de pseudo-rango ρ_A^i , expresada en unidades de longitud, que toma el receptor fijo A, en una época, correspondiente a un satélite i, se puede descomponer de la siguiente forma. (FERNÁNDEZ PLAZAOLA, 2005 pág. 34)

$$\rho_A^i = d_A^i + ct_A - ct^i + w_A^i + \alpha_{iono}^i + \beta_{tropo}^i \quad \text{Ecuación. (1. 17)}$$

Donde d_A^i es la distancia geométrica entre el receptor y el satélite y t_A y t^i son las derivas de los relojes del receptor y del satélite respectivamente. El término w_A^i , que se va asumir tiene media

nula y desviación típica σ_c , contiene los errores debidos al ruido del receptor y al efecto multicamino. Los efectos debidos a la ionósfera y la tropósfera quedan recogidos en α_{iono}^i y β_{tropo}^i . (FERNÁNDEZ PLAZAOLA, 2005 pág. 34)

El receptor móvil B puede tomar una medida del mismo tipo (FERNÁNDEZ PLAZAOLA, 2005 pág. 34)

$$\rho_B^i = d_B^i + ct_B - ct_i + w_B^i + \alpha_{iono}^i + \beta_{tropo}^i \quad \text{Ecuación. (1. 18)}$$

En el caso en el que los dos receptores estén próximos, los errores debidos a la Troposfera y a la Ionosfera pueden ser considerados iguales. Por ello, si se calcula la diferencia entre las dos medidas se cancelan dichos errores y se obtiene lo que se conoce como la diferencia simple. (FERNÁNDEZ PLAZAOLA, 2005 pág. 34)

$$\rho_{AB}^i = d_{AB}^i + ct_{AB} + w_{AB}^i \quad \text{Ecuación. (1. 19)}$$

Donde también se ha cancelado la deriva del reloj del satélite. Repitiendo el proceso para un satélite j se obtendrá. (FERNÁNDEZ PLAZAOLA, 2005 pág. 34)

$$\rho_{AB}^j = d_{AB}^j + ct_{AB} + w_{AB}^j \quad \text{Ecuación. (1. 20)}$$

Que permite obtener lo que se denomina la doble diferencia como. (FERNÁNDEZ PLAZAOLA, 2005 pág. 34)

$$\rho_{AB}^{ij} = \rho_{AB}^i - \rho_{AB}^j = d_{AB}^{ij} + w_{AB}^{ij} \quad \text{Ecuación. (1. 21)}$$

Donde las derivas de los relojes de los receptores se anulan. La resolución de la posición del receptor B a partir de ecuaciones como la 1.31 implica resolver un sistema no lineal, al igual que ocurría con la ecuación 1.2. Para su resolución también es necesario hacer una linealización, en este caso, en torno a la posición del receptor fijo A. En esas condiciones, las relaciones geométricas entre los distintos valores se pueden ver en la **Figura 1.4**. Como se observa, las dos simples diferencias geométricas d_{AB}^i , están relacionadas con el vector b, denominado línea de base, que une los dos receptores. De hecho, d_{AB}^i es la proyección del vector b sobre la dirección del satélite i y d_{AB}^j en la dirección del satélite j, es decir, (FERNÁNDEZ PLAZAOLA, 2005 pág. 35)

$$\begin{aligned} d_{AB}^i &= b \cdot u^i \\ d_{AB}^j &= b \cdot u^j \end{aligned} \quad \text{Ecuación. (1. 22)}$$

Donde u^i y u^j son los vectores unitarios en las direcciones de los satélites i y j. De esta forma, la doble diferencia se puede expresar ahora como (FERNÁNDEZ PLAZAOLA, 2005 pág. 35)

$$\rho_{AB}^{ij} = b \cdot u^{ij} + w_{AB}^{ij} \quad \text{Ecuación. (1. 23)}$$

Donde u^{ij} es la diferencia de los dos vectores unitarios. Dado que la posición del receptor a es conocida, la obtención de la posición del receptor B se traduce en calcular las componentes del vector de la línea de base b. Ello es posible si se cuenta con un mínimo de tres medidas en dobles diferencias. Para que dichas medidas sean linealmente independientes serán necesarios cuatro satélites. El sistema de ecuaciones, para un caso general (FERNÁNDEZ PLAZAOLA, 2005 pág. 34)

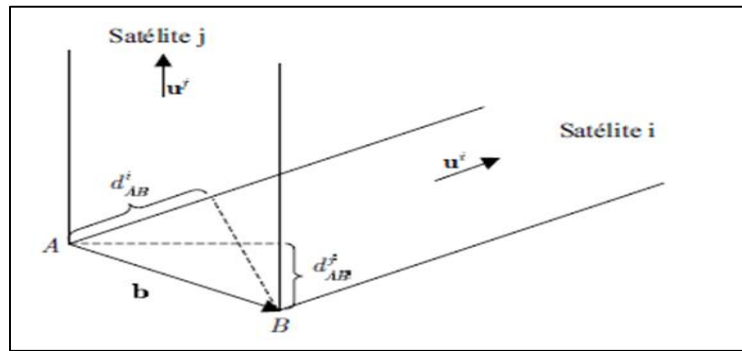


Figura 14-1. Linealización en un punto aproxima
Fuente: (FERNÁNDEZ PLAZAOLA, 2005 pág. 34)

De contar con medidas de s satélites, en formato matricial será (FERNÁNDEZ PLAZAOLA, 2005 pág. 34)

$$y = \begin{bmatrix} \rho_{AB}^{12} \\ \rho_{AB}^{13} \\ \dots \\ \rho_{AB}^{1s} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} u_x^{12} & u_y^{12} & u_z^{12} \\ u_x^{13} & u_y^{13} & u_z^{13} \\ \dots & \dots & \dots \\ u_x^{1s} & u_y^{1s} & u_z^{1s} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} b_x \\ b_y \\ b_z \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} w_{AB}^{12} \\ w_{AB}^{13} \\ \dots \\ w_{AB}^{1s} \end{bmatrix} = Hb + w \quad \text{Ecuación. (1. 24)}$$

Dado que se asume que el vector error w tiene media nula y covarianza conocida, la solución de mínimos cuadrados es (FERNÁNDEZ PLAZAOLA, 2005 pág. 34)

$$b = (H^T Q_y^{-1} H)^{-1} H^T Q_y^{-1} y \quad \text{Ecuación. (1. 25)}$$

Donde Q_y es la covarianza de las medidas, igual a la covarianza de su error Q_w , que viene dada por (FERNÁNDEZ PLAZAOLA, 2005 pág. 34)

$$Q_w = 2\sigma_c^2 \begin{bmatrix} 2 & 1 & \dots & 1 \\ 1 & 2 & \dots & 1 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1 & 1 & \dots & 2 \end{bmatrix}$$

Ecuación. (1. 26)

1.5.4 Aplicaciones

Con el DGPS se pueden corregir en parte los errores debidos a:

- Propagación por la ionosfera y troposfera.
- Errores en la posición del satélite.
- Errores producidos por problemas en el reloj del satélite. (JIMÉMEZ RODRÍGUEZ, y otros, 2010 pág. 15)

A continuación, se muestran las principales aplicaciones, según la (UNIVERSIDAD DE TOKIO, 2011 pág. 9)

Tabla 4-1. Principales aplicaciones

| NAVEGACIÓN AÉREA | NAVEGACIÓN TERRESTRE | POSICIONAMIENTO ESTÁTICO Y TEMPORIZACIÓN | NAVEGACIÓN MARÍTIMA |
|---|---|--|--|
| Aproximación y aterrizaje de no precisión Ruta Nacional Ruta oceánica Terminal Áreas remotas Operaciones de helicópteros Actitud de la aeronave Evitación de colisiones Control de tráfico aéreo | Monitoreo del vehículo Mejora del horario Enrutamiento mínimo Cumplimiento de la ley | Exploración de recursos extraterritoriales Levantamiento hidrográfico Ayudas a la navegación Transferencia de tiempo Agrimensura Sistemas de información geográfica | Oceánico Costero Puerto / aproximación Vías navegables interiores |
| | ESPACIO | BÚSQUEDA Y RESCATE | |
| | Lanzamiento En vuelo / en órbita Reingreso / aterrizaje Medida de la actitud | Reportes de posición y monitoreo Cita Búsqueda coordinada Evitación de colisiones | |

Fuente: (UNIVERSIDAD DE TOKIO, 2011 pág. 9)

Elaborado por: Ángel Ortega, Franklin López (2017)

1.5 Red GNSS de monitoreo continuo del Ecuador (REGM)

1.5.5 Definición

La REGME se establece en el Marco Geodésico de Referencia Nacional y abastece a los usuarios de información georreferenciada, que posee una precisión infalible con los sistemas de navegación satelital, datos informativos que ayudan al cumplimiento de investigaciones o proyectos relacionados con geodesia, topografía, obras de ingeniería, prospección de minas y petróleo, así como también para trabajos relacionados al mapeo, geofísica y demarcación. (INSTITUTO GEOGRÁFICO MILITAR, 2014 pág. 1)

A su vez RGME está compuesto por estaciones GNSS encargadas del monitoreo continuo, mismas que están conectadas a la red nacional y continental, esta última denominada SIRGAS-CON, estos captan datos de GPS durante todo el transcurso del año las veinticuatro horas del día, misma que pueden brindar información para realizar el procesamiento diferencial de información GPS. (INSTITUTO GEOGRÁFICO MILITAR, 2014 pág. 1)

Dicho servicio ofrece una cobertura de 50 km de radio de señal de GNSS por cada una de las estaciones disponibles, mismas que son un número de treinta y cuatro estaciones que están

permanentemente instaladas todas ellas vinculadas a SIRGAS, obteniendo datos importantes de rastreo satelital como coordenadas y demás. (CISNEROS R., 2014 pág. 4)

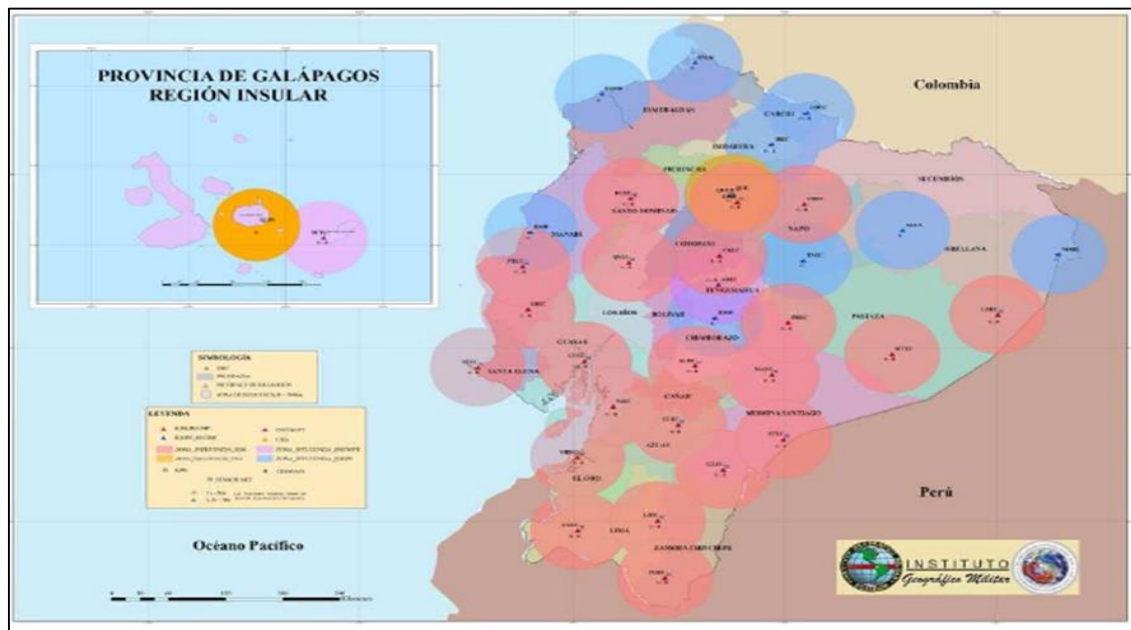


Figura 15-1. Red GNSS de monitoreo continuo del Ecuador REGME- Zona de Influencia.
Fuente: (INSTITUTO GEOGRÁFICO MILITAR, 2014 pág. 1)

1.5.6 Tecnología (Trimble netR9)

El Trimble NetR9 Geospatial es un receptor GNSS planteado para suministrar las máximas prestaciones, flexibilidad y funcionalidad a sus usuarios que generalmente hacen estudios de topografía y de temas relacionados al posicionamiento. Las tecnologías Trimble que ofrece el NetR9 Geospatial constituyen una completa y única combinación. (TRIMBLE, 2014 pág. 1)

Aplicaciones

El diseño del de este tipo de receptor, da asistencia en cuanto a lo que tiene que ver con un bajo consumo de energía y sus prestaciones lo convierten en una combinación compatible con un amplio rango de aplicaciones de posicionamiento de alta precisión., mismas que incluyen:

- Equipo portátil RTK y RTX
- Estación base móvil de campo
- Captura de datos con pos-procesamiento (TRIMBLE, 2014 pág. 1)

1.5.7 Características principales

Posee dos conjuntos de chips Trimble Maxwell 6 GNSS mismos que otorgan un beneficio de total de 440 canales, además posee características importantes tales como en cuanto a su tecnología ayudan en la disminución del error por multitrayectoria, además toma medidas de fase portadora GNSS con un nivel de ruido muy bajo con precisión de <1 mm en un ancho de banda de 1 Hz, la velocidad de su posicionamiento es de 1 a 20 Hz., posee tecnología de rastreo de baja elevación, las señales de satélite se rastrean simultáneamente, señales tales como (TRIMBLE, 2014 pág. 1):

- GPS
- GLONASS
- Galileo
- Beidou (TRIMBLE, 2014)

1.5.8 Precisión

En cuanto a la precisión del sistema esta depende de las anomalías que se den por errores ya sea por obstrucción, condiciones atmosféricas, trayectoria múltiple o la geometría de satélites. Para obtener una mayor precisión de los datos es indispensable que los datos sean tomados en zonas despejadas que tengan una amplia visión del cielo, para de este modo no tener errores suscitados por trayectoria múltiple o interferencias electromagnéticas, así se obtendrá una configuración recomendable de la constelación GNSS. Así mismo es recomendable utilizar la metodología adecuada para una mejor realización de las mediciones, siempre tomando en cuenta los tiempos recomendados para la longitud de la línea base, de esta manera y con estas sugerencias es posible adquirir datos con alta precisión. (TRIMBLE, 2014 pág. 1)

En tal contexto, la precisión del equipo además depende del rendimiento del sistema WAAS/EGNOS; en cuanto a lo que tiene que ver con los valores PPM de la red RTK se referencian a la estación base física más próxima haciendo que exista mayor precisión o no; para finalizar la precisión puede verse afectada por las condiciones atmosféricas como ya se mencionó con anterioridad, las señales de trayectoria múltiple, las obstrucciones y la geometría de los satélites. La confiabilidad de la inicialización es controlada con continuidad con el objetivo de asegurar la más alta calidad. (TRIMBLE, 2014 pág. 1)

1.6 Módulo Ublox Neo 6m

El módulo GPS Ublox NEO-6M, posee un voltaje de alimentación: $(3.5 - 5) \text{VDC}$, una antena cerámica activa, su sistema de coordenadas es de WGS-84, una sensibilidad de captura -148dBm y de rastreo de -161dBm , tiene una máxima altura medible de 18000, y una máxima velocidad 515 m/s. Su exactitud es de 1 micro segundo, posee una frecuencia receptora de L1 (1575.42 Mhz). (HET PRO, 2012 pág. 1)



Figura 16-1. GPS Ublox NEO-6M
Fuente: (Het Pro, 2012)

El módulo se puede conectar con una infinidad de microcontroladores, así como con diferentes programas en la computadora, como Matlab, Termite, Labview, entre otros. (HET PRO, 2012 pág. 1)

1.7 Receiver Independent Exchange Format - RINEX

Se define como un formato de ficheros de texto que está encaminado a recolectar de forma estandarizada, datos de medidas que son proporcionadas por receptores de sistemas de navegación por satélite como: GPS, GLONASS, EGNOS, WAAS o Galileo. (WERNER, 2007 pág. 2)

1.5.9 Descripción General

Actualmente, el formato se compone de cuatro tipos de archivos ASCII:

- El archivo de los datos de observación
- El archivo de mensaje de Navegación
- El archivo de datos meteorológicos
- El archivo de mensaje de navegación GLONASS. (WERNER, 2007 pág. 3)

El archivo que es emitido por este sistema está conformado por encabezado, esta sección posee información integral que sirve a todo el archivo esta se encuentra ubicada en la parte del inicio

del archivo, posee las etiquetas del encabezado de cada una de las columnas; y una sección de datos. (WERNER, 2007 pág. 3).

Este formato se ha perfeccionado para cumplir con los requerimientos de espacio mínimo independiente del número de tipos de observación de un receptor, en el que se indican en la parte del inicio las clases de observaciones que deben almacenarse.

En cada archivo ya sea este de observación o de datos, la información básica contenida en el archivo es información del sitio y de una sesión, en la versión RINEX 2 es posible incluir datos de observación originarios de más de un sitio subsiguientemente ocupadas por un receptor móvil mediante aplicaciones estáticas o cinemáticas (WERNER, 2007 pág. 3).

1.5.10 Fichero de Observación

El fichero de observación tiene tres cantidades fundamentales:

- Pseudo-distancia (en metros)
 - C1:
 - P1:
 - P2:
- Fase
 - L1
 - L2
 - Se mide en ciclos completos

Tabla 5-1. Estructura del fichero de observación

| ETIQUETA DE CABECERA | DESCRIPCIÓN |
|------------------------|--|
| RINEX VERSION/TYPE | <ul style="list-style-type: none"> • Versión de RINEX • Tipo de fichero (observación) • Sistema de satélite: <ul style="list-style-type: none"> ○ G: GPS. ○ R: GLONASS. ○ M: Mixto. |
| PGM/ RUN BY /DATE | <p>Programa de creación del fichero.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Agencia de creación del fichero. • Día de creación de fichero. |
| COMMENT | Comentarios. |
| MARKER NAME | Nombre del punto de observación. |
| MARKER NUMBER | Número del punto de observación. |
| OBSERVER / AGENCY | Nombre del observador y agencia. |
| REC # / TYPE / VERS | Número de receptor, tipo y software. |
| ANT # /TYPE | Número y tipo de antena |
| APPROX POSITION XYZ | Posición absoluta aproximada del punto en la última época |
| ANTENNA: DELTA H/ E /N | Altura de antena y excentricidades relativas al este y al norte (m) |
| WAVELENGTH FACT L1/2 | <p>Factores para L1 y L2</p> <ul style="list-style-type: none"> • 1: Ciclo completo. • 2: Medio ciclo (cuadratura). <p>Número de satélites con estos factores.</p> <p>Lista de PRNs satélites.</p> |
| # / TYPES OF OBSERV | <p>Número de observables grabados.</p> <p>Tipos de observables grabados.</p> <ul style="list-style-type: none"> • L1, L2: Medidas de fase L1 o L 2. • C1: Pseudodist. Con C/A en L1. • D1, D2: Doppler en L1 o L2. |
| INTERVAL | Intervalo de observación (épocas) en segundos |
| TIME OF FIRST OBS | <p>Tiempo de primera época de grabación (año, mes, día, hora, minuto y segundo)</p> <p>Sistema de tiempo:</p> <ul style="list-style-type: none"> • GPS: tiempo GPS • GLO: tiempo UTC |

Fuente: (BERNE VALERO, y otros, 2014).

Realizado por: Franklin Lopez, Ángel Ortega (2017).

1.5.11 Fichero de Navegación

El fichero de navegación contiene la siguiente información:

- Datos orbitales.
- Parámetros del reloj.
- Precisiones de las medidas de pseudo-distancias de los satélites observados.
- La cabecera puede contener.
 - Parámetros del modelo ionosférico
 - Términos de correcciones relacionados con el tiempo GPS y UTC10

Tabla 6-1. Estructura del fichero de navegación.

| ETIQUETA DE CABECERA | DESCRIPCIÓN |
|-------------------------|--|
| RINEX VERSION/ TYPE | Formato y tipo de fichero (N: Navegación) |
| PGM/ RUN BY/ DATE | Nombre, agencia y día de la creación |
| COMMENT | Comentario |
| ION ALPHA | Parámetros ionosféricos A0-A3 del almanaque |
| ION BETA | Parámetros ionosféricos B0-B3 del almanaque |
| DELTA-UTC: A0, A1, T, W | Parámetros del almanaque para calcular el tiempo en el sistema UTC: <ul style="list-style-type: none">• A0, A1: Términos del polinomio.• T: tiempo de referencia para datos UTC.• W: Número de la semana UTC de referencia |
| LEAP SECONDS | Error en el tiempo por el salto de segundo |
| END OF HEADER | Final de cabecera |
| OBS. RECORD | |
| Grupo 1 | Numero PRN, año, mes, día, hora, minutos, segundos. Error del reloj del satélite. Derivada del reloj del satélite. |
| Grupo 2 | Edad de las efemérides. Corrección CRS (m) Diferencia medida de movimiento (rad/s) |

Fuente: Fuente: (BERNE VALERO, y otros, 2014).

Realizado por: Franklin Lopez, Ángel Ortega (2017).

1.8 RTKLIB

RTKLIB es un conjunto de programas que poseen código abierto que sirve para posicionamiento estándar y además es preciso, este sistema se basa en GNSS. Dicho paquete está constituido por unas bibliotecas portátiles y variadas aplicaciones de programa. (TAKASU, 2013)

1.5.12 Características

Las características de RTKLIB son:

1. Soporta algoritmos de posicionamiento estándar y preciso como: GPS, GLONASS, Galileo, QZSS, BeiDou y SBAS
2. Soporta varios modos de posicionamiento con GNSS tanto en tiempo real como después de procesamiento tales como: Uniforme, DGPS / DGNSS, Cinemático, Estático, Basado en Movimiento, Fijo, PPP-Cinemático, PPP-Estático y PPP-Fijo.
3. Soporta cuantiosos formatos y protocolos estándar para GNSS
4. Soporta diversos mensajes propietarios de receptores GNSS
5. Apoya la comunicación externa de tipo Serial, TCP / IP, NTRIP, archivo de registro local (grabación y reproducción) y FTP / HTTP (descarga automática). (TAKASU, 2013)
6. Proporciona muchas funciones de biblioteca y APPs para el procesamiento de datos GNSS como:
 - Funciones de satélite y de navegación
 - Funciones de matriz y vector
 - Transformación de coordenadas
 - Funciones de rastreo de depuración
 - Modelos de posicionamiento, de atmósfera, de tierra, modelos geoidales.
 - Funciones RINEX
 - Efemérides y funciones de reloj
 - Funciones precisas de efemérides y reloj
 - Funciones de datos brutos de receptor
 - Funciones de solución
 - Posicionamiento preciso
 - Post-procesamiento de posicionamiento
 - Funciones de servidor RTK (TAKASU, 2013).

CAPÍTULO II

2. MARCO METODOLÓGICO

Este capítulo se desarrolla en dos etapas, la primera consiste en la recolección de los datos en diferentes puntos de la ciudad de Riobamba para posteriormente realizar las pruebas de eficiencia de los algoritmos, en la segunda etapa se realiza la implementación de los algoritmos en el software de Matlab para el posicionamiento diferencial de un receptor GPS, tanto en configuración simple y configuración doble.

2.1 Análisis de la técnica DGPS utilizada.

En el Diferencial del Sistema de Posicionamiento Global se pueden analizar diferentes métodos de posicionamiento con respecto a las diversas variables entre las cuales se definen las siguientes:

Según el movimiento de los receptores: Según el movimiento del receptor existen dos métodos de posicionamiento el estático y el método denominado cinemático o dinámico. Para el desarrollo de este proyecto se utiliza el método estático.

Según la corrección aplicada: Se pueden aplicar dos tipos de correcciones, corrección por coordenadas y pseudo-rangos, se aplica el método de corrección por pseudo-rangos puesto que es un método más confiable, la estación de referencia genera una corrección para cada uno de las pseudo-rangos observadas época por época y se los aplica en el receptor móvil.

Mientras que la corrección por coordenadas consiste en determinar la diferencia en latitud, longitud y altura elipsoidal, este método sólo se puede considerar correcto si se han utilizado los mismos satélites para determinar su posición tanto en la estación de referencia como en el receptor móvil.

Según disponibilidad de la solución: Se puede aplicar la técnica del Diferencial GPS en tiempo real, o post proceso, se seleccionó este último método para el desarrollo de la investigación ya que se vio necesario procesar los datos consecutivos a la toma en campo, mediante la aplicación de la técnica con los datos de la estación base obtenidos previamente desde su página oficial.

2.2 Receptores GPS

2.2.1 Receptor GPS de la Estación de Referencia

Para la selección del receptor GPS destinado para ser utilizado como estación de referencia, se tomaron en cuenta varios factores, entre los principales se mencionan a los siguientes:

- Intervalo de registro de los datos.
- Distancia entre la estación base y el receptor móvil.
- Acceso constante a datos de posicionamiento.
- Calidad de los datos.

En la ciudad de Riobamba se cuenta con dos estaciones de GNSS que constituyen a la red de Marco Geodésico de Referencia Nacional y dentro de las cuales se tiene: EREC y RIOP. La estación base para el análisis pertinente es EREC debido a que esta proporciona información con la misma frecuencia en épocas, satélites, calidad, dichas características ayudan al receptor rover en el post-proceso.

2.2.2 Receptor GPS móvil (Rover)

En el mercado existen distintos modelos de GPS con precios accesibles y contienen un margen de error de 10 a 20 metros, si son utilizados para geo localización en lugares amplios se podría considerar el error depreciable, pero si se utiliza en aplicaciones donde se requiere una precisión centimétrica, como la robótica o topografía, el margen de error del receptor GPS no es admisible.

Se ha seleccionado el receptor GPS U-blox neo 6M V2 debido a que posee varias ventajas, tales como en su costo ya que posee precio competitivo en el mercado pues a comparación con otros su costo es bajo, además la versatilidad en la configuración para la obtención de datos es también una de las características primordiales, razón por la cual este receptor fue elegido.

2.3 Puntos de localización

Para desarrollar este apartado se utilizaron los métodos de observación y también de investigación, tomando en cuenta lugares lejanos y cercanos a la estación base.

La recolección de datos se realizó en la ciudad de Riobamba ubicado al norte de la provincia de Chimborazo en el centro geográfico del país a 2750 msnm, su temperatura promedio es de 14° C, las más altas temperaturas registradas corresponden al mediodía con 23° C.

Tomando en consideración dichas característica se tomó en cuenta varios criterios y se realizó la selección de lugares mismos que resultaron en un total de 8 puntos de la ciudad en diferentes días y en distintas condiciones climáticas. Esta recolección de datos se lo realizó de modo estático en en la **Figura 1-2** se puede observar los puntos de mediciones empleados en el trabajo, mismos que se encuentran en los siguientes lugares de la ciudad.

Tabla 1-2. Lugares de recolección de datos en la ciudad de Riobamba.

| Punto | Lugar |
|-------|--|
| 1 | SECTOR COL. ISABEL DE GODIN |
| 2 | ECU911 |
| 3 | ESPOCH |
| 4 | YARUQUIES |
| 5 | PARQUE SUCRE |
| 6 | PARQUE MALDONADO |
| 7 | BIBLIOTECA ESPOCH |
| 8 | FACULTAD DE INFORMATICA Y ELECTRÓNICA - ESPOCH |

Realizado por: Franklin Lopez, Ángel Ortega (2017).

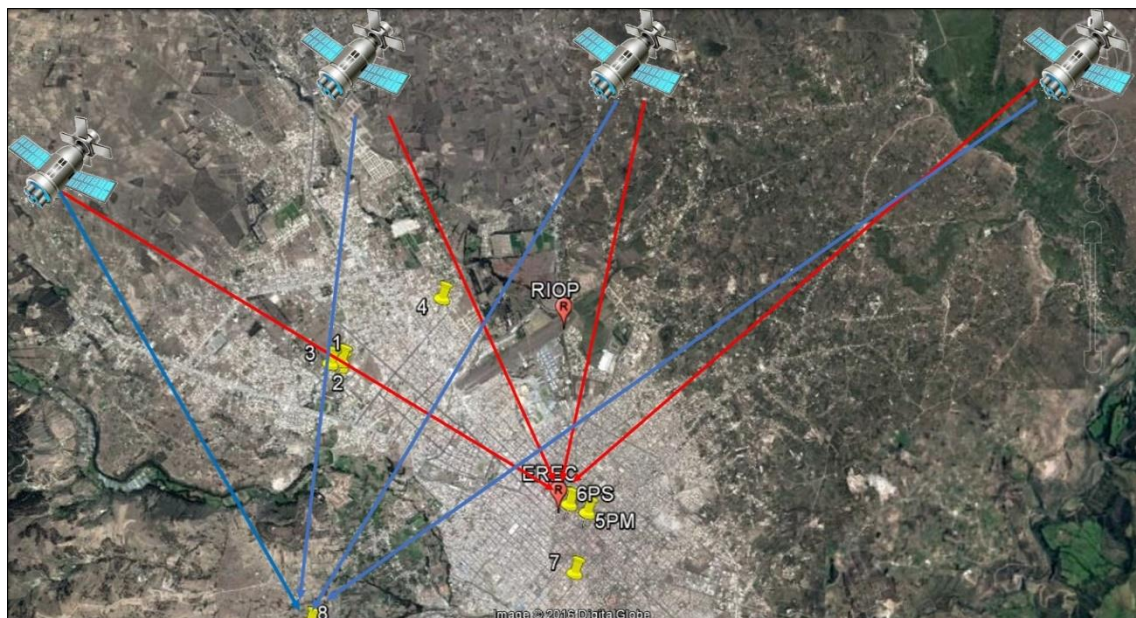


Figura 1-2. Puntos de recolección en Riobamba

Fuente: google EARTH. (2017)

Para la selección de los lugares de recolección de datos se han tomado en cuenta los siguientes criterios:

- Distancia desde la estación de referencia hasta el receptor móvil, ya que este es un parámetro en el que varía la precisión.
- Zonas despejadas o densas, debido a que de ello depende la magnitud de la señal reflejada que introduce el error en el posicionamiento.

Por consiguiente, se tomaron en cuenta los criterios mencionados con el fin de analizar la precisión del posicionamiento GPS con la técnica diferencial bajo diversas condiciones.

Para la captura de datos GPS fue importante considerar al tiempo de observación necesaria, como un factor relevante para obtener un post-proceso preciso, mismos que dependen de factores como la distancia entre la estación de referencia y el dispositivo móvil (Rover), el número total de satélites visibles en los dos receptores, la geometría de los satélites, entre otros. La **Tabla 2-2** muestra el tiempo de inicio y final de observación, la duración total y las técnicas de recolección empleadas.

Tabla 2-2: Tiempo de observación de los cuatro puntos óptimos

| Puntos | Método | Distancia hacia EREC (km) | Fecha | Tiempo de Observación | | Total, de tiempo (min) |
|--------|----------|---------------------------|----------|-----------------------|-------------|------------------------|
| | | | | Fecha Inicio | Fecha Final | |
| 1 | Estático | 0.94 | 19-01-17 | 08:24 | 10:40 | 136 |
| 2 | Estático | 2.92 | 19-01-17 | 15:27 | 16:10 | 43 |
| 3 | Estático | 3.44 | 13-12-16 | 09:07 | 10:12 | 65 |
| 4 | Estático | 3.72 | 19-02-17 | 11:44 | 15:08 | 204 |

Realizado por: Franklin López, Ángel Ortega (2017).

2.3.1 Registro de datos en el formato RINEX

Estación de referencia o Estación base

Previa autorización del REGME se accedió a la estación de referencia EREC ubicado en Riobamba en la terraza del edificio antiguo de EERSA, se ingresa a la página de dicha empresa y

se procede a la descarga de los archivos digitales de los datos en formato RINEX 2.11 (Observación y Navegación), esto varía dependiendo del día y el intervalo de medición, lo que se puede apreciar en la siguiente **Figura 2-2**.



Figura 2-2. Página oficial Trimble EREC
Fuente: Trimble EREC, (2017).

La obtención de datos de la estación base y como se procesa se puede apreciar en el esquema **Figura 3-2**.

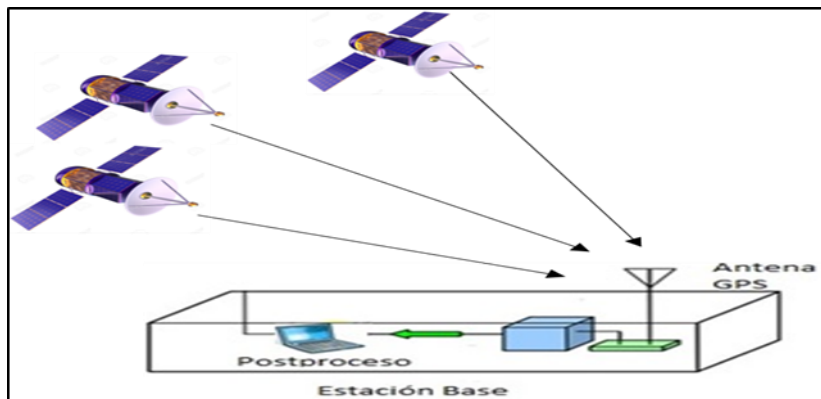


Figura 3-2. Diagrama de la estación base
Realizado por: Franklin López, Ángel Ortega (2017).

Receptor móvil

Los dispositivos u-blox neo 6M no son capaces de generar archivos RINEX mismos que son necesarios para realizar el post-proceso, sin embargo, mediante una serie de pasos se logra obtener los datos crudos para posteriormente convertirlos en archivos RINEX utilizando el software libre RTK CONV.

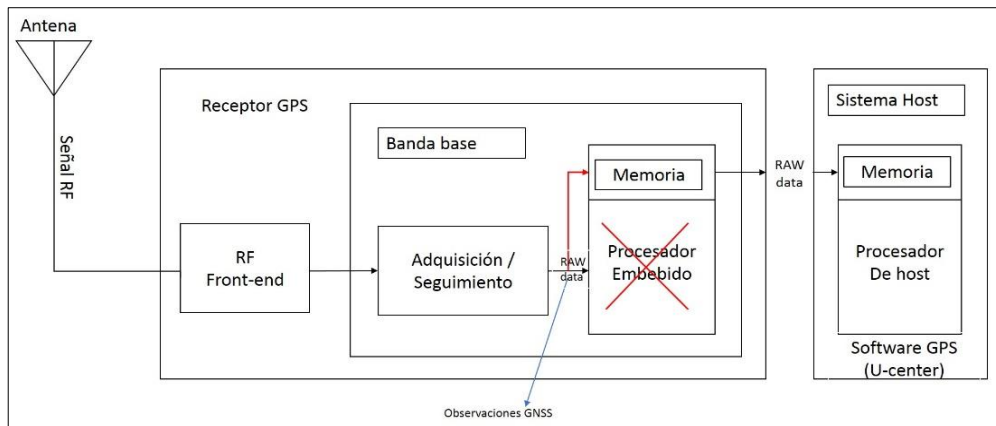


Figura 4-2. Obtención y procesamiento de RAW DATA en receptor GPS
Realizado por: Franklin López, Ángel Ortega (2017).

En la **Figura 4-2**, se observa que los RAW DATA se extraen antes del bloque de procesamiento para lo cual es necesario configurar la memoria volátil del dispositivo GPS mediante el software U-center. A continuación, se detalla los pasos a seguir.

Paso 1: Configuración del u-blox neo 6M en U-center

Mediante el cable FTDI se realiza la conexión física del receptor GPS al computador para luego a través del software propio del u-blox denominado U-center, se proceda a cambiar los parámetros necesarios que permitan la obtención de datos crudos (RAW DATA). Uno de los parámetros principales a modificar es la velocidad de transmisión de 9600 baudios a 115200 con el fin de evitar pérdida de datos, para una configuración más esquemática se detalla en el **ANEXO A**.

Seguidamente se configura al receptor, este tiene por objetivo obtener los datos crudos colocando un parche en su memoria volátil tal que se activa la salida RXM-RAW y RXM-SFRB utilizando el siguiente mensaje en View>Message View, CUSTOM:

```

For ublox6 ROM7.03 use:
to enable RXM-RAW

b5 62 09 01 10 00 c8 16 00 00 00 00 00 97 69 21 00 00 00 02 10 2b 22

to enable RXM-SFRB

b5 62 09 01 10 00 0c 19 00 00 00 00 00 83 69 21 00 00 00 02 11 5f f0

```

Figura 5-2. Mensaje para obtener los raw data
Fuente (OPENSTREETMAP)

Finalmente, el último es activar los mensajes RAW o datos crudos dirigiéndose a View>Configuration View>MSG y localizar en el listado la opción 02-10 RXM-RAW, debe encontrarse marcado la opción UART1 por último pulsar en el botón Send, se efectúa el mismo paso seleccionando la opción 02-11 RXM-SFRB. Cabe recalcar que las configuraciones se eliminan al apagar el dispositivo por lo tanto es necesario configurar nuevamente el equipo.

Paso 2: Obtención de datos en crudo en RTKNAVI

En este punto el dispositivo se encuentra listo para entregar datos crudos y para obtenerlos se utiliza el software libre RTKCONV, en el que se realizan las siguientes configuraciones:

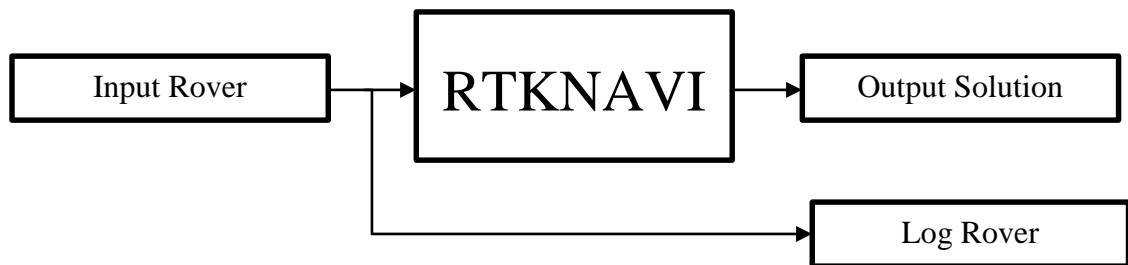


Figura 6-2. Funcionamiento de RTKNAVI

Realizado por: Franklin López, Ángel Ortega (2017).

Input. En este apartado se configura, el puerto por donde se recibe la información del receptor, la velocidad y el formato de flujo de datos con los que se está trabajando en este caso u-blox.

Log Stream. Este bloque es muy importante ya que es donde se obtiene los datos crudos, se configura en Rover, Type: file, log path: ruta donde se almacena los datos crudos.

Se hace clic en start, después de lo cual se inicia el proceso con la captura de datos, una vez configurado en U-center es indispensable desconectar el equipo ya que se está utilizando el mismo puerto para recibir la información en RTKNAVI y puede ocasionar error en el programa. Configuración de RTKNAVI véase en el **ANEXO B**.

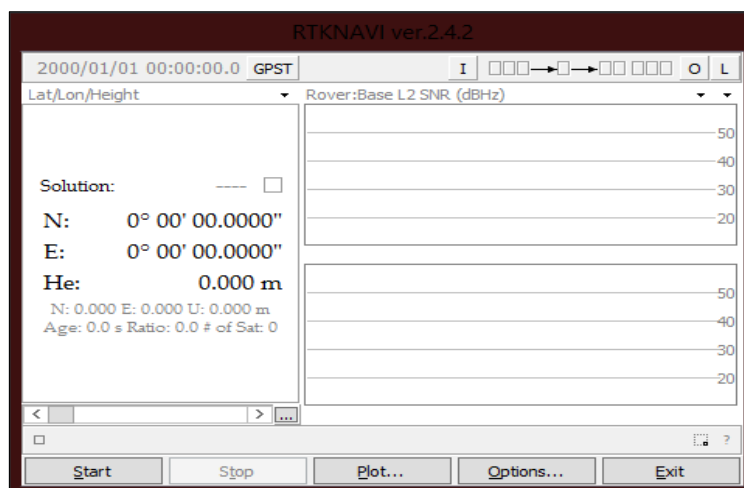


Figura 7-2. Software RTKNAVI
Fuente: Software RTKLIB, RTKNAVI, 2017

Paso 3: Conversión de datos crudo a RINEX 2.11

El software RTKCONV es muy útil para transformar los datos crudos en archivos procesables RINEX, que es un estándar que puede ser interpretado por algoritmos o software de post-procesamiento. RTKCONV interpreta los mensajes RAW del receptor, y los transforma a RINEX Obs datos de observación, RINEX Nav datos de navegación GPS. (Ver **Figura 8-2**).

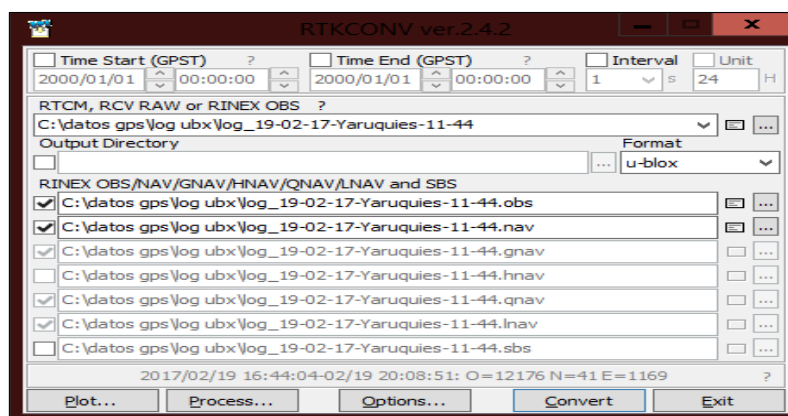


Figura 8-2. Software RTKCONV
Fuente: Software RTKLIB, RTKCONV, 2017

Se ingresa el archivo sin procesar del receptor que se generó en RTKNAVI, en formato se selecciona u-blox. Se modifica el botón de opciones para seleccionar el tipo de satélites, la información, el tiempo, que serán datos importantes que se almacenará en el archivo RINEX, el software realiza la conversión a RINEX utilizando la información proporcionada y su respectiva configuración en RTKLIB, los archivos resultantes son dos, uno con extensión. OBS contiene la información de los observables L1, C1, S1, L2, C2, nombre de la estación, tipo de antena, altura,

el segundo archivo con extensión .NAV contiene información de efemérides de la época, estos datos son muy necesarios para realizar el post-procesamiento. Son liberados en la versión 2.11 al igual que los archivos de las estaciones base. Todo este proceso se realiza en RTKLIB 2.4.2. y su obtención se resume en la siguiente **Figura 9-2**.

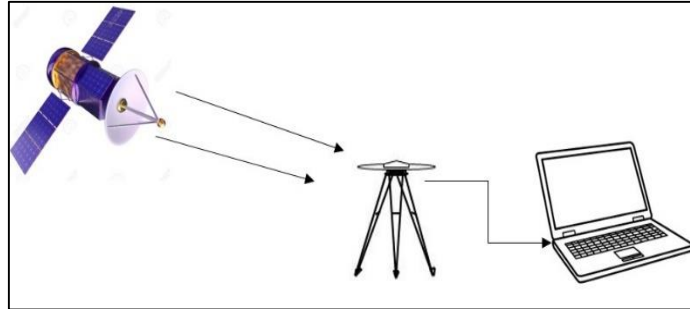


Figura 9-2. Obtención de datos en el Rover
Realizado por: Franklin López, Ángel Ortega (2017).

2.4 Desarrollo del algoritmo del diferencial de GPS

Para aplicar la técnica del diferencial GPS, se inició recolectando datos en el Rover adaptado a la conexión del módulo U-blox a un computador por medio del software U-center y RTKLIB, para luego ser procesado con los datos obtenidos previamente de la estación de referencia tal como se muestra en la **Figura 10-2** y de esta manera aplicar el diferencial simple y doble.

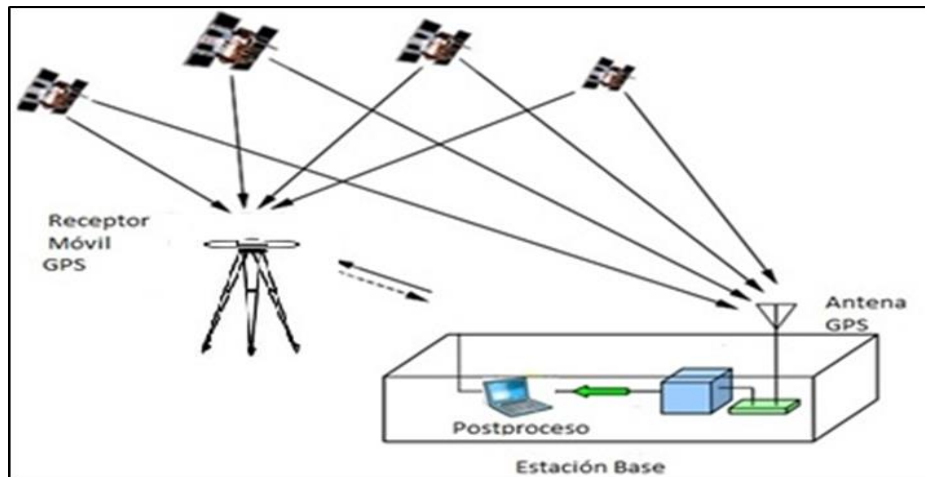


Figura 10-2. Arquitectura de la estación base y rover.
Realizado por: Franklin López, Ángel Ortega (2017).

Para la corrección de errores mediante el diferencial de GPS en post-proceso en la ciudad de Riobamba se desarrolló el siguiente diagrama como se muestra en el diagrama de bloques etapas DGPS.

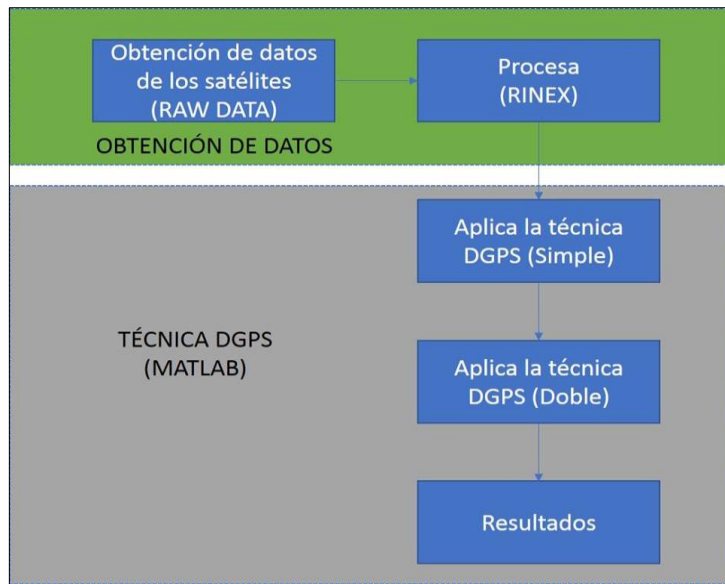


Figura 11-2. Diagrama de bloques Etapas DGPS
 Realizado por: Franklin Lopez, Ángel Ortega (2017).

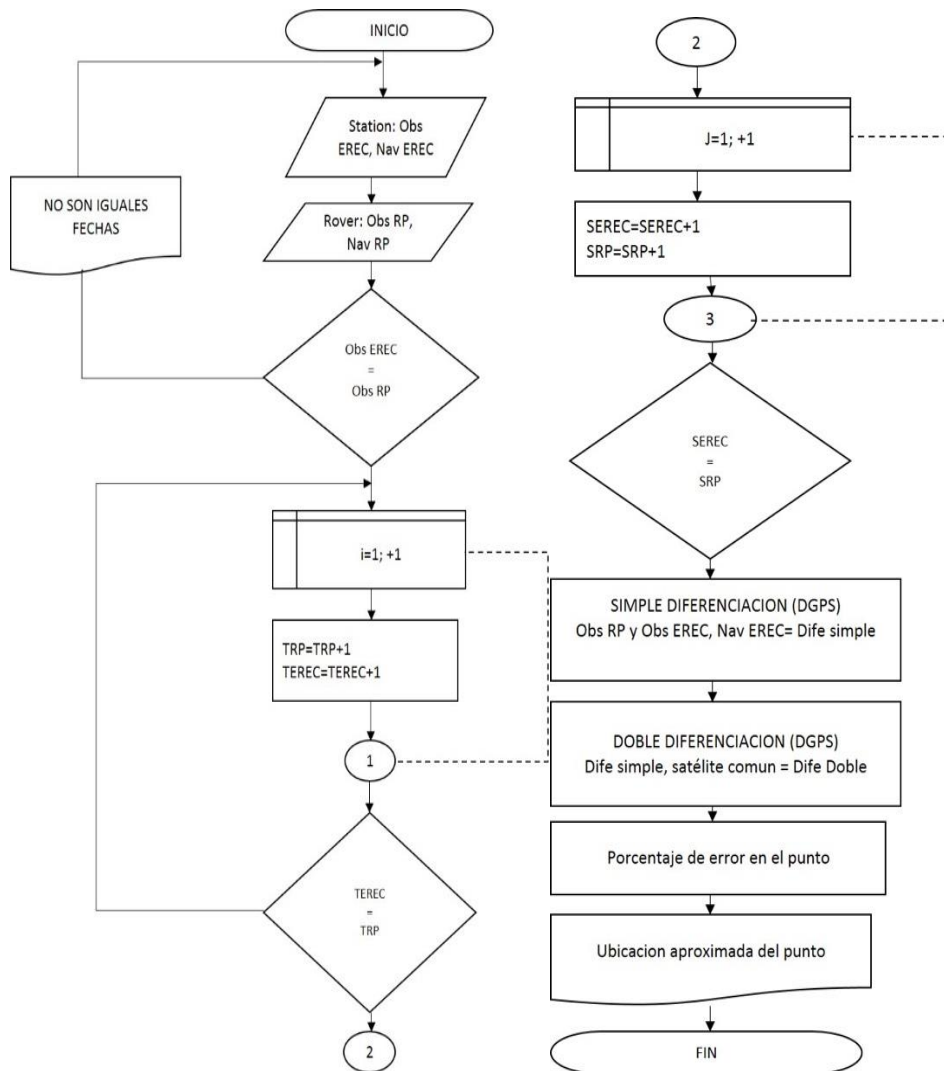


Figura 12-2. Diagrama de Flujo Etapas DGPS
 Realizado por: Franklin López, Ángel Ortega (2017).

2.4.1 Diferencial de GPS en configuración simple

Para implementar el diferencial de GPS en configuración simple se realiza el algoritmo mediante el software de Matlab, el cual contiene script de funciones de cálculo, esta se desarrolla en 2 etapas principales tal como se ve en la **Figura 13-2**.

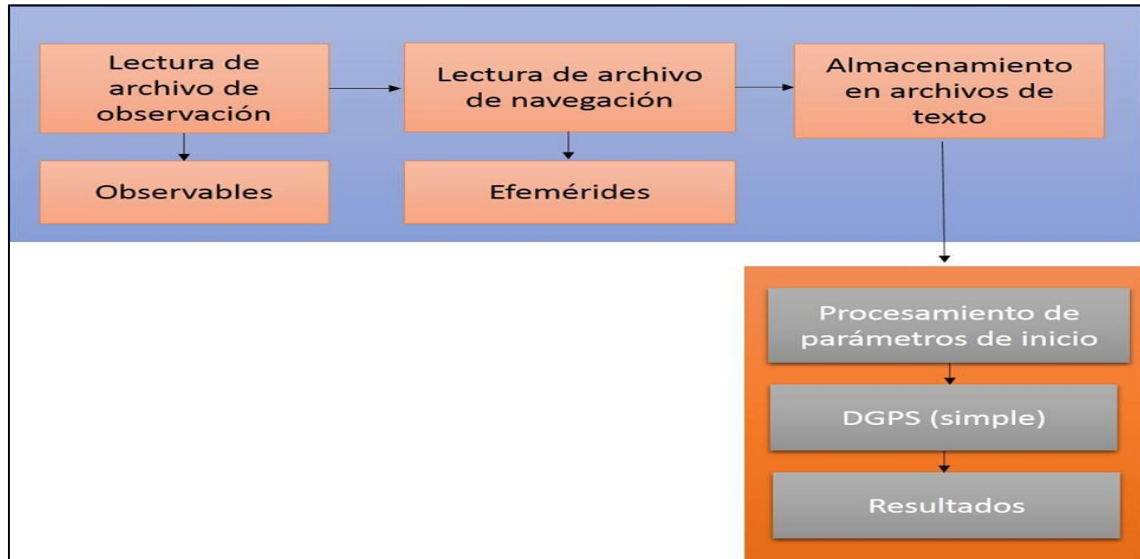


Figura 13-2. Diagrama de bloques Etapas DGPS-Simple
Realizado por: Franklin López, Ángel Ortega (2017).

2.4.1.1 Lectura de información del fichero RINEX

En este apartado se desarrolla el algoritmo para la lectura de ficheros RINEX tanto de observación como de navegación. Con el comando `uigetfile` se abre un cuadro de diálogo que muestra los archivos de forma gráfica especificando las extensiones, se añade el archivo de observación de la estación de referencia EREC, posteriormente el archivo de observación del Rover y por último el fichero de navegación.

2.4.1.1.1 Lectura del fichero de observación

Para la lectura del fichero de observación se implementan cuatro funciones que se enuncian a continuación:

1. **La función `cabeceraobs(ofilem)`** Tiene como parámetro de entrada el nombre del archivo de observación y realiza la lectura de la cabecera del fichero RINEX dando como resultado los observables, versión, posición aproximada del receptor, tipo de antena, etc.

2. **Función ext_epocas** Lectura de las épocas del fichero de observación que permite obtener la primera fila de los datos correspondientes a cada época, estos son: SOW, PRN, tipo de satélite: GPS, GLONAS, época en formato año, mes, día.
3. **Función Grabar_datos** Proporciona la información de los observables C1, L1, L2, S1, P1 y P2 almacenados en el fichero de observación, la variable de interés para nuestro proyecto es el C1 la misma que contiene el valor de los pseudo-rangos utilizados para calcular la posición del receptor.
4. **Función crearFichero** Es una función elaborada para almacenar los valores de los observables de forma ordenada de cada época en un fichero de texto. La estructura en Matlab para almacenar los datos es la siguiente, donde muestra el nombre de la estación, tipo de satélite, PRN, SOW, C1 Y S1 estas dos últimas son medidas de pseudo-rangos y SNR respectivamente, el archivo datosrovert.txt contiene la misma estructura de datos con la información del receptor móvil.

La **Figura 14-2** presenta la lectura del fichero de observación, donde nos proporciona la etiqueta de cabecera en la cual se resalta datos como la ubicación fija de la estación de referencia, total de épocas existentes en el fichero, los observables y el nombre de la estación.

```

Abrir Archivo de Observación de la ESTACION DE REFERENCIA ...
Abrir Archivo de Observación del ROVER ...
Abrir Archivo de NAVEGACIÓN ...
Lectura del RINEX de Observación de la Estación de Referencia EREC348a.160 ...
Posición fija de la estación de referencia obtenida de RINEX:
      X=1255116.4574 m, Y=-6253531.7529 m, Z=-184844.6776 m
Total de épocas en Estacion de Referencia : 4377
Observables en el RINEX : C1L1S1P1C2L2S2P2
Nombre de la estación : EREC

```

Figura 14-2. Lectura de la cabecera del RINEX de observación.
Realizado por: Franklin López, Ángel Ortega (2017).

Los datos exhibidos en la **Figura 15-2** fueron extraídos del fichero de observación y almacenados en un archivo de texto, De estos datos se destaca el tipo de satélite, PRN, SOW y C1 que se utilizan para llevar a cabo el cálculo de posicionamiento diferencial.

| NOM | TS | PRN | SOW | C1 | S1 |
|------|----|-----|------------|--------------|--------|
| EREC | G | 2 | 223433.000 | 23151250.508 | 44.100 |
| EREC | G | 6 | 223433.000 | 24331155.242 | 38.900 |
| EREC | G | 25 | 223433.000 | 23765281.484 | 41.300 |
| EREC | G | 13 | 223433.000 | 20569995.375 | 49.900 |
| EREC | G | 20 | 223433.000 | 22120228.188 | 47.600 |
| EREC | G | 5 | 223433.000 | 22754972.656 | 47.000 |
| EREC | G | 24 | 223433.000 | 23865202.914 | 39.000 |
| EREC | R | 4 | 223433.000 | 22237468.969 | 45.200 |
| EREC | G | 29 | 223433.000 | 24686825.867 | 40.800 |
| EREC | G | 17 | 223433.000 | 23861177.156 | 41.000 |
| EREC | R | 5 | 223433.000 | 19849640.719 | 43.600 |
| EREC | R | 6 | 223433.000 | 21651446.906 | 46.200 |
| EREC | R | 17 | 223433.000 | 23739642.844 | 41.700 |

Figura 15-2. Almacenamiento de datos de observación.

Realizado por: Franklin López, Ángel Ortega (2017).

Se verifica las épocas comunes de los receptores como también uno de los requisitos de posicionamiento que es tener en vista mínimo cuatro satélites si no se cumple aquello se procede a eliminar la época como muestra la **Figura 16-2**.

```

Procesando...

Iniciando en época comun:      223652      223652
No hay suficientes PRNs en la época 223717
No hay suficientes PRNs en la época 223722
No hay suficientes PRNs en la época 223796
No hay suficientes PRNs en la época 223797
No hay suficientes PRNs en la época 223798
No hay suficientes PRNs en la época 223799
No hay suficientes PRNs en la época 223800

```

Figura 16-2. Procesamiento de datos de observación.

Realizado por: Franklin López, Ángel Ortega (2017).

2.4.1.1.2 Lectura del fichero de navegación

La lectura de archivo de navegación se realiza mediante la función lectnav la cual permite generar una matriz eph con 22 columnas, las mismas contienen los 22 datos de efemérides y reloj, el número de filas será variable dependiendo del número de efemérides en el fichero de navegación.

Matriz:

$$eph = \begin{pmatrix} nm_{1,1} & nm_{1,2} & nm_{1,3} & \dots & nm_{1,n} \\ nm_{2,1} & nm_{2,2} & nm_{2,3} & \dots & nm_{2,n} \\ nm_{3,1} & nm_{3,2} & nm_{3,3} & \dots & nm_{3,n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ nm_{m,1} & nm_{m,2} & nm_{m,3} & \dots & nm_{m,n} \end{pmatrix}$$

La **Figura 17-2** muestra el diagrama de flujo de la etapa de lectura de datos.

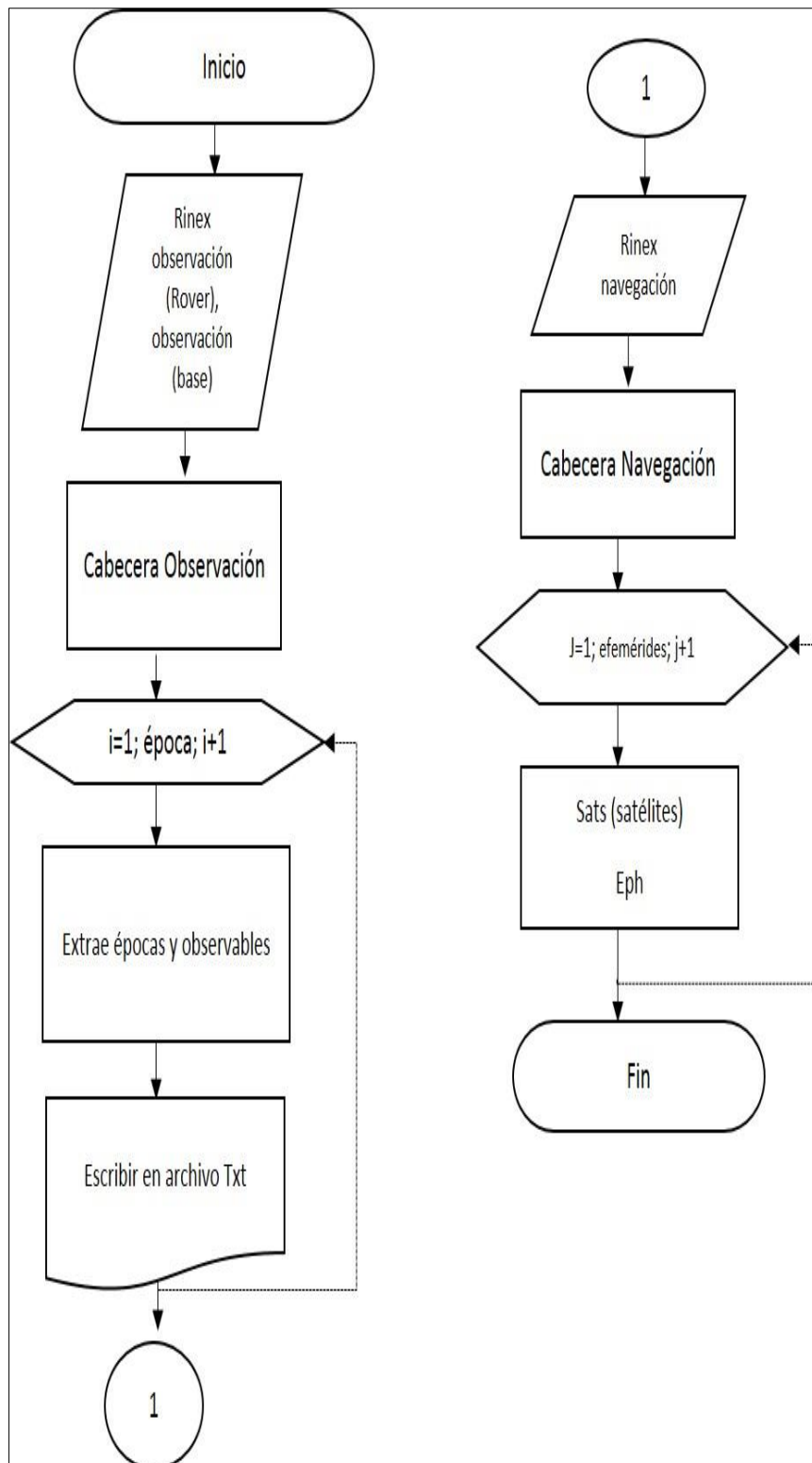


Figura 17-2. Diagrama de flujo de lectura de archivo RINEX
Realizado por: Franklin López, Ángel Ortega (2017).

```

2.11      OBSERVATION DATA  G (GPS)      RINEX VERSION / TYPE
RTKCONV 2.4.2                20170211 225931 UTC PGM / RUN BY / DATE
log: C:\datos gps\log ubx\log_08-02-17-parq-Maldnd-9-10 COMMENT
format: u-blox                format: u-blox COMMENT
                                MARKER NAME
                                MARKER NUMBER
                                OBSERVER / AGENCY
                                REC # / TYPE / VERS
                                ANT # / TYPE
                                APPROX POSITION XYZ
                                ANTENNA: DELTA H/E/N
                                WAVELENGTH FACT L1/2
                                # / TYPES OF OBSERV
                                TIME OF FIRST OBS
                                TIME OF LAST OBS
                                END OF HEADER

1255401.4039 -6253480.2381 -185002.6781
0.0000      0.0000      0.0000

1 1
4 C1 L1 D1 S1
2017 2 8 14 10 45.0000000 GPS
2017 2 8 14 21 53.9990000 GPS

17 2 8 14 10 45.0000000 0 4632G21G29G24G14G25G12G20G15
23008472.279 -8263038.331 3421.778 34.000
21928084.068 -4221952.6153 6000.729 32.000
21613175.397 -2009494.4763 1177.583 8.000
21256559.345 -133509.0653 1232.084 30.000
24033895.568 -2284818.1433 4326.117 26.000
23341227.428 -1300019.2573 4247.515 22.000
23540240.774 -2732532.4483 3586.266 28.000
22922588.659 -2623250.4043 3610.581 30.000
24579405.411 -748804.541 608.986 40.000

```

Etiquetas de Cabecera Observ.

N° Satélites

Tiempo de primera época

Figura 18-2. Archivo Rinex Observación

Fuente: Archivo Rinex, 2.11, 2017

```

2.11      N: GPS NAV DATA      RINEX VERSION / TYPE
RTKCONV 2.4.2                20170220 161556 UTC PGM / RUN BY / DATE
log: C:\datos gps\log ubx\log_19-02-17-Yaruquies-11-44 COMMENT
format: u-blox                format: u-blox COMMENT
                                ION ALPHA
                                ION BETA
                                DELTA-UTC: A0,A1,T,W
                                LEAP SECONDS
                                END OF HEADER

18 17 2 19 18 0 0.0 .599852763116E-03 .238742359215E-11 .000000000000E+00
.650000000000E+02 -.406250000000E+01 .570309469964E-08 -.538767652715E+00
-.800937414169E-07 .176271976670E-01 .705383718014E-05 .515373901176E+04
.648000000000E+05 -.186264514923E-06 .238678275257E+00 .167638063431E-06
.925750971575E+00 .230343750000E+03 -.183085352740E+01 -.888644158453E-08
.158578033983E-09 .100000000000E+01 .193700000000E+04 .000000000000E+00
.240000000000E+01 .000000000000E+00 -.111758708954E-07 .650000000000E+02
.602460000000E+05 .400000000000E+01

31 17 2 19 18 0 0.0 .218083616346E-03 -.227373675443E-11 .000000000000E+00
.230000000000E+02 .630000000000E+02 .439482591928E-08 .128265365332E+01
.347197055817E-05 .854502641596E-02 .701285898685E-05 .515365313721E+04
.648000000000E+05 .109896063805E-06 .240752616875E+01 .141561031342E-06
.968119639257E+00 .243625000000E+03 -.282279783503E+00 -.797426073140E-08
-.169649923743E-09 .100000000000E+01 .193700000000E+04 .000000000000E+00
.240000000000E+01 .000000000000E+00 -.135041773319E-07 .230000000000E+02
.602460000000E+05 .400000000000E+01

```

Etiquetas de Cabecera NAV.

Grupo1

Grupo2

Figura 19-2. Archivo RINEX Navegación.

Fuente: Archivo RINEX, 2.11, 2017

2.4.1.2 Algoritmos de Diferencial de GPS

a. Inicialización de variables

De los ficheros de texto Masterobs y Roverobs se extrae la siguiente información: los satélites, las épocas, los pseudo-rangos, (datos necesarios para determinar la posición) y se almacena en variables relacionadas para operarlas.

```
[satGr, sowGr, C1Gr] = ext_datos( ifiler );
```

satGr y satGm contienen los satélites visibles para el Rover y Estación de Referencia respectivamente, sowGr y sowGm almacenan los valores de las épocas, en C1Gr y C1Gm se encuentra los pseudo-rangos. En este instante todos los datos necesarios se encuentran en matrices y vectores en Matlab y operar con ellos resulta sencillo.

La condición necesaria para aplicar la técnica diferencial de GPS es tener a la vista los mismos satélites en cada una de las épocas comunes. Por lo cual se verifica el número de épocas comunes guardándolas en un vector (sowComun).

b. Procesamiento de datos en Diferencial Simple

En la **Figura 19-2** se presenta el algoritmo general utilizado para el cálculo de la posición del receptor aplicando las correcciones diferenciales al pseudo-rango en configuración simple que consiste en estimar la posición del receptor rover a partir del receptor con la posición fija considerada como Estación de Referencia del que se conoce con precisión su ubicación en coordenadas ECEF $X=1255116.4574$, $Y=-6253531.7529$, $Z=-184844.6776$.

En la sección **1.4.1.4** (p. 33) se estudian los modelos matemáticos deduciendo las ecuaciones para posicionamiento relativo y diferencial en configuración simple y doble aplicando la corrección en pseudo-rangos. Una vez extraída la información necesaria (épocas, satélites, pseudo-rangos) y almacenada en vectores se realiza la diferencia simple de pseudo-rangos C1 según la **Ecuación. (1. 19)** . Con este proceso se logra eliminar los errores que son comunes en ambos receptores siendo estos el error del reloj del satélite y los errores orbitales así también cualquier error atmosférico será reducido significativamente, el bloque de “Calcular Diferencial Simple” se desarrolla en el siguiente apartado. El algoritmo inicia a ejecutarse sólo si existen épocas comunes en la Estación de Referencia y el Rover, como se ve en la **Figura 20-2**.

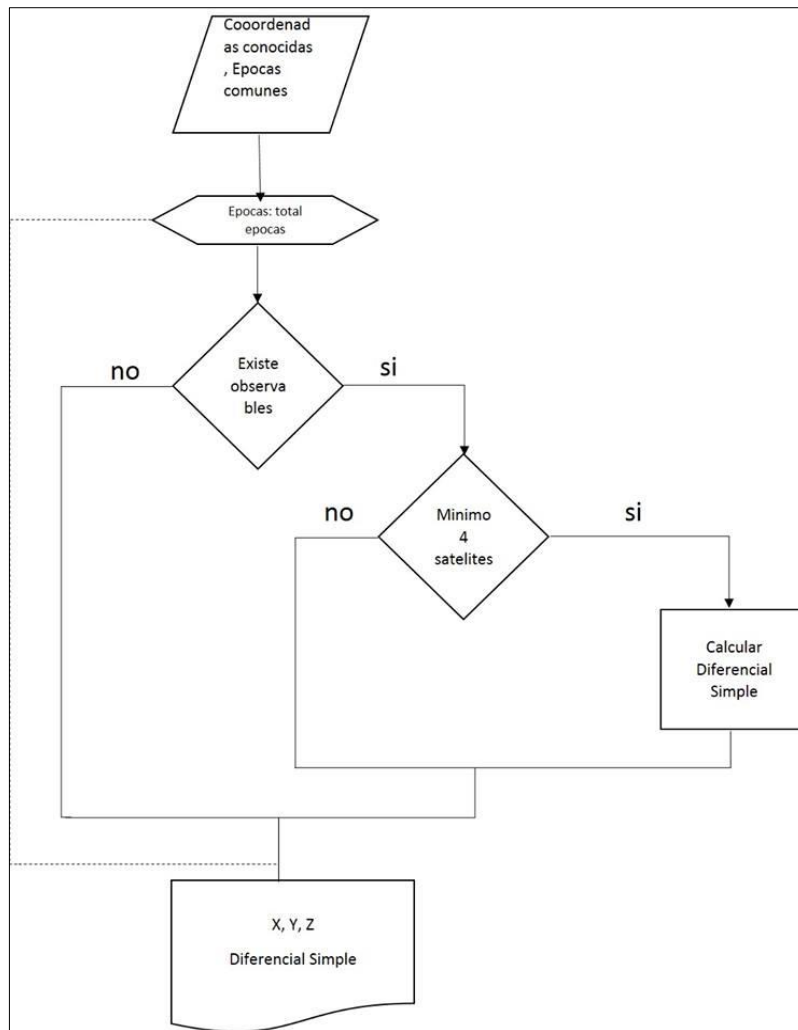


Figura 20-2. Diagrama de Flujo para calcular la posición por Diferencial Simple
Realizado por: Franklin López, Ángel Ortega (2017).

```

Procesando...
Iniciando en epoca comun:  223652  223652

Eliminando datos del PRN en Rover
Eliminando datos del PRN en Rover
Eliminando datos del PRN en Rover
Eliminando datos del PRN en Rover
Eliminando datos del PRN en Rover
  
```

Figura 21-2. Épocas comunes en los RINEX
Realizado por: Franklin López, Ángel Ortega (2017).

Una vez corregida los pseudo-rangos mediante la diferenciación simple se procede a calcular la posición del receptor aplicando el método de mínimos cuadrados debido a que se tiene un sistema de ecuaciones lineales sobredimensionadas, ya que, el número de satélites utilizados es mayor a cuatro. Cabe recalcar que lo que se estima son las diferencias (Δx , Δy , Δz) entre la posición verdadera y la aproximada donde se ha linealizado, por lo tanto, se realiza la iteración sucesiva con las correcciones para una misma época hasta lograr un error mínimo. Como muestra la **Figura 22-2**.

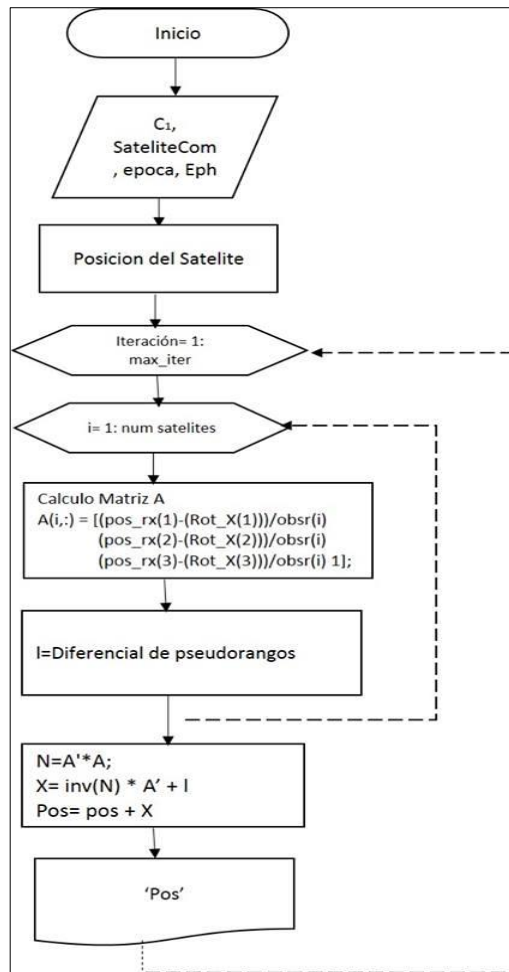


Figura 22-2. Diagrama de flujo – Diferencial Simple de Pseudo-rangos
 Realizado por: Franklin López, Ángel Ortega (2017).

2.4.2 Diferencial de GPS en Configuración Doble

Aplicando el diferencial de GPS en configuración simple entre receptores se eliminan los errores comunes del satélite como son: el reloj, efemérides, propagación atmosférica. De igual forma, las diferencias simples entre satélites eliminan los errores comunes del receptor. De tal forma que, al combinar estas dos diferencias en configuración simple, se obtiene el diferencial de GPS en configuración doble logrando cancelar el offset del reloj del receptor. Como muestra la **Figura 23-2.**

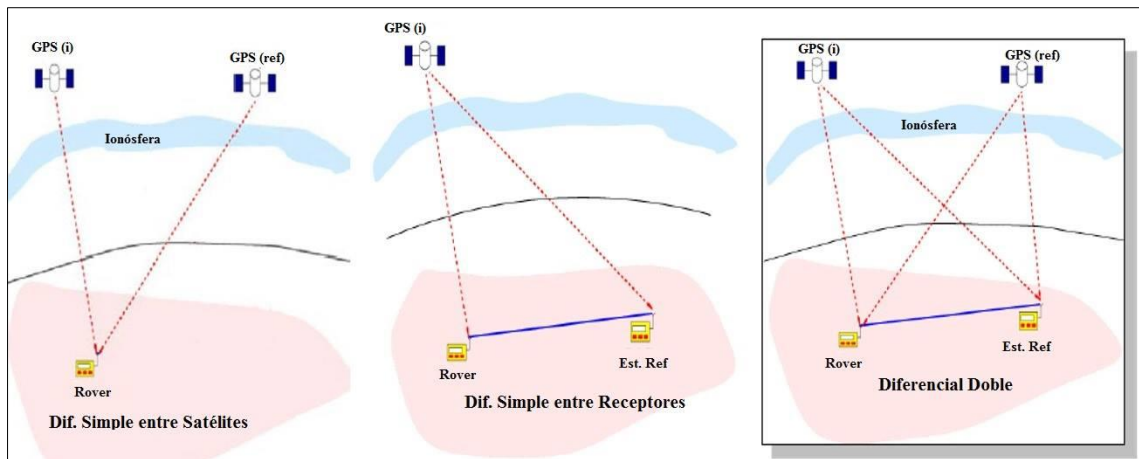


Figura 23-2. Diagrama del diferencial doble
 Realizado por: Franklin López, Ángel Ortega (2017).

Para aplicar la corrección del diferencial doble, antes, se debe seleccionar un satélite de referencia en cada época, siendo este el que contenga mayor ángulo de elevación. Su algoritmo se muestra en la **Figura 24-2**.

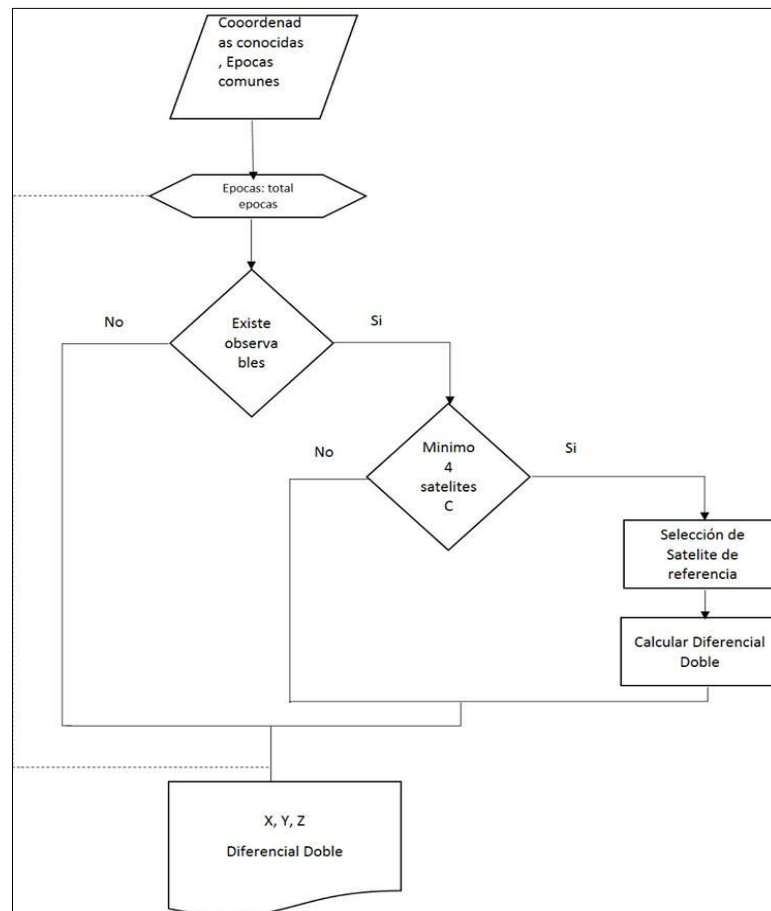


Figura 24-2. Diagrama de flujo para calcular la posición por Diferencial Doble
 Realizado por: Franklin López, Ángel Ortega (2017).

Para desarrollar el diferencial doble se tiene presente el receptor rover, la estación de referencia y dos satélites (*i* y *ref*) respectivamente, la diferencia doble se obtiene restando a la diferencia de pseudo-rango expuesta en la **Ecuación. (1. 19)** para el satélite *i*, otra expresión similar para un satélite *ref* denotada en la **Ecuación. (1. 20)**. La expresión matemática de este proceso se ve en la **Ecuación. (1. 21)** . Cabe resaltar que los errores debidos al ruido y al multipath, se mantienen debido a que estos no se pueden eliminar porque no están correlacionados.

En el párrafo anterior se describe el proceso del diferencial doble para una sola época, el algoritmo mostrado en la **Figura 25-2** realiza el proceso para todas las épocas.

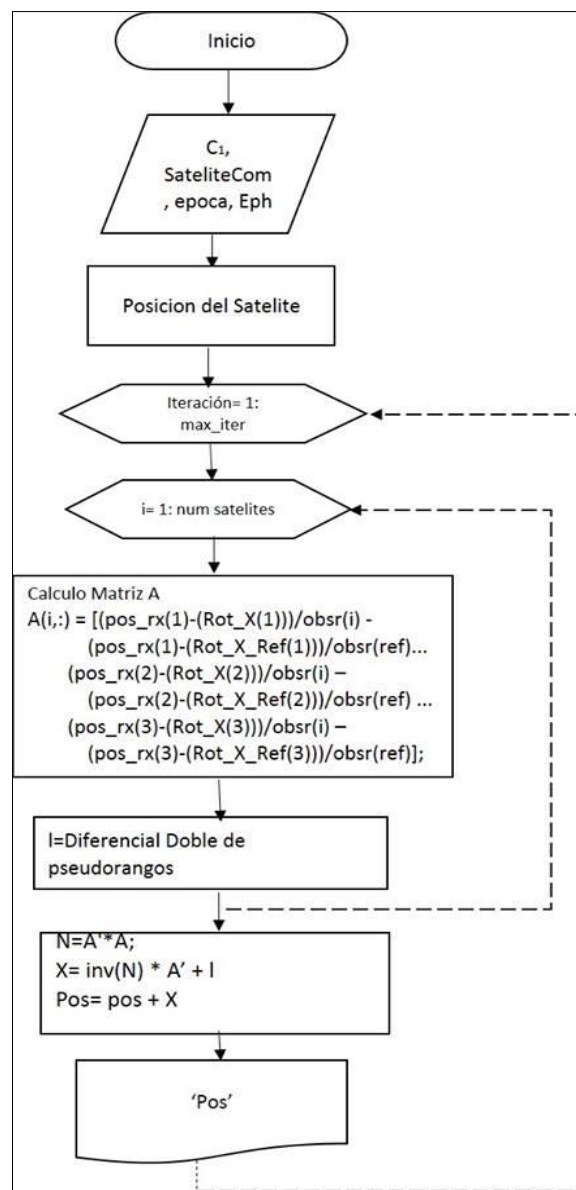


Figura 25-2. Diagrama de flujo – Diferencial Doble de Pseudo-rangos
 Realizado por: Franklin López, Ángel Ortega (2017).

2.4.3 Diseño de la Interfaz Gráfica de Usuario – GUI

Se desarrolla una aplicación en GUI de Matlab, denominada DGPS-LAB, el cual facilita al usuario ingresar los ficheros de observación y navegación por medio de componentes gráficos con el fin de que el usuario pueda utilizar la aplicación de una manera intuitiva. Los resultados se presentan en dos campos como son los gráficos y una tabla la cual contiene los errores de cada una de las técnicas diferenciales para así poder comparar los resultados obtenidos. Mayor detalle del uso de la aplicación se encuentra en el ANEXO C. La **Figura 26-2** muestra la aplicación desarrollada.

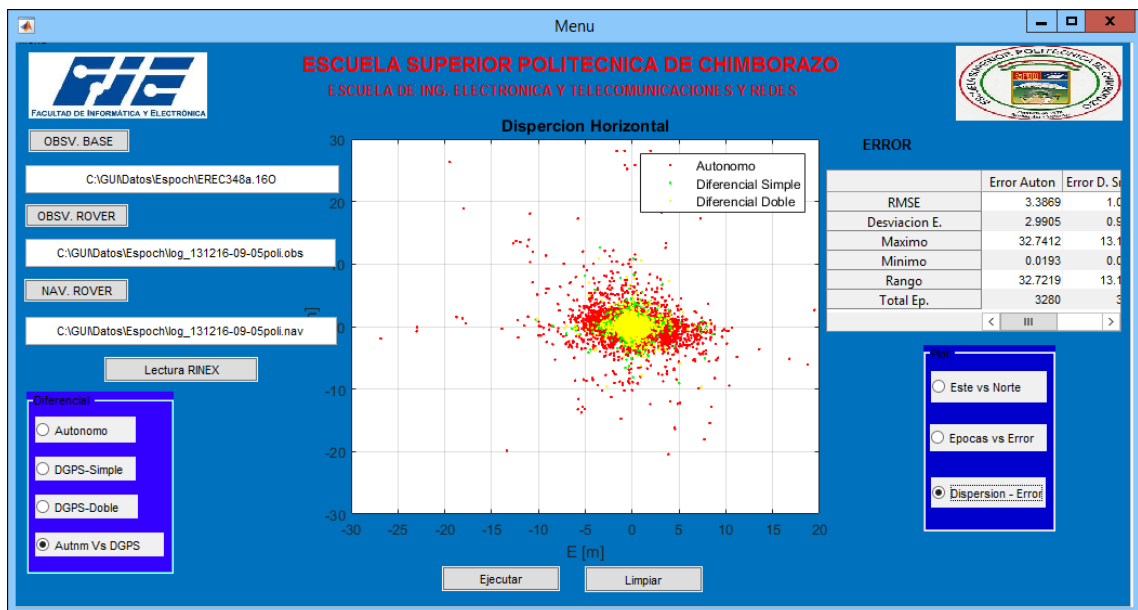


Figura 26-2 Pantalla principal DGPS-LAB.
Realizado por: Franklin López, Ángel Ortega (2017).

CAPÍTULO III

3. MARCO DE RESULTADOS

Este capítulo presenta los resultados obtenidos de los algoritmos implementados del posicionamiento diferencial con configuración simple y doble, desarrollados en el capítulo anterior. Se analiza la efectividad de dichos algoritmos, para lo cual se tomaron los mejores datos del receptor Rover en cuatro puntos de la ciudad de Riobamba, como muestra la **FIGURA 1-3**, tomando en cuenta la distancia hacia la Estación de Referencia EREC que corresponde a la red geodésica REGME, ubicado en el centro de la ciudad. Todos los parámetros se detallan en la sección 2.3 (pg.50).

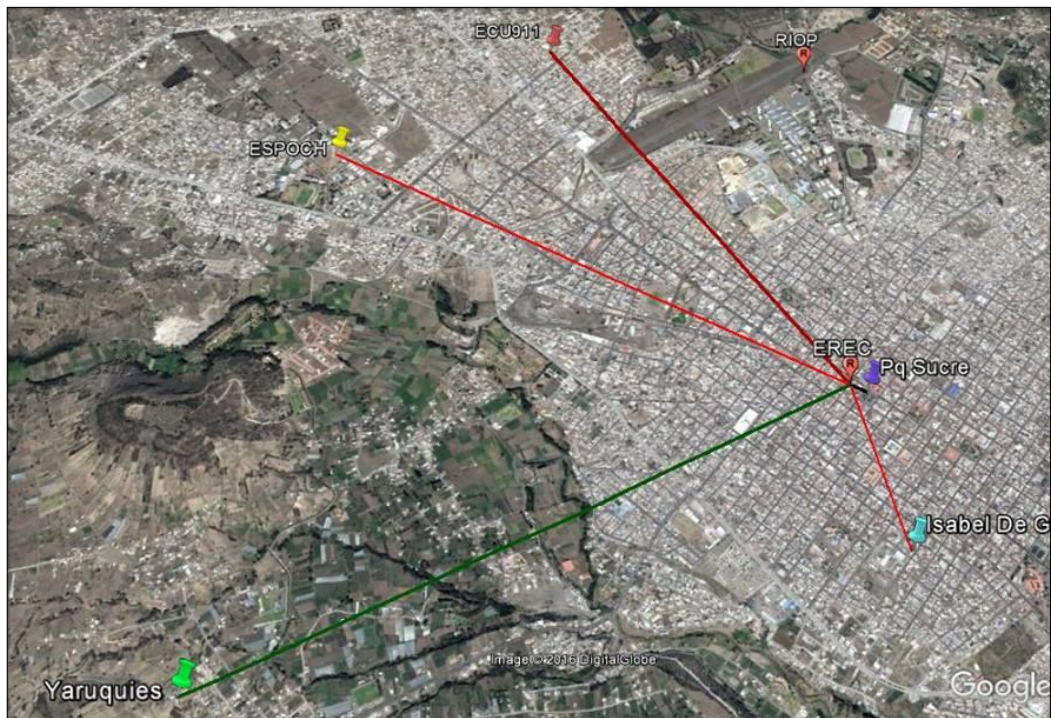


Figura 1-3. Puntos de recolección de datos en Riobamba
Fuente: google EARTH, (2017)

Tabla 1-3. Puntos con mejores condiciones.

| Punto | Lugar |
|-------|-----------------------------|
| 1 | SECTOR COL. ISABEL DE GODIN |
| 2 | ECU911 |
| 3 | ESPOCH |
| 4 | YARUQUIES |

Realizado por: Franklin Lopez, Ángel Ortega (2017).

3.1 Evaluación de las Técnicas de Posicionamiento

Generalmente, cuando se evalúa si una técnica de posicionamiento es efectiva, primero se observa su precisión de posicionamiento. Cuanto mayor sea la precisión, más eficaz será la técnica. Para evaluar el algoritmo desarrollado se utilizó la técnica propuestas por (Eddi C.L. Chan & George, 2012 pág. 58). Se trata de error cuadrático medio (MSE).

2.4.4 Error cuadrático Medio

El error cuadrático medio (MSE) se utiliza generalmente para evaluar el rendimiento de un algoritmo de posicionamiento. Considerando que se estima una posición en n veces, de modo que se tiene una población de coordenadas calculadas, $(x_1, y_1), \dots, (x_n, y_n)$. La media de las coordenadas calculadas es por: (Eddi C.L. Chan & George, 2012 pág. 58).

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{k=0}^n x_k \qquad \bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{k=0}^n y_k$$

Donde (x, y) es la coordenada estimada de una posición. La ecuación de error cuadrático medio de la posición estimada está definida por: (Eddi C.L. Chan & George, 2012 pág. 58).

$$MSE = (\bar{x} - x)^2 + (\bar{y} - y)^2$$

El resultado de la ecuación anterior es una expresión cuadrada de error, para una mejor interpretación del error existe el RMSE que es una raíz cuadrada de la MSE: (Eddi C.L. Chan & George, 2012 pág. 58).

$$RMSE = \sqrt{(\bar{x} - x)^2 + (\bar{y} - y)^2}$$

3.3 Análisis de errores de posicionamiento

El análisis de resultados de los errores se realizó en coordenadas UTM, puesto que, en contraposición del sistema de coordenadas geográficas, expresadas en longitud y latitud, las magnitudes en el sistema UTM se expresan en metros, esto es conveniente para nuestro proyecto porque lo que se desea determinar es el error de posicionamiento en metros.

2.4.5 Punto uno – Sector Colegio Isabel de Godín

Para esta prueba se recolectó los datos en la ciudad de Riobamba en las calles Boyacá y Alvarado a una altura aproximada del suelo de 9 metros y a una distancia de 0.94 Km desde la Estación de Referencia EREC, se utilizó el método estático.

3.4.1.1 Corrección en Configuración Simple

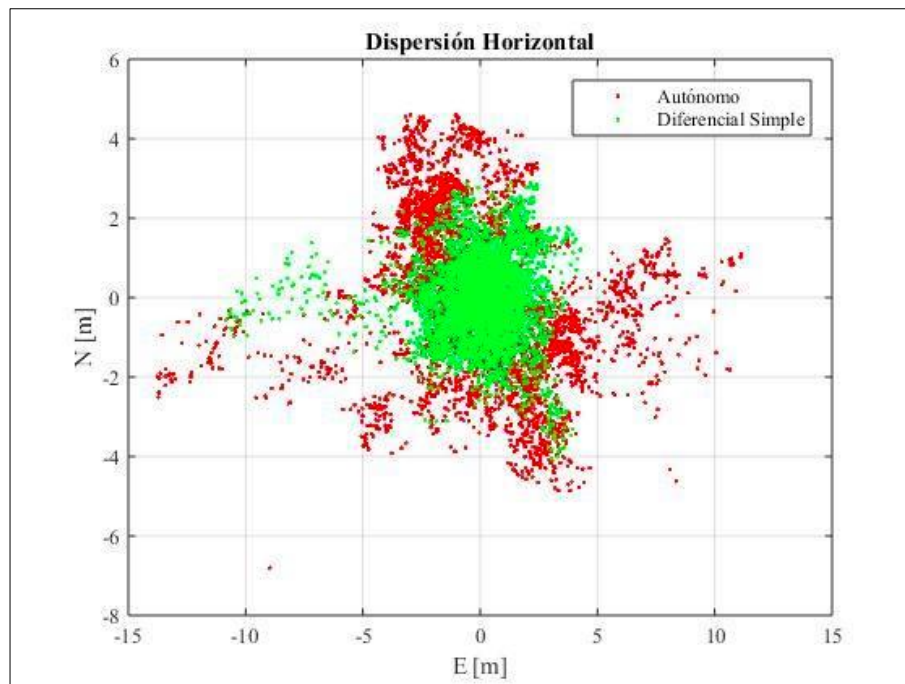


Figura 2-3. Dispersión Horizontal. Autónomo vs Diferencial Simple
Realizado por: Franklin López, Ángel Ortega (2017).

3.4.1.2 Corrección en Configuración Doble

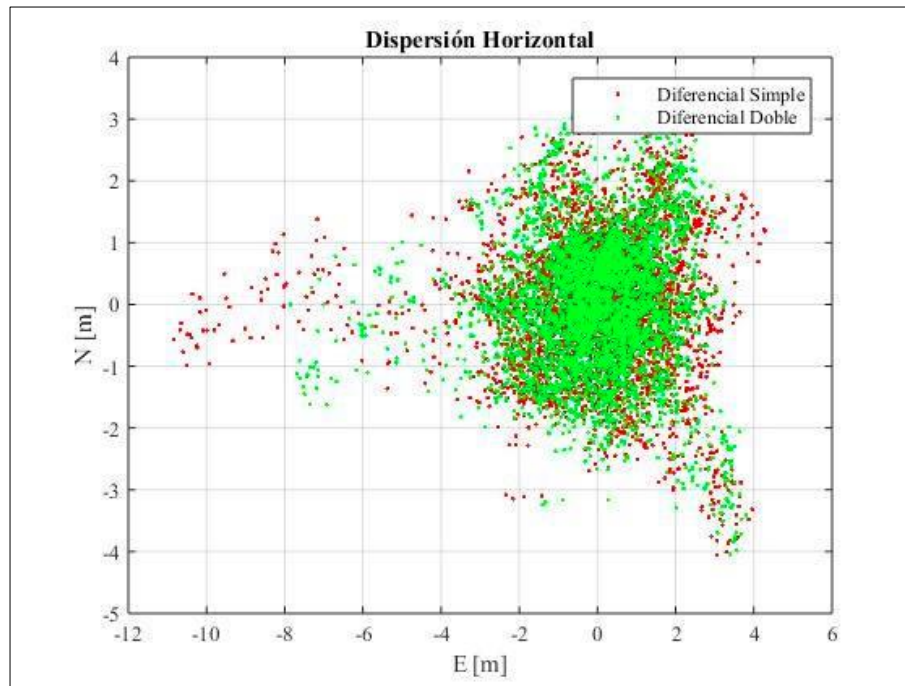


Figura 3-3. Dispersión Horizontal. Diferencial Simple vs Diferencial Doble
Realizado por: Franklin López, Ángel Ortega (2017).

3.4.1.3 Comparativa del diferencial en configuración simple y doble en el punto dos

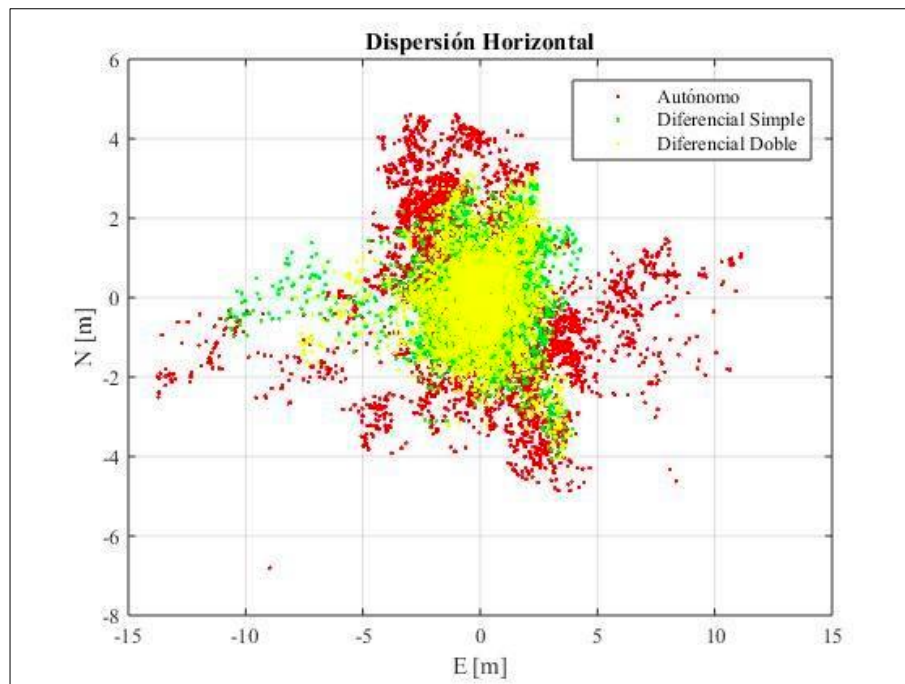


Figura 4-3. Dispersión Horizontal. Autónomo vs Diferencial Simple y Doble
Realizado por: Franklin López, Ángel Ortega (2017).

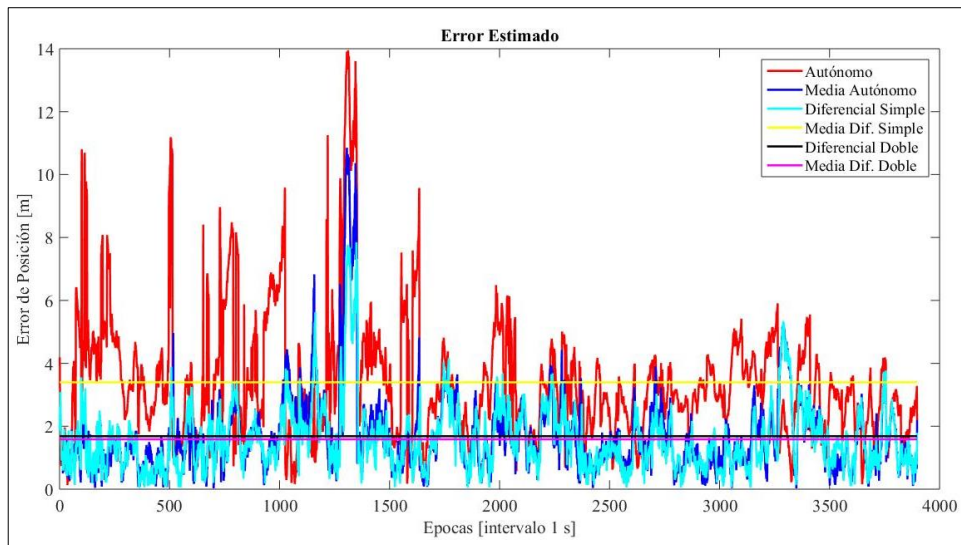


Figura 5-3. Error vs épocas en autónomo, diferencial simple y doble
Realizado por: Franklin López, Ángel Ortega (2017).

En la **Figura 4-3** se muestra el total de puntos sin corregir (color rojo) y posteriormente con correcciones diferencial simple (color verde), diferencial doble (color amarillo) de tal manera que se visualiza el margen de corrección que existen entre cada una de ellos. El resultado de la mejora del error entre el punto real y el primer diferencial es de 1.7135 metros que representa el 50.42% y con el segundo diferencial es de 1.8138 metros siendo éste el 53.37% reduciéndose más de la mitad el error, la corrección entre el diferencial simple y el doble fue de 0.1 metros. La **Tabla 2-3** exhibe los resultados de los errores. En este punto el error máximo es de 13.94 m como muestra la **Figura 5-3**.

Tabla 2-3. Errores de posicionamiento en el punto dos

| | Autónomo | Diferencial Simple | Diferencial Doble |
|---------------------|-----------------|---------------------------|--------------------------|
| Error (RMSE) | 3.3985 | 1.6850 | 1.5847 |
| Desviación Estándar | 1.9744 | 1.2948 | 1.0551 |
| Máximo | 13.9458 | 10.8514 | 7.8488 |
| Mínimo | 0.1252 | 0.0263 | 0.0395 |
| Rango | 13.8206 | 10.8251 | 7.8092 |
| Total de épocas | 3898 | 3898 | 3898 |

Realizado por: Franklin López, Ángel Ortega (2017).

2.4.6 Punto dos – Sector ECU-911

Los datos tomados en este punto, se lo realizó en el sector del ECU-911, a una altura del suelo de 8 metros en las calles Ricardo Descalzi y Alejandro a una distancia aproximada de 2.92 Km desde la Estación de Referencia EREC, se utilizo el método estático.

3.4.1.4 Corrección en Configuración Simple

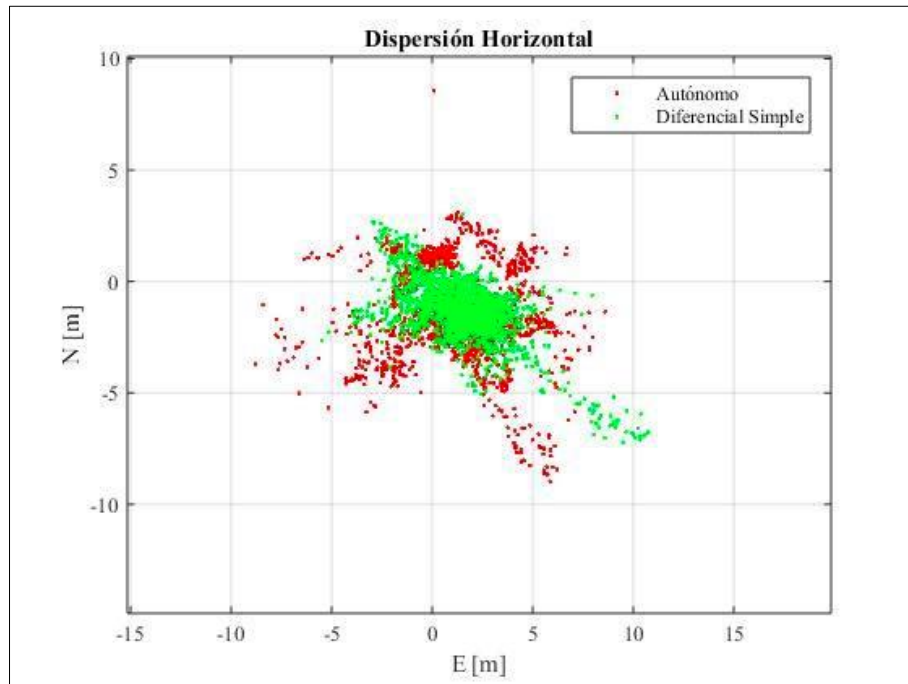


Figura 6-3. Dispersión Horizontal. Autónomo vs Diferencial Simple
Realizado por: Franklin López, Ángel Ortega (2017).

3.4.1.5 Corrección en Configuración Doble

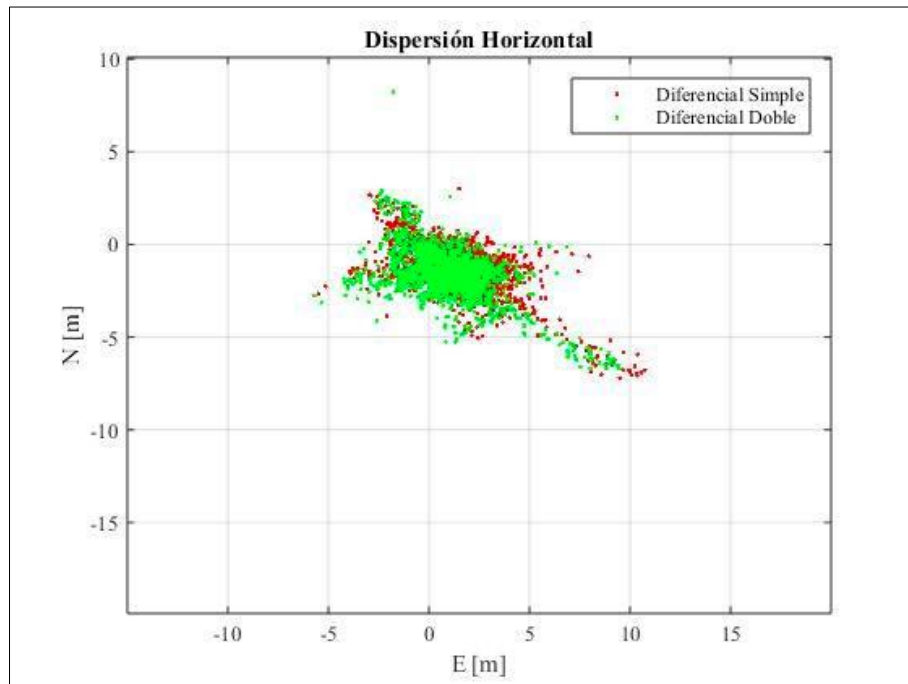


Figura 7-3. Dispersión Horizontal. Diferencial Simple vs Diferencial Doble
Realizado por: Franklin López, Ángel Ortega (2017).

3.4.1.6 Comparativa del diferencial en configuración simple y doble en el punto tres

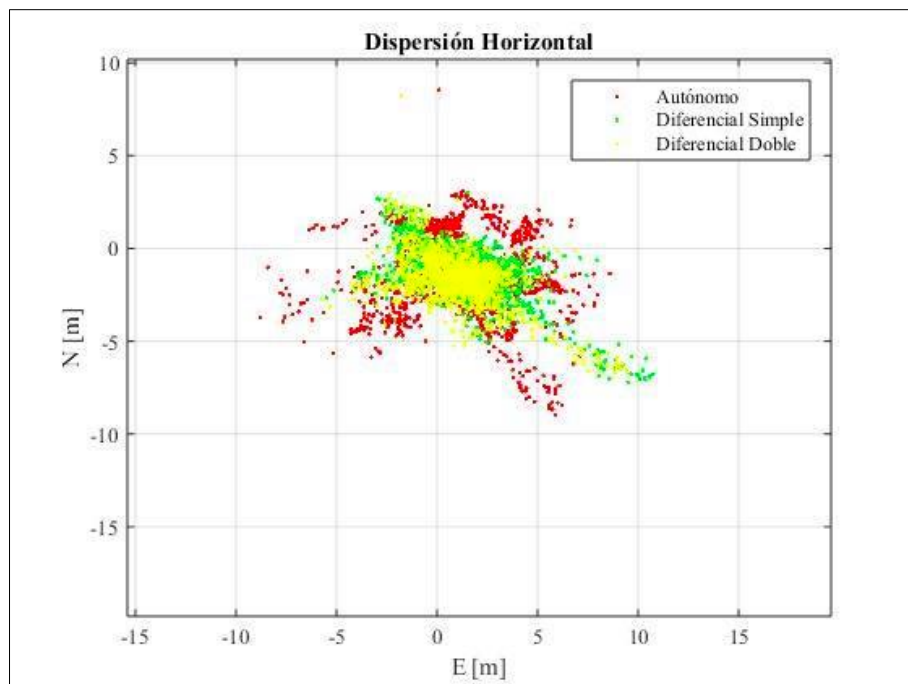


Figura 8-3. Dispersión Horizontal. Autónomo vs Diferencial Simple y Doble
Realizado por: Franklin López, Ángel Ortega (2017).

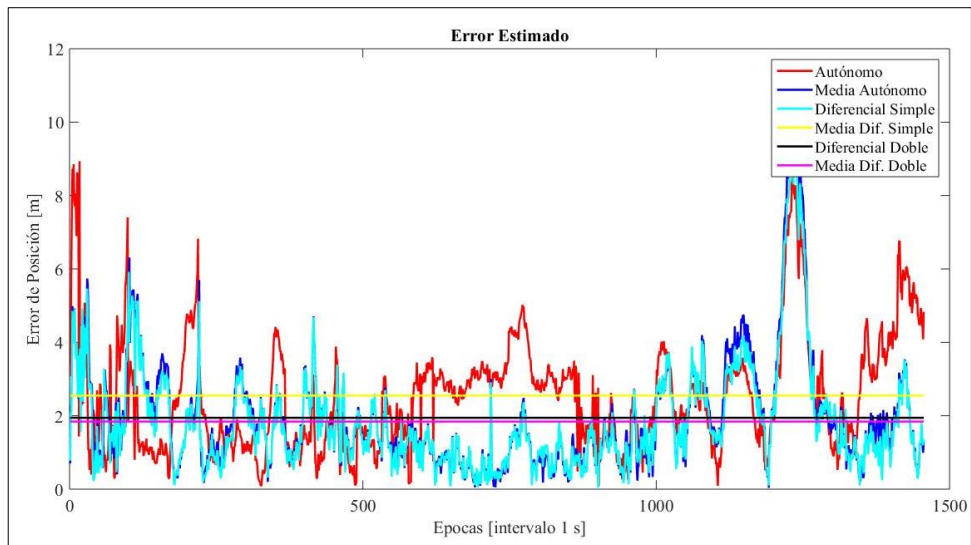


Figura 9-3. Error vs épocas en autónomo, diferencial simple y doble
Realizado por: Franklin López, Ángel Ortega (2017).

En este punto se tomaron 2580 épocas que representa la dispersión total de los puntos durante 43 minutos luego del procesamiento se obtiene un total de 1456 épocas esto se debe a la eliminación de algunas épocas que no cumplen con el mínimo de 4 satélites visibles, como se aprecia en la **Figura 8-3**. Aplicando el algoritmo DGPS en el posicionamiento autónomo, se alcanzó la disminución del error en configuración simple de 0.6062 metros que se interpreta como el 23,73% mientras que en la configuración doble es del 0.7077 metros que es el 27,75% con respecto a la media, la corrección entre la configuración simple y doble fue de 0.1015 metros. La **Tabla 3-3** muestra los resultados de los errores. El punto más lejano sin aplicar la corrección se encuentra a 8.93 metros como se ve en la **Figura 9-3**.

Tabla 3-3. Errores de posicionamiento en el punto tres

| | AutónoMo | Diferencial Simple | Diferencial Doble |
|---------------------|-----------------|---------------------------|--------------------------|
| Error (RMSE) | 2.5499 | 1.9437 | 1.8422 |
| Desviación Estándar | 1.5681 | 1.5723 | 1.4449 |
| Máximo | 8.9366 | 10.4105 | 9.3071 |
| Mínimo | 0.0858 | 0.0374 | 0.0381 |
| Rango | 8.8509 | 10.3730 | 9.2690 |
| Total de épocas | 1456 | 1456 | 1456 |

Realizado por: Franklin López, Ángel Ortega (2017).

2.4.7 Punto tres – ESPOCH

Se tomaron los datos en el sector de la ESPOCH, específicamente en el parque del estudiante, al nivel del suelo y alrededor de 3.44 Km desde la Estación de Referencia EREC, utilizando el método estático.

3.4.1.7 Corrección en Configuración Simple

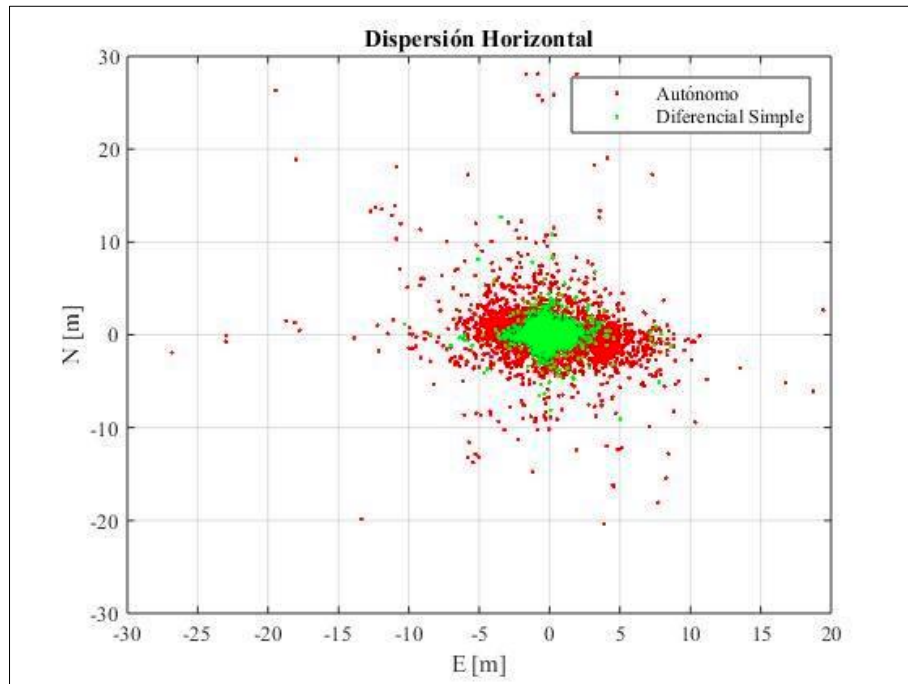


Figura 10-3. Dispersión Horizontal. Autónomo vs Diferencial Simple
Realizado por: Franklin López, Ángel Ortega (2017).

3.4.1.8 Corrección en Configuración Doble

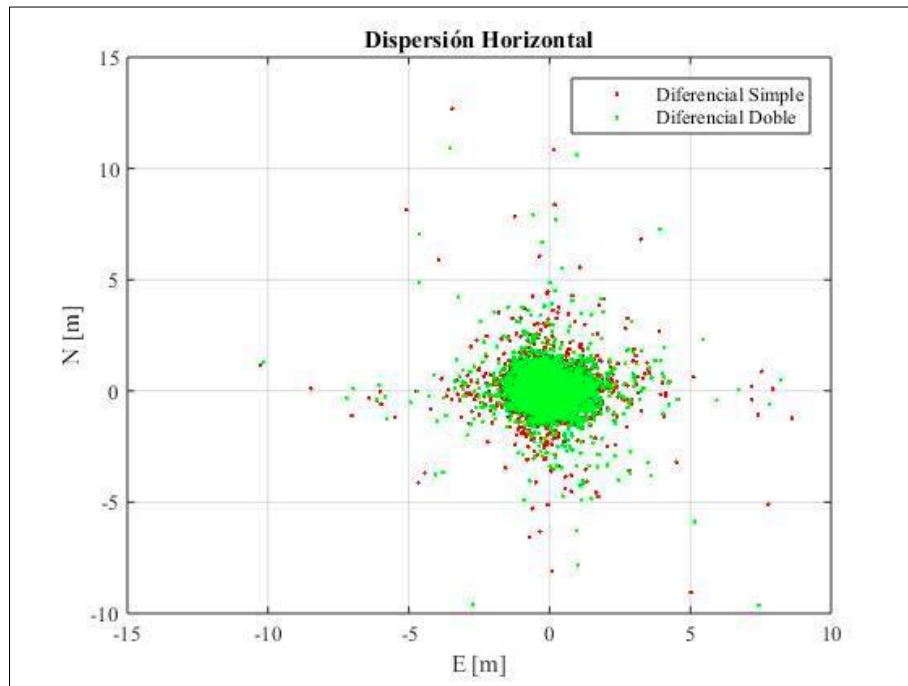


Figura 11-3. Dispersión Horizontal. Diferencial Simple vs Diferencial Doble
Realizado por: Franklin López, Ángel Ortega (2017).

3.4.1.9 Comparativa del diferencial en configuración simple y doble en el punto cuatro

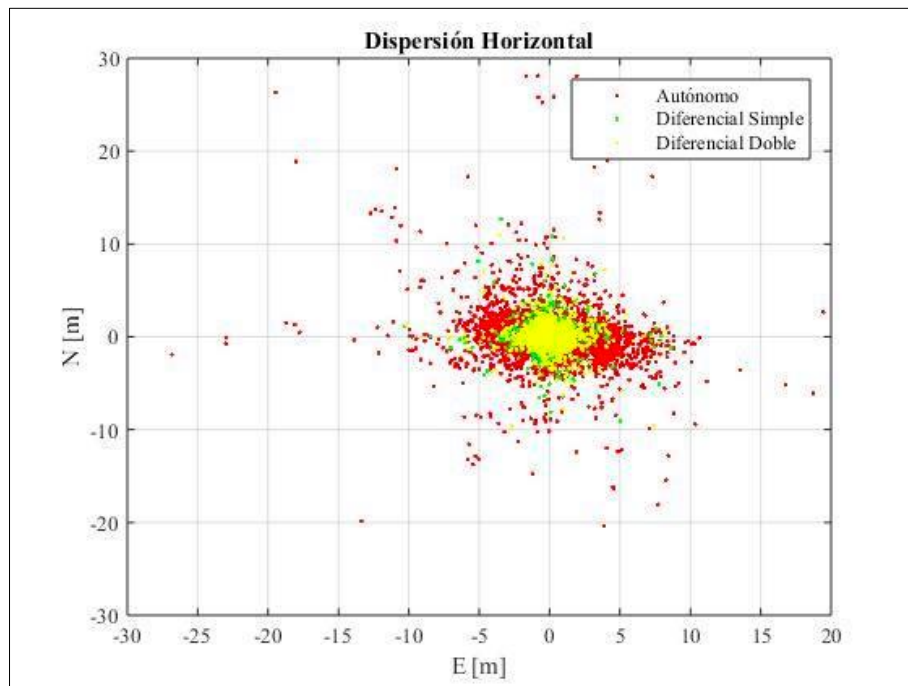


Figura 12-3. Dispersión Horizontal. Autónomo vs Diferencial Simple y Doble
Realizado por: Franklin López, Ángel Ortega (2017).

Las épocas totales en este punto fueron de 3280 que representa la dispersión total durante 55 minutos, como se ve en la **Figura 12-3** Aplicando el algoritmo DGPS en el posicionamiento autónomo, se logró una reducción en el error en configuración simple de 2.3552 metros representando el 69,54% y en configuración doble fue de 2.3706 metros que equivale al 69.99% con respecto a la media, la mejora que se obtuvo entre ambas técnicas fue de 0.0154 metros, en este punto se redujo a más de la mitad el error. La **Tabla 4-3** muestra los resultados de los errores.

Tabla 4-3. Errores de posicionamiento en el punto cuatro

| | Autónomo | Diferencial Simple | Diferencial Doble |
|---------------------|-----------------|---------------------------|--------------------------|
| Error (RMSE) | 3.3869 | 1.0317 | 1.0163 |
| Desviación Estándar | 2.9905 | 0.9770 | 0.9614 |
| Máximo | 32.7412 | 13.1476 | 12.1553 |
| Mínimo | 0.0193 | 0.0102 | 0.0166 |
| Rango | 32.7219 | 13.1374 | 12.1388 |
| Total de épocas | 3280 | 3280 | 3280 |

Realizado por: Franklin López, Ángel Ortega (2017).

2.4.8 Punto cuatro – Yaruquies

Los datos adquiridos en este punto se lo realizo en la parroquia de Yaruquies en las calles vía a cacha y 12 de julio, a una altura del suelo de 5 metros y alrededor de 3.72 Km desde la Estación de Referencia EREC, utilizando el método estático

3.4.1.10 Corrección en Configuración Simple

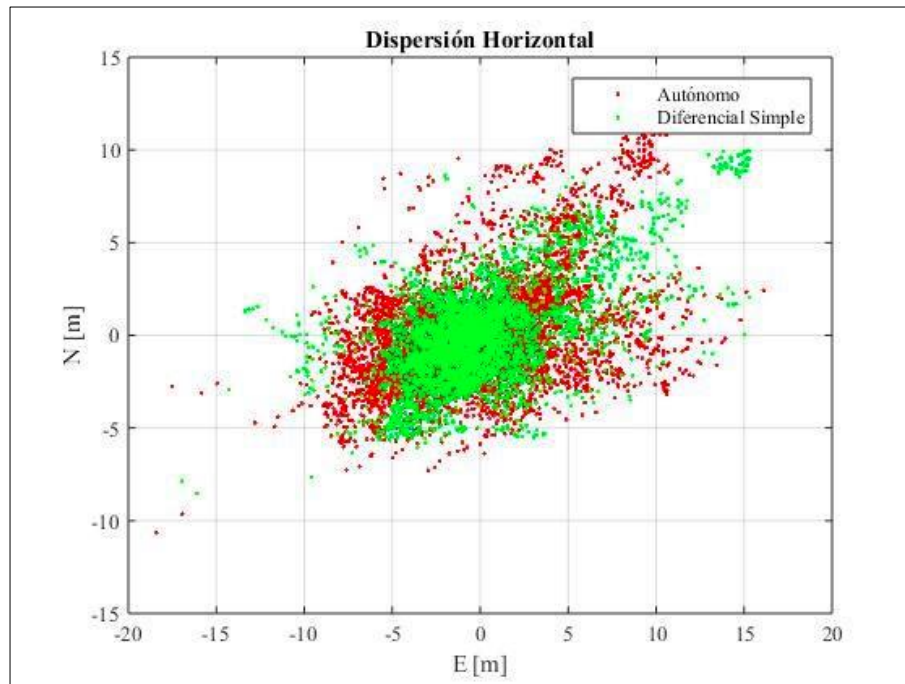


Figura 13-3. Dispersión Horizontal. Autónomo vs Diferencial Simple
Realizado por: Franklin López, Ángel Ortega (2017).

3.4.1.11 Corrección en Configuración Doble

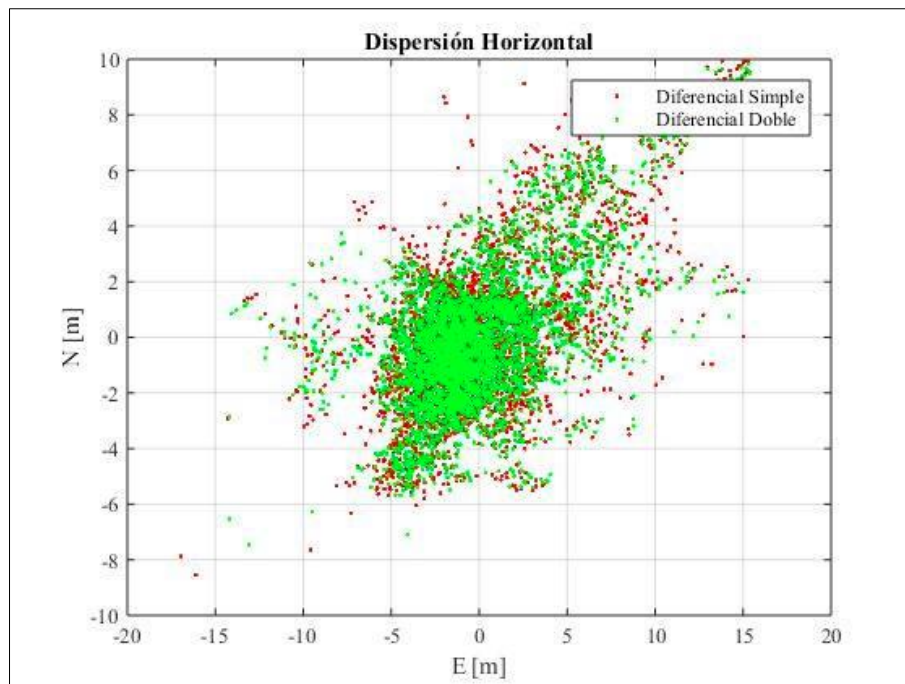


Figura 14-3. Dispersión Horizontal. Diferencial Simple vs Diferencial Doble
Realizado por: Franklin López, Ángel Ortega (2017).

3.4.1.12 Comparativa del diferencial en configuración simple y doble en el punto cinco

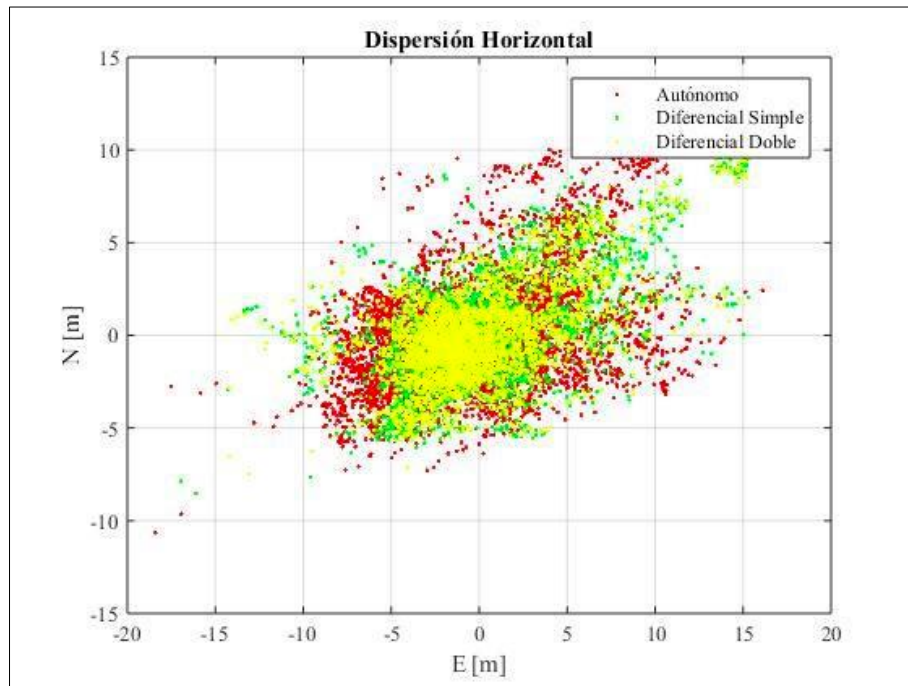


Figura 15-3. Dispersión Horizontal. Autónomo vs Diferencial Simple y Doble
Realizado por: Franklin López, Ángel Ortega (2017).

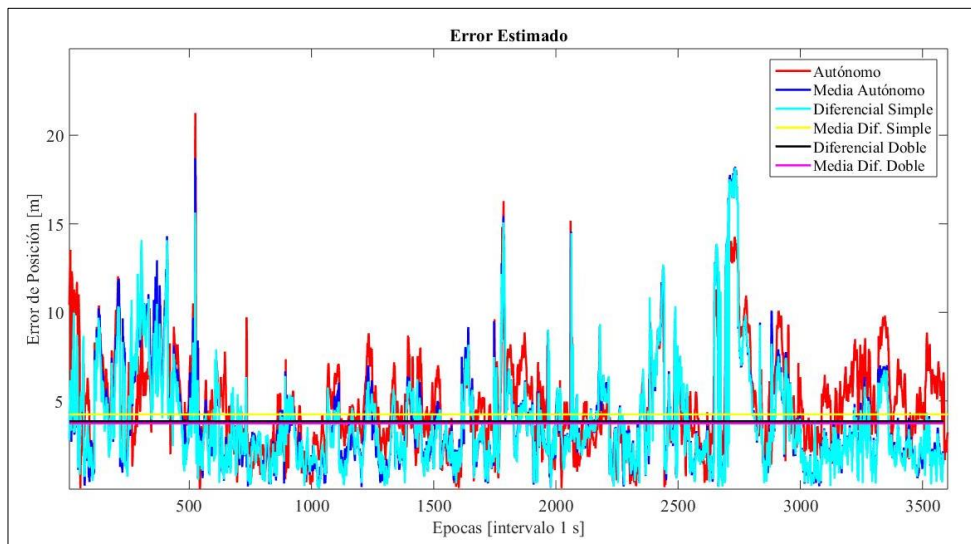


Figura 16-3. Error vs épocas en autónomo, diferencial simple y doble
Realizado por: Franklin López, Ángel Ortega (2017).

En la **Figura 15-3** se exhibe la dispersión de 3700 épocas, aplicando el algoritmo DGPS en el posicionamiento autónomo, muestra una corrección del error en el diferencial simple de 0.3899 metros que simboliza el 9,18% y en el diferencial doble de 0.5052 metros con el 11.89% con respecto a la media, aplicando la configuración doble se logró un mejor resultado siendo este de 0.1153 metros. La **Tabla 5-3** expone los resultados de los errores. La **Figura 16-3** muestra

los errores en cada época donde se observa que el error máximo es de 21.25 metros en la época 500 aproximadamente.

Tabla 5-3. Errores de posicionamiento en el punto cinco.

| | Autónomo | Diferencial Simple | Diferencial Doble |
|---------------------|-----------------|---------------------------|--------------------------|
| Error (RMSE) | 4.2473 | 3.8574 | 3.7421 |
| Desviación Estándar | 2.6839 | 2.9450 | 2.8723 |
| Máximo | 21.2546 | 18.7092 | 18.1696 |
| Mínimo | 0.0512 | 0.1037 | 0.0581 |
| Rango | 21.2034 | 18.6055 | 18.1115 |
| Total, de épocas | 3700 | 3700 | 3700 |

Realizado por: Franklin López, Ángel Ortega (2017).

2.4.9 Resumen comparativo de errores

Tabla 6-3. Resumen de resultados.

| | | Isabel de Godín | | | ECU911 | | | ESPOCH | | | Yaruquíes | |
|---------------------|-----------------|---------------------------|--------------------------|-----------------|---------------------------|--------------------------|-----------------|---------------------------|--------------------------|-----------------|---------------------------|--------------------------|
| | Autónomo | Diferencial Simple | Diferencial Doble | Autónomo | Diferencial Simple | Diferencial Doble | Autónomo | Diferencial Simple | Diferencial Doble | Autónomo | Diferencial Simple | Diferencial Doble |
| Error (RMSE) | 3.3985 | 1.685 | 1.5847 | 2.5499 | 1.9437 | 1.8422 | 3.3869 | 1.0317 | 1.0163 | 4.2473 | 3.8574 | 3.7421 |
| Desviación Estándar | 1.9744 | 1.2948 | 1.0551 | 1.5681 | 1.5723 | 1.4449 | 2.9905 | 0.977 | 0.9614 | 2.6839 | 2.945 | 2.8723 |
| Máximo | 13.9458 | 10.8514 | 7.8488 | 8.9366 | 10.4105 | 9.3071 | 32.7412 | 13.1476 | 12.1553 | 21.2546 | 18.7092 | 18.1696 |
| Mínimo | 0.1252 | 0.0263 | 0.0395 | 0.0858 | 0.0374 | 0.0381 | 0.0193 | 0.0102 | 0.0166 | 0.0512 | 0.1037 | 0.0581 |
| Rango | 13.8206 | 10.8251 | 7.8092 | 8.8509 | 10.373 | 9.269 | 32.7219 | 13.1374 | 12.1388 | 21.2034 | 18.6055 | 18.1115 |
| Total, de épocas | 3898 | 3898 | 3898 | 1456 | 1456 | 1456 | 3280 | 3280 | 3280 | 6098 | 6098 | 6098 |
| Correcciones (m) | | 1.7135 | 1.8138 | | 0.6062 | 0.7077 | | 2.3552 | 2.3706 | | 0.3899 | 0.5052 |
| % Corrección | | 50.42% | 53.37% | | 23.77% | 27.75% | | 69.54% | 69.99% | | 9.18% | 11.89% |
| Distancia | | 0.94 Km | | | 2.92 Km | | | 3.44 Km | | | 3.72 Km | |

Realizado por: Franklin López, Ángel Ortega (2017).

En la **Tabla 7-3** se observa las condiciones en las que los datos fueron capturados en los diferentes puntos, las mismas que intervinieron en los resultados finales. En el sector de la ESPOCH no existió ningún tipo de obstáculos por consiguiente se logró un mejor resultado que en los demás puntos, reduciendo considerablemente el error de 3.3869 metros a 1.0317 metros en configuración simple y a 1.0163 metros en configuración doble, tal como se ve en la **Figura 17-3**

Tabla 7-3. Condiciones externas presentes en la toma de datos brutos

| Puntos | Edificios | Vegetación | Clima adverso |
|-----------------|-----------|------------|---------------|
| Isabel de Godín | X | | X |
| ECU-911 | X | | X |
| ESPOCH | | | |
| YARUQUIES | | X | X |

Realizado por: Franklin López, Ángel Ortega (2017).

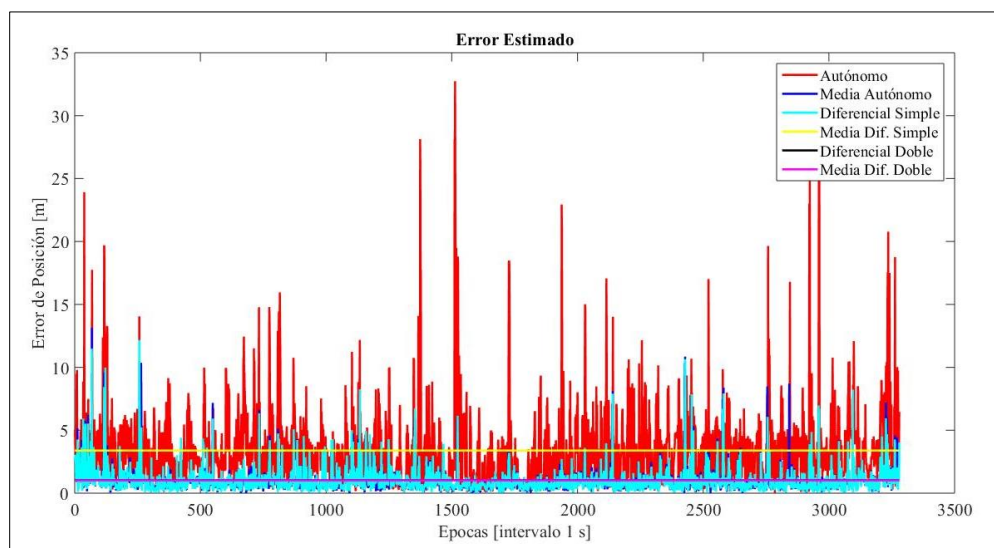


Figura 17-3. Error de posición. Autónomo vs Diferencial Simple y Doble - ESPOCH

Realizado por: Franklin López, Ángel Ortega (2017).

Se realizó una comparación con la técnica de diferencial de GPS por posicionamiento realizado en el trabajo de titulación denominado CORRECCIONES DIFERENCIALES VÍA NTRIP PARA DISPOSITIVO MÓVIL CON APLICACIÓN ANDROID (TIERRA, y otros, 2015) donde los resultados obtenidos dan un error de 1.665 m a una distancia de 2.40 Km desde la estación de referencia mientras que en el presente trabajo se obtuvo un error de 1.03 en configuración simple a una distancia de 3.44 Km, donde se nota la eficiencia del algoritmo implementado.

Además, se realizó una comparación con el error de un receptor de alta precisión calculado mediante el software RTKPOST.

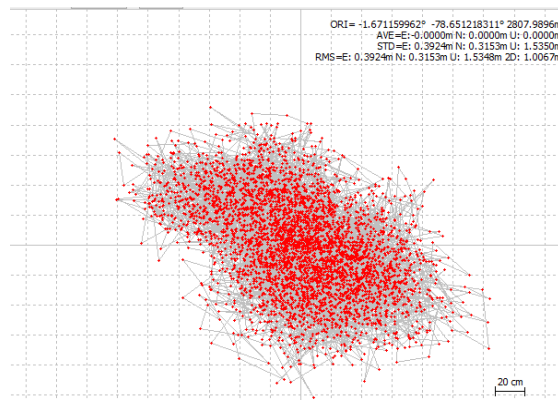


Figura 18-3. Error receptor TRIMBLE NETR9
Realizado por: Franklin López, Ángel Ortega (2017).

Como se observa en la **Figura 18-3** el error en el receptor de alta precisión es de 1.0067m cuyo valor se asemeja al error calculado por el algoritmo en configuración doble implementado con un receptor de bajo costo.

CONCLUSIONES

Los receptores de bajo costo debido a factores como su arquitectura, capacidad de procesamiento y tecnología, brinda baja precisión por lo que no son ideales para aplicaciones específicas de georreferenciación.

El desfase en el intervalo de registro de datos que presentó el dispositivo U-blox NEO 6M fue de 0.9 segundos en el fichero RINEX.

Los resultados de las correcciones en post-proceso tanto en configuración simple como en configuración doble no fueron en centímetros como se esperaba, debido a los errores producidos por factores como el multipath, errores propios del receptor de bajo costo y las características propias del pseudo-rango; el mismo que es más ruidoso en comparación con el carrier phase.

Con la implementación del diferencial de GPS en configuración simple y doble se determinó que hubo una disminución del error de 0.08 m, por lo que se demuestra que en configuración simple se han eliminado la mayoría de los errores correlacionados y en el diferencial doble la reducción es mínima debido a la reutilización de las correcciones simples y la eliminación de errores de bajo impacto.

De las condiciones del Diferencial de GPS se comprueba que depende de la distancia que existe entre la estación de referencia y el rover para obtener mayor precisión, siempre que los datos son obtenidos bajo las mismas condiciones.

Los datos de un receptor de bajo costo se pueden convertir en uno de alta precisión al aplicar las técnicas de DGPS.

No fue necesario implementar el receptor GPS en arduino, ya que se pudo desbloquear y configurar directamente el dispositivo en el ordenador.

DGPS-LAB es una aplicación que permite cargar archivos RINEX versión 2.11 de cualquier receptor de GPS y post-procesarlo para su posterior análisis de errores.

RECOMENDACIONES

En los receptores de bajo costo se debe considerar cambiar la frecuencia de recepción de datos por defecto a 1 Hercios para de esta manera forzar al dispositivo a adquirir los datos cada segundo.

Se recomienda que el intervalo de registro de datos sea igual en los dos receptores para evitar procesamiento innecesario y la saturación del programa.

Para la recepción en mejor calidad de la señal GPS se recomienda se realice la toma de datos se realice en días despejados, zonas de poca densidad de vegetación y edificios.

Se recomienda aplicar técnicas de Diferencial de GPS que incluya el procesamiento con carrier phase y doble frecuencia ya que esta es más precisa.

Utilizar DGPS-LAB para fines educativos y de verificación de las técnicas en las diferentes configuraciones, no se recomienda su utilización para aplicaciones críticas.

El algoritmo de la lectura del fichero RINEX está limitado a la versión 2.11. Se recomienda la implementación de la lectura de los archivos a diferentes versiones.

GLOSARIO

| | |
|----------------|---|
| DGPS | Diferencial Sistema de Posicionamiento Global |
| DOP | Dilución de precisión |
| EGNOS | European Geostationary Navigation Overlay Service (Sistema de Aumentación Basado en Satélites desarrollado por la Agencia Espacial Europea) |
| FM | Modulated Frequency (Frecuencia Modulada) |
| FTDI | Future Technology Devices International (Futuros Dispositivos de tecnologías internacionales) |
| GLONASS | Global Navigation Satellite System (Sistema Global De Navegación Por Satélite desarrollado por la Unión Soviética) |
| GNSS | Global Navigation Satellite Systems (Sistema Global De Navegación Por Satélite) |
| GPS | Sistema de Posicionamiento Global |
| IRNSS | Indian Regional Navigation Satellite System |
| KGPS | Sistemas de Kinematic GPS |
| MEO | Medium Earth Orbit (Órbita Circular Intermedia) |
| PRC | Pseudorange Corrección |
| PRN | Pseudo-Random Noise (Ruido Pseudoaleatorio) |
| QZSS | Quasi-Zenith Satellite Sytem |
| REGME | Red GNSS De Monitoreo Continuo Del Ecuador |

| | |
|---------------|--|
| RINEX | Receiver Independent Exchange Format (Formato de Intercambio Independiente del receptor) |
| RMSE | Root Median Square Error (Raíz del Error Cuadrático Medio) |
| SIRGAS | Sistema de Referencia Geocéntrico para América Del Sur |
| SOW | Second Of week (segundos de la semana) |
| USB | Universal Serial Bus |
| UTC | Tiempo Universal Coordinado |
| WAAS | Wide Area Augmentation System (Amplio Sistema de Aumento de área) |

BIBLIOGRAFÍA

1. **AKWASI AFRIFA, Acheampong.** Developing a differential GPS (DGPS) service in Ghana. (tesis). (Master) Kwame Nkrumah University, Faculty of Civil and Geomatic Engineering. Ghana. 2008. [Consulta: 2016-11-23].
Disponible en: <http://hdl.handle.net/123456789/667>
 2. **ARTANO, Karmele.** Ejercicios prácticos para el procesado de datos GNSS - PBGNSS. Universidad de Salamanca, 2012.
 3. **BERNE VALERO, José Luis et al.** GNSS, GPS: fundamentos y aplicaciones Geomática. Valencia. Universitat Politècnica de Valencia, 2014, pp. 174-176.
 4. **BORRE, Kai y STRANG, Gilbert.** *Algorithms for Global Positioning*. Wellesley: Wellesley-Cambridge Press, 2012.
 5. **Bradford, W., Parkinson, J. y James, J.** *Introducción al sistema GPS. Versión en español*. American Institute of Aeronautics and Astronautics. 2005. Descripción del sistema GPS, pp.10-33. [Consulta: 2016-12-10]
Disponible en: <http://dicyg.fi-c.unam.mx/~inggeomatica/documentos/Apuntes/GPS/GPS%20basico>
 6. **CISNEROS R., David A.** *Procesamiento científico ecuatoriano de datos GPS generados por estaciones permanentes ubicadas en países de la región SIRGAS*. Definición REGME. Quito, Ecuador, 2014, pág. 4. [Consulta: 09 febrero 2017].
Disponible en: http://www.geoportalignm.gob.ec/wordpress/?wpfb_dl=66
- DE LA FUENTE PATIÑO, Iñigo.** Estudio de la mejora de la precisión en los receptores GPS (tesis). (Ingeniería) Universidad del país Vasco. Facultad de Informática. 2012. pp 18-20. [Consulta: 2016-12-27]
Disponible en: <http://hdl.handle.net/10810/9017>
7. **DETOPOGRAFIA.** *detopografía*. [blog]. [Consulta: 09 febrero 2017].
Disponible en: <http://detopografia.blogspot.com/2012/11/principales-fuentes-de-error-en-gps-i.html>.

8. **CHAN Eddi & George.** *Introducción to Wireless Localization*. Hong Kong: John Wiley & Sons Singapore, 2012.
9. **FALLAS, Jorge.** Sistema de Posicionamiento Global. Universidad Nacional. Heredia. 2002, pp. 3-9.
10. **FERNÁNDEZ PLAZAOLA.** Técnicas de resolución de la ambigüedad de las medidas de fase en sistemas de navegación por satélite (tesis). (Doctoral). Universidad de Málaga. Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Telecomunicación, Málaga, España. 2005. pp. 1-35. [Consulta]: 2016-12-28
Disponible en: <http://hdl.handle.net/10630/4632>
11. **HEGARTY, Christopher J. y CHATRE, Eric.** “Evolution of the global navigation satellite system (GNSS)”. *IEEE*. 2008. Madrid. volumen 96-no. 12. pp. 1902-1917. [Consulta: 20 febrero 2017]. ISSN 1558-2256. Disponible en:
<http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=4745647&isnumber=4745645>
12. **HERNÁNDEZ, J.; et al.** Procesado de Datos GPS: código y fase Algoritmos, Técnicas y Recetas [en línea]. Barcelona-España: Centre de Publicacions del Campus Nord, 2001. [Consulta: 5 enero 2017]. Disponible en:
<http://www.gage.es/forum/gps-data-processing-code-and-phase-algorithms-techniques-and-recipes>
13. —. *Procesado de Datos GPS: código y fase Algoritmos, Técnicas y Recetas*. Barcelona: Centre de Publicacions del Campus Nord, 2008.
14. *Herramientas Tecnológicas Profesionales SA de RL de CV*. 2012. Características UBLOX neo 6M. HET PRO. [Consulta: 02 febrero 2017].
Disponible en: <http://hetpro-store.com/TUTORIALES/gps-ublox-neo-6m-modulo-con-matlab/>.
15. **HOYER, Melvin.** “Conceptos básicos del posicionamiento GNSS en tiempo real. Ntrip y tópicos relacionados con el tema.” [en línea], 2002, pp. 1-2. [Consulta: 03 enero 2017].
Disponible en:
ftp://ftp.sirgas.org/pub/gps/SIRGAS-RT/03_Hoyer_GNSS_en_Tiempo_Real.pdf

16. **HUERTA, Eduardo, et al** *GPS Posicionamiento Satelital*. Rosario - Argentina: UNR Editora, 2005. pp. 1-5
17. *¿Qué es el GPS?* 2007. Definición GPS. INFORMATICAHOY. [Consulta: 2016-12-15]
Disponible en: <http://www.informatica-hoy.com.ar/aprender-informatica/Que-es-el-GPS-y-como-funciona.php>.
18. **Instituto Geográfico Agustín Codazzi**. Mejora de los Sistemas de Cartografía del Territorio Colombiano. Capítulo 4. Sistema de posicionamiento global. Riocha: Departamento de La Guajira, 2007, págs. 14-17
19. **INSTITUTO GEOGRÁFICO MILITAR**. *REGME Red GNSS de Monitoreo continuo del Ecuador*. Definición de REGME. Consulta [2017-02-07]
Disponible en: <http://www.geoportaligm.gob.ec/wordpress>
20. **JIMÉMEZ RODRÍGUEZ, Tamara y ROS BERNABEU, María Elena**. *Sistema de Posicionamiento Global (GPS)*. Gravitación y Astrofísica. 2010. pp. 13-15. [Consulta: 2016-11-25]. Disponible en: http://webs.um.es/bussons/GPSresumen_TamaraElena
21. **MANUEL, Ariel**. GNSS: descripción, análisis y comparación con los sistemas de navegación por satélites (tesis). (Ingeniería) Universidad Nacional de Córdoba, Córdoba, Argentina. 2012. pp. 3-7. [Consulta: 2016-12-27]. Disponible en:
<http://www.bibliotecacpa.org.ar/greenstone/collect/facagr/index/assoc/HASH9db2.dir/doc.pdf>
22. **MOYA ZAMORA, Jorge y BASTOS GUTIÉRREZ, Sara**. “Procesamientos GNSS en línea como potenciales alternativas a diferentes aplicaciones geodésicas”. *Revistas académicas de la Universidad Nacional*. 2014. Volumen 29-No 2. pp 8. [Consulta: 12 diciembre 2016]. ISSN 2215-3470. Disponible en:
<http://www.revistas.una.ac.cr/index.php/uniciencia/article/view/6755>
23. *RAW patch*. Openstreetmap. 2017. [Consulta: 2017-01-25]
Disponible en: <http://wiki.openstreetmap.org/wiki/UbloxRAW>.
24. **PERERA, Alejandro**. *Sistema Global de Navegación Por Satélite*.
Disponible en: <http://www.hispaviacion.es/sistema-global-de-navegacion-por-satelite/>.
2017-01-25

25. **PIKE, John.** *Beidou (Big Dipper/Compass)*. Globalsecurity.org. [Consulta: 2017-01-25]
Disponible en: <http://www.globalsecurity.org/space/world/china/beidou.htm>
26. **POSPELOVA, Vera.** *Posicionamiento*. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid, 2014, pág. 3
27. **PUGLIA COSTAS, Gustavo Alfredo y MONAGAS MENDOZA, José Rafael.**
Desarrollo de un sistema de GPS diferencial, para aumentar la precisión de los sistemas de ubicación basados en la tecnología GPS en dispositivos móviles. (tesis). (Ingeniería) Universidad Católica Andrés Bello. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería de Telecomunicaciones, Caracas, Venezuela, 2012. pp.23. [Consulta: 2017-02-05].
Disponible en:
<http://biblioteca2.ucab.edu.ve/anexos/biblioteca/marc/texto/AAS3511.pdf>
28. **RIVERA MEDINA, José María.** Implementación del Differential Global Positioning System con correcciones simples y dobles en pseudodistancias. Sevilla (tesis). (Ingeniería) Universidad de Sevilla, Dep. Ingeniería Electrónica. Escuela Técnica Superior de Ingeniería., España, Sevilla. 2014. pp 2-20. [Consulta: 2017-02-05].
Disponible en:
<http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/60237/fichero/Proyecto+fin+de+carrera+-+José+María+Rivera+Medina+%2817-09-14%29.pdf>
29. **SANCHEZ, A., y otros.** *SISTEMAS GNSS: Funcionamiento, Posicionamiento y Precisión*. Andaluza: LABORATORIO DE ASTRONOMÍA, GEODESIA Y CARTOGRAFÍA. Universidad de Andaluza., 2011, págs. 13-23
30. **SANZ, J. y JUAN, J.** *Introduction to DGNSS*. Definición de DGNSS, Barcelona, pp. 7-47. [Consulta: 2016-12-15]. Disponible en:
http://gage.upc.edu/sites/default/files/TEACHING_MATERIAL/THEORY_SLIDES/Lecture_UPC_4.v0.0.pdf
31. **TAKASU, T.** RTKLIB: An Open Source Program Package for GNSS Positioning. [Consulta 2017-02-08]. Disponible en: <http://www.rtklib.com/>.
32. **TIERRA, A., SILVA, O. y LEIVA, C.** “CORRECCIONES DIFERENCIALES VÍA NTRIP PARA DISPOSITIVO MÓVIL CON APLICACIÓN ANDROID”. *Revista*

- Scielo*. 2015. Ecuador. Volumen 21. pp 10. [Consulta: 25 marzo 2017]. ISSN 1982-2170. Disponible en: <http://www.scielo.br/pdf/bcg/v21n1/1982-2170-bcg-21-01-00043.pdf>
33. **TRIMBLE NETR9 GEOSPATIAL**. 2014. Características de Trimble. [Consulta: 2017-04-07]. Disponible en: http://www.al-top.com/sites/default/files/022516-097-SP_NetR9%20GNSS%20Receiver_DS_A4_1014_sec.pdf
34. **UNIVERSIDAD DE TOKIO**. *Investigación y desarrollo de tecnología de posicionamiento exacto por el sistema mundial de navegación por satélite*. RTKPLOT. Japón. 2011. pp 9-22. [Consulta: 2017-04-05]. Disponible en: http://gpspp.sakura.ne.jp/paper2005/GPS_RTKLIB_Seminor_1.pdf
35. **UNNE-CONICET**. *Módulo III: GNSS*. Historia de GNSS, 2011, pp 5-6. [Consulta: 2017-04-05]. Disponible en: <http://files.especializacion-tig.webnode.com/200000011-dba9adca48/ETIG%20%20Seminario%20Nivelaci%C3%B3n%20III-GNSS.pdf>.
36. **VARELA PÉREZ, Carlos Fernando**. *Sistemas de posicionamiento y navegación satelital*. Uelbosque. El sistema GPS, estructura de la señal GPS, Diferencial de GPS. 2003. pp 7-12. [Consulta: 2017-01-20]. Disponible en: http://m.uelbosque.edu.co/sites/default/files/publicaciones/revistas/revista_tecnologia/volumen2_numero2/sistemas_posicionamiento2-2.pdf
37. **WERNER, G**. The Receiver Independent Exchange Format. Astronomical Institute University of Bern. 2007. pp 2-3. [Consulta: 2017-02-15]. Disponible en: <https://igscb.jpl.nasa.gov/igscb/data/format/rinex300.pdf>
38. **WILDERMANN, Eugen y HOYER, Melvin**. “Aspectos del procesamiento de mediciones GPS para labores de prospección”. 1992. Volumen 15. pp. 45. [Consulta: 25 marzo 2017]. ISSN: 0254-0770. Disponible en: <http://produccioncientificaluz.org/index.php/tecnica/article/download/5397/5388>

ANEXOS

ANEXO A CONFIGURACIÓN EN U-CENTER

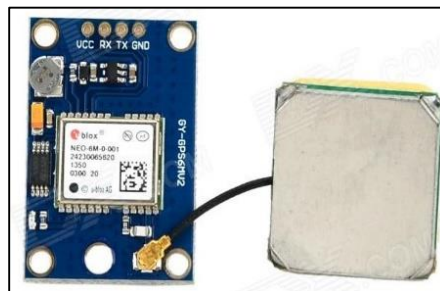
PASO 1:

OBTENCION DE LOS DATOS EN BRUTO (RAW DATA)

Configuración del dispositivo GPS (Rover)

La extracción de datos en bruto se realizó mediante un dispositivo GNSS de bajo costo, específicamente el dispositivo: Ublox neo 6M V2 con firmware 7.0 y para la comunicación el GPS con el ordenador se utilizará el cable FTDI.

Ublox neo 6M.



Fuente: (Het Pro, 2012)

Conexión U-center mediante cable FTDI

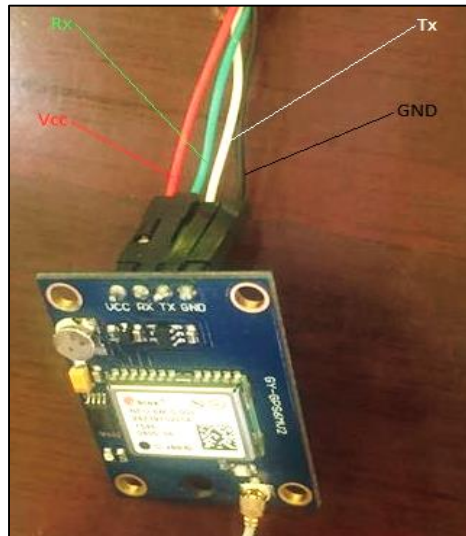
Se debe configurar previamente estos puertos utilizando el software driver FTDI Installer el cual ayuda en la comunicación con U-center.

Los pines a conectar entre el u-blox neo 6M y el FTDI es:

- GND GPS en el cable negro FTDI
- Tx GPS en el cable blanco FTDI
- Rx GPS en el cable verde FTDI
- Vcc (3.3 V) GPS en el cable rojo FTDI

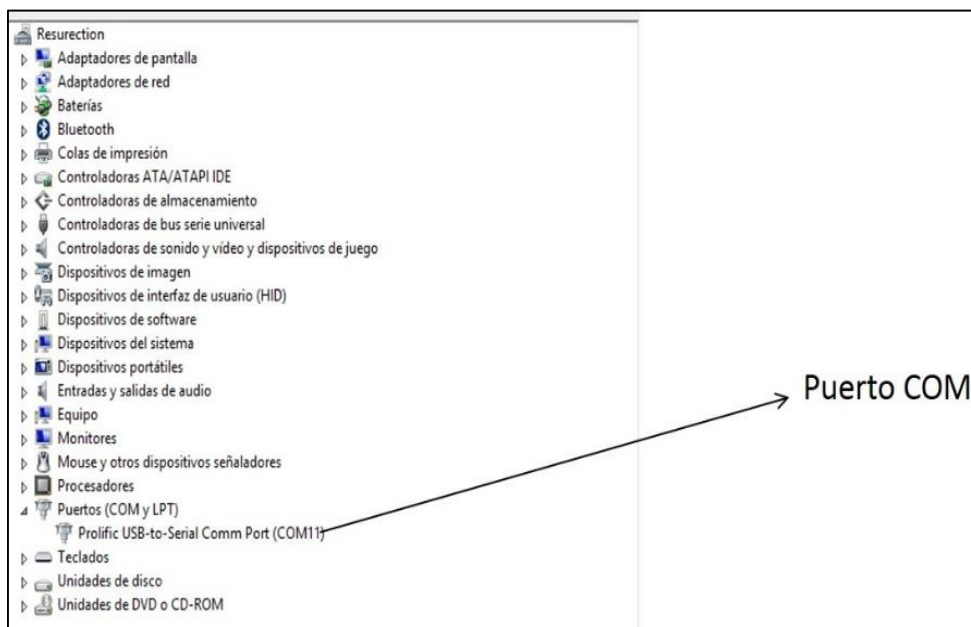
Tal como se muestra a continuación

Conexión u-blox neo 6M y FTDI.



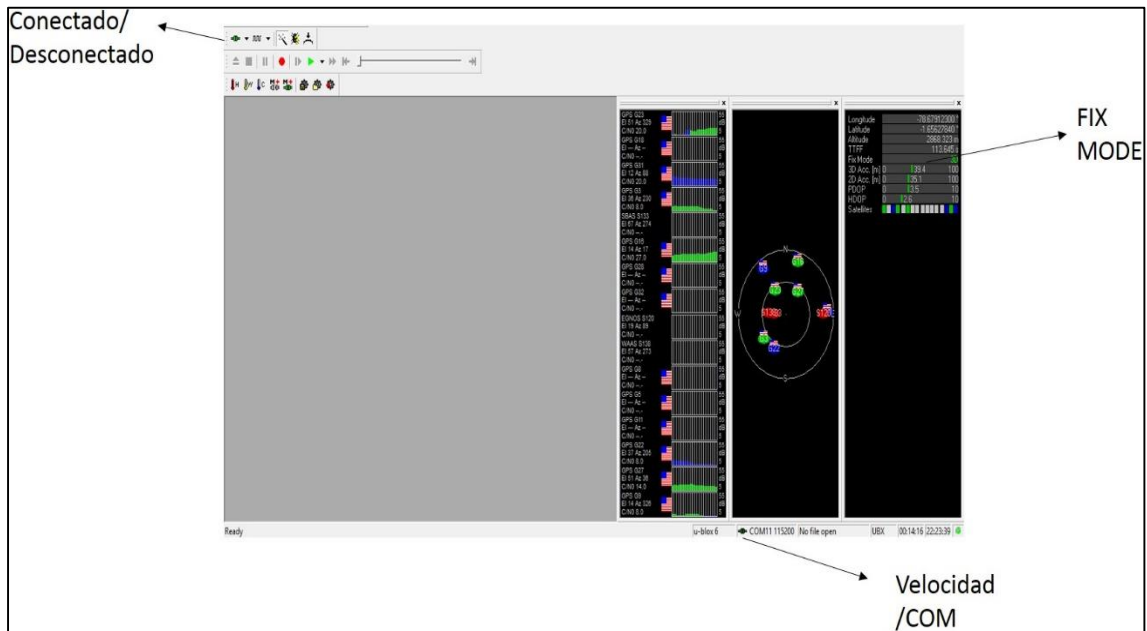
Realizado la conexión entre el módulo GPS y el FTDI se conecta al puerto USB del ordenador, localizamos el puerto virtual creado (USB serial Port COM).

Administrador de dispositivos Puerto COM 11.

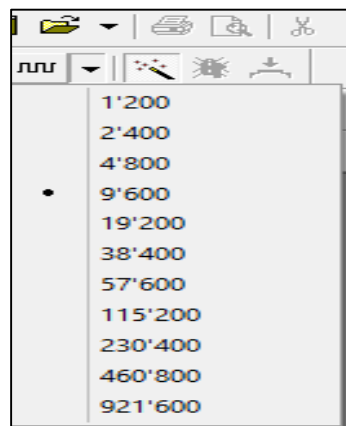


En el software U-center ya conectado se podrá observar los satélites disponibles.

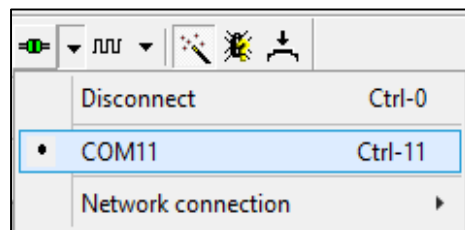
Software U-center.



Velocidad inicial del módulo GPS.

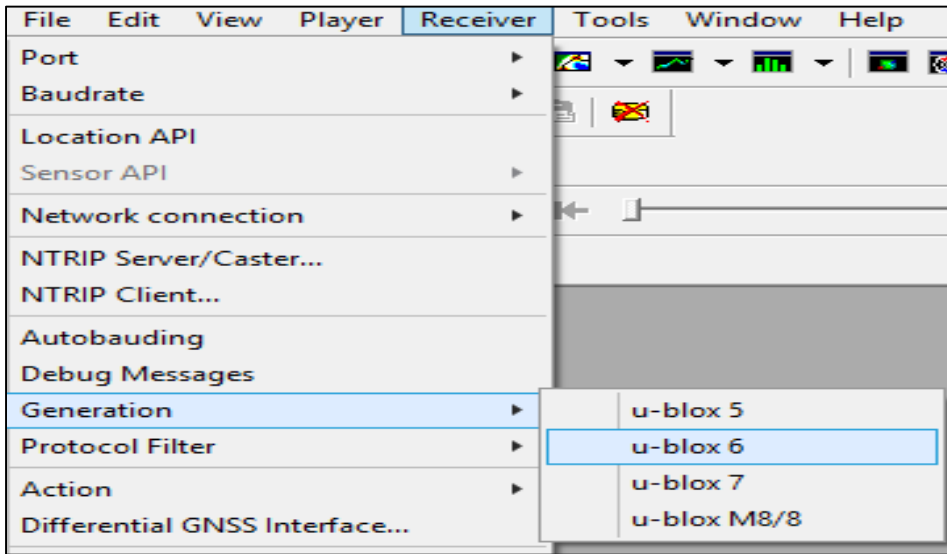


Puerto de enlace con U-center

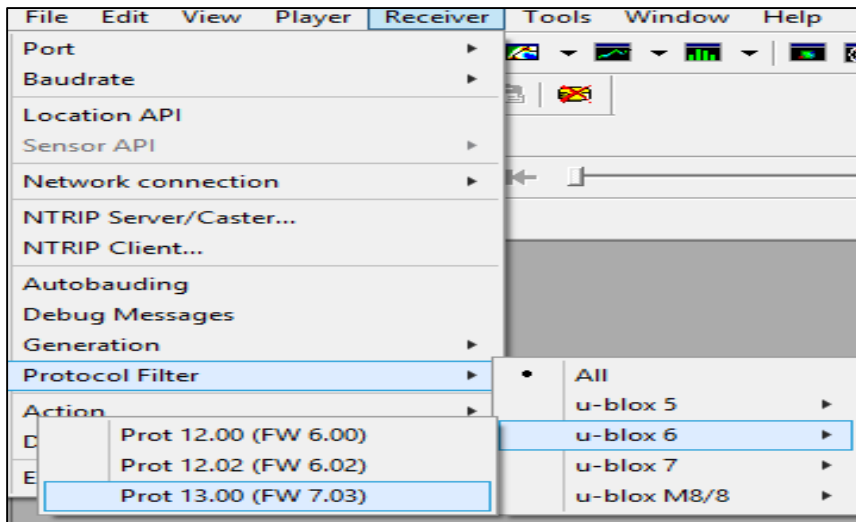


En la barra de herramientas de U-center en Receiver elegimos Generation y U-blox 6.

Modelo del receptor GPS U-blox.



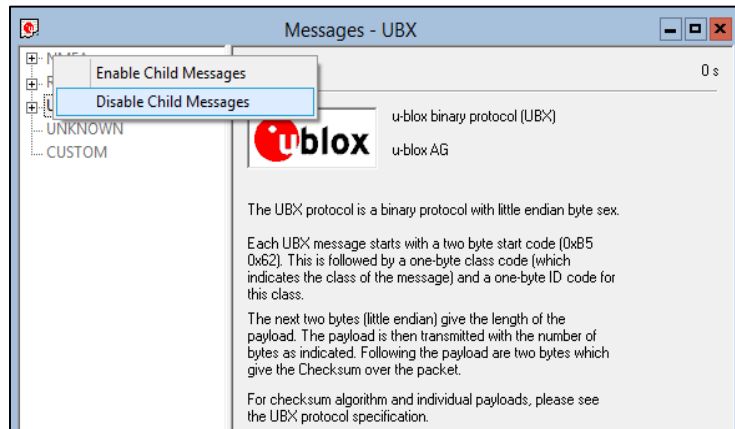
Protocolo del receptor GPS (firmware).



Desactivar datos NMA en el dispositivo

Es necesario deshabilitar las funciones y protocolos que no van a ser usadas, como los mensajes NMEA para evitar enviar los datos al puerto UART.

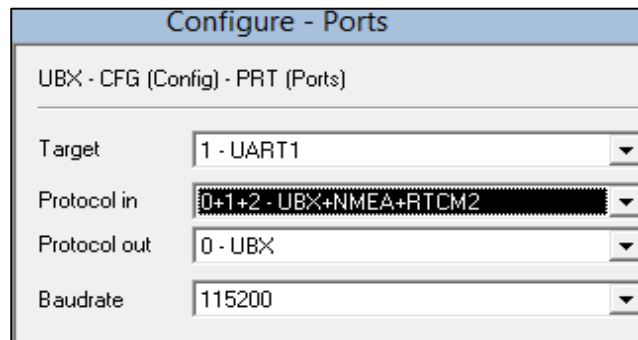
Desactivar los datos NMA.



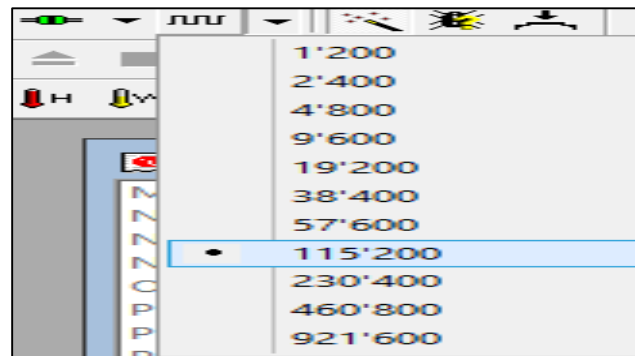
Velocidad en el puerto de conexión

En esta configuración se determina la velocidad en que se transfiera los datos desde el dispositivo hacia el ordenador mediante el puerto.

Configuración Velocidad del puerto UART1.



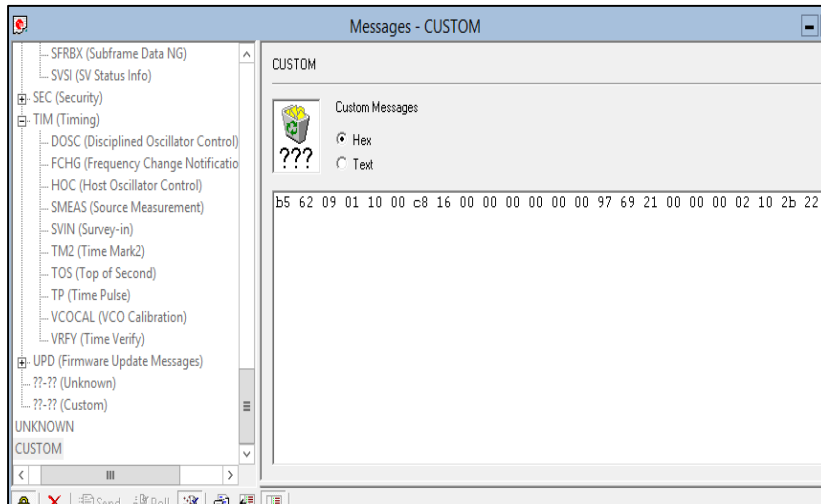
Velocidad nueva del módulo en U-center.



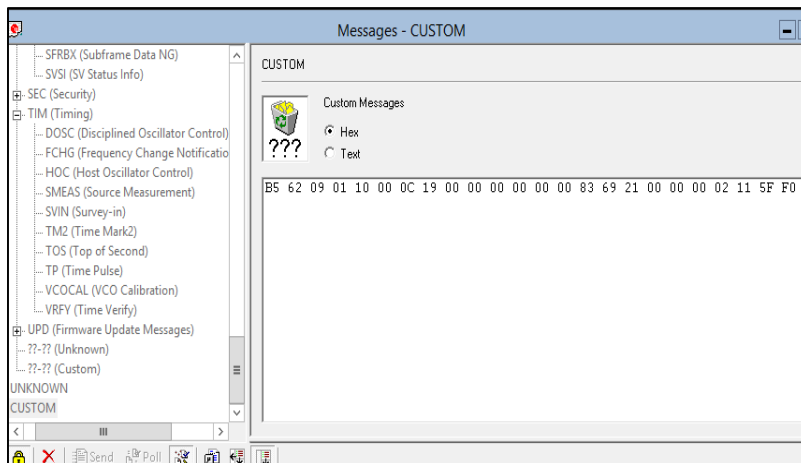
Activación de los RAW DATA

Es indispensable activar los datos RAW en el equipo para poder transformar los archivos a Rinex para su post procesamiento, para activar la salida RXM-RAW y RXM-SFRB se debe utilizar el siguiente mensaje CUSTOM UBX:

Código para habilitar RXM-RAW.

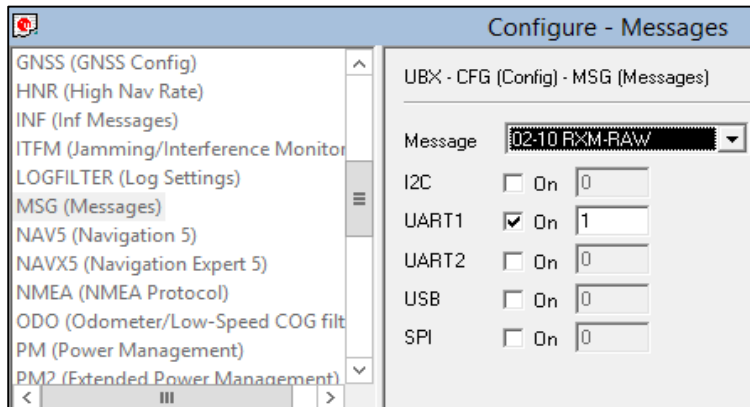


Código para habilitar RXM-SFRB.

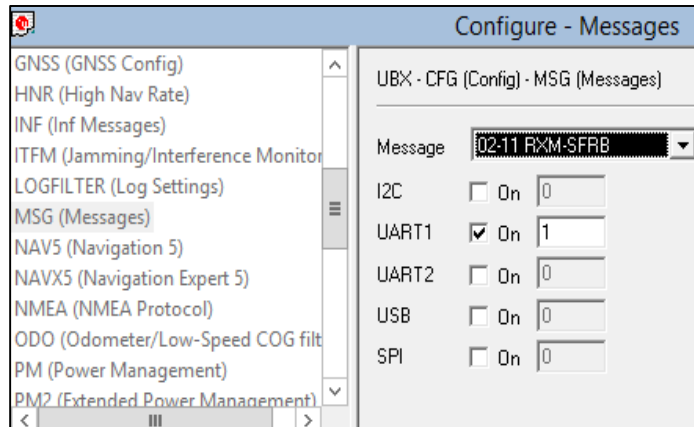


Para activar los códigos se debe pulsar el botón de Send luego de cada ingreso, realizado esta acción se activan los mensajes RAW en Configuration View – Msg se activa RXM-RAW – RXM-SFRB.

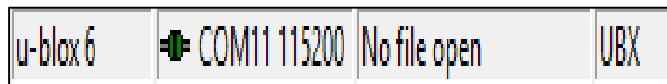
Configuración de Mensajes RXM-RAW.



Configuración de Mensajes RXM-SFRB.



Configuración Correcta del módulo GPS.



ANEXO B OBTENCIÓN Y CONVERSIÓN DE LOS DATOS RAW

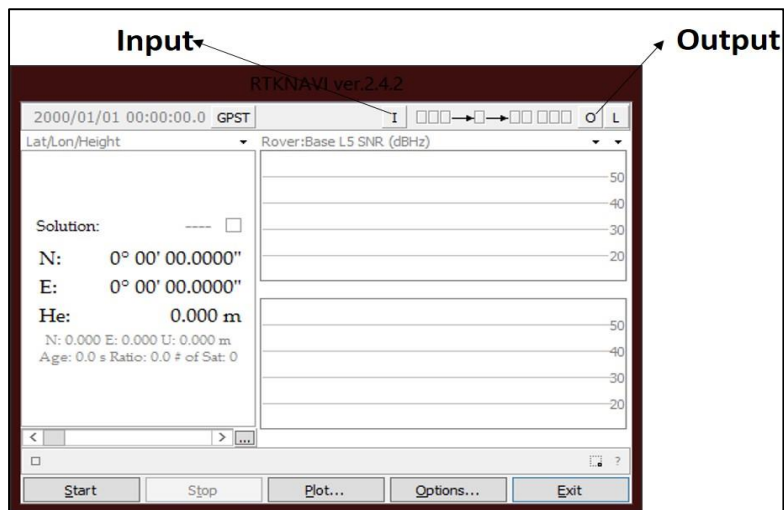
Obtención de datos de los satélites

RTKLIB es un programa open source muy complejo que incluye subprogramas que ayudan a extraer los archivos en bruto para su conversión.

Configuración de RTKNAVI

Para obtener los datos RAW por el receptor GPS se debe configurar el software de post-procesamiento RTKNAVI, en los apartados de input y output.

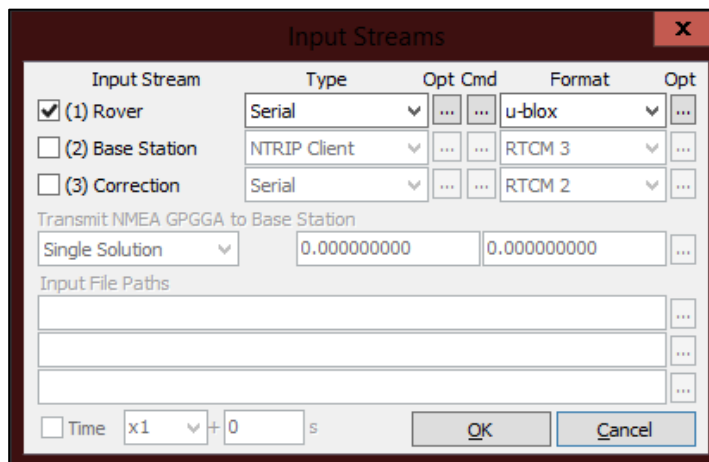
Esquema de RTKNAVI.



Input

En este botón se configura, el puerto por donde se recibe la información del receptor, la velocidad y el formato de flujo de datos con los que se está trabajando en este caso u-blox, la versión del RINEX.

Configuración de RTKNAVI-INPUT

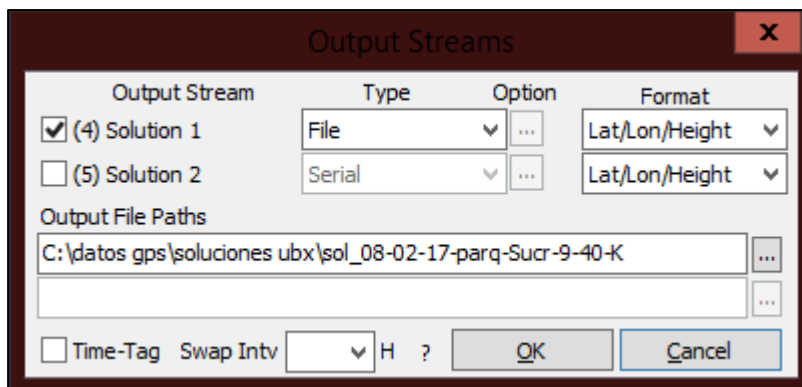


Fuente: Software RTKLIB, (2017)

Output

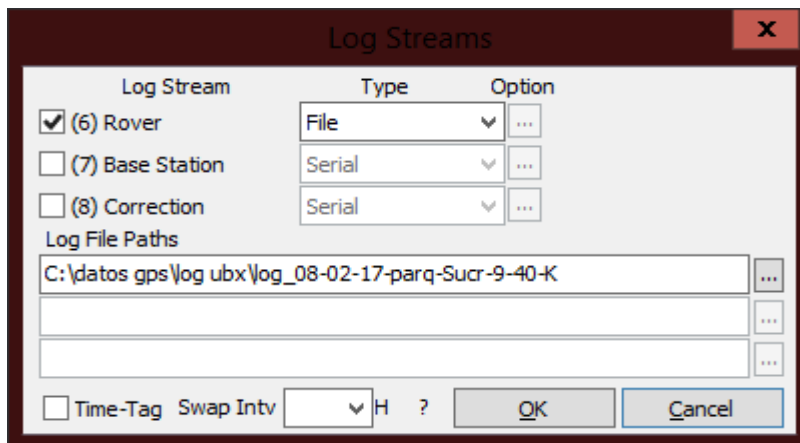
Se configura la entrada para almacenar la información proveniente de los satélites y se guarda en un archivo con extensión .log

Configuración RTKNAVI-OUTPUT



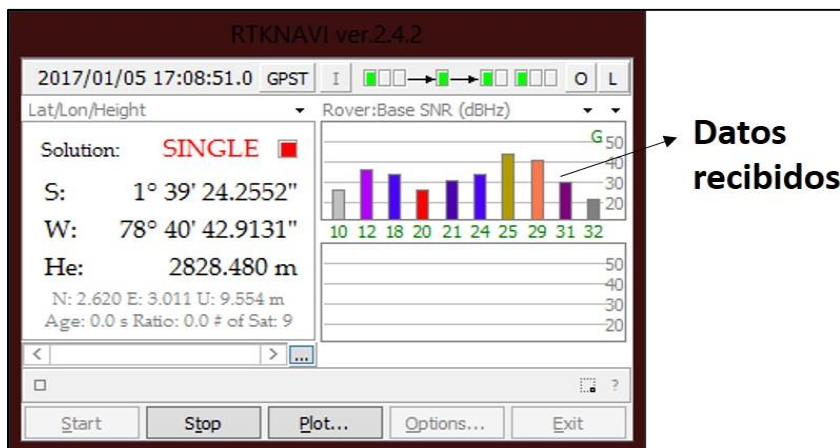
Fuente: Software RTKLIB, (2017)

Configuración de RTKNAVI-LOG STREAMS



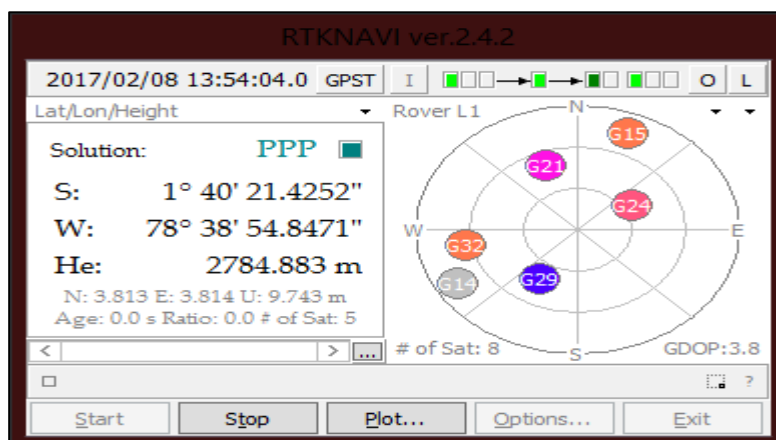
Fuente: Software RTKLIB, (2017)

Obtención de datos en RTKNAVI



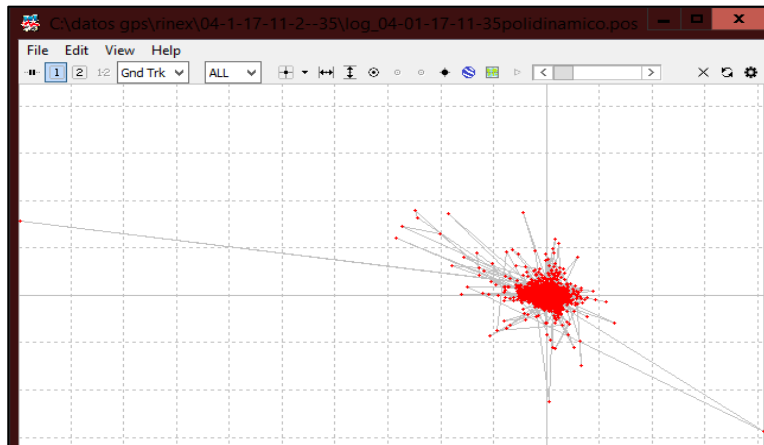
Fuente: Software RTKLIB, (2017)

Visualización de satélites en órbita.



Fuente: Software RTKLIB, (2017)

Puntos en RTKPLOT.

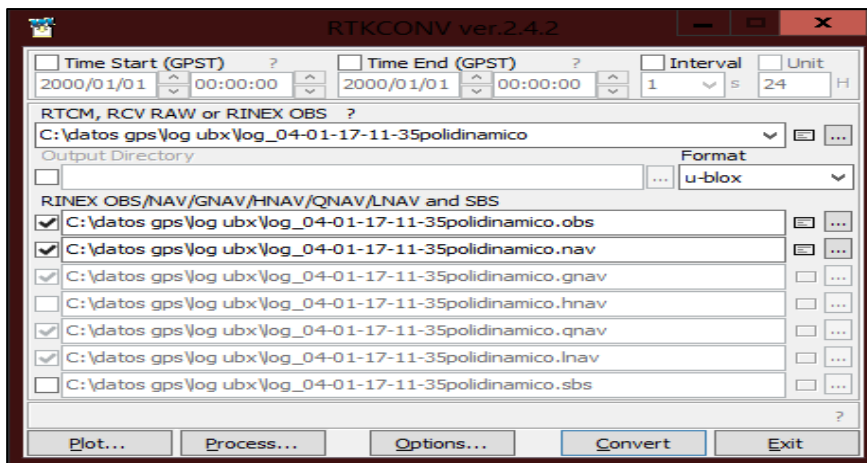


Fuente: Software RTKLIB, (2017)

En RTKNAVI para visualizar como se va trazando las soluciones de posicionamiento, se hace clic en plot como muestra en la fig.

PASO3:

Conversión de datos RAW en RTKCONV

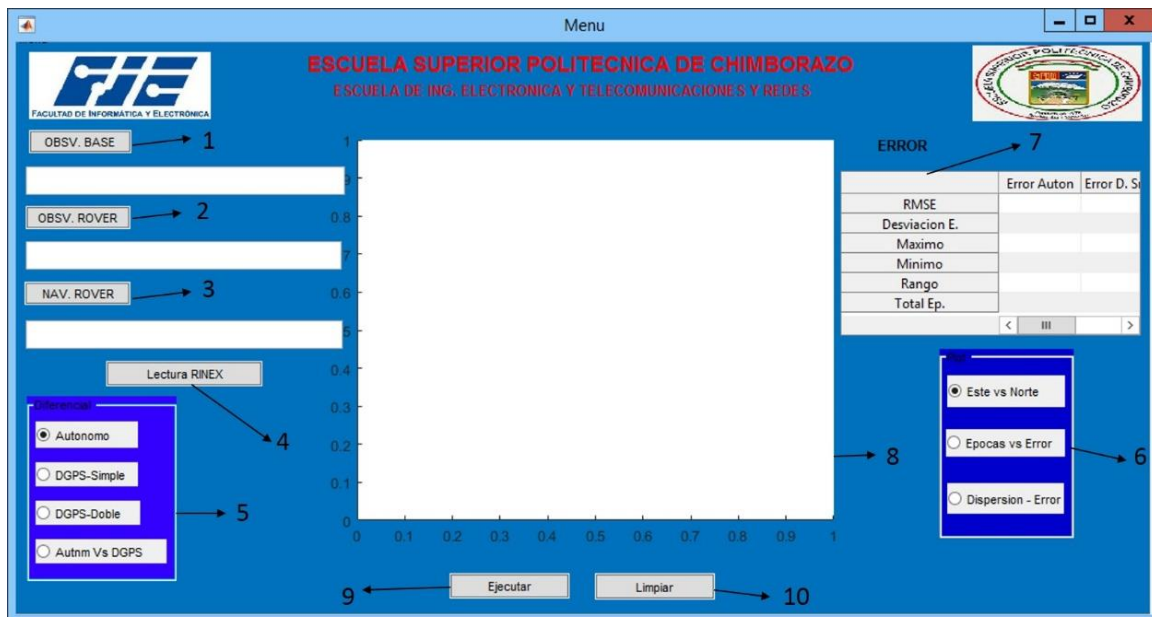


Fuente: Software RTKLIB, (2017)

ANEXO C USO DE LA APLICACIÓN DGPS

En este Anexo muestra el funcionamiento del algoritmo de las técnicas diferencial, implementado en GUI de matlab para un fácil manejo del usuario. En la en la siguiente figura muestra la aplicación DGPS-LAB donde podemos cargar archivos RINEX (observación y navegación) de la estación de Referencia y del Rover, y aplicar la técnica de posicionamiento diferencial, exhibiendo en imágenes la corrección en metros y en tablas los errores que existe.

Pantalla principal DGPS-LAB



Funcionamiento

Cuando inicializamos la aplicación DGPS, se puede observar varios botones en el cual accedemos a diferentes funcionalidades, a continuación describimos cada una de ellas.

1.- OBSV. BASE

En este botón se selecciona el archivo de Observación de la estación de referencia EREC que tiene como extensión .170 donde el número nos indica el año y la letra la extensión del archivo.

2.- OBSV. ROVER

Se ingresa el fichero de Observación (.obs) de la estación Rover.

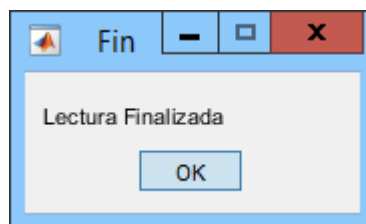
3.- NAV. ROVER

En este botón se incluye el fichero de Navegación (.Nav) del receptor Rover.

4.- Lectura RINEX

Una vez que se tiene cargado los ficheros se comienzan a leer cada uno de estos, una vez finalizado nos mostrara un mensaje de “Lectura Finalizada”.

Lectura finalizada de los ficheros Rinex



5.- Diferencial

a.- Autónomo

Encuentra la posición del receptor GPS.

b.- DGPS-Simple

Se aplica la técnica diferencial Simple sobre la posición autónoma de un receptor GPS.

c.- DGPS-Doble

Se ejecuta la técnica del diferencial Doble corrigiendo los errores del reloj del receptor.

d.- Autnm vs DGPS

Se efectúa el diferencial con corrección Simple y Doble.

6.- Plot

e.- Error vs Norte

Grafica el total de puntos en la aplicación en coordenadas UTM expresada en metros.

f.- Épocas vs Error

Muestra el error total referente al número de épocas.

g.- Dispersión vs Error

Muestra los puntos en coordenadas cartesianas representándole al error.

7.- Tabla de Errores

Visualiza los errores que existe en el diferencial simple y doble como en el autónomo.

8.- Pantalla

Se observa de forma gráfica los puntos obtenidos posteriores al procesamiento, estos resultados varían dependiendo del diferencial y el plot.

9.- Ejecutar

Con este botón da paso a la visualización de todos los puntos adquiridos después del procesamiento.

10.- Limpiar

Limpia los datos que está en la aplicación.


```
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'), get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end
```

```
function pushbutton3_Callback(hObject, eventdata, handles)
```

```
fprintf('Abrir Archivo de NAVEGACION ... \n')
[nombrenav, rutan] = uigetfile( ...
    {'*.17N;*.16N;*.16n;*.nav;*.15O;*.15o',...
    'Archivos RINEX (*.17N,*.16N,*.16n,*.nav,*.15N,*.15n)',
    '*.*', 'Todos los archivos (*.*)'}, ...
    'Pick a file');
navfile=strcat(rutan, nombrenav);
set(handles.edit3,'String',navfile);
handles.nombrenav=nombrenav;
handles.navfile=navfile;
guidata(hObject,handles);
```

```
function pushbutton4_Callback(hObject, eventdata, handles)
```

```
fprintf('Abrir Archivo de Observaci_n de la ESTACION DE REFERENCIA ... \n')
[nombreachivom, rutam] = uigetfile( ...
    {'*.17O;*.16O;*.16o;*.obs;*.15O;*.15o',...
    'Archivos RINEX (*.17O,*.16O,*.16o,*.obs,*.15O,*.15o)',
    '*.*', 'Todos los archivos (*.*)'}, ...
    'Pick a file');
cd (rutam);
ofilem=strcat(rutam, nombreachivom);
set(handles.edit1,'String',ofilem);
%LECTURA
handles.nombreachivom=nombreachivom;
handles.ofilem=ofilem;
guidata(hObject,handles);
```

```
function pushbutton5_Callback(hObject, eventdata, handles)
```

```
fprintf('Abrir Archivo de Observacion del ROVER ... \n')
[nombreachivor, rutar] = uigetfile( ...
    {'*.17O;*.16O;*.16o;*.obs;*.15O;*.15o',...
    'Archivos RINEX (*.17O,*.16O,*.16o,*.obs,*.15O,*.15o)',
    '*.*', 'Todos los archivos (*.*)'}, ...
    'Pick a file');
ofiler=strcat(rutar, nombreachivor);
set(handles.edit2,'String',ofiler);
```

```
handles.nombreachivor=nombreachivor;
handles.ofiler=ofiler;
```

```
guidata(hObject,handles);
```

```
function axes1_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
```

```
function uipanel2_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
```

```
function pushbutton4_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
```

```
function Ejecutar_Callback(hObject, eventdata, handles)
```

```
val1=get(handles.radiobutton6,'Value');
val2=get(handles.radiobutton7,'Value');
val3=get(handles.radiobutton8,'Value');
val4=get(handles.radiobutton9,'Value');
g1=get(handles.radiobutton13,'Value');
```



```

legend( 'Autónomo');
xlabel('E [m]');
ylabel('N [m]');
grid on;
end
handles.Ea=Ea;
handles.Na=Na;
handles.ECMA=ECMA;
op=1;
handles.op=op;
% Diferencial Simple
elseif val2==1
disp ('Diferencial Simple');
cla reset
%Lectura de Datos
ifiler='DatosRover.txt' ;
[satGr, sowGr, C1Gr, S1Gr] = ext_datos( ifiler );
ifilem='DatosMaster.txt' ;
[satGm, sowGm, C1Gm,S1Gm] = ext_datos( ifilem );
%Epocas
[sowComun,iscm,iscr]=intersect(sowGm,sowGr);

if ~isempty(sowComun)
disp('Procesando...');
fprintf('\nIniciando en época común: %8.0f %8.0f',sowGm(iscm(1)),sowGr(iscr(1)));
fprintf('\n')
[Posr, DOPr]=posXYZautonomo(sowGr,satGr,C1Gr,Eph);
[Posm, DOPm]=posXYZautonomo(sowGm,satGm,C1Gm,Eph);
posmas=mean(Posm,2);
[Posrds, DOPds]=posXYZZDS(posmas(1:3),sowGm,satGm,C1Gm,sowGr,satGr,C1Gr,sowComun,
Eph);
%+++++Diferencial Simple+++++
[phiXdsr, lamXdsr, hXds] = cart2geod(Posrds(1,:), Posrds(2,:), Posrds(3,:));
phiXdsg = phiXdsr * 180 / pi;
lamXdsg = lamXdsr * 180 / pi;
[Eds, Nds, Za2]=deg2utm(phiXdsg,lamXdsg);
for i=1:5
imax=find(Nds==max(max((Nds))));Nds(imax)=[];
imin=find(Nds==min(min((Nds))));Nds(imin)=[];
imax1=find(Eds==max(max((Eds))));Eds(imax1)=[];
imin1=find(Eds==min(min((Eds))));Eds(imin1)=[];
end
end

%Análisis estadístico diferencial simple
ECMds=sqrt((Eds-mean(Eds)).^2+(Nds-mean(Nds)).^2); %Calculo del error cuadratico medio
mECMds=mean(ECMds);% Error Cuadrático Medio (Root Mean Square Error )
deECMds=std(ECMds); %desviación estándar
maxECMds=max(ECMds);% Error máximo
minECMds=min(ECMds);% Error mínimo
rangodds=maxECMds-minECMds; %Rango
totaldds=length(ECMds);% Total datos
resp(:,1)=[mECMds deECMds maxECMds minECMds rangodds totaldds];
set(handles.uitable1,'data',resp(:,1));
% Grafica
if g1==1

axes(handles.axes1)
plot(Eds,Nds,')
title ('Coordenadas UTM');
legend( 'Diferencial Simple');

```

```

        xlabel('E [m]');
        ylabel('N [m]');
        grid on;
elseif g2==1
    axes(handles.axes1)
    plot(length(ECMds),ECMds,'b',1:length(ECMds),mECMds*ones(1,length(ECMds)),'g')
    legend('Diferencial Simple','media');
    title('Error Estimado');
    ylabel('Error de Posición [m]');
    xlabel('Epocas [intervalo 1 s]');
elseif g3==1
    axes(handles.axes1)
    plot(Eds-mean(Eds),Nds-mean(Nds),'g')
    title('Dispersión Horizontal');
    legend('Diferencial Simple');
    xlabel('E [m]');
    ylabel('N [m]');
    grid on;

end

handles.Eds=Eds;
handles.Nds=Nds;
handles.ECMds=ECMds;
op=2;
handles.op=op;
else
    disp('No existe épocas comunes para procesar');
end

elseif val3==1
    disp('opc 3');
    %Diferencial DD
    cla reset
    %Lectura de Datos
    ifiler='DatosRover.txt';
    [satGr, sowGr, C1Gr, S1Gr] = ext_datos( ifiler );
    ifilem='DatosMaster.txt';
    [satGm, sowGm, C1Gm,S1Gm] = ext_datos( ifilem );
    %Epocas
    [sowComun,iscm,iscr]=intersect(sowGm,sowGr);

    if ~isempty(sowComun)
        disp('Procesando...');
        fprintf('\nIniciando en época comun: %8.0f %8.0f',sowGm(iscm(1)),sowGr(iscr(1)));
        fprintf('\n')
        [Posr, DOPr]=posXYZautonomo(sowGr,satGr,C1Gr,Eph);
        [Posm, DOPm]=posXYZautonomo(sowGm,satGm,C1Gm,Eph);
        posmas=mean(Posm,2);
        [Posrdd, DOPdd]=posXYZZDD(posmas(1:3),sowGm,satGm,C1Gm,sowGr,satGr,C1Gr,sowComun,
Eph);
        % *****Diferencial DD*****
        [phiXddr, lamXddr, hXdd] = cart2geod(Posrdd(1,:), Posrdd(2,:), Posrdd(3,:));
        phiXddg = phiXddr * 180 / pi;
        lamXddg = lamXddr * 180 / pi;
        [Edd, Ndd, Zdd]=deg2utm(phiXddg,lamXddg);
        for i=1:5
            imax=find(Ndd==max(max((Ndd))));Ndd(imax)=[];
            imin=find(Ndd==min(min((Ndd))));Ndd(imin)=[];
            imax1=find(Edd==max(max((Edd))));Edd(imax1)=[];

```

```

    imin1=find(Edd==min(min((Edd))));Edd(imin1)=[];
end
%Análisi estadístico diferencial Doble
ECMdd=sqrt((Edd-mean(Edd)).^2+(Ndd-mean(Ndd)).^2);
mECMdd=mean(ECMdd);% Error Cuadrático Medio (Root Mean Square Error )
deECMdd=std(ECMdd); %desviación est?ndar
maxECMdd=max(ECMdd);% Error maximo
minECMdd=min(ECMdd);% Error mínimo
rangoddd=maxECMdd-minECMdd;% Rango
totalddd=length(ECMdd);% Total datos
resp(:,1)=[mECMdd deECMdd maxECMdd minECMdd rangoddd totalddd];
set(handles.uitable1,'data',resp(:,1));

%Figura
if g1==1
    axes(handles.axes1)
    plot(Edd,Ndd,'g');
    title ('Dispercion Horizontal');
    legend('Diferencial Doble');
    xlabel('E [m]');
    ylabel('N [m]');
    grid on;
elseif g2==1
    axes(handles.axes1)
    plot(length(ECMdd),ECMdd,'b',1:length(ECMdd),mECMdd*ones(1,length(ECMdd)),'g')
    legend('Diferencial Doble','media');
    title('Error Estimado');
    ylabel('Error de Posicion [m]');
    xlabel('Epoas [intervalo 1 s]');
elseif g3==1
    axes(handles.axes1)
    plot(Edd-mean(Edd),Ndd-mean(Ndd),'g');
    title ('Dispercion Horizontal');
    legend('Diferencial Doble');
    xlabel('E [m]');
    ylabel('N [m]');
    grid on;
end

handles.Edd=Edd;
handles.Ndd=Ndd;
handles.ECMdd=ECMdd;
op=3;
handles.op=op;
else
    disp('No existe epocas comunes para procesar');

end

elseif val4==1
    disp ('opc 4');
    %Autónomo Vs Diferencial Ds, DD
    disp ('Posicionamiento Autonomo');
    %AUTÓNOMO
    ifiler='DatosRover.txt' ;
    [satGr, sowGr, C1Gr, S1Gr] = ext_datos( ifiler );
    disp('Procesando...');
    fprintf('\nIniciando en epoca: %8.0f ',sowGr(1));
    fprintf('\n')
    [Posr, DOPr]=posXYZautonomo(sowGr,satGr,C1Gr,Eph);

```



```

maxECMds=max(ECMds);% Error máximo
minECMds=min(ECMds);% Error mínimo
rangodds=maxECMds-minECMds; %Rango
totaldds=length(ECMds);% Total datos
resp(:,2)=[mECMds deECMds maxECMds minECMds rangodds totaldds];

%*/*/*/*/*/*/*/*/*/*/*/*/*/*/Diferencial doble
[phiXddr, lamXddr, hXdd] = cart2geod(Posrdd(1,:), Posrdd(2,:), Posrdd(3,:));
phiXddg = phiXddr * 180 / pi;
lamXddg = lamXddr * 180 / pi;
[Edd, Ndd, Zdd]=deg2utm(phiXddg,lamXddg);
for i=1:5
    imax=find(Ndd==max(max((Ndd))));Ndd(imax)=[];
    imin=find(Ndd==min(min((Ndd))));Ndd(imin)=[];
    imax1=find(Edd==max(max((Edd))));Edd(imax1)=[];
    imin1=find(Edd==min(min((Edd))));Edd(imin1)=[];
end

%Análisi estadístico diferencial Doble
ECMdd=sqrt((Edd-mean(Edd)).^2+(Ndd-mean(Ndd)).^2);
mECMdd=mean(ECMdd);% Error Cuadrático Medio (Root Mean Square Error )
deECMdd=std(ECMdd); %desviación estándar
maxECMdd=max(ECMdd);% Error máximo
minECMdd=min(ECMdd);% Error mínimo
rangoddd=maxECMdd-minECMdd; %Rango
totalddd=length(ECMdd);% Total datos
resp(:,3)=[mECMdd deECMdd maxECMdd minECMdd rangoddd totalddd];
set(handles.uitable1,'data',resp(:,1:3));

%Figura
if g1==1
    axes(handles.axes1)
    plot(Ea,Na,'r',Eds,Nds,'g',Edd,Ndd,'y');
    title('Dispersión Horizontal');
    legend('Autónomo','Diferencial Simple','Diferencial Doble');
    xlabel('E [m]');
    ylabel('N [m]');
    grid on;
elseif g2==1
    axes(handles.axes1)
    plot(1:length(ECMa),ECMa,'r',1:length(ECMa),mECMa*ones(1,length(ECMa)),'y',...
1:length(ECMds),ECMds,'b',1:length(ECMds),mECMds*ones(1,length(ECMds)),'g',...
1:length(ECMdd),ECMdd,'c',1:length(ECMdd),mECMdd*ones(1,length(ECMdd)),'m','linewidth',1)
    legend('Autónomo','Media Autónoma','Diferencial Simple','Media Dif S','Diferencial
Doble','Media Dif Doble')
    title('Error Estimado');
    ylabel('Error de Posición [m]');
    xlabel('Épocas [intervalo 1 s]');
    grid on;
elseif g3==1
    axes(handles.axes1)
    plot(Ea-mean(Ea),Na-mean(Na),'r',Eds-mean(Eds),Nds-mean(Nds),'g',Edd-mean(Edd),Ndd-
mean(Ndd),'y');
    title('Dispersión Horizontal');
    legend('Autónomo','Diferencial Simple','Diferencial Doble');
    xlabel('E [m]');
    ylabel('N [m]');
    grid on;
end
handles.Ea=Ea;

```

```

handles.Na=Na;
handles.Eds=Eds;
handles.Nds=Nds;
handles.Edd=Edd;
handles.Ndd=Ndd;
handles.ECMA=ECMA;
handles.ECMds=ECMds;
handles.ECMdd=ECMdd;
op=4;
handles.op=op;
else
    disp('No existe épocas comunes para procesar');
end
end

guidata(hObject,handles);

function pushbutton7_Callback(hObject, eventdata, handles)

set(handles.edit1,'String','')
set(handles.edit2,'String','')
set(handles.edit3,'String','')
set(handles.uitable1, 'Data', cell (size (get (handles.uitable1, 'Data'))));

function edit1_Callback(hObject, eventdata, handles)
function edit1_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)

if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'), get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function edit2_Callback(hObject, eventdata, handles)

function edit2_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)

if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'), get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function edit3_Callback(hObject, eventdata, handles)

function edit3_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)

if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'), get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function radiobutton6_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)

function pushbutton8_Callback(hObject, eventdata, handles)

nombreachivom = handles.nombreachivom;
ofilem=handles.ofilem;
nombreachivor = handles.nombreachivor;
ofiler=handles.ofiler;
nombrenav = handles.nombrenav;
navfile=handles.navfile;

fprintf('Lectura del RINEX de Observaci?n de la Estaci?n de Referencia %s ... \n',nombreachivom);

```

```

fidm = fopen(ofilem,'rt');
fileoutm='DatosMaster.txt'; %Fichero de salida (crear)
fidom=fopen(fileoutm,'w');
fclose(fidom);
[Obs_typesm,apposim,ant_deltam,ifound_typesm,eofm,Id_namem,Id_numberm,year2m,intm,tepm] =
cabeceraobs(ofilem);
NoObs_typesm = size(Obs_typesm,2)/2;
fprintf('Posici?n fija de la estaci?n de referencia obtenida de RINEX:\n');
fprintf(' X=% .4f m, Y=% .4f m, Z=% .4f m\n', apposim(1,1), apposim(1,2), apposim(1,3));
fprintf('Total de ?pocas en Estacion de Referencia : %5i \n',tepm);

%SaltarHEADER(ofile1);
head_linesm = 0;
while 1 %Se salta la cabecera
    head_linesm = head_linesm+1;
    lin = fgetl(fidm);
    answer = strfind(lin,'END OF HEADER');
    if ~isempty(answer), break; end;
end;
fprintf('Escribiendo en: %s ... \n',fileoutm)
for q = 1:tepm
    [sowm,prnsatm,TSATm,fecham] = ext_epocas(fidm,year2m);
    nepocam=q ;
    NoSvm = length(prnsatm);
    Obsm = grabar_datos(fidm, NoSvm, NoObs_typesm);
    crearFichero(Id_namem,sowm,prnsatm, TSATm,Obsm,fileoutm,Obs_typesm);
end
fclose(fidm);

% ROVER
fprintf('Lectura del RINEX de Observaci?n del Rover %s ... \n',nombreachivor)
fidr = fopen(ofiler,'rt');
fileoutr='DatosRover.txt'; %Fichero de salida (crear)
fidor=fopen(fileoutr,'w');
fclose(fidor);
[Obs_typesr,apposir,ant_deltar,ifound_typesr,eofr,Id_namer,Id_numberr,year2r,intr,tepr] =
cabeceraobs(ofiler);
NoObs_typesr = size(Obs_typesr,2)/2;
fprintf('Posici?n del Rover obtenida de RINEX:\n');
fprintf(' X=% .4f m, Y=% .4f m, Z=% .4f m\n', apposir(1,1), apposir(1,2), apposir(1,3));
fprintf('Total de ?pocas en Rover : %5i \n',tepr)
%SaltarHEADER(ofile1);
head_linesr = 0;
while 1 %Se salta la cabecera
    head_linesr = head_linesr+1;
    lin = fgetl(fidr);
    answer = strfind(lin,'END OF HEADER');
    if ~isempty(answer), break; end;
end;
fprintf('Escribiendo en: %s ... \n',fileoutr)
for q = 1:tepr
    [sowr,prnsatr,TSATr,fechar] = ext_epocas(fidr,year2r);
    nepocar=q ;
    NoSvr = length(prnsatr);
    Obsr = grabar_datos(fidr, NoSvr, NoObs_typesr);
    crearFichero(Id_namer,sowr,prnsatr, TSATr,Obsr,fileoutr,Obs_typesr);
end

fclose(fidr);
% NAVEGACIÓN

```

```

fprintf('Lectura del archivo RINEX de Navegaci_n %s ... \n',nombrenav)
Ephem='Ephemerides.txt';
fprintf('Escribiendo en: %s ... \n',Ephem)
[Eph,ionosf]=lectnav(navfile);
if ~(any(ionosf))
    fprintf('No existe parametros ionosfericos en el archivo de navegaci3n se inicia en 0.\n');
    ionosf=zeros(8,1);
end

```

```

h = msgbox('Lectura Finalizada','Fin');
%%% Variables
handles.Eph=Eph;
handles.ionosf=ionosf;
guidata(hObject,handles);

```

```

function axes2_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
function uitable1_CellEditCallback(hObject, eventdata, handles)

```

```

function radiobutton13_Callback(hObject, eventdata, handles)

```

```

a=get(hObject,'Value');
op=handles.op;
if a==1
    if op==1
        Ea= handles.Ea; Na= handles.Na;
        axes(handles.axes1)
        plot(Ea,Na,'.')
        title ('Coordenadas UTM');
        legend( 'Aut3nomo');
        xlabel('E [m]');
        ylabel('N [m]');
        grid on;
    elseif op==2
        Eds= handles.Eds; Nds= handles.Nds;
        axes(handles.axes1)
        plot(Eds,Nds,'.')
        title ('Coordenadas UTM');
        legend( 'Diferencial Simple');
        xlabel('E [m]');
        ylabel('N [m]');
        grid on;
    elseif op==3
        Edd= handles.Edd; Ndd= handles.Ndd;
        axes(handles.axes1)
        plot(Edd,Ndd,'.')
        title ('Coordenadas UTM');
        legend( 'Diferencial doble');
        xlabel('E [m]');
        ylabel('N [m]');
        grid on;
    elseif op==4
        Ea= handles.Ea; Na= handles.Na;
        Eds= handles.Eds; Nds= handles.Nds;
        Edd= handles.Edd; Ndd= handles.Ndd;
        axes(handles.axes1)
        plot(Ea,Na,'.r',Eds,Nds,'.g',Edd,Ndd,'.y');
        title ('Dispersi3n Horizontal');
        legend( 'Aut3nomo','Diferencial Simple','Diferencial Doble');
        xlabel('E [m]');
        ylabel('N [m]');
    end
end

```



```

        grid on;
    end
else
    disp('Error... Presione ejecutar')
end
guidata(hObject,handles);

function radiobutton13_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)

function radiobutton14_Callback(hObject, eventdata, handles)

a=get(hObject,'Value');
op=handles.op;

if a==1
    if op==1
        ECMa= handles.ECMa; mECMa=mean(ECMa);
        axes(handles.axes1)
        plot(1:length(ECMa),ECMa,'r',1:length(ECMa),mECMa*ones(1,length(ECMa)),'y','linewidth',1)
        legend('Autónomo','Media Autónomo')
        title('Error Estimado','FontSize',16)
        ylabel('Error de Posicion [m]','FontSize',16)
        xlabel('Épocas [intervalo 1 s]','FontSize',16)
        set(gca,'FontSize',16)
    elseif op==2
        ECMds=handles.ECMds; mECMds=mean(ECMds);
        axes(handles.axes1)
        plot(length(ECMds),ECMds,'b',1:length(ECMds),mECMds*ones(1,length(ECMds)),'g')
        legend('Diferencial Simple','Media');
        title('Error Estimado');
        ylabel('Error de Posicion [m]');
        xlabel('Épocas [intervalo 1 s]');
    elseif op==3;
        ECMdd=handles.ECMdd; mECMdd=mean(ECMdd);
        axes(handles.axes1)
        plot(length(ECMdd),ECMdd,'b',1:length(ECMdd),mECMdd*ones(1,length(ECMdd)),'g')
        legend('Diferencial Doble','Media');
        title('Error Estimado');
        ylabel('Error de Posicion [m]');
        xlabel('Épocas [intervalo 1 s]');

    elseif op==4
        ECMa= handles.ECMa; mECMa=mean(ECMa);
        ECMds=handles.ECMds; mECMds=mean(ECMds);
        ECMdd=handles.ECMdd; mECMdd=mean(ECMdd);
        axes(handles.axes1)
        plot(1:length(ECMa),ECMa,'r',1:length(ECMa),mECMa*ones(1,length(ECMa)),'y',...
1:length(ECMds),ECMds,'b',1:length(ECMds),mECMds*ones(1,length(ECMds)),'g',...
1:length(ECMdd),ECMdd,'c',1:length(ECMdd),mECMdd*ones(1,length(ECMdd)),'m','linewidth',1)
        legend('Autónomo','Media Autónomo','Diferencial Simple','Media Dif S','Diferencial Doble','Media
Dif Doble')
        title('Error Estimado');
        ylabel('Error de Posición [m]');
        xlabel('Épocas [intervalo 1 s]');
        grid on;
    end
else
    disp('Error... Presione ejecutar')
end
guidata(hObject,handles);

```

```
function radiobutton15_Callback(hObject, eventdata, handles)
```

```
    a=get(hObject,'Value');
```

```
    op=handles.op;
```

```
    if a==1
```

```
        if op==1
```

```
            Ea= handles.Ea;  Na= handles.Na;
```

```
            axes(handles.axes1)
```

```
            plot(Ea-mean(Ea),Na-mean(Na),'')
```

```
            title('Dispersión Horizontal Autónomo');
```

```
            legend('Autónomo');
```

```
            xlabel('E [m]');
```

```
            ylabel('N [m]');
```

```
            grid on;
```

```
        elseif op==2
```

```
            Eds= handles.Eds;  Nds= handles.Nds;
```

```
            plot(Eds-mean(Eds),Nds-mean(Nds),'')
```

```
            title('Dispersión Horizontal Diferencial Simple');
```

```
            legend('Diferencial Simple');
```

```
            xlabel('E [m]');
```

```
            ylabel('N [m]');
```

```
            grid on;
```

```
        elseif op==3
```

```
            Edd= handles.Edd;  Ndd= handles.Ndd;
```

```
            plot(Edd-mean(Edd),Ndd-mean(Ndd),'')
```

```
            title('Dispersión Horizontal Diferencial Doble');
```

```
            legend('Diferencial Doble');
```

```
            xlabel('E [m]');
```

```
            ylabel('N [m]');
```

```
            grid on;
```

```
        elseif op==4
```

```
            Ea= handles.Ea;  Na= handles.Na;
```

```
            Eds= handles.Eds;  Nds= handles.Nds;
```

```
            Edd= handles.Edd;  Ndd= handles.Ndd;
```

```
            axes(handles.axes1)
```

```
            plot(Ea-mean(Ea),Na-mean(Na),'r',Eds-mean(Eds),Nds-mean(Nds),'g',Edd-mean(Edd),Ndd-
```

```
            mean(Ndd),'y');
```

```
            title('Dispersión Horizontal');
```

```
            legend('Autónomo','Diferencial Simple','Diferencial Doble');
```

```
            xlabel('E [m]');
```

```
            ylabel('N [m]');
```

```
            grid on;
```

```
        end
```

```
    else
```

```
        disp('Error... Presione ejecutar')
```

```
    end
```

```
    guidata(hObject,handles);
```

NEO-6 series

Versatile u-blox 6 GPS modules

GPS

Highlights

- UART, USB, DDC (I²C compliant) and SPI interfaces
- Available in Crystal and TCXO versions
- Onboard RTC crystal for faster warm and hot starts
- 1.8 V and 3.0 V variants



NEO-6:
12.2 x 16.0 x 2.4 mm

Features

- u-blox 6 position engine:
 - Navigate down to -162 dBm and -148 dBm coldstart
 - Faster acquisition with AssistNow Autonomous
 - Configurable power management
 - Hybrid GPS/SBAS engine (WAAS, EGNOS, MSAS)
 - Anti-jamming technology
- Simple integration with u-blox wireless modules
- A-GPS: AssistNow Online and AssistNow Offline services, OMA SUPL compliant
- Backward compatible (hardware and firmware); easy migration from NEO-5 family or NEO-4S
- LCC package for reliable and cost effective manufacturing
- Compatible with u-blox GPS Solution for Android
- Based on GPS chips qualified according to AEC-Q100
- Manufactured in ISO/TS 16949 certified production sites
- Qualified according to ISO 16750

Product description

The NEO-6 module series brings the high performance of the u-blox6 position engine to the miniature NEO form factor. u-blox6 has been designed with low power consumption and low costs in mind. Intelligent power management is a breakthrough for low-power applications. These receivers combine a high level of integration capability with flexible connectivity options in a small package. This makes them perfectly suited for mass-market end products with strict size and cost requirements. The DDC interface provides connectivity and enables synergies with u-blox LEON and LISA wireless modules. All NEO-6 modules are manufactured in ISO/TS 16949 certified sites. Each module is tested and inspected during production. The modules are qualified according to ISO 16750 - Environmental conditions and electrical testing for electrical and electronic equipment for road vehicles.

locate, communicate, accelerate

Product selector

| Model | Type | Supply | Interfaces | Features |
|--------|---|---------------------------------|--|--|
| | Standalone GPS Standalone GLONASS Timing & Raw Data Dead Reckoning | 1.75 V – 2.0 V 2.7 V – 3.6 V | UART USB SPI DDC (I ² C compliant) | Programmable (Flash) FW update Oscillator RTC crystal Antenna supply and supervisor Configuration pins Timepulse External interrupt / Wakeup |
| NEO-6G | • | • | • • • • | T • 0 3 1 • |
| NEO-6Q | • | • | • • • • | T • 0 3 1 • |
| NEO-6M | • | • | • • • • | C • 0 3 1 • |

o = requires external components and integration on application processor

C = Crystal / T = TCXO



Receiver performance data

| | | | |
|--------------------------|--|-----------|----------|
| Receiver type | 50-channel u-blox 6 engine GPS L1 C/A code SBAS: WAAS, EGNOS, MSAS | | |
| Navigation update rate | up to 5 Hz | | |
| Accuracy ¹ | Position | 2.5 m CEP | |
| | SBAS | 2.0 m CEP | |
| Acquisition ¹ | | NEO-6G/Q | NEO-6M |
| | Cold starts: | 26 s | 27 s |
| | Aided starts: | 1 s | < 3 s |
| | Hot starts: | 1 s | 1 s |
| Sensitivity ² | | NEO-6G/Q | NEO-6M |
| | Tracking: | -162 dBm | -161 dBm |
| | Cold starts: | -148 dBm | -147 dBm |
| | Hot starts: | -157 dBm | -156 dBm |

¹ All SV @ -120 dBm

² Dependent on aiding data connection speed and latency

³ Demonstrated with a good active antenna

Electrical data

| | |
|--------------------|---|
| Power supply | 2.7 V – 3.6 V (NEO-6Q/6M) 1.75 V – 2.0 V (NEO-6G) |
| Power consumption | 111 mW @ 3.0 V (continuous) 33 mW @ 3.0 V Power Save Mode (1 Hz) 68 mW @ 1.8 V (continuous) 22 mW @ 1.8 V Power Save Mode (1 Hz) |
| Backup power | 1.4 V – 3.6 V, 22 µA |
| Supported antennas | Active and passive |

Interfaces

| | |
|-------------------|---|
| Serial interfaces | 1 UART 1 USB V2.0 full speed 12 Mbit/s 1 DDC (iFC compliant) 1 SPI |
| Digital I/O | Configurable timepulse 1 EXTINT input for Wakeup |
| Serial and I/O | Voltages 2.7 – 3.6 V (NEO-6Q/6M) 1.75 – 2.0 V (NEO-6G) |
| Timepulse | Configurable 0.25 Hz to 1 kHz |
| Protocols | NMEA, UBX binary, RTCM |

Legal Notice

u-blox reserves all rights to this document and the information contained herein. Products, names, logos and designs described herein may in whole or in part be subject to intellectual property rights. Reproduction, use, modification or disclosure to third parties of this document or any part thereof without the express permission of u-blox is strictly prohibited.

The information contained herein is provided "as is". No warranty of any kind, either express or implied, is made in relation to the accuracy, reliability, fitness for a particular purpose or content of this document. This document may be revised by u-blox at any time. For most recent documents, please visit www.u-blox.com.

Copyright © 2011, u-blox AG

Specification applies to P/V 7

Package

24 pin LCC (Leadless Chip Carrier): 12.2 x 16.0 x 2.4 mm, 1.6 g

Pinout



Environmental data, quality & reliability

Operating temp. -40° C to 85° C

Storage temp. -40° C to 85° C

RoHS compliant (lead-free)

Qualification according to ISO 16750

Manufactured in ISO/TS 16949 certified production sites

Support products

u-blox 6 Evaluation Kits:

Easy-to-use kits to get familiar with u-blox 6 positioning technology, evaluate functionality, and visualize GPS performance.

EVK-6H: u-blox 6 Evaluation Kit with TCXO, suitable for NEO-6G, NEO-6Q

EVK-6P: u-blox 6 Evaluation Kit with crystal, suitable for NEO-6M

Ordering information

| | |
|----------|--|
| NEO-6G-0 | u-blox 6 GPS Module, 1.8V, TCXO, 12x16mm, 250 pcs/reel |
| NEO-6M-0 | u-blox 6 GPS Module, 12x16mm, 250 pcs/reel |
| NEO-6Q-0 | u-blox 6 GPS Module, TCXO, 12x16mm, 250 pcs/reel |

Available as samples and tape on reel (250 pieces)

Contact us

HQ Switzerland
+41 44 722 7444
info@u-blox.com

EMEA
+41 44 722 7444
info@u-blox.com

Americas
+1 703 483 3180
info_us@u-blox.com

APAC – Singapore
+65 6734 3811
info_ap@u-blox.com

China
+86 10 68 133 545
info_cn@u-blox.com

Japan
+81 3 5775 3850
info_jp@u-blox.com

Korea
+82 2 542 0861
info_kr@u-blox.com

Taiwan
+886 2 2657 1090
info_tw@u-blox.com

ANEXO F FICHA TÉCNICA DE REGME-EREC



Ministerio
de **Defensa**
Nacional



Comando Conjunto
de las Fuerzas
Armadas



Ejército
Ecuatoriano



Instituto
Geográfico
Militar

REGME - EREC



REGME

RED GNSS DE MONITOREO CONTINUO DEL ECUADOR

Formulario Informativo de la Estación de Monitoreo Continuo EMPRESA ELECTRICA RIOBAMBA - EREC

1. FORMULARIO

| | |
|-------------------------|------------------------------|
| Preparado: | Equipo Técnico REGME – CEPGE |
| Revisado: | Tnte de E Christian Barahona |
| Fecha de actualización: | 12 de junio de 2017 |
| Versión: | 10.1 |

RESOLUCIÓN VIGENTE N° IGM-2016-005-e-1, NOTA ACLARATORIA:

- SE GARANTIZA LA CONSISTENCIA DE LAS COORDENADAS SIRGAS 95 DE LA REGME (COORDENADAS PRE-SISMO), HASTA EL 15 DE ABRIL DE 2016.
- SE GARANTIZA LA CONSISTENCIA DE LAS NUEVAS COORDENADAS POST-SISMO, A PARTIR DEL 17 DE ABRIL DE 2016. ESTAS COORDENADAS ESTAN AJUSTADAS AL ITRF 08, EPOCA DE REFERENCIA 2016.4.

2. IDENTIFICACIÓN DE LAS ESTACIONES GNSS

| | |
|------------------------------------|---|
| Nombre de la Estación: | Riobamba Ecuador |
| Identificación de la Estación: | EREC |
| Código Internacional: | 42037M001 (IERS DOMES NUMBER) |
| Log File vigente: | erec_20130710.log |
| Protocolo de acceso a datos REGME: | http://www.geoportalmgm.gov.ec/portal/index.php/datos-geodesicos/ |
| Propietario de Equipos: | Empresa Eléctrica Riobamba EERSA - Ecuador |
| Responsable Mantenimiento: | EERSA |
| E-mail contacto: | fyanez@eersa.com.ec |

3. LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA

Provincia: Chimborazo
Ciudad: Riobamba
Establecimiento: Empresa Eléctrica Riobamba.
Ubicación: Terraza del edificio antiguo de EERSA.
Dirección: Calle García Moreno y 10 de Agosto.
Tipo de Monumentación: Pilar de concreto de 3,00 m; en el centro se encuentra empotrado el dispositivo de centrado forzoso (CF-IGM-v2).

Fotografías Estación:



Imagen 1.

Fuente: Equipo Técnico REGME – CEPGE



Imagen 2.

Fuente: Equipo Técnico REGME – CEPGE

4. COORDENADAS OFICIALES

4.1. Coordenadas Oficiales hasta el 15 de abril del 2016

ITRF: 94
Datum: SIRGAS 95
Época de Referencia: 1995.4
Elipsoide de Referencia: GRS80

| Geodésicas | | Planas UTM 17S | | Sigma (m) |
|-----------------|-------------------|----------------|---------------|-----------|
| Latitud (G M S) | 01°40'16,21988" S | Norte (m) | 9 815 128,460 | 0,046 |

| | | | | |
|-----------------------|-------------------|----------|-------------|-------|
| Longitud (G M S) | 78°39'04,39499" W | Este (m) | 761 323,463 | 0,046 |
| Altura Elipsoidal (m) | 2 801,366 | | | 0,035 |

Tabla 1. Coordenadas oficiales SIRGAS 95, antes del sismo del 16 de abril del 2016

El evento sísmico de magnitud 7.8 Mw ocurrido entre la zona de Pedernales y Cojimíes en la provincia de Manabí el pasado 16 de abril 2016, produjo un desplazamiento de coordenadas en varias estaciones de monitoreo continuo de la REGME. En función de lo anteriormente expuesto, la información presentada en la tabla 1, es vigente hasta el 15 de abril del 2016.

4.2. Coordenadas Post-sísmicas vigentes a partir del 17 de abril del 2016 Marco

de Referencia: ITRF2008

Época de Referencia: 2016.436

Elipsoide de Referencia: GRS80

Semana GPS: 1900 (DOY 157 - 163)

| Geodésicas | | Planas UTM 17S | | Sigma (m) |
|-----------------------|----------------------|----------------|---------------|-----------|
| Latitud (G M S) | 1° 40' 16,2142" S | Norte (m) | 9 815 128,634 | 0,0009 |
| Longitud (G M S) | 78° 39' 4,3953" W | Este (m) | 761 323,453 | 0,0007 |
| Altura Elipsoidal (m) | 2 801,348m | | | 0,0024 |

Tabla 2. Coordenadas ITRF08, después del sismo del 16 de abril de 2016

Con la finalidad de homologar la información geodésica – cartográfica generada en los distintos proyectos e investigaciones a nivel nacional, a partir del 17 de abril del 2016, el IGM utilizará como Marco Geodésico de Referencia para el Ecuador las coordenadas ajustadas a ITRF08 - época 2016.436 de las Estaciones de Monitoreo Continuo pertenecientes a la red activa de control horizontal – REGME.

NOTA.

La vigencia de la época de ajuste variará en función de la magnitud de las réplicas sísmicas que se presente en este período post sísmico.

5. INFORMACIÓN DEL EQUIPO GNSS

5.1. Receptor

| | |
|-----------------------|---------------------|
| Tipo de Receptor: | TRIMBLE NETR9 |
| Número de Serie: | 5209K82766 |
| Sistema Satelital: | GPS+GLONASS |
| Fecha de Instalación: | 14 de junio de 2013 |

5.2. Antena

| | |
|----------------------|--|
| Modelo de Antena: | ZEPHYR GEODETIC 2 RoHS |
| Nombre Rinex: | TRM57971.00 NONE |
| Número de Serie: | 1212118416 (actualización vigente) |
| Sistema Satelital: | GPS+GLONASS |
| Altura de la Antena: | 0.000 m |
| Detalle de Altura: | Distancia vertical desde el tope del dispositivo de centrado forzoso hasta el ARP (Antenna Reference Point). |
| Modelo RADOME: | No |

Esquemas:

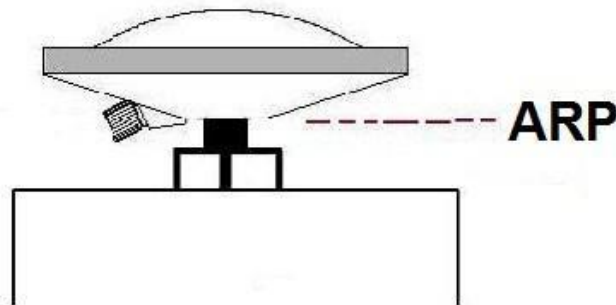


Imagen 3. Esquema de la altura de la antena
Fuente: Equipo Técnico REGME – CEPGE

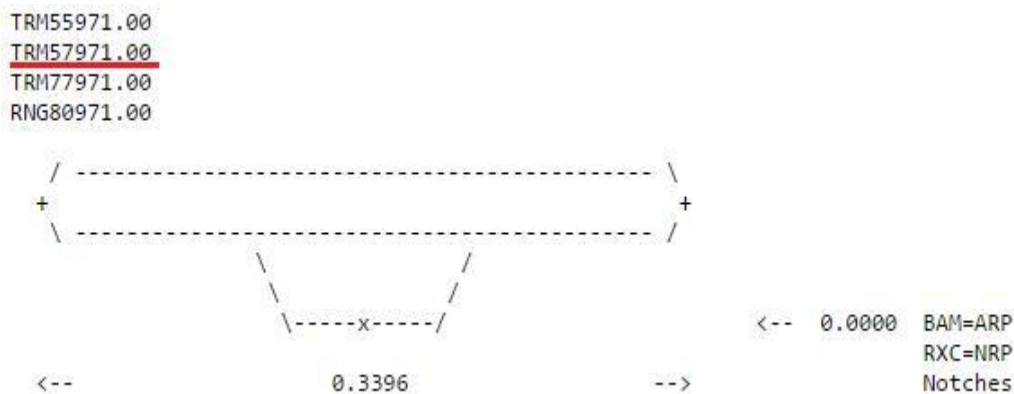


Imagen 4. Característica física de recepción de la antena

Fuente: www.nasa.gov

6. INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA

| | |
|---|--|
| Observables: | (8) C1 L1 S1 P1 C2 L2 S2 P2 |
| Intervalo de Registro: | 1 y 30 segundos. |
| Ángulo de Máscara: | 0 grados. |
| Archivo Diario: | Si |
| Formato de Archivo: | Original TRIMBLE (T02) Rinex (v. 2.11). |
| Servidor de búsqueda 1: | www.geoportaligm.gob.ec |
| Transmisión de Correcciones Diferenciales en tiempo real: | Si |
| Servidor Caster NTRIP: | Ninguno. |

7. INFORMES Y CONTACTOS

7.1. Información Técnica REGME – CEPGE

| | |
|-------------|--|
| Agencia: | INSTITUTO GEOGRÁFICO MILITAR, Gestión Cartográfica, CEPGE. |
| Dirección: | Av. Seniergues E4676 y Gral. Telmo Paz y Miño, El Dorado. Quito. |
| Teléfono: | (593) (2) 3975100 al 130, extensión 4421. |
| Página Web: | www.igm.gob.ec |
| Contacto 1: | Tnte de E Christian Barahona |
| E-mail: | christian.barahona@mail.igm.gob.ec |
| Contacto 2: | Ing. Alfonso Morillo A. |
| E-mail: | alfonso,morillo@mail.igm.gob.ec |
| Contacto 3: | Ing. David A. Cisneros R. |
| E-mail: | david.cisneros@mail.igm.gob.ec |

Contacto 4: Equipo técnico CEPGE
E-mail: cepge@mail.igm.gob.ec

7.2. Información de comercialización y adquisición de datos:

Agencia: EMPRESA ELECTRICA RIOBAMBA S.A.
Dirección: Calle García Moreno, entre 10 de Agosto y
Primera Constituyente
Teléfono: (593) (3) 2 962 940 Ext: 318
Página Web: www.eersa.com.ec

Contacto 1: Fabian Yáñez
E-mail: fyanez@eersa.com.ec

7.3. Instituciones Participantes:

La REGME cuenta con el apoyo de las siguientes instituciones:

A nivel Nacional

Instituto Geográfico Militar del Ecuador

Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica

Nacional Consejo de Coordinación Kichwa de

Pastaza Empresa Eléctrica Riobamba - EERSA

Estación Científica Charles Darwin

Gobiernos Autónomos Descentralizados

Municipales Gobiernos Provinciales

Empresa pública municipal de telecomunicaciones, agua potable, alcantarillado y saneamiento de Cuenca

Universidades

Armada del Ecuador

A nivel Internacional

Sistema de Referencia Geocéntrico para las Américas