



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES**

TRABAJO DE TITULACIÓN

**IMPLEMENTACIÓN DE UN RECEPTOR GPS UTILIZANDO DISPOSITIVOS DE
BAJO COSTO PARA LA DECODIFICACIÓN DE INFORMACIÓN SATELITAL
DEL SISTEMA DE POSICIONAMIENTO GLOBAL.**

Trabajo de Titulación para optar al título de Ingeniero en

Electrónica y Telecomunicaciones

Autor:

Veloz Vallejo, Cristian Andrés

Tutor:

Tello Oquendo, Luis Patricio; PhD.

Riobamba, Ecuador

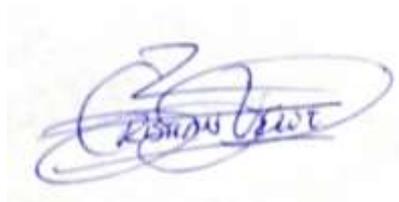
Año 2022

DERECHOS DE AUTORÍA

Yo, **CRISTIAN ANDRÉS VELOZ VALLEJO** con cédula de ciudadanía **0604026575**, autor del trabajo de investigación titulado: **“IMPLEMENTACIÓN DE UN RECEPTOR GPS UTILIZANDO DISPOSITIVOS DE BAJO COSTO PARA LA DECODIFICACIÓN DE INFORMACIÓN SATELITAL DEL SISTEMA DE POSICIONAMIENTO GLOBAL.”**, certifico que la producción, ideas, opiniones, criterios, contenidos y conclusiones expuestas son de mí exclusiva responsabilidad.

Asimismo, cedo a la Universidad Nacional de Chimborazo, en forma no exclusiva, los derechos para su uso, comunicación pública, distribución, divulgación y/o reproducción total o parcial, por medio físico o digital; en esta cesión se entiende que el cesionario no podrá obtener beneficios económicos. La posible reclamación de terceros respecto de los derechos de autor (a) de la obra referida, será de mi entera responsabilidad; librando a la Universidad Nacional de Chimborazo de posibles obligaciones.

En Riobamba, 07 de octubre de 2022



Cristian Andrés Veloz Vallejo

C.I: 0604026575

DICTAMEN FAVORABLE DEL TUTOR Y MIEMBROS DE TRIBUNAL

Quienes suscribimos, catedráticos designados Tutor y Miembros del Tribunal de Grado para la evaluación del trabajo de investigación **IMPLEMENTACIÓN DE UN RECEPTOR GPS UTILIZANDO DISPOSITIVOS DE BAJO COSTO PARA LA DECODIFICACIÓN DE INFORMACIÓN SATELITAL DEL SISTEMA DE POSICIONAMIENTO GLOBAL**, presentado por Cristian Andrés Veloz Vallejo, con cédula de identidad número 060402657-5, certificamos que recomendamos la **APROBACIÓN** de este con fines de titulación. Previamente se ha asesorado durante el desarrollo, revisado y evaluado el trabajo de investigación escrito y escuchada la sustentación por parte de su autor; no teniendo más nada que observar.

De conformidad a la normativa aplicable firmamos, en Riobamba a la fecha de su presentación.

Msc. Daniel Haro Mendoza
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL DE
GRADO



Firma

PhD. Daniel Antonio Santillán Haro
MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE
GRADO



Firma

PhD. Carlos Ramiro Peñafiel Ojeda
MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE
GRADO



Firma

PhD. Luis Patricio Tello
TUTOR



Firma

CERTIFICADO DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL

Quienes suscribimos, catedráticos designados Miembros del Tribunal de Grado para la evaluación del trabajo de investigación **IMPLEMENTACIÓN DE UN RECEPTOR GPS UTILIZANDO DISPOSITIVOS DE BAJO COSTO PARA LA DECODIFICACIÓN DE INFORMACIÓN SATELITAL DEL SISTEMA DE POSICIONAMIENTO GLOBAL**, presentado por Cristian Andrés Veloz Vallejo, con cédula de identidad número 060402657-5, bajo la tutoría del **PhD. Luis Patricio Tello**; certificamos que recomendamos la **APROBACIÓN** de este con fines de titulación. Previamente se ha evaluado el trabajo de investigación y escuchada la sustentación por parte de su autor, no teniendo más nada que observar.

De conformidad a la normativa aplicable firmamos, en Riobamba a la fecha de su presentación.

Presidente del Tribunal de Grado
Msc. Daniel Haro Mendoza



Firma

Miembro del Tribunal de Grado
PhD. Daniel Antonio Santillán Haro



Firma

Miembro del Tribunal de Grado
PhD. Carlos Ramiro Peñafiel Ojeda

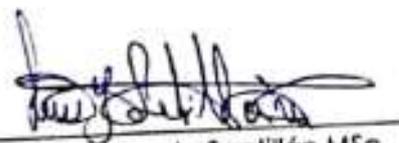


Firma

CERTIFICACIÓN

Que, **VELOZ VALLEJO CRISTIAN ANDRÉS** con CC: **0604026575**, estudiante de la Carrera **ELECTRÓNICA** Facultad de **INGENIERÍA**; ha trabajado bajo mi tutoría el trabajo de investigación titulado "**IMPLEMENTACIÓN DE UN RECEPTOR GPS UTILIZANDO DISPOSITIVOS DE BAJO COSTO PARA LA DECODIFICACIÓN DE INFORMACIÓN SATELITAL DEL SISTEMA DE POSICIONAMIENTO GLOBAL**", cumple con el **6 %**, de acuerdo al reporte del sistema Anti plagio **URKUND**, porcentaje aceptado de acuerdo a la reglamentación Institucional, por consiguiente autorizo continuar con el proceso.

Riobamba, 22 de agosto de 2022



Ing. Luis Gonzalo Santillán MSc.
TUTOR

DEDICATORIA

“Un sueño no se hace realidad por arte de magia, necesita sudor, determinación y trabajo duro “

Colin Powell

El presente trabajo es dedicado a Dios quien me ha brindado salud para poder luchar por mis objetivos, además de darme fuerzas para nunca rendirme y seguir con mis estudios, a mi padre, madre y hermano quienes me apoyaron en todos los momentos de esta etapa, además de aquellas personas que me ayudaron cuando en algún momento lo necesité.

Andrés Veloz.

AGRADECIMIENTO

A mis padres Holguer Patricio y Gladys Tereza quienes han sido el apoyo incondicional durante mi formación académica, y al mismo tiempo mis ejemplares de dedicación y superación, por medio de sus charlas que me han servido para el proceso de convertirme en un profesional.

A mi hermano Bryan Joel con quien he crecido desde pequeño, además he pasado momentos buenos como malos, y me he encariñado con mi sobrina Heily Lilian.

A Katherin Viviana que además de mi novia ha sido mi compañera, amiga, confidente y parte fundamental para alcanzar lo que ahora soy y seré.

ÍNDICE GENERAL

DERECHOS DE AUTORÍA.....	2
DEDICATORIA.....	6
AGRADECIMIENTO.....	7
ÍNDICE DE TABLAS.....	11
ÍNDICE DE FIGURAS.....	12
RESUMEN.....	14
ABSTRACT.....	15
CAPÍTULO I.....	16
1.1 INTRODUCCIÓN.....	16
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN.....	16
1.2.2 JUSTIFICACIÓN.....	17
1.3 OBJETIVOS.....	17
1.3.1 Objetivo general.....	17
1.3.2 Objetivos específicos.....	18
CAPÍTULO II.....	19
2. MARCO TEÓRICO.....	19
2.1 ESTADO DEL ARTE.....	19
2.2 TÉRMINOS Y DEFINICIONES.....	23
2.2.1 Global Navigation Satellite System (GNSS).....	23
2.2.3 Sistema de Posicionamiento Global (GPS).....	24
2.2.4 Arquitectura del GPS.....	25
2.2.5 Precisión y fuentes de Error en los GPS.....	26
2.2.6 Tipos de GPS.....	26
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA.....	36
3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	36
3.1.1 Investigación Documental.....	36

3.1.2	Investigación Aplicada	36
3.2	MÉTODO DE INVESTIGACIÓN.....	36
3.2.1	Analítico	36
3.2.2	Descriptivo.....	36
3.2.3	Experimental.....	36
3.3	TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN	37
3.3.1	Observación	37
3.4	DISEÑO DEL PROTOTIPO.....	37
3.4.1	Activación del módulo GPS NEO – 6M	37
3.4.2	Configuración RTKNAVI	41
3.4.3	Descarga de archivos para corrección en CDDIS	43
3.4.4	Configuración de la antena en RTKNAVI	47
3.4.5	Configuración de la estación base en RTKNAVI	48
3.4.6	Configuración de las correcciones en RTKNAVI.....	49
3.4.7	Diagrama de flujo para conexión de módulo GPS	50
3.4.8	Manual de configuración del prototipo GPS con Raspberry Pi 4.....	51
3.4.9	Conexión del receptor GPS y Raspberry Pi.....	52
3.4.10	Configuración de Raspberry Pi para GPS	52
3.4.11	Descarga del software necesario.....	53
3.4.12	Lectura de los datos de posición.....	54
3.4.13	Desempeño del funcionamiento del prototipo.....	55
CAPÍTULO IV		57
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	57
4.1	Análisis de resultados	57
4.2	Registro del Posicionamiento	57
4.2.1	Escenario 1	58
4.2.2	Escenario 2	59

4.2.3	Registro del posicionamiento	60
4.2.4	Cálculo del error	63
4.2.5	Análisis de la varianza con un factor ANOVA	65
ANEXOS	74
Anexo A	74
Anexo B	75
Anexo C	76

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Tarjetas de desarrollo	30
Tabla 2 Características de Raspberry PI OS.....	31
Tabla 3 Módulos NEO6.....	31
Tabla 4 Características de módulo de pantalla	32
Tabla 5 Características de módulo batería.....	33
Tabla 6 Especificaciones técnicas	34
Tabla 7 Características de socket.....	34
Tabla 8 Características adaptador cargador tipo b.....	35
Tabla 9 Registro de Posicionamiento	57
Tabla 10 Ruta establecida para el análisis del escenario 1	58
Tabla 11 Ruta establecida para el análisis del escenario 2	59
Tabla 12 Resultados de los datos arrojados por los dispositivos de Geolocalización en el escenario 1	61
Tabla 13 Resultados de los datos arrojados por los dispositivos de Geolocalización en el escenario 2	62
Tabla 14 Error absoluto escenario 1	63
Tabla 15 Error absoluto escenario 2	64
Tabla 16 Hipótesis nula	65
Tabla 17 Análisis ANOVA.....	65
Tabla 18 Presupuesto del proyecto.....	67

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Arquitectura básica del sistema GNSS	23
Figura 2 Historia del Sistema de Posicionamiento Global (GPS)	24
Figura 3 Arquitectura del GPS	26
Figura 4 GPS de mano	27
Figura 5 GPS Navegadores	27
Figura 6 Receptor GPS conectable	27
Figura 7 GPS integrados	28
Figura 8 Datos técnicos cable tipo C	35
Figura 9 Reconocimiento de puerto en el Administrador de Dispositivos.....	37
Figura 10 Configuración del módulo para recepción de datos.....	38
Figura 11 Verificación de conexión de antena y obtención de datos brutos.....	38
Figura 12 Configuración de la velocidad de transmisión de datos.....	39
Figura 13 Activación de mensajes UBX	39
Figura 14 Activación de los datos RAW	40
Figura 15 Activación de datos SFRB	40
Figura 16 Recepción de datos de los satélites	41
Figura 17 Interfaz de inicio a la aplicación RTKNAVI	41
Figura 18 Input Stream RTKNAVI.....	42
Figura 19 Output Streams RTKNAVI.....	42
Figura 20 Options de RTKNAVI	42
Figura 21 Archivos de correcciones de procesamiento en PPP.....	43
Figura 22 Ingreso a CDDIS	43
Figura 23 Archivos de efemérides.....	44
Figura 24 Ionosphere / Troposphere de CDDIS	45

Figura 25 Datos de la ionósfera.....	45
Figura 26 Archivos con una extensión PVC	46
Figura 27 Archivos correspondientes a la corrección de errores en PPP	46
Figura 28 Configuraciones en el u-center.....	47
Figura 29 Activación de opciones en el RTKNAVI.....	47
Figura 30 Formato para la recepción de datos en RTKNAVI.....	48
Figura 31 Ingreso de usuario y contraseña proporcionados por el IGM	48
Figura 32 Lista de estaciones de monitoreo continuo del IGM.....	49
Figura 33 Listado de estaciones conectadas al IGS.....	49
Figura 34 Diagrama de flujo para conexión de módulo GPS	50
Figura 35 Interfaz Raspberry Pi	51
Figura 36 Connections between the GPS receiver and the Pi 4	52
Figura 37 Configuración del sistema operativo Raspberry Pi.....	52
Figura 38 Opciones de interfaz de la configuración de Raspberry Pi	53
Figura 39 Visualización de la salida.....	53
Figura 40 Datos para mostrar una posición.....	54
Figura 41 Diagrama de desempeño de funcionamiento del prototipo.....	55
Figura 42 Desempeño de funcionamiento del prototipo	56
Figura 43 Puntos obtenidos para el análisis.....	58
Figura 44 Trayectoria de Escenario 1	59
Figura 45 Trayectoria de Escenario 2.....	60
Figura 46 Comparación de medias	66
Figura 47 Representación Altura y Coordenadas DMS (grados, minutos, segundos) ...	75
Figura 48 Dispositivo GPS ASHTECH facilitado por la EERSA.....	76

RESUMEN

El presente proyecto de investigación expone la “Implementación de un receptor GPS utilizando dispositivos de bajo costo para la decodificación de información satelital del Sistema de Posicionamiento Global”, el cual tiene como finalidad la decodificación de las efemérides emitidas por los satélites mediante el diseño de un receptor de GPS basado en tarjetas de desarrollo de bajo costo, el receptor Ublox NEO-6M utilizado para la investigación realiza corrección de errores en tiempo real, este permitió eliminar varias fuentes de error como: atmósfera, receptor, efecto multitrayectoria, imprecisión en relojes haciéndolo más preciso que otros dispositivos.

Para lograr el objetivo trazado se realizó una revisión en libros, artículos, revistas, tesis de grado para el desarrollo del marco teórico y, además se llevó a cabo una investigación aplicada para el diseño del prototipo en base a los hallazgos tecnológicos de la investigación documental. El proyecto se desarrolló inicialmente con la recepción de señal en dos escenarios diferentes y con una trayectoria de 10 puntos cada uno para identificar la precisión demostrándolo con un análisis de la distancia en cada punto, y así se realizó una comparativa del desempeño que tiene el prototipo en base a un GPS comercial topográfico y uno de mano, las coordenadas reales se obtuvieron del Instituto Geográfico Militar para realizar la comparativa con el equipo ASHTECH 10, Xiaomi y GPS Ublox Neo 6M, y realizar el procesamiento de datos con el cálculo del error absoluto de la distancia entre dos coordenadas geográficas, y finalmente el Análisis de la Varianza, en el cual se aprueba la hipótesis nula, que determina que la Raspberry tiene un error considerado con relación al resto, es decir, tiene una mejor precisión.

Palabras claves: Dispositivo, Prototipo, Sistema de Posición Global (GPS), Sistema Satelital de Navegación Global (GNSS), Precisión, Efemérides, Señal.

ABSTRACT

This research project presents the "Implementation of a GPS receiver using low-cost devices for decoding satellite information of the Global Positioning System," which aims to decode the ephemeris emitted by satellites by designing a GPS receiver based on low-cost development cards. The Ublox NEO-6M receiver used for the research performs error correction in real-time; this eliminates several sources of error such as Atmosphere, receiver, multipath effect, and imprecision in clocks making it more accurate than other devices.

The outlined objective achievement of a review of books, articles, magazines, and thesis for the development of the theoretical framework and, in addition, applied research was carried out for the prototype design based on the technological findings of the documentary research. This project was initially developed with signal reception in two different scenarios and a trajectory of 10 points each to identify the accuracy demonstrating it with an analysis of the distance at each end. A comparison of the performance that the prototype has based on a commercial topographic GPS and a handheld one, the actual coordinates were obtained from the Military Geographic Institute to make the comparison with the ASHTECH 10 equipment, Xiaomi and Ublox Neo 6M GPS, and perform the data processing with the calculation of the absolute error of the distance between two geographical coordinates, and finally the Analysis of Variance, in which the null hypothesis is approved, which determines that the Raspberry has an error considered about the rest. Therefore, the designed device has better accuracy compared to the devices mentioned above.

Keywords: Device, Prototype, Global Positioning System (GPS), Global Navigation Satellite System (GNSS), Accuracy, Ephemeris, Signal.



ANÁLISIS Y CALIFICACIÓN POR:
ANA ELIZABETH
MALDONADO LEÓN

Reviewed by:

Ms. C. Ana Maldonado León

ENGLISH PROFESSOR

C.I.0601975980

CAPÍTULO I

1.1 INTRODUCCIÓN

A lo largo de la revolución industrial se han desarrollado nuevas tecnologías para proporcionar muchos servicios, entre ellos la navegación. La recepción y decodificación de la información son posibles gracias a la utilización de la síntesis y transmisión de señales de alta frecuencia junto con el diseño de dispositivos electrónicos, que cada vez más optan por la producción en masa y la miniaturización.

El sistema de comunicación por satélite denominado Sistema de Posicionamiento Global (GPS) está formado por 24 satélites en órbitas con una inclinación de 56° y a unos 22.000 km sobre la superficie de la Tierra. Ofrece servicios de posicionamiento estandarizados y precisos. Este último es de uso civil y opera en la banda de frecuencias L a una frecuencia fija de 1500 MHz [1].

Las efemérides son el nombre de los datos que los satélites GPS envían por el aire. Se transmiten en paquetes que también contienen datos sobre la órbita, el reloj y el estado del satélite. Estos datos son descodificados por un receptor y, a continuación, se utilizan una serie de algoritmos de navegación para determinar la posición final en la Tierra.

Debido a su fiabilidad y disponibilidad desde 1950, el GPS es actualmente el sistema de navegación más utilizado; el uso de este servicio está representado en las operaciones de georreferenciación y navegación [2]. Dado que existen muchos receptores profesionales y de aficionados basados en placas de desarrollo como Arduino y Raspberry Pi, así también antenas asequibles de la marca UBLOX [3], es imprescindible utilizar un dispositivo receptor para este fin.

Este proyecto se basa en las tecnologías existentes con el fin de crear un receptor GPS económico que permita descodificar con cierta precisión la información de los satélites para el análisis y la interpretación del funcionamiento del GPS.

El proyecto propone utilizar software y hardware de código abierto para analizar los datos de los satélites del sistema de navegación GPS. Permite visualizar y analizar los archivos emitidos por los satélites, que son difíciles de captar para los usuarios. Para analizar el proceso de generación y transmisión de la señal L1, se tiene en cuenta una región amplia y completa.

1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN

1.2.1 PROBLEMA

Varias constelaciones de satélites en órbitas circulares, así como los receptores aeronáuticos y los sistemas de control de la integridad de la señal, operan el Sistema de Posicionamiento Global (GPS) en la frecuencia L1. Un equipo receptor que gestiona los datos aplica algoritmos de navegación predeterminados para ofrecer una visualización en 3D.[1]

El funcionamiento de la constelación GPS y el cálculo de la localización son transparentes para los usuarios, que no participan ni conocen el proceso. En este caso, por ejemplo, el software Google Maps pretende ofrecer al usuario alternativas de navegación basadas en la localización proporcionada por el receptor GPS incorporado en el dispositivo móvil.

Sin embargo, uno de los inconvenientes es que la arquitectura, los componentes y los requisitos previos del servicio son desconocidos para los usuarios del sistema. Debido a las limitaciones de los derechos de autor, los receptores profesionales no pueden acceder a los datos satelitales del sistema, lo que amplía la brecha de conocimientos sobre su funcionamiento.

En el mercado se pueden encontrar distintos tipos de GPS, con diversos sistemas operativos, características y formas de uso. El problema es el precio de estos dispositivos, que puede llegar a miles de dólares. Además, la precisión y margen de error variará dependiendo a la capacidad de la recepción y procesamiento de la información satelital.

1.2.2 JUSTIFICACIÓN

Mediante la adaptación de un sistema que a través de módulos y tarjetas de desarrollo tienen como ventaja estar al alcance del bolsillo, se desarrollará un prototipo GPS que sea capaz de entregar información satelital con una alta precisión a un costo asequible para el usuario.

Este dispositivo proporcionará los beneficios de la información satelital y un sistema de post procesamiento con librerías gratuitas y de código abierto.

El usuario únicamente tendrá que cancelar el costo de los equipos básicos que es relativamente bajo y podrá explotar un servicio mejorado en algunos parámetros obtenidos desde el satélite que son muy importantes para el posicionamiento sin necesidad de un pago adicional.

De este modo se logrará un libre manejo de datos satelitales brutos, los cuales el software se encargará de procesar y crear la posición actual. El usuario podrá manipular estos datos extraídos de satélites y contará con una interfaz Dispositivo/Usuario, a diferencia de un sistema comercial.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo general

Implementar un receptor GPS utilizando dispositivos de bajo costo para la decodificación de información satelital del sistema de posicionamiento global.

1.3.2 Objetivos específicos

- Estudiar el estado del arte de la arquitectura del Sistema de Posicionamiento Global (GPS)
- Diseñar un receptor de GPS basado en tarjetas de desarrollo para la decodificación de las efemérides emitidas por los satélites.
- Decodificar la información satelital recibida utilizando el receptor mediante un software libre de procesamiento de información.
- Analizar las efemérides y condiciones mínimas de operación del GPS para la determinación de la posición en el receptor.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1 ESTADO DEL ARTE

Se evidencian textos académicos que involucran las variables de investigación. -

- Mónica Zabala en su artículo: Implementación del Caster Experimental para la Distribución de Medidas de GPS en tiempo real a través de NTRIP mencionó:

El sistema de posicionamiento satelital favorece las actividades cotidianas, ya que su uso es aplicado en múltiples áreas desde la modelación de los espacios en la cartografía, colocación de distribución eléctrica, rastrear un vehículo o simplemente para encontrar un destino.

La ventaja de su empleo es que se puede utilizar a toda hora y en distintos lugares. El GPS es un método de adquisición de coordenadas que transmite en dos frecuencias, L1 de uso civil y L2 de uso militar. Generalmente se utiliza la frecuencia L1 y el receptor deberá recibir señales de al menos 3 a 4 satélites para poder generar una posición en un corte de coordenadas cartesianas (x,y,z) que son convertidas a coordenadas geográficas.

Con el pasar de los años los dispositivos han evolucionado mejorando la precisión de los sistemas de posicionamiento por satélite.

Hoy en día se puede obtener información satelital en un equipo móvil, una Tablet, en los vehículos y en prototipos más sofisticados para usos particulares que, por sus especificaciones y utilidad, llegan a tener un costo elevado.

- Mónica Zabala, Franklin López, y Ángel Ortega en su artículo científico: Análisis e implementación de diferencial GPS en configuración simple y doble establecieron:

Con relación a la codificación de la información satelital es necesario mencionar que los datos de las efemérides muestran información orbital para cada satélite del sistema. A su vez, estos satélites envían información codificada que permite a los receptores en tierra decodificar y así estimar una coordenada y el tiempo que tardó la señal en viajar.

Para la decodificación de información satelital o de los datos de efemérides a través de un receptor de señal, se puede utilizar un software libre que realice el post procesamiento. Un claro ejemplo es el Software RTKLIB de código abierto, que permite realizar corrección de errores en la tropósfera, efemérides y el reloj, optimizando la precisión de la coordenada.

También es importante mencionar que este programa está constituido por librerías de programas portables que procesan los datos obtenidos [2].

- Lorena Cuenca y Jorge León en su tesis de grado: Implementación de un Sistema de Navegación Inercial, para mejorar la precisión de posicionamiento de un prototipo GPS en una trayectoria dentro de la ESPOCH determinaron:

En el mercado existen distintos tipos de GPS desarrollados por empresas dedicadas a la elaboración de éstos. Cada dispositivo es implementado con un sistema operativo que posee permisos de operación en el mercado.

Así mismo la empresa que otorgue todos ellos será la encargada de ofrecer un sistema de rastreo con una cuota ya sea mensual, como puede ser anual. Existen varios GPS comerciales en el mercado con distintas aplicaciones y parámetros como son: fabricante, marca, modelo, precio, entre otros. Un dato muy importante que el comprador debe tener en cuenta es la precisión del dispositivo, ya que una pequeña décima de margen de error puede variar por metros la posición. Cabe recalcar que el valor comercial de estos equipos sobrepasa los 3000,00 USD en el mercado, por lo que se consideran equipos muy costosos.

Por ejemplo, MobileMapper 50 es utilizado en topografía y compatible con receptores GNSS SP60 y SP80, los cuales sirven para captar los datos con mayor facilidad y flexibilidad para zonas difíciles; además trabaja con un sistema operativo Android que ofrece la practicidad con un diseño compacto y robusto. Otro modelo es Garmin GPSMAP 64sx que tiene un diseño robusto, con una pantalla de 2.6 pulgadas y es compatible con múltiples GNSS como GPS, GLONASS y GALILEO considerados sistemas de navegación por satélite que posee una batería de larga duración de hasta 16 horas en modo GPS, el peso es de 0.402 Kg [3].

Con la evolución de la tecnología ahora se puede observar la ubicación de determinado punto en tiempo real mediante el uso de dispositivos móviles (Smartphone y tablets) al igual que en ordenadores. Esto se debe a que la señal GPS se puede conseguir a través de aplicaciones como *Google Maps* que es una herramienta que permite geolocalizar puntos, rutas, entre otros.

- Krista Merry y Pete Bettinger en su artículo: Smartphone GPS Accuracy Study In An Urban Environment establecieron:

El software del sistema operativo de Avenza se utilizó para capturar posiciones horizontales para comprender la precisión relativa de la ubicación en un entorno urbano, en dos estaciones del año, dos veces al día y dos períodos de tiempo. En promedio, la época del año no parece afectar el error promedio observado en posiciones horizontales usando solo GPS (Wi-Fi no habilitado) o Wi-Fi habilitado. Las observaciones de error de posición horizontal promedio solo parecen mejorar con la hora (tardía) del día durante la temporada de hojas. En cada estación y hora del día, el error de posición horizontal generalmente parece mejorar durante los momentos de alto uso de Wi-Fi (cuando hay mucha gente alrededor). La precisión general promedio de la posición horizontal del iPhone 6 (7-13 m) coincide con la precisión general observada para los receptores GPS recreativos en un entorno multilínea de alta capacidad [4]

- Tianlin Wang; Christopher S. Ruf; Scott Gleason; Andrew J. O'Brien y Darren S. McKague en su artículo: Dynamic Calibration of GPS Effective Isotropic Radiated Power for GNSS-Reflectometry Earth Remote Sensing establecieron:

La reflectometría del Sistema Global de Navegación por Satélite (GNSS) utiliza señales GNSS reflejadas para aplicaciones de teledetección de la Tierra. La calibración absoluta del mapa Doppler retardado (DDM) requiere una estimación precisa de la potencia radiante isotrópica efectiva (EIRP) de un transmisor GNSS, como un sistema de posicionamiento global (GPS). Sin embargo, muchas naves espaciales GPS Block II (IIF) y Updated II (IIR-M) están sujetas a cambios debido a sus modos de energía flexibles. La heterogeneidad de los patrones de ganancia de la antena GPS aumenta la complejidad de la estimación de EIRP. Se ha desarrollado un método de calibración dinámica para manejar la variación de EIRP de GPS. Utiliza mediciones de señales de GPS recibidas directamente para estimar la EIRP de GPS en una dirección específica de reflexión y luego integra esto en una calibración de sección transversal de radar electrostático.

El análisis de errores utilizando la simulación de Monte Carlo y la suma de cuadrados (RSS) muestra que el error resultante es de aproximadamente 0,32 dB. La calibración dinámica EIRP detecta y corrige instantáneamente las fluctuaciones de potencia en el transmisor GPS y reduce en gran medida los errores debido a las inconsistencias de azimut en la ganancia de la antena GPS. Permite la inclusión de retroalimentación con los transmisores Block IIF más variables (alrededor del 37% de la constelación GPS) en productos de datos estándar y mejora la calidad de los productos de datos geoespaciales y de calibración. [5]

- Ningbo Wang, Zishen Li, Bingbing Duan, Urs Hugentobler & Liang Wang en su artículo: GPS and GLONASS observable-specific code bias estimation: comparison of solutions from the IGS networks mencionaron:

A diferencia de las compensaciones de códigos diferenciales, las compensaciones de códigos observables (OSB) específicos describen directamente las desviaciones de las mediciones ficticias individuales, lo que brinda una flexibilidad completa para administrar las compensaciones de códigos múltiples.

Se presentó un método de alineación, cálculo y parámetros multi-GNSS en el contexto de un modelo de ionosfera local. Como ejemplo de actuación, se estima por GPS L1/L2/L5 y Glonass L1/L2 de 2017-2018 del GNSS independiente (IGS) y GNSS múltiple. La estabilidad del satélite se estima en 0.06, 0.12 y 0.09 ns para GPS y GLONASS, respectivamente.

La diferencia en la desviación cuadrática original medio (RMS) entre los OSB basados en IGS generados por el mismo método de estimación está en el rango de 0,1 a 0,2 ns para GPS y doble para GPS GLONASS. Las comparaciones de OSB de satélites GPS L1/L2 en agosto y octubre de 2014 y 2017 muestran que la estabilidad de las estimaciones de OSB en condiciones de mucha luz solar es aproximadamente 1,5 veces peor que en condiciones de poca luz solar para soluciones IGS (Servicio GNSS Internacional).

Para probar la sensibilidad de los resultados de estimación de OSB para diferentes tipos de receptores, se examinó el sesgo de sesgo entre diferentes grupos de receptores (p. ej., Javad, Septentrio y Trimble) durante un período de 3 meses. En 2018. La diferencia máxima entre diferentes conjuntos de receptores es de 0,6 a 0,9 ns para GPS y de 1,4 a 1,7 ns para GLONASS. La razón puede ser que el diseño de la interfaz y la respuesta del enlace del receptor difieren entre los fabricantes del receptor. Por lo tanto, se necesita más investigación para calcular diferentes combinaciones de receptores, es decir, combinaciones con diferentes modelos/marcas que muestren OSB similares [6].

- Rui Sun; Guanyu Wang; Qi Cheng; Linxia Fu; Kai-Wei Chiang; Li-Ta Hsu en su artículo: Improving GPS Code Phase Positioning Accuracy in Urban Environments Using Machine Learning establecieron:

La información de ubicación precisa, proporcionada principalmente a través de sensores GPS, es fundamental para las aplicaciones de IoT en ciudades inteligentes. Sin embargo, el entorno construido atenúa las señales de GPS reflejándolas o bloqueándolas, lo que en algunos casos da como resultado la recepción de señales sin línea de visión de trayectos múltiples. Estos efectos provocan errores de rango que reducen la precisión del posicionamiento GPS.

Las mejoras en el diseño de la antena y el receptor dan como resultado una reducción de trayectos múltiples. Sin embargo, la recepción de la señal y los efectos residuales de trayectos múltiples aún deben minimizarse lo suficiente como para mejorar los errores de rango y la precisión del posicionamiento.

Los enfoques basados en el aprendizaje automático se han mostrado recientemente prometedores para mejorar las soluciones de posicionamiento pseudobasadas al considerar múltiples variables de las mediciones GPS iniciales. Sin embargo, la precisión del GPS está limitada por la capacidad de recibir señales de baja precisión.

A diferencia de los métodos actuales, que utilizan el aprendizaje automático para predecir directamente el clasificador de recepción de la señal, se utilizó un método basado en un árbol de decisión mejorado por gradiente para predecir errores espurios teniendo en cuenta la intensidad de la señal, el ángulo de elevación del satélite y las colas. por pseudodistancia.

Con la predicción de errores espurios, se propuso dos tipos diferentes de algoritmos para mejorar la precisión del sitio. El primero corrige errores y el otro corrige o excluye señales que contienen efectos y señales multicamino. Los resultados del duro entorno urbano caracterizado por edificios de gran altura en un lado muestran la precisión de posicionamiento 3D basada en la corrección de errores medida por el error rms de 23,3 m, lo que supone una mejora de más del 70 % en comparación con los métodos tradicionales [7].

2.2 TÉRMINOS Y DEFINICIONES

2.2.1 Global Navigation Satellite System (GNSS)

El término de GNSS (Global Navigation Satellite System) es el nombre genérico que engloba a los Sistemas de Navegación por Satélite, que proporcionan posicionamiento y navegación, así como el mejor sistema de definición de tiempos (PNT) con cobertura global, tanto de forma automática, igual que con sistemas de aumentación. El GNSS es la infraestructura espacial de satélites generadores de señales que permite a los usuarios de receptores con un dispositivo compatible, determinar su posición, velocidad y tiempo (PVT) mediante el posicionamiento de las señales de los satélites. Las señales GNSS son proporcionadas por cuatro constelaciones de carácter global (GPS, GLONASS, GALILEO y BeiDou), y dos regionales (QZSS o IRNSS), que a menudo se complementan con sistemas de aumentación, basados en satélites (SBAS), como EGNOS [8].

2.2.2. Arquitectura de los sistemas GNSS

La estructura básica de estos sistemas obedece a los de cualquier sistema satelital y que consisten en tres segmentos: (a) el segmento espacial, (b) el segmento de control y (c) el segmento de usuarios como se muestra en la Figura 1.

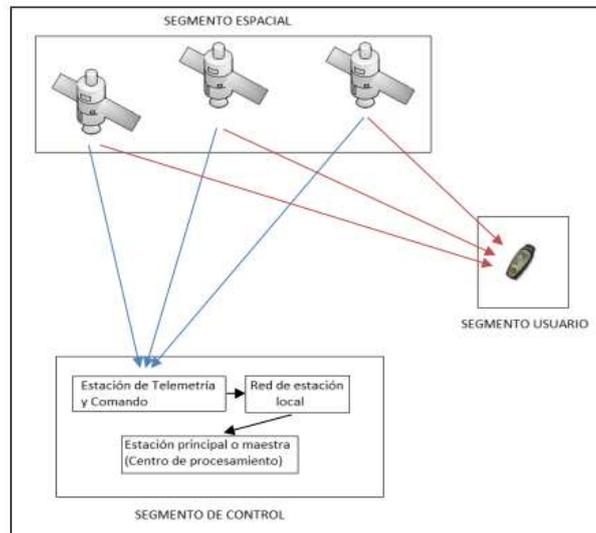


Figura 1 Arquitectura básica del sistema GNSS [6]

En la Figura 1 se observa los tres segmentos que componen la Arquitectura del Sistema GNSS que se detalla a continuación.

Segmento Espacial. - Este segmento se compone de una constelación de satélites o vehículos espaciales (SV por sus siglas en inglés) que conforman el sistema de navegación y que envían las señales necesarias codificadas en portadoras electromagnéticas a distintas frecuencias [9].

Segmento de control. - Cada estación genera su propia información sobre el funcionamiento del sistema la cual se envía a una estación de control que aplica correcciones espacio temporales de los sistemas GNSS o retransmiten la información a un satélite geoestacionario [10].

Segmento usuario. - El segmento usuario se describe comúnmente como el receptor GNSS o instrumentos que usa el usuario con el fin de recibir el mensaje satelital en un lugar de la Tierra respecto a un sistema de referencia propuesto [11].

2.2.3 Sistema de Posicionamiento Global (GPS)

El Sistema de Posicionamiento Global aparece hace varias décadas atrás, la intención de este se enfocaba en el posicionamiento de submarinos, barcos, misiles de tal manera este fue diseñado y constituido por cinco órbitas. En sus inicios este sistema le permitía acceder al posicionamiento en un tiempo aproximado de 15 minutos y un costo que supera una gran cifra millonaria para el diseño y la operación de este. Es evidente que con los años ha evolucionado con lo que ha mejorado su precisión y velocidad para acceder a los datos [12].

Fue designado originalmente por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos de América como “Sistema de Navegación mediante Tiempo y Distancia”, (Navigation Satellite Timing and Ranging; NAVSTAR, por sus siglas en inglés) y fue diseñado para proveer capacidad de navegación a las fuerzas militares de los Estados Unidos en aire, mar y tierra bajo cualquier condición climática [3].

La Figura 2 detalla la historia del GPS a través de los años desde 1957 hasta el 2020. Se puede evidenciar que el sistema ha mejorado en todos sus aspectos con relación a costo, precisión y tiempo de respuesta para obtener sus datos.

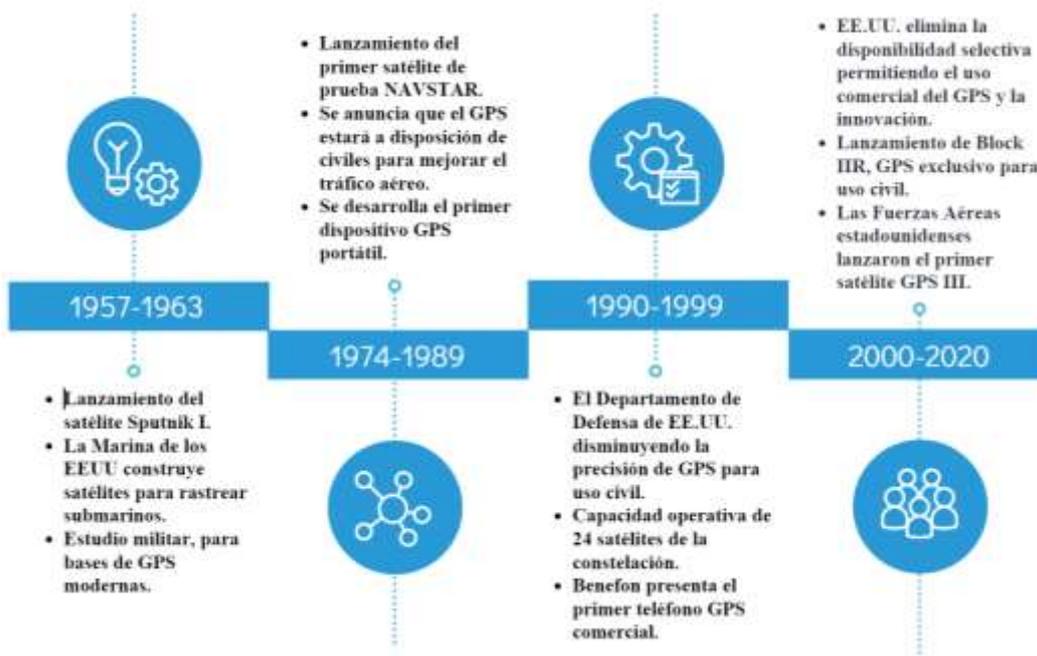


Figura 2 Historia del Sistema de Posicionamiento Global (GPS) [13]

La tecnología del GPS es el futuro, Estados Unidos ya está diseñando la llegada del modelo GPS III. Este sistema de radionavegación, basado en el espacio, proporcionará servicios fiables de posicionamiento, navegación, y cronometría gratuita e ininterrumpidamente a usuarios civiles en todo el mundo [14].

El GPS utiliza satélites para obtener información de la geolocalización de receptores electrónicos. Gracias a ellos se podrá determinar la posición geográfica de dispositivos que cuenten con un receptor GPS. Este sistema es, básicamente, una constelación de veinticuatro (treinta y dos desde el año 2016) que están orbitando a una altura de unos 20.000 km con respecto a la superficie de la tierra.

Cada uno de estos satélites da una vuelta rodeando la tierra cada doce horas. Todo está diseñado de forma que un dispositivo que quiera conocer su posición terrestre siempre pueda ver al menos cuatro satélites diferentes en todo momento, tres para conocer la posición y uno más como medida redundante a fin de mejorar la precisión [15].

Los satélites GPS transmiten señales de radio que son percibidas por receptores GPS. Estas señales proveen a los receptores de la información necesaria para poder conocer su ubicación.

Todos los satélites GPS transmiten en las mismas dos frecuencias, y utilizando técnicas de modulación *spread spectrum* permitiendo que varias señales se transmitan en la misma frecuencia sin contaminarse entre ellas, siendo el receptor GPS el encargado de separarlas [15].

2.2.4 Arquitectura del GPS

El sistema se descompone en tres segmentos básicos, los dos primeros de responsabilidad militar:

1. Segmento espacio. - formado por 24 satélites GPS con órbita de 26560 Km de radio y un periodo de 12h.
2. Segmento control. – que consta de cinco estaciones monitoras encargadas de mantener en órbita los satélites y supervisar su correcto funcionamiento, tres antenas terrestres que envían a los satélites las señales que deben transmitir y una estación experta se supervisión de todas las operaciones.
3. Segmento usuario. – formado por las antenas y los receptores pasivos situados en tierra [2].

En la Figura 3 se detalla la arquitectura de GPS.

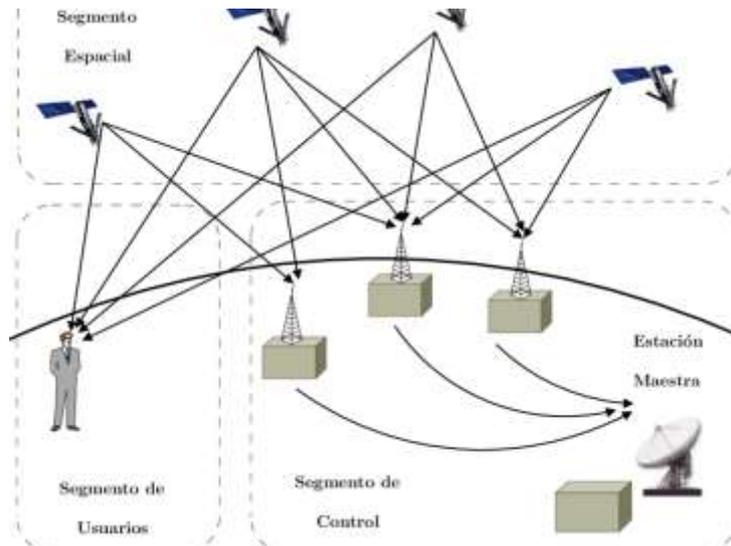


Figura 3 Arquitectura del GPS [7]

2.2.5 Precisión y fuentes de Error en los GPS

Un buen receptor de GPS puede señalar la posición y existen varias formas para obtener una mejor precisión. Es necesario mencionar las causas más comunes de errores que evitan tener datos más precisos [16]:

- **Atmósfera:** Causados por la ionosfera y la troposfera, la velocidad de transmisión de la señal se ve afectada al pasar estas capas, provocando un error en el cálculo de la distancia.
- **Receptor:** El receptor mide el tiempo con un reloj de cuarzo que no son atómicos, lamentablemente carecen de precisión con relación a los relojes que se encuentran en los satélites. Además, la relación del precio y el receptor depende por la calidad del módulo, aun así, en general los receptores responden a un error de 0,5 m. [17].
- **Efecto multitrayectoria:** La señal no se dirige directamente al receptor, sino que tiene un efecto rebote en una superficie reflectora por lo que genera datos incorrectos.
- **Imprecisión en relojes:** Los errores en los relojes pueden ser en el satélite o en receptor, o a su vez en ambos, a consecuencia de esto se obtienen datos con errores en su posición [18].

2.2.6 Tipos de GPS

- **De mano:** Estos son receptores GPS que registran rutas, además se pueden conectar a una computadora que le permite ver el registro de las rutas, es ideal para la utilización de deportes de alta montaña, ciclismo, escalada. El sistema operativo y el software están completamente cerrados y no se puede cambiar ni agregar información, en la Figura 4 se puede observar un ejemplo de GPS de mano [19].



Figura 4 GPS de mano [8]

- **Navegadores:** Igual que el anterior pero diseñado para uso en ciudad y carretera y mucho más moderno. Los dos navegadores GPS que se muestran a continuación le permiten ingresar rápidamente un destino y el navegador calculará la ruta según el mapa. Estos GPS no suelen grabar rutas ni conectarse a un ordenador y en teoría son sistemas cerrados, pero en realidad son WindowsCE aunque el hardware es muy limitado puedes cambiar algunos modelos de máquinas si sabes que funcionarán. Como se muestra en la Figura 5.



Figura 5 GPS Navegadores [8]

- **Básicos:** El software desarrollado por los propios fabricantes de GPS, también puede ser desarrollado por otras empresas que no fabrican GPS para ejecutarse en PC, Pocket PC, teléfonos móviles, etc. Sin embargo, en este caso, necesita un receptor GPS que pueda conectarse a estas "computadoras", como se muestra en la Figura 6 [8].



Figura 6 Receptor GPS conectable [8]

- **GPS integrados:** Hoy en día, muchos dispositivos móviles, Pocket PC o teléfonos móviles ya tienen GPS integrado, y son modelos de gama alta (es decir, caros). Es una buena opción para aquellos que pueden permitírselo. Sin embargo, la misma funcionalidad también es posible con Pocket PC o teléfonos celulares más comunes que agreguen Bluetooth GPS, como se muestra en la Figura 7.



Figura 7 GPS integrados [8]

2.2.7 Diseño del Prototipo GPS

El prototipo consta de varios elementos que permiten realizar un sistema de posición global. La finalidad es identificar variables como: latitud, longitud, velocidad de movimiento, la altitud de posicionamiento y el error a través de una codificación de datos que se obtiene del satélite. Este proceso se realiza con elementos de bajo costo, haciéndolo un dispositivo con resultados mucho más exactos, ya que, comparándolos con sistemas comerciales, este presenta un menor error en la posición actual. Los siguientes elementos se detallan a continuación [18]:

- a) Raspberry Pi 4
- b) Módulo GPS NEO – 6M
- c) Módulo pantalla de 3.5” TFT LCD MP4 480*320
- d) Módulo de energía batería litio 3,7v 3800mah
- e) Tarjeta de memoria Micro SDHC 32GB
- f) Adaptador cargador 110V/5V 3A USB Tipo C
- g) Socket 2×13 2.54mm hembra extra alto
- h) Cable de Datos tipo C
- i) Adaptador cargador 110V/5V 3A Micro USB

a) Raspberry Pi 4

Es considerada una placa económica y está muy bien documentada, denominada SINGLE-Board Computer, es decir son ordenadores concentrados en una sola placa (microordenadores) o denominado un ordenador de bolsillo permitiéndole que sea

portable, contienen todos los componentes que necesita una computadora, así como pines de E/S para conectarse a circuitos externos, componentes eléctricos, por ejemplo, sensores, Leds, entre otros [20]

Esta tarjeta de desarrollo se puede programar directamente en el lenguaje ensamblador del microcontrolador o microprocesador, o utilizando otros lenguajes como C o C++ a través de compiladores especializados, su finalidad está más enfocada al diseño y desarrollo de aplicaciones y prototipos con sistemas embebidos a partir de entornos gráficos [21].

Esta placa está equipada con sistemas operativos y herramientas, por lo que lo hace muy comercial es así como las hace más accesibles y familiares para la mayoría de los usuarios.

¿Por qué elegir una Raspberry Pi 4?

Se analizó cuatro tipos de tarjeta de desarrollo, que se describen a continuación:

1. Arduino: Se considera una placa de desarrollo que posee microcontroladores de 8 bits. Tiene configuraciones de pines analógicos y digitales su fuerza no se encuentra en el hardware sino en el software, que es el IDE de Arduino.

2. Raspberry Pi 4: Es una pequeña computadora que se puede conectar a un televisor a un *mouse*, a un teclado para controlarlo, es decir, a todo tipo de periféricos.

La placa Raspberry es compatible con los diversos componentes necesarios en una computadora normal, ya sea para realizar documentos, hojas de cálculo, gráficos, incluso para juegos con alta definición en su imagen, siendo esta la última versión de tarjetas de desarrollo [22].

3. ESP32: Es una serie de sistemas de un solo chip de bajo costo y eficiencia energética con Wi-Fi de modo dual y Bluetooth.

La serie ESP32 potencia el procesador Tensilica Xtensa LX6 con opciones de doble núcleo y de un solo núcleo con un amplificador receptor de bajo ruido, filtros y módulos de administración de energía.

4. ATTINY85: Esta es conocida como una placa de desarrollo basada en el microcontrolador ATtiny85, similar a la placa Arduino, pero más económica y pequeña, no requiere un cable USB para la programación ya que se puede conectar directamente a un puerto USB de cualquier servidor, ya sea de escritorio, portátil, entre otros [23].

En la Tabla 1 se muestra las tarjetas de desarrollo con las características que presentan.

Tabla 1 Tarjetas de desarrollo [9]

Placa	Fabricante	Microcontrolador / Procesador	Pines I/O	Frecuencia de trabajo	Plataforma IDE	Lenguaje de programación
Arduino UNO	Arduino	ATMEGA328P	16	16MHZ	Arduino	C++
Raspberry Pi 4	Raspberry Pi 4 Foundation	Broadcom BCM2837B0	40	1.4GHz	Raspbian	C++, Phyton
ESP32	Espressif	Tensilica Xtensa LX6	24	160MHz	Arduino	JavaScript, C++
ATTINY85	Microchip Technology / Atmel	TinyAVR / Atmel	6	20MHz	Arduino	C, C++ y java

Software de desarrollo

Para poder utilizar la tarjeta de desarrollo Raspberry necesariamente se debe emplear un software de desarrollo, para ello se ha identificado el sistema que se acople perfectamente a las condiciones necesarias para su ejecución, siendo Raspberry Pi OS la óptima por su alta compatibilidad con plataformas de aplicaciones electrónicas.

Raspberry Pi OS, antes conocido como Raspbian, es el sistema operativo oficial para este micro-ordenador. Esta distro Linux está basada en Debian y trae todo lo necesario para permitirnos sacarle todo el provecho a este micro-PC.

Esta distro está optimizada para funcionar en equipos ARM, y viene con una gran cantidad de paquetes y programas previamente instalados. Raspberry Pi OS utiliza un escritorio PIXEL (Pi Improved X-Window Environment, Lightweight) basado en LXDE que es a la vez útil y ligero [24].

Raspberry Pi Imager es una herramienta desarrollada por los propios desarrolladores del Raspberry Pi con la finalidad de ayudar a todos los usuarios a instalar un sistema operativo en el Raspberry Pi.

Este software, por supuesto, es de código abierto, y está disponible tanto para Windows como para Linux y macOS.

Además, es compatible con todas las versiones de Raspberry Pi actuales, desde el Pi 1 hasta el último modelo más avanzado, en la Tabla 2 se muestran las características de Raspberry, en la Tabla 2 se muestra las características de Raspberry PI OS [25].

Tabla 2 Características de Raspberry PI OS [9]

Sistema Operativo	Tipo	Idiomas	Tamaño	Precio	Lo mejor
Linux	Debian	Español	400 MB- 2.5 GB	Gratis	Optimizada para ARM Escritorio PIXEL muy rápido y sencillo Buena colección de programas.

b) Módulo GPS NEO – 6M

La serie de módulos NEO6 es una familia de receptores GPS autónomos basados en la arquitectura UBLOX6, siendo este un motor de funcionamiento, receptores flexibles y asequibles que ofrecen múltiples opciones de conectividad en dispositivos de bolsillo; la arquitectura, las opciones de alimentación y almacenamiento hacen que el módulo NEO6 se destaque, es la mejor opción para la tarjeta de desarrollo Raspberry (dispositivo móvil) [26].

El TimeToFirstFix (TTFF) del motor de posicionamiento de 50 canales ublox6 es inferior a 1 segundo. El motor de adquisición es capaz de realizar búsquedas paralelas masivas en el espacio de tiempo/frecuencia.

Esto le permite encontrar satélites al instante. El diseño y la tecnología innovadores reducen las fuentes de interferencia, reducen los efectos de trayectos múltiples y brindan a los receptores GPS NEO6 un excelente rendimiento de navegación en la mayoría de las condiciones [27].

En la Tabla 3 se detalla una comparativa entre dispositivos UBLOX6 que fueron revisados para identificar la mejor opción para el prototipo.

Tabla 3 Módulos NEO6 [9]

Mejor Precio	1	2	3
	NEO-6M	NEO-6G	NEO-6Q
Dispositivos			
Precio	\$20.00	\$60.00	\$80.00

Sistemas Compatibles	GPS	GPS	GPS
Voltaje de entrada	2.7 – 3.6 V	1.75 – 2.0 V	2.7 – 3.6 V
Precisión	2.5 m	2.5 m	2.5 m
Tiempo de conexión principal	26 s	26 s	26 s
Canales de frecuencia	50 canales	50 canales	50 canales
Interfaces de lectura	DDC, USB, SPI, UART	DDC, USB, SPI, UART	DDC, USB, SPI, UART

La tabla 3, demuestra una comparativa con tres dispositivos UBLOX6, en donde se eligió el módulo NEO-6M en una escala del 1 al 3, en donde 1 es la mejor opción en cuanto al precio, este es el más económico de los tres con similares características para su utilización, de tal manera se considera como un módulo ideal que incluye antena cerámica por lo que ya está lista para su utilización sin dispositivos adicionales para poder establecer un posicionamiento GPS [28].

*c) Módulo pantalla de 3.5" TFT LCD MP4 480*320*

Para la visualización de datos obtenidos se necesita de una pantalla, para ello se ha utilizado un módulo pantalla de 3.5" con las características detalladas en la Tabla 4.

Tabla 4 Características de módulo de pantalla [29]

Tipo de LCD	TFT
Interfaz LCD	SPI
Tipo de Pantalla Táctil	Resistador
Controlador de Pantalla Táctil	XPT2046
Colores	65536
Iluminador desde el fondo	LED
Resolución	320*480 (píxel)
Relación de aspecto	8.5
El consumo de energía	TBD

d) Módulo de energía batería litio 3,7v 3800mah

La tarjeta de desarrollo Raspberry necesita ser alimentada constantemente, y una de las condiciones de nuestro dispositivo es la movilidad para ello se necesita una fuente de alimentación móvil, en donde se ha seleccionado este módulo el cual describiremos a continuación en la Tabla 5

Tabla 5 Características de módulo batería [30]

	Especialmente diseñado para Raspberry pi, lo que hace que Raspberry pi funcione hasta 9 horas.
	Salida USB doble. Uno es para Raspberry pi, el otro se puede conectar con la pantalla LCD.
Características Módulo	Fácil de instalar, puede utilizar los separadores de sujeción, tornillos y tuercas provistos para sujetar su placa Raspberry pi.
Batería	Capacidad de la batería: 3800 mAH máximo
	Corriente de salida: 1. 8 A.

e) Tarjeta de memoria Micro SDHC 32GB

Para poder realizar la instalación del sistema operativo Raspbian se necesita de un sistema que me permita almacenar los archivos descargados para proceder a ejecutarlos en la tarjeta de desarrollo, todas estas condiciones podemos realizarlas con una tarjeta de memoria micro SD que presenta las siguientes características como se muestra en la Tabla 6.

Tabla 6 Especificaciones Técnicas [30]

Form Factor	microSDHC and microSDXC
Available Capacity	16GB, 32GB, 64GB, 128GB, 200GB, 256GB, 400GB y 512GB
Performance / Speed	64GB – 512GB 16GB – 32GB
Dimensions	MicroSD, 0.59in x 0.43in x 0.03in (14.99mm x 10.92mm x 1.02mm)
Operating Temperature	-13°F to 185°F (-25°C to 85°)
Storage Temperature	-40°F to 185°F (-45°C to 85°)
Compatibility	Compatible with all microSDHC and microSDXC supporting host devices
Warranty	10 – year warranty 10 – year limited warranty

f) Adaptador cargador 110V/5V 3A USB Tipo C

Cumple con la función de suministrar la tarjeta de desarrollo con 5v y 3 Amperios para permitir su funcionamiento.

1. Este producto está diseñado para el adaptador de corriente de la Raspberry Pi 4.

2. También es adecuado para mini TV, disco duro móvil de 2.5 pulgadas, DVD móvil, caja de TV, equipo de audio y video inalámbrico, equipo de carga, MP3 / MP4, lámpara de mesa pequeña, enrutador, interruptor, consola de juegos, teléfono, linterna, cámara, Equipos de vigilancia, controladores, etc. Especialmente indicado para todo tipo de módems y enrutadores de fibra óptica domésticos / portátiles [31].

3. Núcleo de cobre estañado en bronce, antiinterferencias, blindaje, carga rápida, transmisión estable [29].

En la Tabla 7 se muestra las Especificaciones Técnicas.

Tabla 7 Especificaciones técnicas [29]

Especificaciones	
Nombre	Adaptador de corriente
Corriente de suministro	3 A
Voltage	5 V
Poder	15 W
Interfaz	Tipo C
Color	Negro

g) Socket 2×13 2.54mm hembra extra alto

Este conector es muy util para hacer tu propia PCB y conectarla a un Raspberry Pi. Es extra alto para que cuando se coloque en su Pi, el PCB quede por encima de los conectores Ethernet y USB [32].

A continuación se muestra en la Tabla 8 las características de socket.

Tabla 8 Características de socket [32]

Características	
Espacios:	2.54mm x 2.54mm (0.1" x 0.1" grid)
Tamaño:	34mm x 17mm
Pines:	3mm

h) Cable de Datos tipo C

Este cable se encarga de la conexión entre la entrada USB del módulo de la batería de 3.7 V y la entrada de suministro de energía (Tipo C) hacia la tarjeta de desarrollo raspberry para tener libertad de movimiento del dispositivo [33].

Artículo:	CABLE USB A TIPO C
Tipo de Cable:	USB 2.0 USB MACHO A TIPO C MACHO
Conectores:	USB Tipo A macho
Material:	Cobre estañado,
Protección:	Doble
Longitud:	1m
Diámetro:	4.0+/-0.15mm
Características:	2.4 A
Q'ty/Cartron:	500

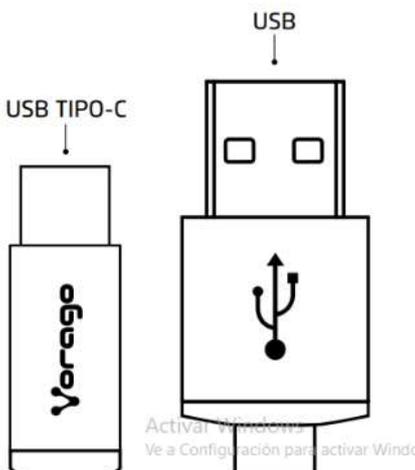


Figura 8 Datos técnicos cable tipo C [16]

i) Adaptador cargador 110V/5V 3A Micro USB

Se utilizó para energizar nuestro módulo de batería para poder tener movilidad de nuestro dispositivo, a continuación, en la Tabla 9 se presentarán las características de nuestro adaptador.

Tabla 9 Características adaptador cargador tipo b [29]

Puerto de CARGA:	Micro USB
INPUT:	100V ~ Salida: 5V 3A, DC. 240V, 50 / 60HZ, AC;
ESTABLE:	Filtro de ruido en línea, para asegurar una entrega de energía de CA precisa y constante.
SAFE:	Chip de hardware de precisión interno, previene eficazmente fugas de sobretensión, sobre corriente, cortocircuitos.
USO:	Esta fuente de alimentación de 5 V 3 A se utiliza para Raspberry Pi 3 Modelo B B +, Raspberry Pi 2 Modelo B, Raspberry Pi Modelo A A +, Modelo B B +, Raspberry Pi Zero.

CAPÍTULO III: METODOLOGÍA

3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN

3.1.1 Investigación Documental

Se realizó una revisión bibliográfica en libros, artículos, tesis de grado, publicaciones, sitios web, revistas, recolectando toda la información requerida que se plasmó en la elaboración del documento. Se realizó una investigación documental de tipo bibliográfico y hemerográfico para el desarrollo del marco teórico [34].

3.1.2 Investigación Aplicada

La investigación aplicada se utilizó para tomar acciones y establecer políticas y estrategias en el diseño del dispositivo. Las decisiones se tomaron en base a los hallazgos tecnológicos de la investigación documental, ocupándonos del proceso de enlace entre la teoría y el producto [35].

Se aplicaron todos los conocimientos previos para generar un resultado tecnológico obteniendo resultados finales para enlazar el proceso teórico hacia el final que es el práctico ante la obtención de datos en el prototipo.

3.2 MÉTODO DE INVESTIGACIÓN

3.2.1 Analítico

A partir del método analítico se observan fenómenos singulares; con la inducción se formulan leyes universales; mediante el método deductivo se aplican esas leyes a situaciones particulares; y a través de la síntesis, se integran conocimientos aparentemente no relacionados [36].

Parte del estudio de un problema y se realiza un análisis de hipótesis, para la resolución de la problemática de estudio.

3.2.2 Descriptivo

A través de este método de investigación se puede explicar cómo está constituido el prototipo, describiendo tanto componentes físicos que se utilizó, como procesos utilizados para la obtención de resultados finales.

3.2.3 Experimental

La metodología experimental se caracteriza por el control establecido en la situación de observación. Utilizando esta metodología, se consideraron los conocimientos previos analizados para poder ser aplicados y demostrados finalmente con los resultados del desempeño del sistema diseñado.

3.3 TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

3.3.1 Observación

La observación es un proceso cuya función primera e inmediata es recoger información sobre el objeto que se toma en consideración. Esta recogida implica una actividad de codificación: la información bruta seleccionada se traduce mediante un código para ser transmitida a alguien (uno mismo u otros).

Los numerosos sistemas de codificación que existen podrían agruparse en dos categorías: los sistemas de selección, en los que la información se codifica de un modo sistematizado mediante unas cuadrículas o parrillas preestablecidas, y los sistemas de producción, en los que el observador confecciona él mismo su sistema de codificación [37].

3.4 DISEÑO DEL PROTOTIPO

A continuación, se detalla el proceso de las configuraciones e instalaciones para el funcionamiento correcto del dispositivo.

Inicialmente las configuraciones del módulo, la Raspberry y software [38]

3.4.1 Activación del módulo GPS NEO – 6M

1.- Para la recolección de datos, se debe activar la antena, por lo que se conecta al puerto USB, asegurando que el receptor se encuentre conectado en el administrador de dispositivos, como se muestra en la Figura 10 [39].

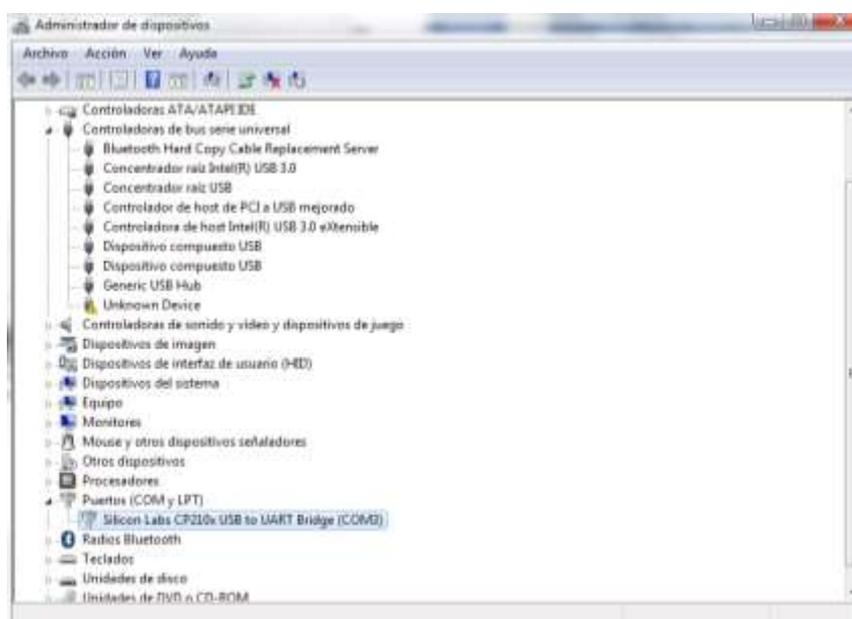


Figura 9 Reconocimiento de puerto en el Administrador de Dispositivos

2.- Una vez comprobada la conexión en el puerto USB, se abre el software u-center, se evidencia la conexión accediendo a la opción de Receiver >> Connection >> COM3. Se Selecciona el modelo de la antena que se está utilizando, en la opción: Receiver >> Generation >> u-blox 6, se activa la protección para la antena mediante la opción: Receiver >> Protocol Filter >> u-blox 6 >> Port 13.00 (FW 7.03) Como se muestra en la Figura 11.

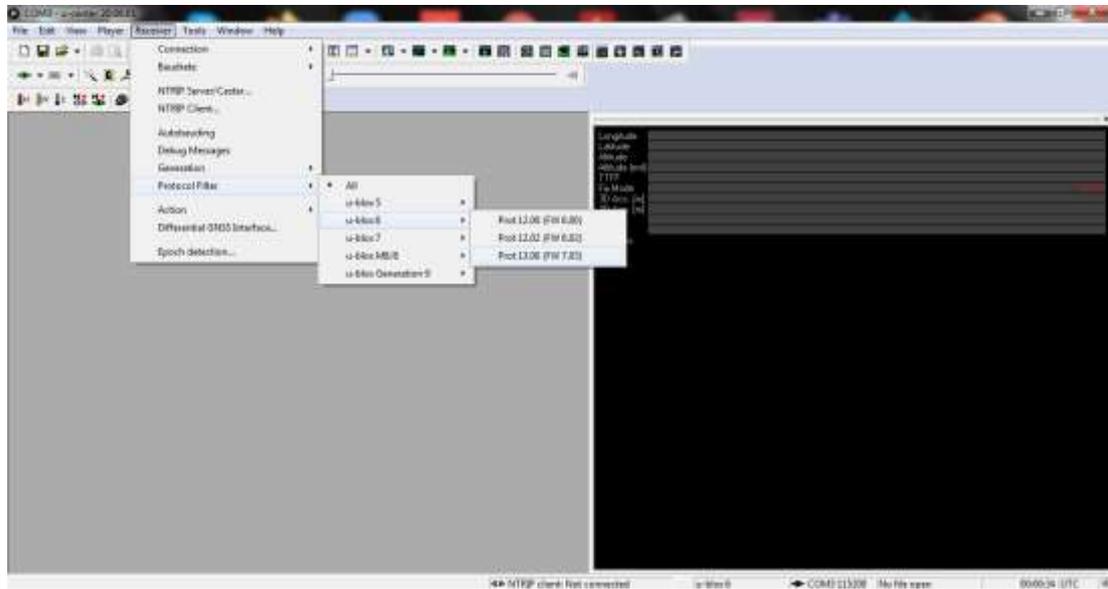


Figura 10 Configuración del módulo para recepción de datos

3.- Se puede observar que la antena ya se encuentra conectada y obteniendo señal de los satélites, como se muestra en la Figura 12.

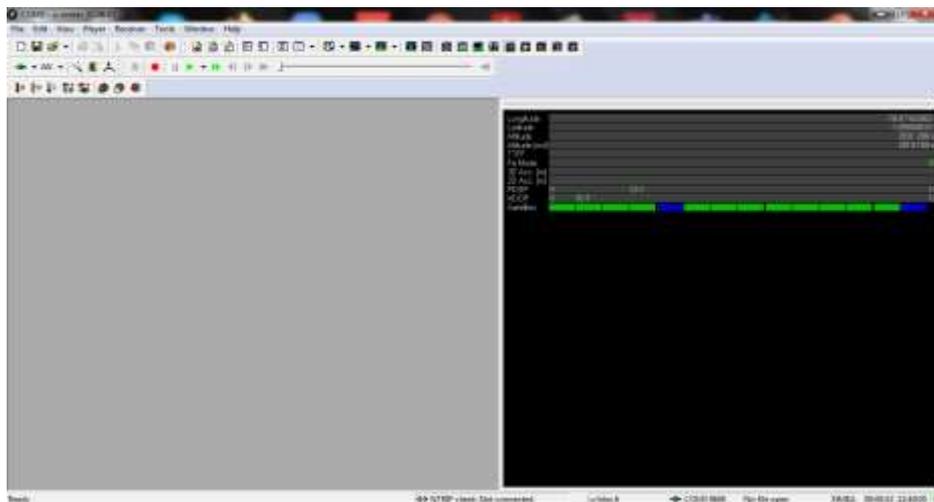


Figura 11 Verificación de conexión de antena y obtención de datos brutos

4.- Para configurar la velocidad de transmisión de datos se deberá acceder a: View >> Configuration View, se desplegará las opciones en donde se selecciona PRT (Ports) y se indica que será el puerto 1 UART con un Baudrate de 115200. En la parte inferior derecha se observa que, al cambiar de velocidad, la antena no está recibiendo señal por lo que se

muestra que la nueva velocidad a la que se está trabajando será de 115200, como se observa en la Figura 13.

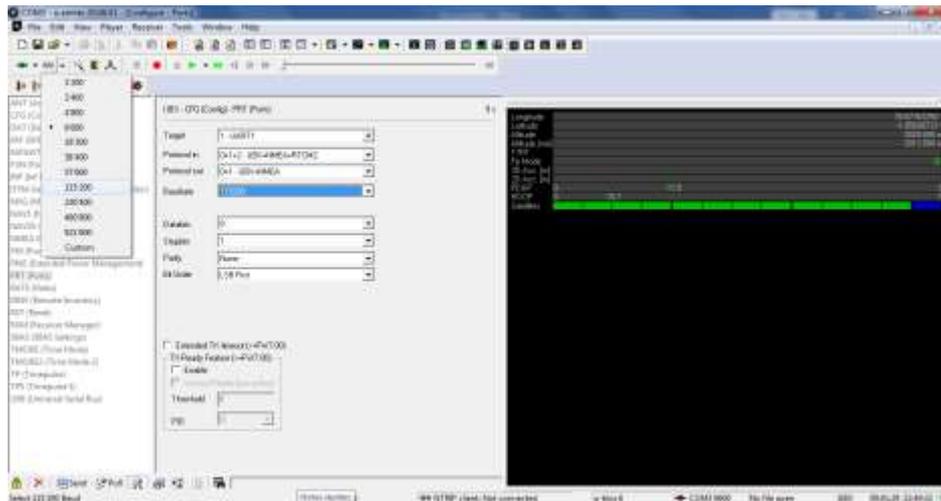


Figura 12 Configuración de la velocidad de transmisión de datos

5.- Para activar la señal satelital, o más conocida como efemérides se lo hace en la opción: View >> Messages View, en este apartado se da clic derecho sobre los mensajes NMEA para poder desactivarlos mediante “Disable Child Messages”, una vez desactivados los mensajes NMEA, se activan solamente los mensajes UBX haciendo clic y activándolos mediante “Enable Child Messages”, como se muestra en la Figura 14.

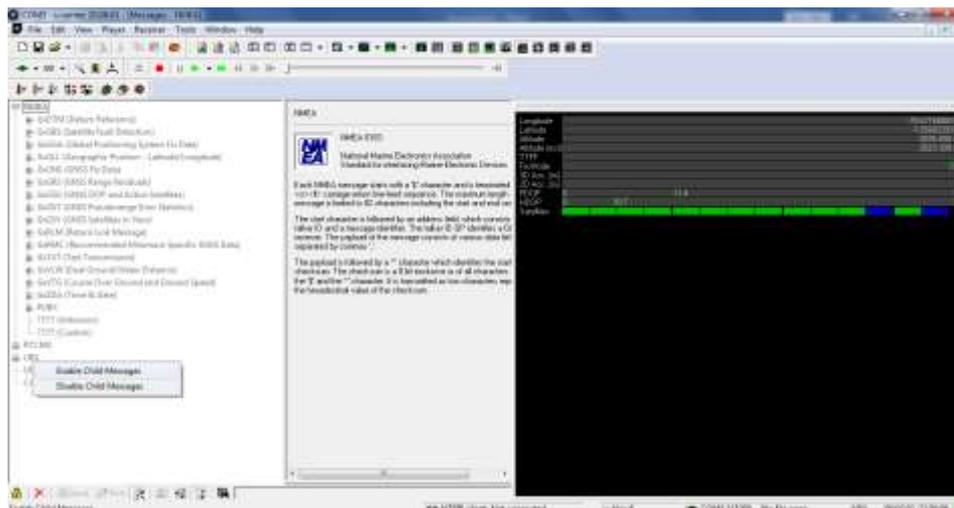


Figura 13 Activación de mensajes UBX

6.- Se accede a la opción de CUSTOM para poder realizar la activación de los datos RAW o datos crudos mediante el ingreso del código que se muestra en la figura, para lo que al finalizar de escribir el siguiente código: “B5 62 09 01 10 00 C8 16 00 00 00 00 00 97 69 21 00 00 00 02 10 2B 22”, se debe hacer clic en la parte inferior izquierda, opción send, como se observa en la Figura 15 [40].

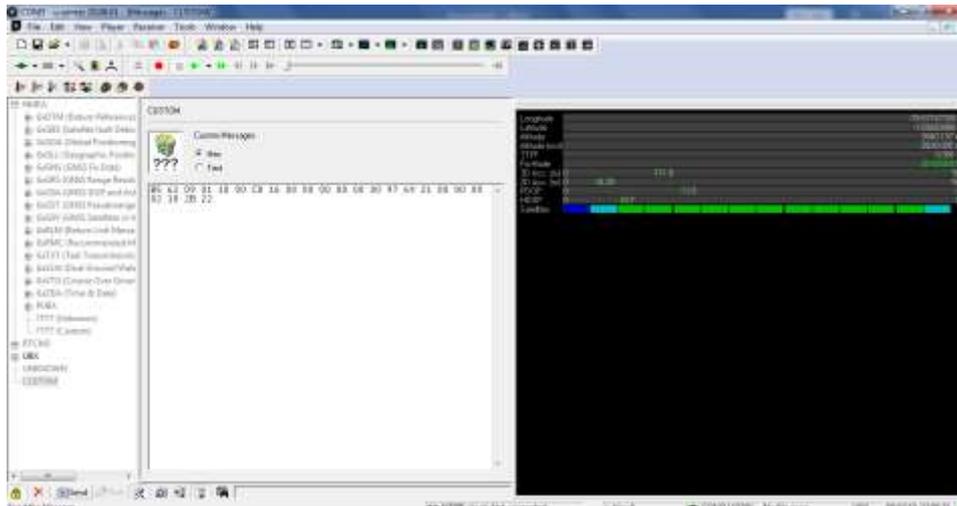


Figura 14 Activación de los datos RAW

7.- No solamente se utilizarán los datos RAW, por lo que se activarán los datos SFRB, los cuales se activarán mediante el ingreso del siguiente código: “B5 62 09 01 10 00 0C 19 00 00 00 00 00 83 69 21 00 00 00 02 11 5F F0”, de igual manera se hace clic en la opción de send para que se activen. Los mensajes RAW se activan automáticamente, pero para la activación de los datos SFRB se necesita ir a la opción de CFG (Config) >> MSG (Messages) y buscar en la lista de mensajes la opción de “02-11 RXM” y activar el puerto por donde serán transmitidos, en este caso el puerto UART1, como se muestra en la Figura 16.

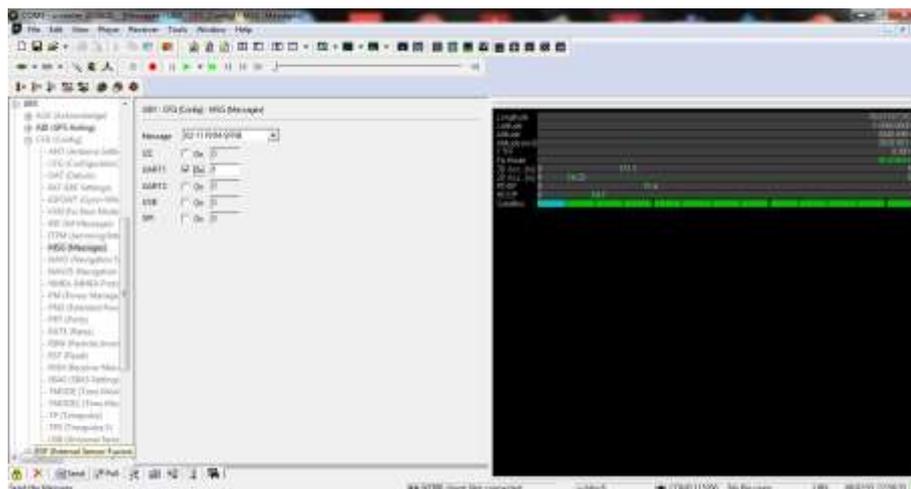


Figura 15 Activación de datos SFRB

8.- Se ve que los archivos RAW y SFRB se encuentran activos y mediante la opción de RXM >> RAW y RXM >> SFRB, se puede comprobar que la antena ya se encuentra recibiendo datos de los satélites sin ningún inconveniente, como se muestra en la Figura 17.

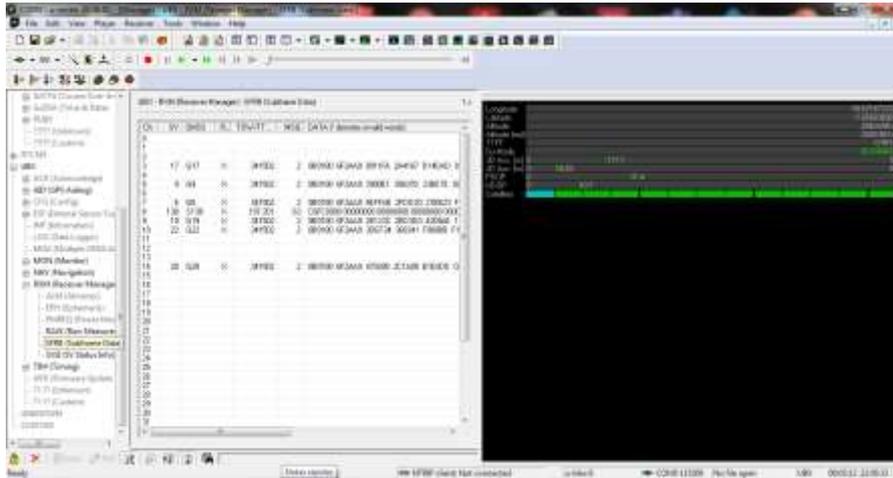


Figura 16 Recepción de datos de los satélites

9.- Una vez finalizada la configuración de la recepción satelital, se debe cerrar u-center ya que después no se podrá visualizar los datos de geo posicionamiento en RTKNAVI [41]

3.4.2 Configuración RTKNAVI

1.- Activados los datos RAW y SFRB, que son los datos brutos recopilados por el receptor, se accede a la carpeta local en donde se encuentra descargado el software RTKLIB para poder utilizar la aplicación RTKNAVI. Se encontrará la interfaz de inicio a la aplicación, en donde se tendrá que ingresar los archivos que se activan las correcciones, la entrada del receptor y de la Estación de Monitoreo Continua respectiva como se puede evidenciar en la Figura 18 [42].



Figura 17 Interfaz de inicio a la aplicación RTKNAVI

2.- **Entradas:** En las opciones se debe ingresar las entradas en las que se pueden ocupar tres entradas, Rover (dispositivo u-blox), Base Station (estación de monitoreo continua) y Correction (correcciones IGS), como se observa en la Figura 19.

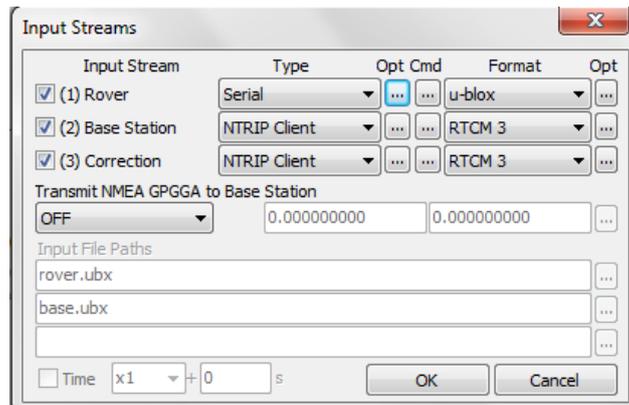


Figura 18 Input Stream RTKNAVI

3.- **Salidas:** La opción “O” indica las configuraciones que se deben realizar para obtener las salidas o los datos emitidos por los satélites hacia el software, como se observa en la Figura 20.

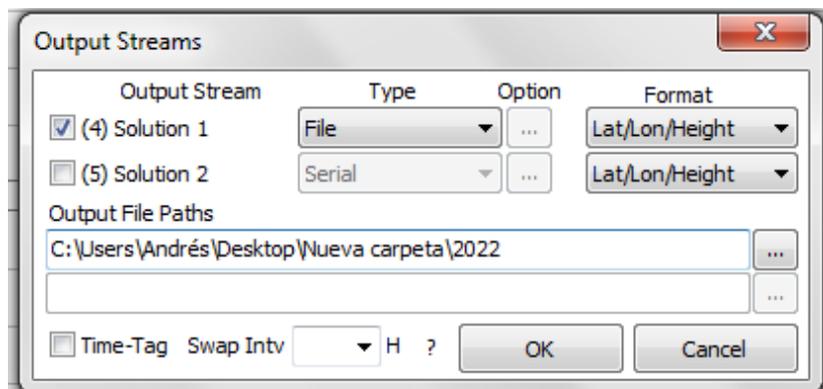


Figura 19 Output Streams RTKNAVI

4.- **Options:** Como el análisis es en tiempo real, se va a aplicar correcciones PPP, las cuales ayudarán a mejorar el geo posicionamiento y obtener menos cantidad de errores, como se observa en la Figura 21.

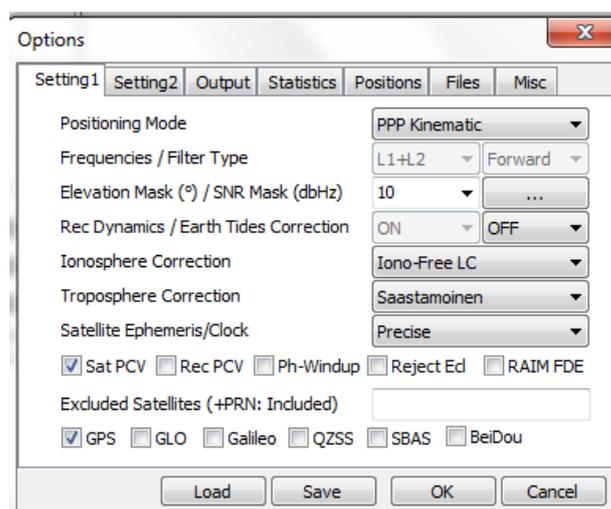


Figura 20 Options de RTKNAVI

Todas las opciones que marca la pantalla quedan exactamente igual a excepción de (Files) en la que se cargarán los archivos de correcciones de procesamiento en PPP, tales como los modelos geoidales (Geoid Data File), los sesgos diferenciales de código (DCB Data File), los parámetros de rotación de la tierra (EOP Data File), cargas oceánicas (Ocean Loading BLQ Format), corrección centro de fase de antena (Archivo .PCV) y corrección de antenas satelitales (Archivo .ANTEX), como se observa en la Figura 22.

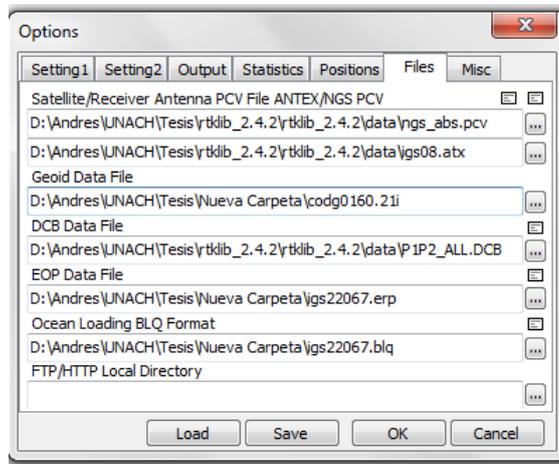


Figura 21 Archivos de correcciones de procesamiento en PPP

Estos archivos se los obtiene de la web, debido a que son archivos subidos semanalmente por diferentes proveedores de servicios de correcciones para GNSS, mientras que algunos archivos vienen por defecto en la carpeta del software RTKLIB, porque son archivos enfocados netamente a la antena utilizada [43].

3.4.3 Descarga de archivos para corrección en CDDIS

1.- Para descargar los archivos que contienen las efemérides precisas y parámetros de rotación de la tierra, en un navegador se va a buscar “CDDIS”, en el apartado de “Data and Products”, se debe dar clic en “Precise orbits” en el apartado “GNSS”, lo cual permitirá encontrar un enlace que dirigirá a las direcciones de GPS, como se observa en la Figura 23.



Figura 22 Ingreso a CDDIS

2.- Se debe realizar un registro previo para el acceso a la información del CDDIS, en el cual llenando un formulario remitirá las credenciales a un correo electrónico personal. Una vez que se logre ingresar a los archivos de CDDIS, se encontrarán los números de la semana en la que se va a realizar la conexión, se abre la carpeta con el número de semana correspondiente como se muestra en la Figura 24.

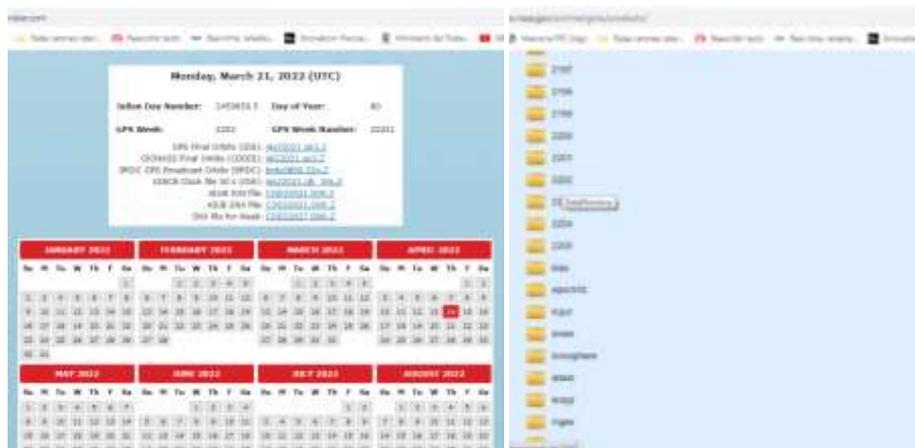


Figura 24 Acceso a la información de CDDIS [44]

3.- Dentro de la carpeta se encontrarán todos los productos correspondientes a esa semana, navegaremos por el directorio hasta encontrar los datos del día. El archivo de corrección de reloj, tendrá como nombre IGS (número de la semana).clk y un comprimido .Z, al hacer clic en el archivo, empezará automáticamente su descarga. De igual manera el archivo de efemérides precisas se nombra con IGS (número de la semana).sp3, al hacer clic, empezará su descarga automáticamente, como se muestra en la Figura 25.

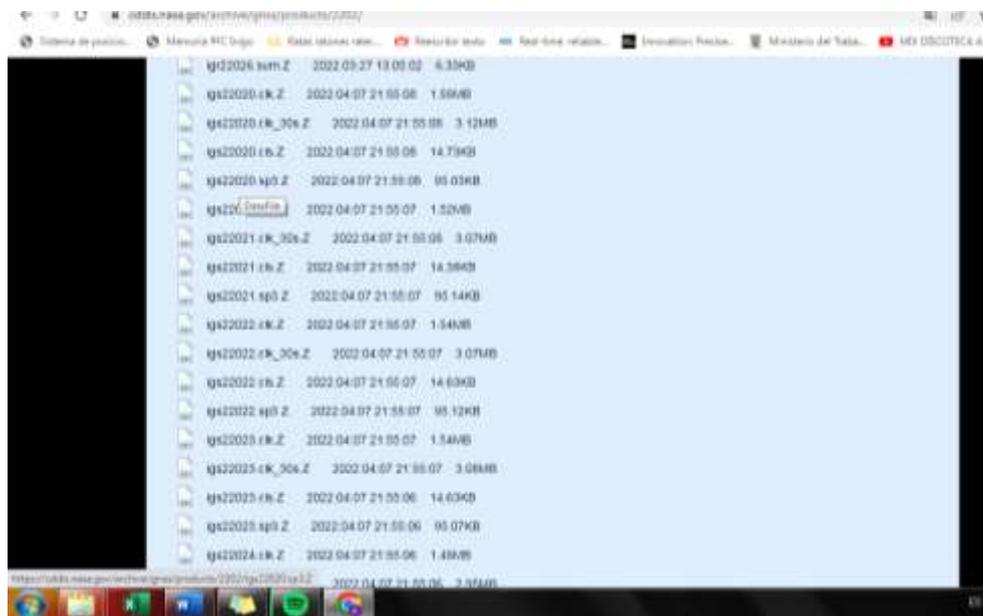


Figura 23 Archivos de efemérides

4.- Para el archivo de parámetros de rotación de la tierra, se obtiene un archivo con nombre IGS (número de la semana) 7.erp y un comprimido.Z. En este caso el número 7 indica que es un dato semanal [45]. Hasta aquí están descargados los archivos SP3, CLK y ERP. En la interfaz principal de la CDDIS se navegará ahora para encontrar la opción de Ionosphere/Troposphere, se debe hacer clic en ella, como se muestra en la Figura 26.



Figura 24 Ionosphere / Troposphere de CDDIS [44]

5.- Se navega en la ventana respectiva hasta encontrar un enlace que permita acceder a los datos netamente de la ionósfera. Al acceder al enlace anterior, dirigirá a un directorio muy diferente al presentado anteriormente, el cual contará con los nombres de carpetas de acuerdo con el año en el que se realizará la conexión [46]. Una vez ingresados en el año correspondiente se deberá buscar el día en el que se realizará la conexión y abrir su carpeta correspondiente, como se muestra en la Figura 27.

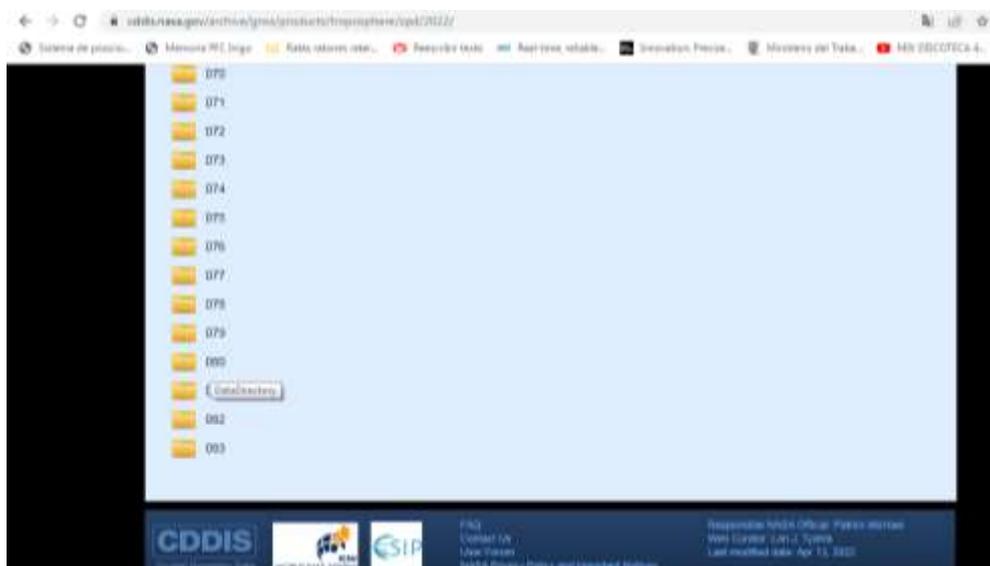


Figura 25 Datos de la ionósfera

3.4.4 Configuración de la antena en RTKNAVI

1.- Se selecciona la opción de Rover, en la opción de “Opt” se da clic y se ven las configuraciones del puerto y la velocidad de transmisión tienen que ser las mismas que se configuraron en el u-center como se muestra en la Figura 30.

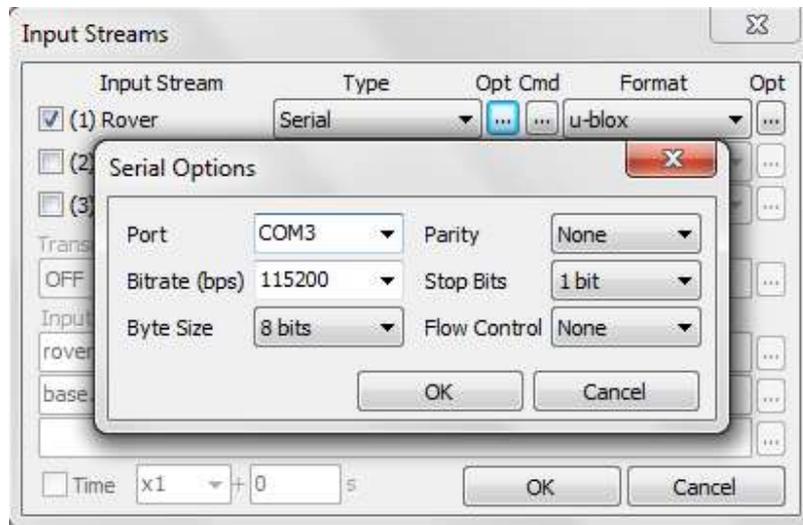


Figura 28 Configuraciones en el u-center

2.- Para activar la transmisión de datos del Rover hacia el RTKNAVI en el botón de “Cmd” se ingresa los siguientes códigos y se activa las opciones de los mismos como se muestra en la Figura 31.

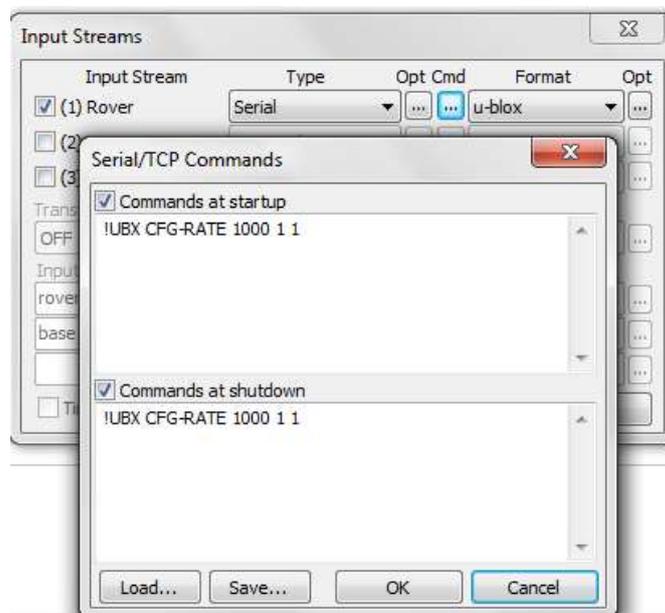


Figura 29 Activación de opciones en el RTKNAVI

3.- Finalmente se escoge el formato con el que van a ser recibidos los datos en RTKNAVI como podemos observar en la Figura 32.

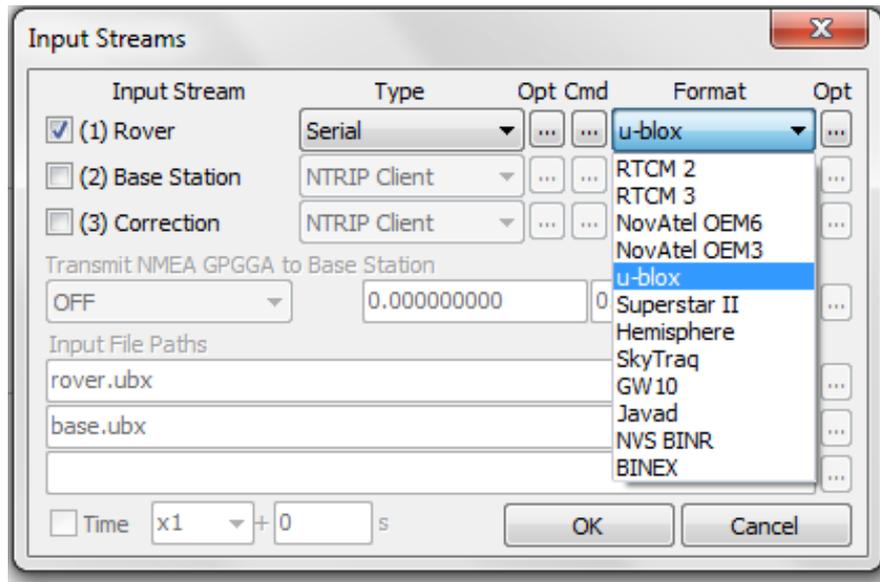


Figura 30 Formato para la recepción de datos en RTKNAVI

3.4.5 Configuración de la estación base en RTKNAVI

1.- Se selecciona la opción Base Station y el tipo de conexión al igual que el formato de datos. En el botón de “Opt” se hace clic y se abrirá una pequeña ventana en la que se deberá colocar la dirección IP del caster a conectarse, el puerto [49]. Se ingresa el usuario y contraseña proporcionados por el IGM y se hace clic en “Ntrip”, como se observa en la Figura 33.

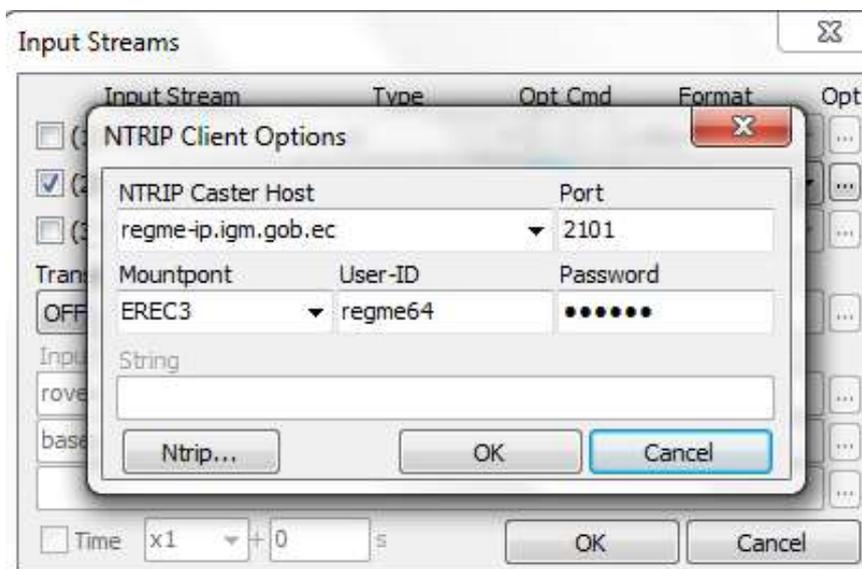


Figura 31 Ingreso de usuario y contraseña proporcionados por el IGM

2.- Se abrirá una lista de estaciones de monitoreo continuo del IGM en donde se seleccionará para el presente proyecto: EREC3, como se evidencia en la Figura 34.

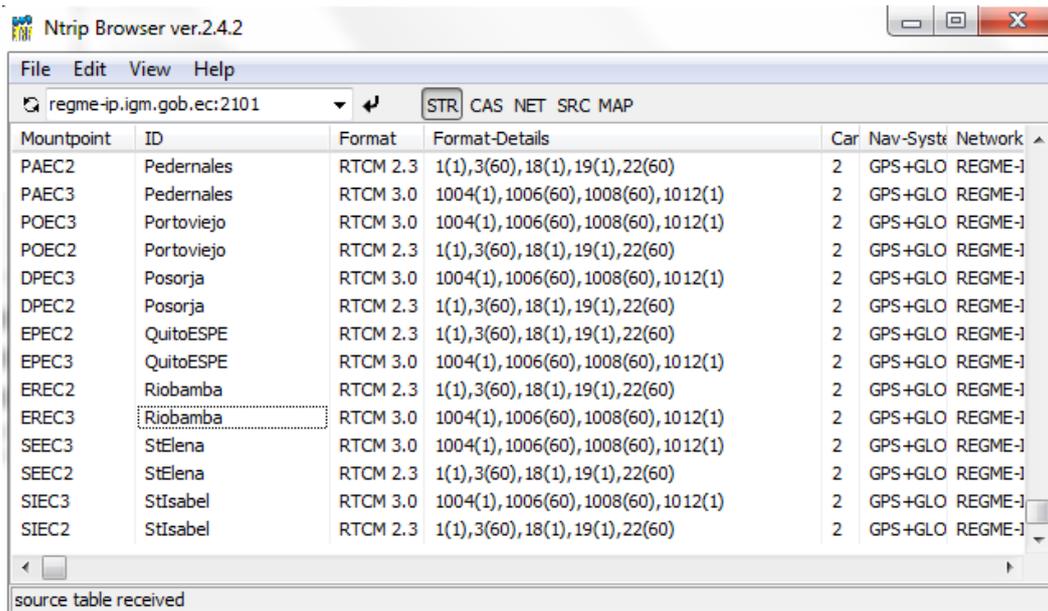


Figura 32 Lista de estaciones de monitoreo continuo del IGM

3.4.6 Configuración de las correcciones en RTKNAVI

1.- Se selecciona la opción Correction, para acceder al caster del IGS, se ingresa la dirección IP del IGS, el puerto, usuario y contraseña [50]. En este caso se selecciona la opción de IGS03, la cual se encuentra al hacer clic en “Ntrip...” para observar el listado de estaciones conectadas al IGS y que provean de archivos de corrección para PPP, como se muestra en la Figura 35.

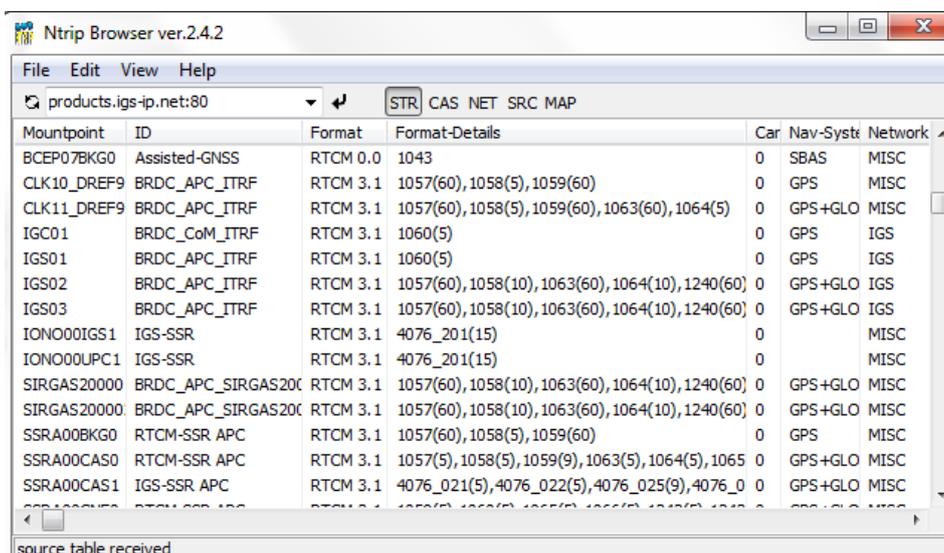


Figura 33 Listado de estaciones conectadas al IGS

3.4.7 Diagrama de flujo para conexión de módulo GPS

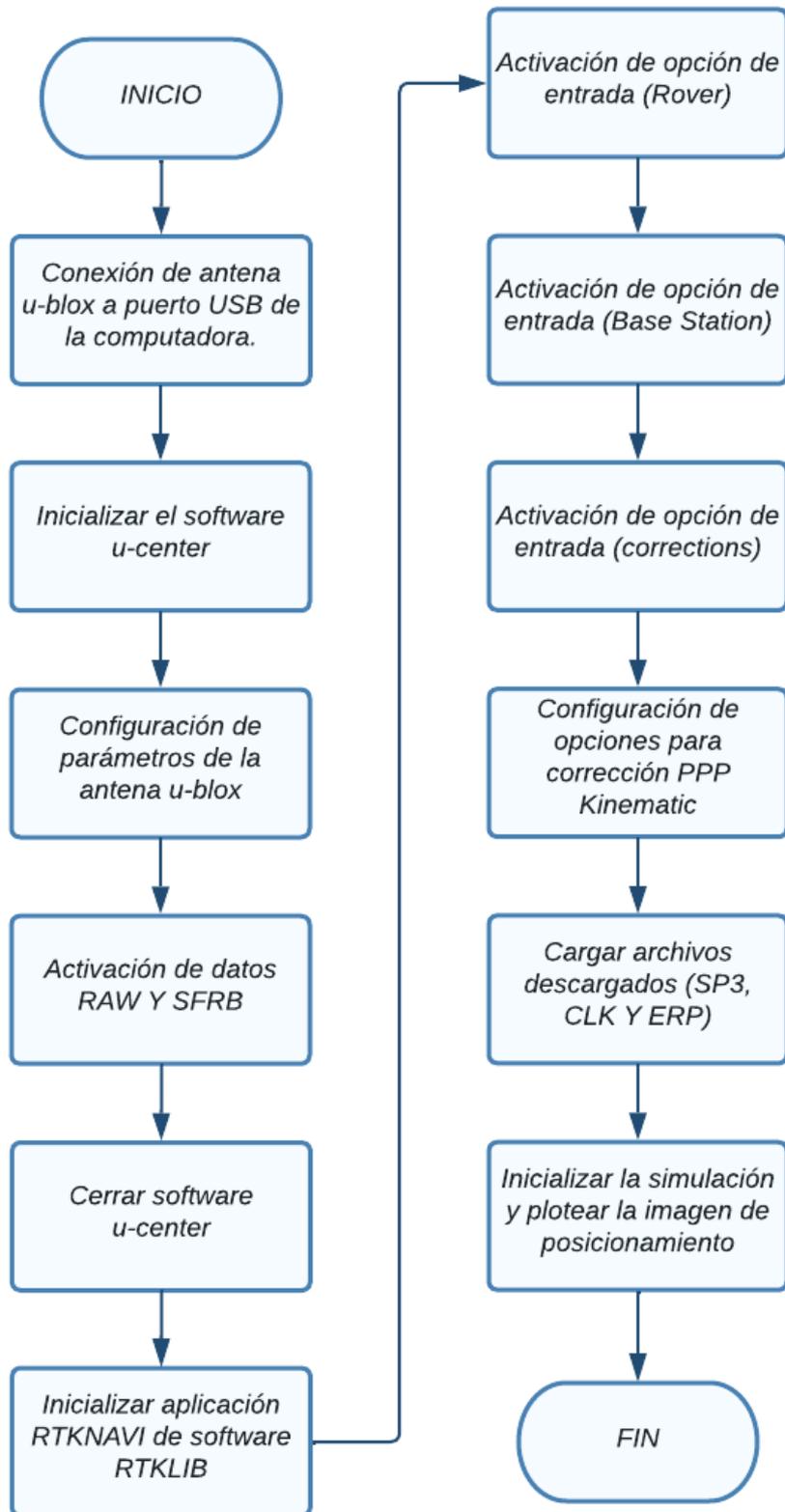


Figura 34 Diagrama de flujo para conexión de módulo GPS

3.4.8 Manual de configuración del prototipo GPS con Raspberry Pi 4

1.- Instalación de Raspbian: La instalación el sistema operativo Raspbian se realizó mediante Raspberry Pi Imager, la cual es una aplicación que permite seleccionar y descargar las imágenes de Raspbian disponibles e instalar de una manera fácil en la tarjeta SD, se insertó la tarjeta SD en el slot de la PC en el caso de no tenerlo podemos comprar un lector externo de tarjetas SD. Para descargarlo solo nos dirigimos a <https://www.raspberrypi.org/software/>

2.- Clic en Download for windows (descargar para Windows), dependiendo de la velocidad de descarga del internet vamos a tener un archivo .exe el cual nos permitirá instalar Raspberry Pi Imager [51].

3.- Terminada de instalación se ejecuta el programa donde se obtiene esta interfaz:

A continuación, se puede evidenciar en la Figura 37.



Figura 35 Interfaz Raspberry Pi [11]

4.- Se puede elegir el sistema operativo que deseamos instalar en nuestro caso Raspbian que viene designado como Raspberry PI OS (32-bit), al seleccionar la imagen de Raspbian requerida se descargará e instala de forma automática donde al finalizar esta lista para su ejecución en la Raspberry.

3.4.9 Conexión del receptor GPS y Raspberry Pi

1.- Es una conexión en serie simple, por lo que debe conectarse a los pines TX y RX de Raspberry Pi, la entrada RX debe estar conectada a la salida TX de Raspberry Pi y viceversa, con el voltaje adecuado, como se muestra en la Figura 39.

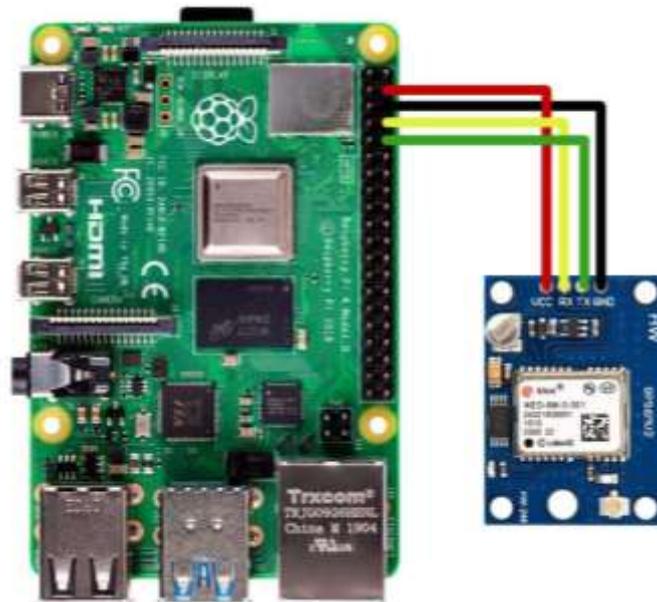


Figura 36 Connections between the GPS receiver and the Pi 4

3.4.10 Configuración de Raspberry Pi para GPS

1.- Se debe configurar el sistema operativo que este caso es Raspberry Pi para poder comunicarse con el receptor GPS, se debe ejecutar raspi-config:

sudo raspi-config, en la cual aparecerá la siguiente pantalla, como se muestra en la Figura 40.

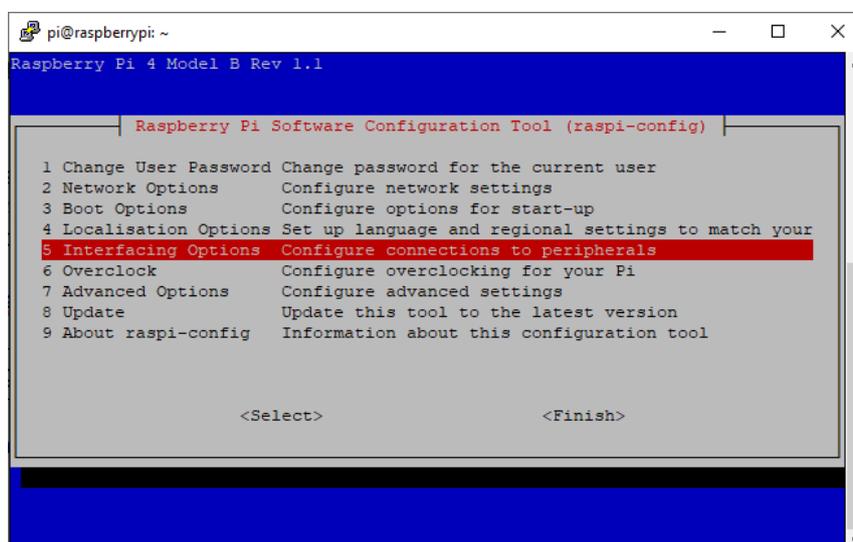


Figura 37 Configuración del sistema operativo Raspberry Pi

2.- Seleccionar “Opciones de interfaz” y luego “Serie”: luego, deshabilitar la posibilidad de acceder al shell de inicio de sesión a través de una conexión en serie y, en el siguiente paso, elija "Sí" cuando se le pregunte si desea que los puertos en serie permanezcan habilitados, como se muestra en la Figura 41.

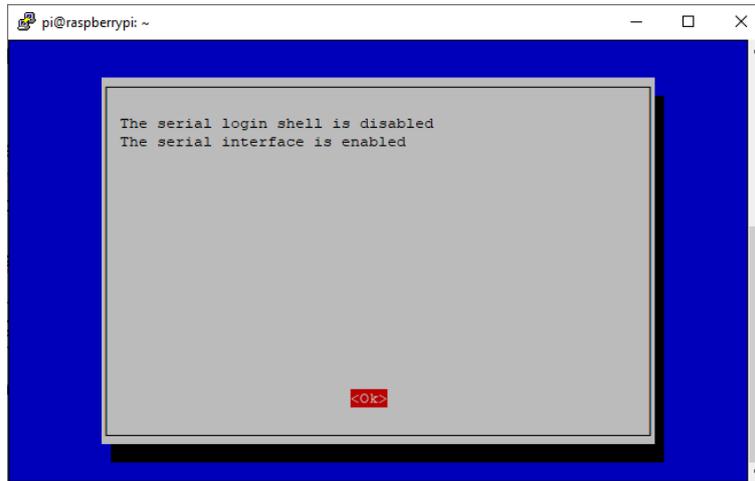


Figura 38 Opciones de interfaz de la configuración de Raspberry Pi

3.- Finalmente regresar al menú principal del programa raspi-config, elegir "Finalizar" y luego reiniciar la Raspberry Pi.

3.4.11 Descarga del software necesario

1.- Se instaló gpsd y gpsd-clients: `sudo apt-get install gpsd gpsd-clients`

Gpsd se utilizó para poder obtener información del programa, en donde se escribe: `man gpsd`

2.- Realizada la instalación, se debe verificar la recepción de datos del módulo GPS. El cuál se debe enviar a través del puerto serie: `cat/dev/serial0`. Inicialmente, la salida se visualizará como lo detalla la Figura 42:

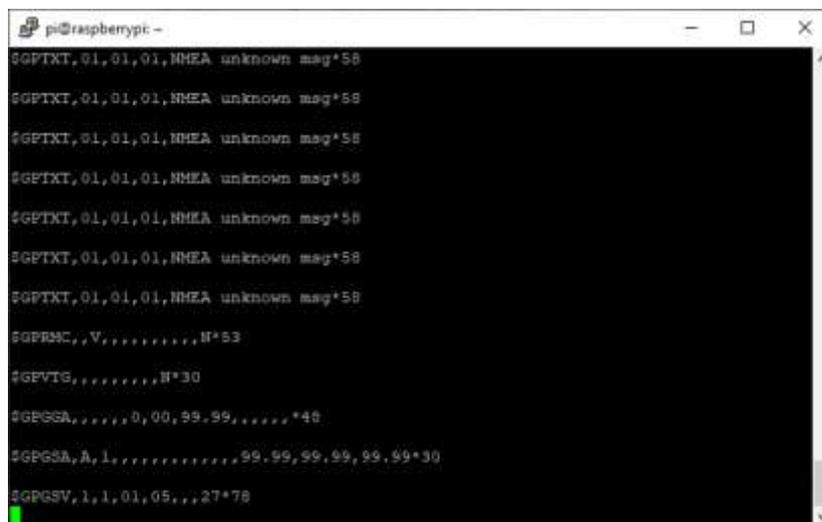


Figura 39 Visualización de la salida

3.- No es necesario los datos que se muestren en el punto, siempre y cuando se reciba algo.

3.4.12 Lectura de los datos de posición

1.- Para determinar la posición de la Raspberry Pi, se escribe el siguiente comando para detener el servicio `gpsd` que se inició automáticamente cuando instaló `gpsd` anteriormente: `sudo systemctl stop gpsd.socket` [52].

2.- Se debe considerar que hay que escribir dicho comando cada vez que se inicie el sistema, también se puede deshabilitarlo por completo: `sudo systemctl disable gpsd.socket`

3.- Se inicia una nueva instancia de `gpsd` que redirige los datos del puerto serie correcto a un socket: `sudo gpsd/dev/serial0-F/var/run/gpsd.sock`

4.- Y luego se puede ejecutar cualquiera de los siguientes dos comandos para mostrar los datos del GPS: `sudo gpsmon`, `sudo cgps -s`

5.- Después de un tiempo, el módulo debería haber recopilado suficientes datos para mostrar una posición, como se muestra en la Figura 43.

```
lqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqk1qqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqk ^
x Time: 2020-01-28T23:51:20.000Z xxPRN: Elev: Azim: SNR: Used: x
x Latitude: 4 N xx 8 55 301 22 Y x
x Longitude: 1 E xx 10 70 101 29 Y x
x Altitude: 235.318 m xx 11 21 284 27 Y x
x Speed: 0.15 kph xx 16 28 198 20 Y x
x Heading: 126.4 deg (true) xx 20 44 059 31 Y x
x Climb: -2.64 m/min xx 21 21 080 15 Y x
x Status: 3D FIX (90 secs) xx 26 07 185 17 N x
x Longitude Err: +/- 9 m xx 27 85 184 17 N x
x Latitude Err: +/- 15 m xx 32 13 139 22 N x
x Altitude Err: +/- 34 m xx 153 -91 000 27 N x
x Course Err: n/a xx x
x Speed Err: +/- 2 kph xx x
x Time offset: 0.131 xx x
x Grid Square: JN88ee xx x
mqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqjmqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqqj
█
```

Figura 40 Datos para mostrar una posición

6.- Al ejecutar `gpsmon` se obtiene toda la información dada por el satélite en tiempo real y para parar el proceso se debe usar `alt + C`.

3.4.13 Desempeño del funcionamiento del prototipo

El módulo GPS U-BLOX NEO-6M recibe las señales de los satélites llamados efemérides las cuales a través del puerto UART se transporta a la tarjeta de desarrollo Raspberry que ésta conectada a un módulo LCD que sirve para la visualización de datos, es decir, es la interfaz con el usuario, además de ello se tiene movilidad del dispositivo con el módulo de batería de 3.7V, que permite 9 horas estimadas de trabajo.

El diagrama detalla tres fases que realiza el prototipo para la muestra de sus resultados, se detalla a continuación en la Figura 41.

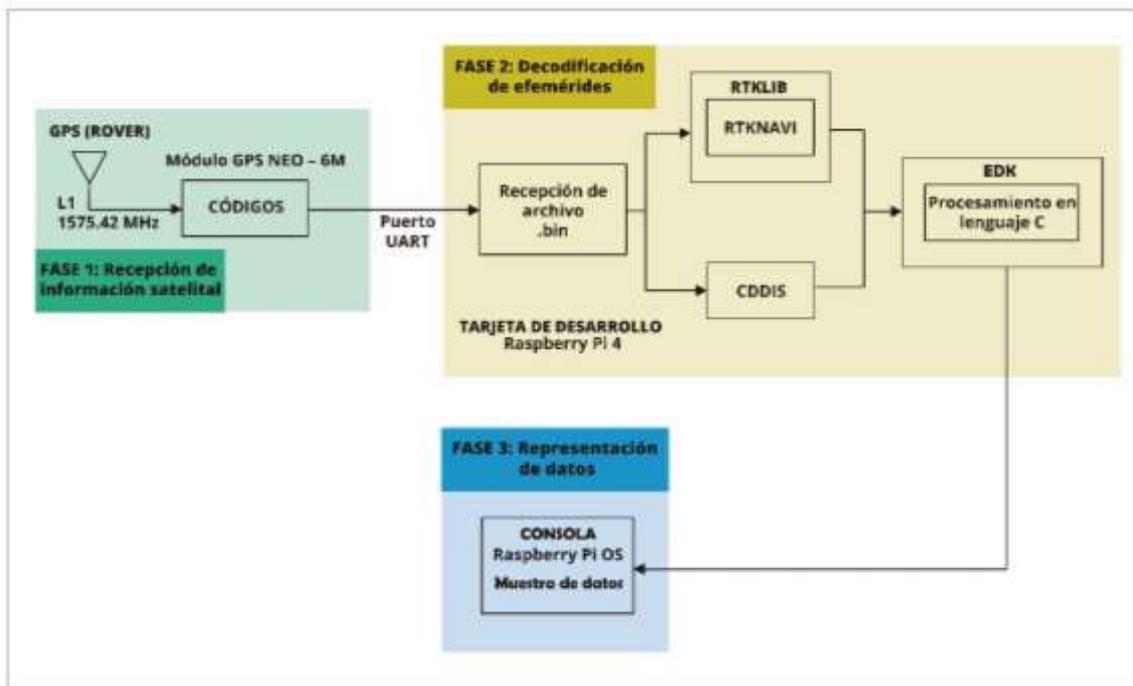


Figura 41 Diagrama de desempeño de funcionamiento del prototipo

Fase 1: Recepción de información satelital. – Los satélites están organizados en seis planos orbitales con cuatro satélites por órbita, cada uno de los satélites GPS transmite continuamente una señal utilizando dos frecuencias, la frecuencia utilizada es de uso civil [53]L1: 1575.42 MHz, el módulo GPS NEO – 6M para la recepción de sus datos recibe señales de al menos 4 satélites visibles desde la posición del receptor, este modo se denomina 3D, los datos que se obtienen son: latitud, longitud, altura y velocidad. El módulo Ublox es el encargado de recibir la señal codificada (x, y, z) que permite obtener las efemérides, para posterior realizar la decodificación de la información.

Fase 2: Decodificación de efemérides. - La señal codificada es receptada por el módulo GPS NEO – 6M que realiza todo el procesamiento de datos a través de RTKNAVI este permite la carga de archivos de pre corrección de errores, posterior con RTKLIB (software libre) realiza la corrección del centro de la fase de la antena, corrección de las antenas satelitales y la corrección del sesgo diferencial, a su vez con la descarga de los

archivos en CDDIS que aporta con: corrección de reloj, los parámetros de rotación de la tierra, efemérides precisas y corrección de la ionósfera, es decir se genera un post-procesamiento de errores que facilita la adquisición, seguimiento y cálculo de la posición con mayor precisión y son convertidas a coordenadas geográficas (representación de datos) [54].

Fase 3: Representación de datos. – Finalmente los datos corregidos son representados en la consola de Raspberry Pi OS, la cual permite la visualización de las coordenadas geográficas, es decir: latitud, longitud y altitud, adicional muestra la información de la velocidad de un punto a otro, como se muestra en la Figura 42.

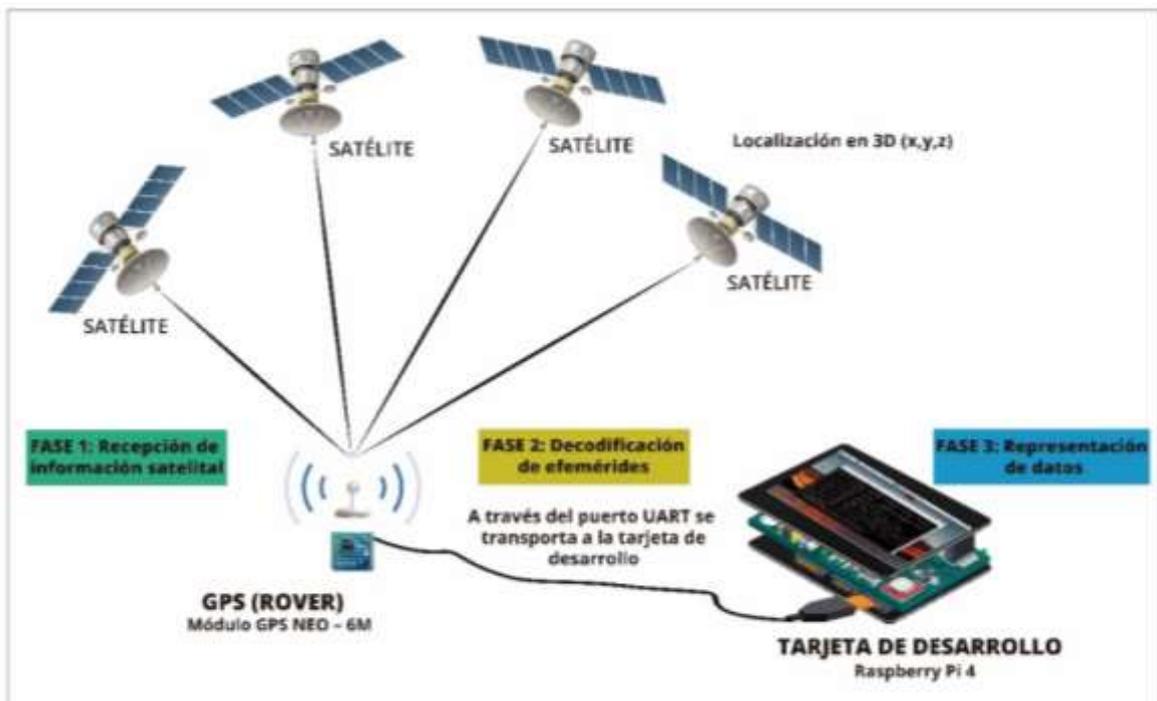


Figura 42 Desempeño de funcionamiento del prototipo

CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 ANÁLISIS DE RESULTADOS

El prototipo diseñado permite obtener información satelital el cual para su funcionamiento se identifican las condiciones mínimas de operación para el del prototipo son: el módulo GPS no debe estar en lugares cerrados, o a su vez utilizarlo con malas condiciones climáticas ya que dificulta la comunicación con el satélite como sucede con la mayoría de GPS, la portabilidad que ofrece el dispositivo es necesario mencionar que trabaja con una batería de 3.7 V que permite tener una duración hasta por 6 horas, también utiliza una micro SD necesaria para la instalación del sistema operativo, finalmente para representar los datos en la pantalla LCD es necesario ejecutar el comando `gpsmon` en la consola [55].

Es necesario mencionar que los GPS por lo general identifican dos variables: latitud y longitud, el prototipo diseñado puede identificar otras variables adicionales a las mencionadas como velocidad de movimiento, la altitud de posicionamiento y el error a través de una codificación de datos que se obtiene del satélite, lo que permite la obtención de información mucho más precisa.

Las coordenadas reales se lo consideran tomando datos de propiedad del Instituto Geográfico Militar, en relación con el equipo ASHTECH 10, Raspberry y Xiaomi con la ayuda del Ublox Neo 6M que es un receptor GPS [56].

Es por tal situación, que se verificará la precisión de los dispositivos identificando el error de precisión en el siguiente proceso:

- 1) Recepción de señal en dos escenarios diferentes y con una trayectoria de 10 puntos cada uno.
- 2) Procesamiento de datos con el cálculo del error absoluto
- 3) Análisis de la Varianza.

De esta manera se puede identificar la precisión de los dispositivos.

4.2 REGISTRO DEL POSICIONAMIENTO

Para el registro del posicionamiento se utilizan dos escenarios, detallados en la tabla 9; cada escenario tiene 10 puntos para su análisis.

Tabla 10 Registro de Posicionamiento

ESCENARIO	LUGAR	TIEMPO (min)
1	Cdla. 21 de abril	58 min
2	Barrio “Las Magnolias”	54 min



Figura 43 Puntos obtenidos para el análisis

4.2.1 Escenario 1

La ruta para el análisis está en un lugar concurrido, cerca de la Universidad Nacional de Chimborazo vía a Guano, en el que se registran 10 puntos detallados a continuación:

Tabla 11 Ruta establecida para el análisis del escenario 1

Puntos	Dirección
1	Jaime Roldós y Antonio Borrero
2	Antonio Borrero y Alausí
3	Baquerizo Moreno y Gerónimo Carrión
4	Baquerizo Moreno y Galo Pl. Lasso
5	Jaime Roldós y Galo Plaza
6	Galo Plaza y Jose M. Velasco Ibarra
7	Gerónimo Carrión y José M. Velasco Ibarra
8	José M. Velasco Ibarra y Xavier Espinoza
9	José M. Velasco Ibarra y Antonio Borrero
10	José M. Velasco Ibarra y Av. Edelberto Bonilla Oleas



Figura 44 Trayectoria de Escenario 1

4.2.2 Escenario 2

La ruta para el análisis está en un lugar concurrido, cerca de la Universidad Regional Autónoma de los Andes, en el que se registran 10 puntos detallados a continuación:

Tabla 12 Ruta establecida para el análisis del escenario 2

Puntos	Dirección
1	Vicente Solano y Demetrio Aguilera
2	Demetrio Aguilera y Gustavo Vallejo
3	Demetrio Aguilera y Victor Emilio Estrada
4	Victor Emilio Estrada y Luciano Andrade
5	Victor Emilio Estrada y Alfredo Pareja
6	Gustavo Vallejo y Alfredo Pareja
7	Vicente Solano y Alfredo Pareja
8	Vicente Solano y Luciano Andrade
9	Demetrio Aguilera y Vicente Solano
10	Vicente Solano y Pasaje Innominado

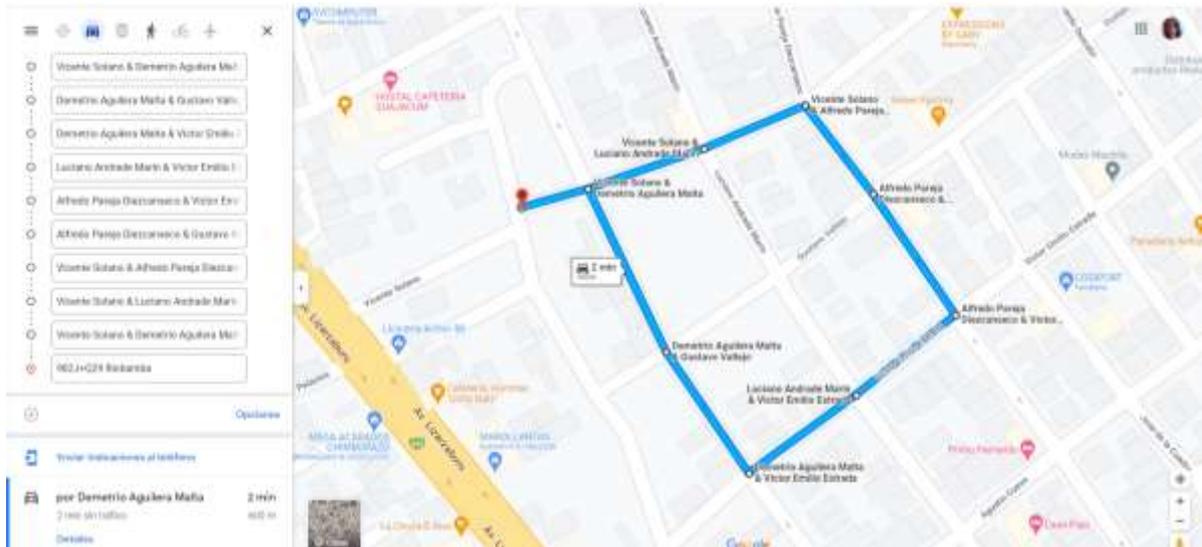


Figura 45 Trayectoria de Escenario 2

4.2.3 Registro del posicionamiento

Para el registro del posicionamiento se utilizó los datos del Instituto Geográfico Militar (IGM), instituto del Ecuador que se encarga de la cartografía en el país como datos de referencia o datos reales con relación a los equipos:

- ASHTECH 10 con su sistema operativo Windows y la App MobileMapper Field, se consideró este ya que su uso actual es en el área de la topografía en la Empresa Eléctrica Riobamba S.A. (EERSA) y utiliza la estación base EREC para su funcionamiento; mientras
- Xiaomi Redmi 10S con su sistema operativo Android y la aplicación de Google Maps
- El prototipo desarrollado con una Raspberry - GPS NEO-6M, el cual utiliza el sistema Operativo Linux y el software de aplicación Raspberry Pi OS,

Con esto se podrá identificar que dispositivo posee información más precisa, demostrándolo con un análisis de la distancia en cada punto, la intención es realizar una comparativa e identificar el desempeño que tiene el prototipo en base a un GPS comercial topográfico y GPS de mano, cabe recalcar que el prototipo fue diseñado optimizando recursos económicos.

Tabla 13 Resultados de los datos arrojados por los dispositivos de Geolocalización en el escenario 1

Datos Reales			Dispositivo: ASHTECH10 Sistema Operativo: Windows Aplicación: MobileMapper Field		Dispositivo: Raspberry - Ublox Sistema Operativo: NEO-6M Linux App: Raspberry Pi OS		Dispositivo: Xiaomi Redmi Sistema Operativo: 10S Android Aplicación: Google Maps		
Hora de recepción	Latitud	Longitud	Latitud	Longitud	Latitud	Latitud	Longitud	Latitud	
1	18h30	-1,661013	-78,64602	-1,66101	-78,6460	-1,66101301	-78,6450234	-1,661014	-78,646112
2	18h33	-1,661001	-78,64591	-1,66101	-78,6459	-1,66100101	-78,6459112	-1,660993	-78,646091
3	18h41	-1,660564	-78,64602	-1,660553	-78,6441	-1,66054802	-78,6459108	-1,6606341	-78,6443031
4	18h46	-1,659863	-78,64311	-1,659945	-78,6436	-1,65996411	-78,6435572	-1,6599692	-78,643429
5	18h53	-1,659434	-78,64532	-1,659342	-78,6448	-1,65943411	-78,6453290	-1,6594253	-78,6448643
6	19h01	-1,659043	-78,64893	-1,659036	-78,6452	-1,65899835	-78,6452043	-1,6591813	-78,6452261
7	19h07	-1,659698	-78,64611	-1,659602	-78,6458	-1,65957232	-78,6457731	-1,6597814	-78,6457083
8	19h12	-1,660076	-78,64891	-1,660052	-78,6462	-1,66007520	-78,6462052	-1,6602673	-78,6460972
9	19h17	-1,660671	-78,64701	-1,66057	-78,6466	-1,66054900	-78,6465830	-1,660791	-78,6466
10	19h22	-1,661227	-78,6486	-1,661112	-78,6471	-1,661136002	-78,647064	-1,6609802	-78,646967

Mediante la tabla se puede identificar que con la obtención de datos en los tres dispositivos de geolocalización existe diferencia en la información, por lo que se adjunta figuras de cada punto en la cual se puede evidenciar la distancia y el error que se encuentra entre cada uno de los GPS

Tabla 14 Resultados de los datos arrojados por los dispositivos de Geolocalización en el escenario 2

Datos Reales		Dispositivo: ASHTECH10 Sistema Operativo: Windows Aplicación: MobileMapper Field		Dispositivo: Raspberry - Ublox NEO-6M Sistema Operativo: Linux App: Raspberry Pi OS		Dispositivo: Xiaomi Redmi 10S Sistema Operativo: Android Aplicación: Google Maps			
Hora de recepción	Latitud	Longitud	Latitud	Latitud	Latitud	Latitud	Longitud	Latitud	
1	18h30	-1,64801	-78,66120	-1,64802	-78,66957	-1,64802	-78,66957	-1,648017	-78,669567
2	18h33	-1,64871	-78,66923	-1,64871	-78,66923	-1,64871	-78,66923	-1,648667	-78,669200
3	18h41	-1,64924	-78,66886	-1,64924	-78,66886	-1,64924	-78,66886	-1,649183	-78,668874
4	18h46	-1,64892	-78,66944	-1,64892	-78,66944	-1,64892	-78,66944	-1,648913	-78,668488
5	18h53	-1,64856	-78,66799	-1,64856	-78,66799	-1,64856	-78,66799	-1,648471	-78,667933
6	19h01	-1,64807	-78,66833	-1,64807	-78,66833	-1,64807	-78,66833	-1,648106	-78,668327
7	19h07	-1,64766	-78,66863	-1,64766	-78,66863	-1,64766	-78,66863	-1,647714	-78,668607
8	19h12	-1,64784	-78,66903	-1,64784	-78,66903	-1,64784	-78,66903	-1,647867	-78,669001
9	19h17	-1,64796	-78,66957	-1,64796	-78,66957	-1,64796	-78,66957	-1,647920	-78,669550
10	19h22	-1,64806	-78,66990	-1,64806	-78,66990	-1,64806	-78,66990	-1,648021	-78,669893

Mediante la tabla se puede identificar que con la obtención de datos en los tres dispositivos de geolocalización existe diferencia en la información, por lo que se adjunta figuras de cada punto en la cual se puede evidenciar la distancia y el error que se encuentra entre cada uno de los GPS.

4.2.4 Cálculo del error

Para el cálculo de la distancia entre dos coordenadas geográficas se aplica la fórmula de Haversine, en la cual intervienen factores como el radio de la tierra que equivale a 6371 Km y cada punto de las coordenadas.

A continuación, se muestra la fórmula aplicada para el cálculo de la distancia, que determinará el error entre los puntos. Cabe recalcar que el dispositivo de referencia es ASHTECH10 con relación al prototipo y el equipo móvil.

$$d = 2r \arcsin \left(\sqrt{\sin^2 \left(\frac{\phi_2 - \phi_1}{2} \right) + \cos(\phi_1) \cos(\phi_2) \sin^2 \left(\frac{\lambda_2 - \lambda_1}{2} \right)} \right)$$

Para el cálculo del error se desarrolló un programa en Matlab, esta es una plataforma de programación y análisis de datos que para la presente investigación permitió mediante la aplicación de la fórmula de Haversine el cálculo de la distancia en metros entre dos puntos a través del ingreso de coordenadas decimales.

4.2.4.1 Error absoluto

Tabla 15 Error absoluto escenario 1

	Error Ab.	Error Ab.	Error Ab.
Punto	Dispositivo 1	Dispositivo 2	Dispositivo 3
	ASHTECH10	Xiaomi	Ublox
1	2,24	1,1	10,22
2	1,98	0,56	6,87
3	1,78	0,64	3,89
4	2,57	0,86	3,98
5	2,01	0,71	4,97
6	1,66	0,81	8,91
7	2,99	0,96	3,78
8	1,64	1,01	4,01
9	1,79	1,02	3,65
10	1,65	1,09	6,02
Total	2,031	0,876	5,63

La tabla 14 indica el error absoluto en cada uno de los dispositivos en el escenario 1, en donde se evidencio que la media del ASHTECH10 es de 2,031; mientras que del Ublox es de 0,876 y finalmente con el Xiaomi de 5,63.

Con este análisis se puede evidenciar que el prototipo tiene un error bastante bajo y se debe a que puede realizar corrección de errores en tiempo real.

Tabla 16 Error absoluto escenario 2

Punto	Error Ab. Dispositivo 1 ASHTECH10	Error Ab. Dispositivo 2 Xiaomi	Error Ab. Dispositivo 3 Ublox
1	1,55	1,1	4,00
2	2,04	0,69	7,92
3	1,89	0,89	6,03
4	1,12	0,76	7,02
5	0,98	1,01	3,98
6	1,67	0,86	4,09
7	2,17	1,12	6,97
8	2,09	0,87	3,87
9	1,33	0,85	1,96
10	1,98	0,78	2,06
Total	1,68	0,893	4,79

La tabla 15 indica el error absoluto en cada uno de los dispositivos en el escenario 1, en donde se evidenció que la media del ASHTECH10 es de 1,68; mientras que del Ublox es de 0,893 y finalmente con el Xiaomi de 4,79; con este análisis se puede evidenciar que el prototipo tiene un error bajo y se debe a que puede realizar corrección de errores en tiempo real.

Para determinar el error y la precisión del dispositivo, es importante mencionar que el receptor Ublox NEO-6M realiza corrección de errores en tiempo real utilizando el RTKNAVI, en el que se realizó una configuración simple y doble que permite eliminar varias fuentes de error como: atmósfera, receptor, efecto multitrayectoria, imprecisión en relojes.

4.2.5 Análisis de la varianza con un factor ANOVA

Tabla 16 Análisis ANOVA

	Suma Cuadrática	Media Cuadrática	Valor	Pr(>F)
DISPOSITIVO	206.00	103.0	60.6	7.8e-15 ***
	96.89	1.7		

Código Significativo: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

En la tabla 17 se puede observar el análisis de la varianza de los tres dispositivos estudiados con un nivel de confianza del 95, donde destaca el pvalor=7.85e-15, por lo que se toma la hipótesis nula donde las medias de los tres dispositivos estudios no tienen relación, sin embargo se realiza una nueva comparación dos a dos de las medias con un nivel de confianza del 95%, donde se encontró relación entre la media del dispositivo 2 y dispositivo 1 y un pvalor de 0.056 como se muestra en la tabla 16 por lo que se asume que no existe mucha diferencia entre el error de posicionamiento entre estos dos dispositivos.

Tabla 17 Análisis de la varianza

	Estimación Estándar	Valor del error	Pr(> t)	
d2 – d1 == 0	-0.9720	0.4123	-2.358	0.056
d3 – d1 == 0	3.3535	0.4123	8.134	<0.0001
d3 – d2 == 0	4.3255	0.4123	10.492	<0.0001

d1: valor del error absoluto del Dispositivo ASHTECH10 expresado en metros

d2: valor del error absoluto del Dispositivo Xiaomi expresado en metros

d3: valor del Dispositivo Raspberry – Ublox 6M expresado en metros

El d2 con el d1 existe similitud en sus medias.

El d3 con el d1 no se parecen a sus medias.

El d3 con el d2 existe una relación leve.

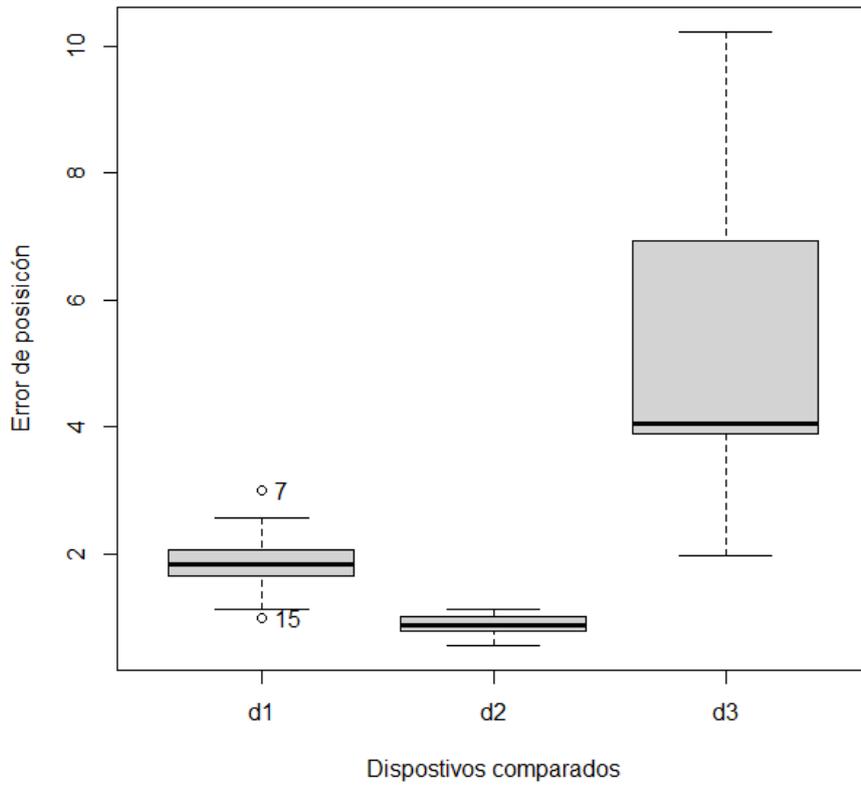


Figura 49 Diagrama de Caja de media

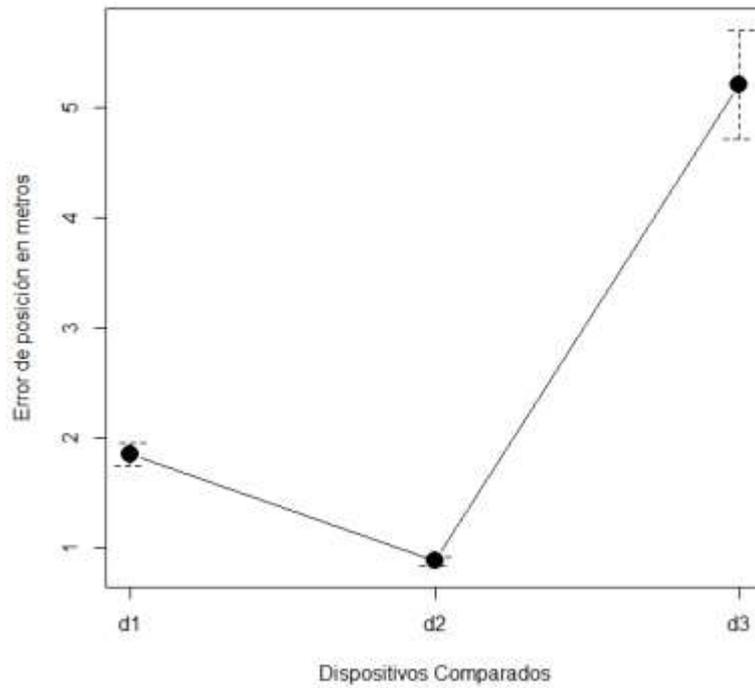


Figura 46 medias

Comparación de

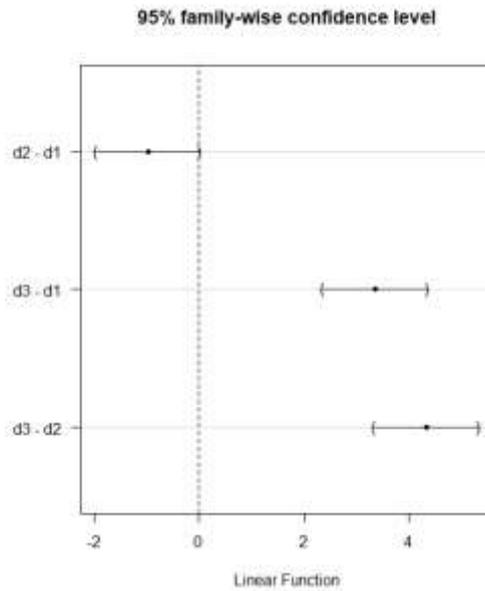


Figura 51 Análisis de medias

En los gráficos 49 y 50 se observa la representación de medias donde se corrobora el análisis de ANOVA mostrado en la tabla 16. El gráfico 51 se observa el análisis de las dos medias donde se corrobora lo expresado en la tabla 17.

4.2 PRESUPUESTO DEL PROYECTO

Tabla 17 Presupuesto del proyecto

CANT	NOMBRE	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL
1	Raspberry pi 4	50,00	50,00
1	Módulo GPS NEO – 6M	20,00	20,00
1	Módulo de energía batería litio 3,7v 3800mah	15,00	15,00
1	Módulo pantalla de 3.5" TFT LCD MP4 480*320	25,00	25,00
1	Tarjeta de memoria Micro SDHC 32GB	7,00	7,00
1	Adaptador cargador 110V/5V 3A USB Tipo C	3,00	3,00
1	Socket 2×13 2.54mm hembra extra alto	1,50	1,50
1	Cable de Datos tipo C	0,80	0,80
1	Adaptador cargador 110V/5V 3A Micro USB	3,50	3,50
	TOTAL		125,80

CONCLUSIONES

- Se implementó un dispositivo de bajo costo en el que se utilizó tecnología UART a través de un módulo Neo 6M con una tarjeta de procesamiento Raspberry, la misma que logró una mejor manipulación y además una correcta visualización de datos, para el postprocesamiento RTKLIB un software libre que utilizó los archivos de GNSS procesados en la Raspberry que mejoraron la precisión del dispositivo en tiempo real.
- Se realizó una investigación documental con artículos científicos, libros, tesis, sitios web, informes, que permitieron el correcto desarrollo del estado de arte enfocado en el sistema GPS, además se aplicó una metodología analítica en donde la hipótesis nula identificó que el dispositivo Raspberry - GPS NEO-6M posee un error mínimo en comparación con los otros dispositivos que se plantean en el presente estudio gracias al postprocesamiento que realiza.
- Se utilizó un software libre RTKLIB de código abierto encargado de realizar el postprocesamiento para la decodificación de información satelital o de los datos de efemérides y se utilizó datos GNSS de la Red de Monitoreo Continuo del Ecuador de libre acceso del IGM (Instituto Geográfico Militar) que permitieron la reducción de errores en el posicionamiento de manera considerable, al momento de realizar la comparativa con cada dispositivo se evidenció la reducción del error de 4,79 m a un promedio de 0,89 m el cual permitió realizar corrección de errores optimizando la precisión de la coordenada y por ende la posición.
- Finalmente se concluye que se cumplió con los objetivos planteados, en los cuales están inmersos la implementación de un dispositivo que pueda entregar una posición confiable basándose en la arquitectura de Sistema de Posicionamiento Global y la decodificación de los datos del satélite llamados efemérides, a través de la utilización de tarjetas de desarrollo y módulos de bajo costo además de ello un software libre de código abierto y los archivos IGM, que en conjunto pueda mejorar la precisión del dispositivo reduciendo errores de posición en tiempo real.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar un previo análisis de la arquitectura GPS, para tener conocimiento del funcionamiento para la recolección de efemérides en los datos GNSS del IGM estos archivos son de libre acceso y de manera gratuita para todos los usuarios en archivos digitales diarios (24 horas) en formato Rinex comprimido para realizar la corrección de errores, que permanecerán disponibles dentro de un plazo máximo de cinco días laborables a partir del día de descarga de los datos GNSS.
- Se recomienda la utilización de un módulo Ublox Neo 6M ya que permite obtener una precisión alta y su costo es bajo comparada con otros módulos, con la utilización del software RTKLIB ya que son librerías libres en la red para descargar, sin necesidad de una licencia ni menos algún tipo de pago, que ejecuta un postproceso el cual permite la reducción de errores en el prototipo, además de ello la utilización de una Raspberry, tarjeta completa denominada microcomputador.
- Se realizó un análisis de los datos obtenidos por los satélites, es indispensable conocer las condiciones mínimas que se deben cumplir para que el equipo pueda tener una correcta recepción de señal como son: evitar lugares cerrados, buenas condiciones climáticas, la portabilidad a través de una batería móvil y una memoria para almacenamiento de datos.
- Para la correcta operación del equipo GPS se recomienda que la batería se encuentre cargada al máximo para que pueda permitir libertad de movimiento del dispositivo y suministro de energía a través de la conexión entre la entrada USB del módulo de la batería de 3.7 V y la entrada de suministro de energía (Tipo C) hacia la tarjeta de desarrollo Raspberry.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] D. G. P. S. G. Smartphone, “Precise Point Positioning Using World’s First Dual-Frequency GPS / GALILEO Smartphone,” 2019.
- [2] A. Pozo-Ruz, A. Ribeiro, M. G. Alegre, L. García, L. Guinea, and F. Sandoval, “Sistema de posicionamiento global (GPS): descripción, análisis de errores, aplicaciones y futuro,” in *Instituto de Automática Industrial*, Madrid.
- [3] J. Fallas, *Sistema de Posicionamiento Global*. Universidad Nacional, Costa Rica.
- [4] K. M. Id and P. Bettinger, “Smartphone GPS accuracy study in an urban environment,” pp. 1–19, 2019.
- [5] T. Wang *et al.*, “Dynamic Calibration of GPS Effective Isotropic Radiated Power for GNSS-Reflectometry Earth Remote Sensing,” *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, vol. 60, pp. 1–12, 2022, doi: 10.1109/TGRS.2021.3070238.
- [6] N. Wang, Z. Li, B. Duan, U. Hugentobler, and L. Wang, “GPS and GLONASS observable - specific code bias estimation : comparison of solutions from the IGS and MGEX networks,” *J. Geod.*, vol. 94, no. 8, pp. 1–15, 2020, doi: 10.1007/s00190-020-01404-5.
- [7] R. S. Member, G. Wang, Q. Cheng, L. Fu, K. Chiang, and L. Hsu, “Improving GPS Code Phase Positioning Accuracy in Urban Environments Using Machine Learning,” no. November, 2020, doi: 10.1109/JIOT.2020.3037074.
- [8] I. R. Bravo, *Interoperabilidad GNSS usando la Red Geodésica Activa*. Tesis de grado. Tonantzintla, Puebla: Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica.
- [9] J. Blanch, T. Walter, and P. Enge, “Gaussian Bounds of Sample Distributions for Integrity Analysis,” *IEEE Trans. Aerosp. Electron. Syst.*, vol. PP, no. c, p. 1, 2018, doi: 10.1109/TAES.2018.2876583.
- [10] J. Choi, J. H. Jo, and J. Park, “Optical Tracking Data Validation and Orbit Estimation for Sparse Observations of Satellites by the OWL-Net,” no. April, 2018, doi: 10.3390/s18061868.
- [11] A. Cie and G. Grunwald, “Klobuchar , NeQuick G , and EGNOS Ionospheric Models for GPS / EGNOS Single-Frequency Positioning under 6 – 12 September 2017 Space Weather Events,” no. September 2017, 2020, doi: 10.3390/app10051553.
- [12] M. E. S. Al-harbi, “Performance of real-time Precise Point Positioning using IGS,” *GPS Solut.*, 2015, doi: 10.1007/s10291-015-0467-z.
- [13] G.E.O.T.A.B., “No Title.” [Online]. Available: <https://www.geotab.com/es/blog/historia-de-los-satelites-gps/>.
- [14] G.P.S.G.O.V., “No Title.” [Online]. Available: <https://www.gps.gov/spanish.php>.
- [15] S. R. Aragón and I.O.T.-, *Posicionamiento en mapas de Google empleando bases de*

datos y coordenadas GPS . Tesis de grado. Sevilla: Universidad de Sevilla.

- [16] N. A. Kumar, C. Suresh, and G. S. Rao, *Extended Kalman Filter for GPS Receiver Position Estimation*. Springer Singapore. doi: 10.1007/978-981-10-7566-7.
- [17] K. Borre and I. Ferna, “Snapshot positioning without initial information ’,” 2016, doi: 10.1007/s10291-016-0530-4.
- [18] T. Hadas, K. Kazmierski, and K. Sośnica, “Performance of Galileo - only dual - frequency absolute positioning using the fully serviceable Galileo constellation,” *GPS Solut.*, pp. 1–12, 2019, doi: 10.1007/s10291-019-0900-9.
- [19] J. L. Valbuena and J. Velasco, “GPS LA NUEVA ERA DE LA TOPOGRAFÍA.”
- [20] C. Jiang, S. Chen, Y. Bo, Z. Sun, and Q. Lu, “Implementation and performance evaluation of a fast relocation method in a GPS / SINS / CSAC integrated navigation system hardware prototype,” vol. 14, no. 6, pp. 1–8, 2017, doi: 10.3390/s16050682.
- [21] C. H. Kang, S. Y. Kim, and C. G. Park, “Adaptive complex-EKF-based DOA estimation for GPS spoofing detection,” pp. 174–181, 2017, doi: 10.1049/iet-spr.2016.0646.
- [22] X. Liu *et al.*, “An analysis of inter - system biases in BDS / GPS precise point positioning,” *GPS Solut.*, pp. 1–14, 2019, doi: 10.1007/s10291-019-0906-3.
- [23] J. Liu *et al.*, “CO-GPS : Energy Efficient GPS Sensing with Cloud Offloading,” vol. 1233, no. c, pp. 1–15, 2015, doi: 10.1109/TMC.2015.2446461.
- [24] R. Velasco, “SZ soft zone.” [Online]. Available: <https://www.softzone.es/programas/utilidades/raspberry-pi-imager/>.
- [25] C. Series, “Comparison of orientational error of an optically pumped quantum sensor in on-board equipment of Galileo and GPS satellite systems Comparison of orientational error of an optically pumped quantum sensor in on-board equipment of Galileo and GPS satellite systems,” 2019, doi: 10.1088/1742-6596/1236/1/012077.
- [26] C. Milner, C. Macabiau, and P. Thevenon, “Bayesian Inference of GNSS Failures,” pp. 277–294, 2016, doi: 10.1017/S0373463315000697.
- [27] U.B.L.O.X., *NEO-6: u-blox 6 GPS Modules*. ARM®.
- [28] L. Nicolini and A. Caporali, “Investigation on Reference Frames and Time Systems in Multi-GNSS,” 2018, doi: 10.3390/rs10010080.
- [29] ElectroStore, “No Title.” [Online]. Available: <https://gruoelectrostore.com/shop/placas-para-programacion/raspberry/accesorios-para-raspberry/pantalla-35-tft-lcd-mp4-480320-raspberry-pi/>.
- [30] SanDisk, “SanDisk.” [Online]. Available: <https://documents.westerndigital.com>.
- [31] J. Paziewski, “On the Applicability of Galileo FOC Satellites with Incorrect Highly Eccentric Orbits : An Evaluation of Instantaneous Medium-Range Positioning,” no.

October 2017, 2018, doi: 10.3390/rs10020208.

- [32] Electronilab, “Electronilab.” [Online]. Available: <https://electronilab.co/tienda/socket-2x13-2-54mm-hembra-extra-alto-gpio-raspberry-pi/>.
- [33] S. Perea, M. Meurer, M. Rippl, B. Belabbas, and M. Joerger, “URA / SISA Analysis for GPS and Galileo to Support ARAIM,” 2016, doi: 10.1002/navi.199.
- [34] D. Racelis and M. Joerger, “High-Integrity TLE Error Models for MEO and GEO Satellites,” no. September, pp. 1–13, 2018, doi: 10.2514/6.2018-5241.
- [35] M. N. Namakforoosh, *Metodología de la Investigación*. México, D.F: LIMUSA NORIEGA EDITORES.
- [36] E. A. Rodriguez, “Metodología de la Investigación, UNIVERSIDAD JUÁREZ AUTÓNOMA DE TABASCO,” in *División Académica de Ingeniería y Arquitectura*,
- [37] P. M. S. Fabbri, “Técnicas de investigación: la observación,” *Método Clínico*, vol. 1, p. 29.
- [38] N. Shen *et al.*, “Site - specific real - time GPS multipath mitigation based on coordinate time series window matching,” *GPS Solut.*, pp. 1–14, 2020, doi: 10.1007/s10291-020-00994-z.
- [39] G. Shen, H. Guo, and G. Liu, “Geometry Numerical Simulation and Analysis for Moon-Based Earth Observation,” vol. 13, pp. 3381–3393, 2020, doi: 10.1109/JSTARS.2020.2996613.
- [40] R. Positioning, “Impacts of Satellite Orbit and Clock on Real-Time GPS Point and Relative Positioning,” pp. 1–13, 2017, doi: 10.3390/s17061363.
- [41] Y. Shu, R. Fang, M. Li, C. Shi, M. Li, and J. Liu, “Very high-rate GPS for measuring dynamic seismic displacements without aliasing : performance evaluation of the variometric approach,” *GPS Solut.*, vol. 0, no. 0, p. 0, 2018, doi: 10.1007/s10291-018-0785-z.
- [42] C. Purpose, “Precision Agriculture,” 2018, doi: 10.2134/precisionagbasics.2017.0036.
- [43] X. Su, G. Meng, H. Sun, and W. Wu, “Positioning Performance of BDS Observation of the Crustal Movement Observation Network of China and Its Potential Application on Crustal Deformation,” 2018, doi: 10.3390/s18103353.
- [44] J. Berné, “GNSS: GPS, GALILEO, GLONASS, BEIDOU Fundamentos y métodos de posicionamiento.” [Online]. Available: https://gdocu.upv.es/alfresco/service/api/node/content/workspace/SpacesStore/e002497c-e7fa-4475-b65f-4527c54f7d54/TOC_6518_01_01.pdf?guest=true,
- [45] V. K. Hodč, A. H. M. J. Triaud, H. M. Cegla, W. J. Chaplin, and G. R. Davies, “Orbital misalignment of the super-Earth π Men c with the spin of its star 1 I N T R O D U C

- TION 2 ESPRESSO DATA ANALYSIS,” vol. 2911, pp. 2893–2911, 2021, doi: 10.1093/mnras/stab237.
- [46] Y. Wu, X. Liu, W. Liu, J. Ren, and Y. Lou, “Long-term behavior and statistical characterization of BeiDou signal-in-space errors,” *GPS Solut.*, vol. 21, no. 4, pp. 1907–1922, 2017, doi: 10.1007/s10291-017-0663-0.
- [47] M. Wang, J. Wang, D. Dong, L. Meng, J. Chen, and A. Wang, “Performance of BDS-3 : satellite visibility and dilution of precision,” *GPS Solut.*, vol. 0, no. 0, p. 0, 2019, doi: 10.1007/s10291-019-0847-x.
- [48] X. Xie, T. Geng, Q. Zhao, X. Liu, Q. Zhang, and J. Liu, “Design and validation of broadcast ephemeris for low Earth orbit satellites,” *GPS Solut.*, pp. 1–11, 2018, doi: 10.1007/s10291-018-0719-9.
- [49] B. Xue, H. Wang, and Y. Yuan, “Performance of BeiDou - 3 signal - in - space ranging errors : accuracy and distribution,” *GPS Solut.*, vol. 25, no. 1, pp. 1–11, 2021, doi: 10.1007/s10291-020-01057-z.
- [50] G. Zhang, W. Wen, and L. Ta, “Rectification of GNSS - based collaborative positioning using 3D building models in urban areas,” *GPS Solut.*, pp. 1–12, 2019, doi: 10.1007/s10291-019-0872-9.
- [51] M. R. Products, S. Zhang, S. Du, W. Li, and G. Wang, “Evaluation of the GPS Precise Orbit and Clock,” 2023.
- [52] F. Zheng, S. Gu, X. Gong, Y. Lou, L. Fan, and C. Shi, “Real - time single - frequency pseudorange positioning in China based on regional satellite clock and ionospheric models,” *GPS Solut.*, pp. 1–13, 2020, doi: 10.1007/s10291-019-0923-2.
- [53] Vorago, “Voragolive.com.” [Online]. Available: <https://www.voragolive.com/descargables/cab-12349561618600420.pdf>.
- [54] K. Zheng and L. Tang, “Performance Assessment of BDS and GPS / BDS Velocity Estimation with Stand-alone Receiver,” no. 2016, pp. 869–882, 2017, doi: 10.1017/S0373463315000958.
- [55] R. Velasco, “SZ soft zone.” [Online]. Available: <https://www.softzone.es/programas/linux/raspberry-pi-os/>
<https://www.softzone.es/programas/linux/raspberry-pi-os/>.
- [56] MathWorks, “MathWorks.” [Online]. Available: https://www.google.com/search?q=matlab+definición&sxsrf=ALiCzsby14QNwqi398Y5ed47C7VPQcj-BQ:1658313360248&source=lnms&sa=X&ved=2ahUKEwjv2I3Woof5AhWqSjABHV4MBJEQ_AUoAHoECAEQAg&biw=1707&bih=802&dpr=1.13.

ANEXOS

ANEXO A

Datasheet del módulo Ublox NEO 6

1.3 GPS performance

Parameter	Specification			
Receiver type	50 Channels GPS L1 frequency, C/A Code SBAS: WAAS, EGNOS, MSAS			
Time-To-First-Fix ¹		NEO-6G/Q/T	NEO-6MV	NEO-6P
	Cold Start ²	26 s	27 s	32 s
	Warm Start ²	26 s	27 s	32 s
	Hot Start ²	1 s	1 s	1 s
	Aided Starts ³	1 s	<3 s	<3 s
Sensitivity ⁴		NEO-6G/Q/T	NEO-6MV	NEO-6P
	Tracking & Navigation	-162 dBm	-161 dBm	-160 dBm
	Reacquisition ⁵	-160 dBm	-160 dBm	-160 dBm
	Cold Start (without aiding)	-148 dBm	-147 dBm	-146 dBm
	Hot Start	-157 dBm	-156 dBm	-155 dBm
Maximum Navigation update rate		NEO-6G/Q/MT	NEO-6PV	
		5Hz	1 Hz	
Horizontal position accuracy ⁴	GPS	2.5 m		
	SBAS	2.0 m		
	SBAS + PPP ⁷	< 1 m (2D, R50) ⁸		
	SBAS + PPP ⁷	< 2 m (3D, R50) ⁴		
Configurable Timepulse frequency range		NEO-6G/Q/MPV	NEO-6T	
		0.25 Hz to 1 kHz	0.25 Hz to 10 MHz	
Accuracy for Timepulse signal	RMS	30 ns		
	99%	<60 ns		
	Granularity	21 ns		
	Compensated ⁹	15 ns		
Velocity accuracy ⁶		0.1 m/s		
Heading accuracy ⁶		0.5 degrees		
Operational Limits	Dynamics	≤ 4 g		
	Altitude ¹⁰	50,000 m		
	Velocity ¹⁰	500 m/s		

Table 2: NEO-6 GPS performance

ANEXO B

Representación gráfica del postproceso que realiza el dispositivo en tiempo real en el software RTKNAVI, mostrando la altura (he), y las coordenadas en el formato (grados, minutos, segundos)

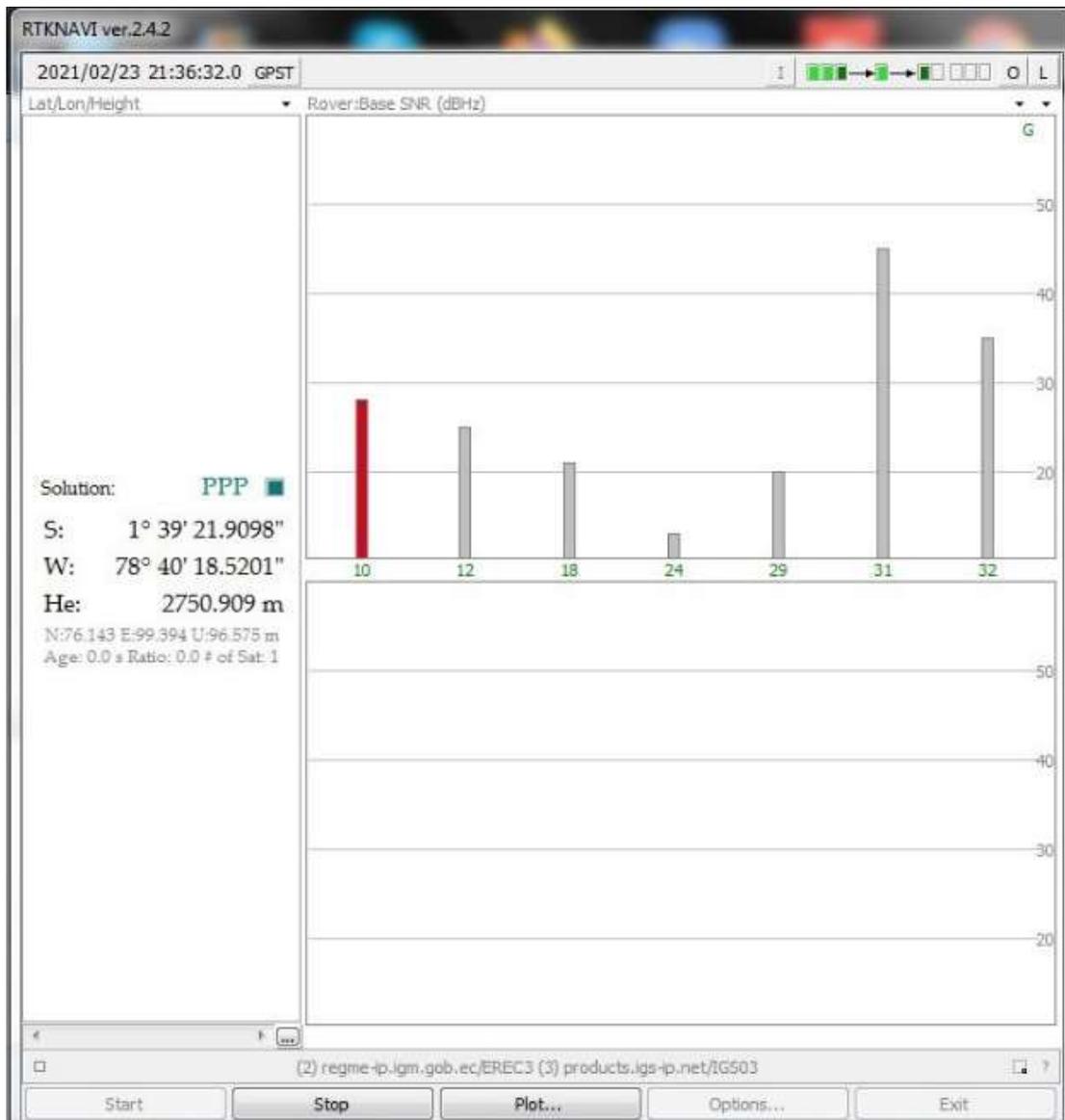


Figura 47 Representación Altura y Coordenadas DMS (grados, minutos, segundos)

ANEXO C



Figura 48 Dispositivo GPS ASHTECH facilitado por la EERSA



Figura 54 Manipulación de ashtech



Figura 55 Inicio de la toma de datos



Figura 56 Gráfica de la ruta



Figura 57 Punto final en la toma de datos de GPS

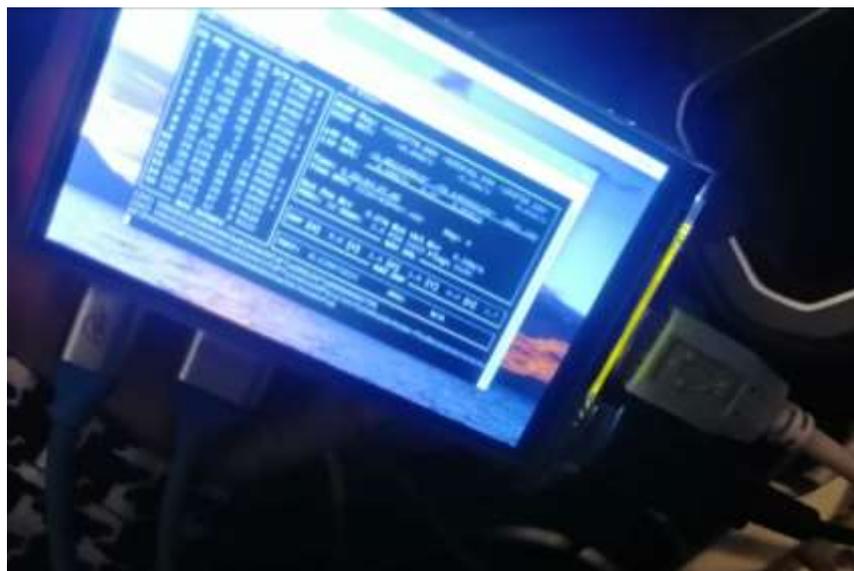


Figura 58 GPS Raspberry Ublox Neo 6M