



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

**“DETERMINAR Y COMPARAR LA PRECISIÓN EN LOS  
DISPOSITIVOS MÓVILES ANDROID DE GAMA MEDIA Y  
ALTA EN MODO SPS VS A-GPS POR LA RED MÓVIL.”**

**Trabajo de titulación:**

**Tipo: PROPUESTA TECNOLÓGICA**

Presentado para optar el grado académico de:

**INGENIERO EN ELECTRÓNICA, TELECOMUNICACIONES Y  
REDES**

**AUTORES: SAGÑAY CHUCURI JULIO ALFREDO**

**FREIRE VARGAS WILSON FERNANDO**

**TUTORA: ING. MÓNICA ANDREA ZABALA HARO, M.Sc.**

Riobamba – Ecuador

2018

**©2018, Julio Alfredo Sagñay Chucuri, Wilson Fernando Freire Vargas**

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

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

El Tribunal de trabajo de titulación certifica que: El trabajo de titulación: “**DETERMINAR Y COMPARAR LA PRECISIÓN EN LOS DISPOSITIVOS MÓVILES ANDROID DE GAMA MEDIA Y ALTA EN MODO SPS VS AGPS POR LA RED MÓVIL**”, de responsabilidad de los señores Julio Alfredo Sagñay Chucuri y Wilson Fernando Freire Vargas, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del trabajo de titulación quedando autorizado su presentación.

ING. JULIO SANTILLÁN  
VICEDECANO DE LA FACULTAD DE  
INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA

\_\_\_\_\_

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

\_\_\_\_\_

ING. MÓNICA ZABALA M.Sc  
DIRECTOR DEL TRABAJO DE  
TITULACIÓN

\_\_\_\_\_

Dr. JEFFERSON RIBADENEIRA Ph.D  
MIEMBRO DEL TRABAJO DE  
TITULACIÓN

\_\_\_\_\_

Nosotros, Julio Alfredo Sagñay Chucuri y Wilson Fernando Freire Vargas, somos responsables de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en este trabajo de titulación y el patrimonio intelectual del Trabajo de Titulación pertenece a la **Escuela Superior Politécnica de Chimborazo**.

---

Julio Alfredo Sagñay Chucuri

---

Wilson Fernando Freire Vargas

## **DEDICATORIA**

A Dios por ser el pilar fundamental y guiar en todo instante, permitiéndome llegar a cumplir mis metas planteadas y conocer durante la carrera a personas especiales que han dejado en mí sus enseñanzas valiosas tanto en lo académico como en lo personal.

Dedico de manera especial a mis padres por su amor excepcional, la educación que me han brindado, el apoyo incondicional en los momentos difíciles y sobre todo por ayudarme con los recursos para poder culminar mi carrera profesional y cristalizar mis sueños. A la vez me han dado todo lo que soy como persona, mis valores, mis principios, mi carácter, mi empeño, mi perseverancia y mi coraje para siempre cumplir mis objetivos.

**Julio**

Dedico el presente trabajo a mis padres y familia quienes me brindaron su amor y calidez de hogar en todo momento, confiando en mí durante toda mi carrera estudiantil, siendo una gran fuente de confianza e inspiración para superarme día a día y llegar a cumplir la meta de ser un profesional.

**Wilson**

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios por dar la vida, salud, y sobre todo cuidarme en cada instante de la vida, que ha permitido llegar a esta etapa muy importante, porque ha hecho realidad este sueño más anhelado.

A la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo por abrirme las puertas y formarme como profesional, del mismo modo a cada uno de los docentes quienes diariamente nos formaban con sus conocimientos guiando por el camino de la sabiduría y excelencia apoyando para seguir adelante día a día.

Agradecer a mi tutora de trabajo de Titulación Ing. Mónica Zabala por brindarme su ayuda incondicional, por compartir sus conocimientos durante la carrera y por dedicarme toda la paciencia del mundo por guiarme en la realización de mi trabajo de titulación. Por su capacidad de esfuerzo, excelente criterio y ayuda que brindó durante todo este proceso.

A mis familiares y amigos quienes de una u otra manera han estado apoyándome en cada paso brindando consejos, ánimo, compañía y sobre todo su sincera amistad, amistad que perdurará, y siempre los llevare en mi corazón.

**Julio**

A Dios, por brindarme fuerza y sabiduría necesaria para afrontar con éxito esta etapa de vida, a mi familia por brindarme su apoyo incondicional en todo momento, a mis padres que con gran esfuerzo, buenos consejos y constante motivación

A la Ingeniera Mónica Zabala docente y amiga que ha sido un gran aporte e inspiración profesional, quien nos ayudó con sus conocimientos para poder desarrollar de la mejor manera el presente trabajo.

**Wilson**

## TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN.....	XV
SUMMARY .....	XVI
INTRODUCCIÓN .....	1
<b>CAPÍTULO I</b>	
<b>1 MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>5</b>
<b>1.1 Sistema Global de Navegación por Satélite-GNSS .....</b>	<b>5</b>
<i>1.1.1 Historia.....</i>	<i>6</i>
<i>1.1.2 Mediciones GNSS en tiempo real.....</i>	<i>9</i>
<b>1.2 Sistema Global de Posicionamiento – GPS.....</b>	<b>9</b>
<i>1.2.1 Estructura de la señal GPS .....</i>	<i>12</i>
<i>1.2.2 Funcionamiento.....</i>	<i>15</i>
<i>1.2.3 Fuentes de Errores en los sistemas GPS.....</i>	<i>16</i>
<i>1.2.4 Estimación de la Posición.....</i>	<i>20</i>
<i>1.2.5 Tipos de Servicios GPS.....</i>	<i>21</i>
<i>1.2.6 Receptores GPS.....</i>	<i>22</i>
<i>1.2.7 Tipos de receptores .....</i>	<i>27</i>
<i>1.2.8 Aplicaciones GPS.....</i>	<i>28</i>
<b>1.3 Redes Móviles.....</b>	<b>30</b>
<i>1.3.1 Arquitectura .....</i>	<i>31</i>
<i>1.3.2 Aplicaciones de telefonía móvil.....</i>	<i>34</i>
<b>1.4 GPS Asistido en Redes Celulares (A-GPS).....</b>	<b>35</b>
<i>1.4.1 Regulación del Wireless E911.....</i>	<i>36</i>
<i>1.4.2 Arquitectura .....</i>	<i>36</i>
<i>1.4.3 Funcionamiento.....</i>	<i>38</i>
<i>1.4.4 Características.....</i>	<i>42</i>
<i>1.4.5 Receptores móviles bajo la plataforma ANDROID .....</i>	<i>43</i>
<b>CAPÍTULO II</b>	
<b>2 MARCO METODOLÓGICO .....</b>	<b>47</b>
<b>2.1 Metodología.....</b>	<b>47</b>
<b>2.2 Selección del dispositivo móvil.....</b>	<b>48</b>
<i>2.2.1 Características técnicas de los teléfonos seleccionados .....</i>	<i>49</i>
<b>2.3 Escenarios propuestos .....</b>	<b>50</b>

2.4	Configuración del dispositivo móvil para el registro de datos.....	51
2.4.1	<i>Campos del GnssLogger</i> .....	53
2.5	Desarrollo del programa .....	55
2.5.1	<i>Requerimientos para el Software de la investigación</i> .....	55
2.5.2	<i>Selección de la herramienta de desarrollo Software</i> .....	56
2.5.3	<i>Diagrama de bloques del Software de Práctica</i> .....	56
<b>CAPÍTULO III</b>		
3	ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	60
3.1	Especificación de los parámetros de Análisis .....	60
3.2	Escenarios de Medición.....	61
3.2.1	<i>Escenarios externos: Ubicado en la zona céntrica de la ciudad de Riobamba</i> .....	61
3.2.2	<i>Escenarios Internos</i> .....	63
3.2.3	<i>SVID -Dispositivo gama alta - Samsung S8-Escenario 1</i> .....	65
3.2.4	<i>SVID -Dispositivo gama media – Huawei P10Lite-Escenario 1</i> .....	66
3.2.5	<i>SVID -Dispositivo gama alta - Samsung S8-Escenario 2</i> .....	68
3.2.6	<i>SVID Dispositivo de gama media – Huawei P10 Lite-escenario 2</i> .....	69
3.2.7	<i>SVID Dispositivo de gama alta – Samsung S8-escenario 3</i> .....	71
3.2.8	<i>SVID Dispositivo de gama media – Samsung S8-escenario 3</i> .....	72
3.2.9	<i>SVID en Dispositivo de gama alta Samsung S8-Escenario 4</i> .....	74
3.2.10	<i>SVID -Dispositivo gama media– Huawei P10Lite-Escenario 4</i> .....	75
3.2.11	<i>Relación señal a ruido – Gama Alta – Samsung S8-escenario 1</i> .....	77
3.2.12	<i>Relación señal a ruido, gama media – Huawei P10Lite-escenario 1</i> .....	78
3.2.13	<i>Relación señal a ruido – Gama Alta – Samsung S8-escenario 2</i> .....	79
3.2.14	<i>Relación señal a ruido, gama media – Huawei P10Lite-escenario 2</i> .....	80
3.2.15	<i>Relación señal a ruido – Gama Alta – Samsung S8-escenario 3</i> .....	81
3.2.16	<i>Relación señal a ruido – Gama media – Huawei P10Lite-escenario 3</i> .....	82
3.2.17	<i>Relación señal a ruido – Gama Alta – Samsung S8-escenario 4</i> .....	83
3.2.18	<i>Relación señal a ruido – Gama media – Huawei P10Lite-Escenario 4</i> .....	84
3.2.19	<i>Coordenadas Geográficas (Latitud, longitud)-escenario 1</i> .....	85
3.2.20	<i>Coordenadas Geográficas (Latitud, longitud)-escenario 2</i> .....	87
3.2.21	<i>Coordenadas Geográficas (Latitud, longitud)-escenario 3</i> .....	89
3.2.22	<i>Coordenadas Geográficas (Latitud, longitud)-escenario 4</i> .....	91
3.2.23	<i>Comparación de los resultados</i> .....	93
3.2.24	<i>Evaluación del rendimiento del software desarrollado</i> .....	94
<b>CONCLUSIONES</b> .....		<b>96</b>

<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>97</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	
<b>ANEXOS</b>	

## ÍNDICE DE ABREVIATURAS

<b>GNSS:</b>	Sistema Global de Navegación por Satélite
<b>GPS:</b>	Servicio de Posicionamiento Global
<b>SBAS:</b>	Sistema de Aumentación Basado en Satélites
<b>GBAS:</b>	Sistema de Aumentación Basado en Tierra
<b>SPS:</b>	Servicio de Posicionamiento Estándar
<b>MTS:</b>	Servicio de Teléfono Móvil
<b>BS:</b>	Estación Base
<b>MCS:</b>	Central de conmutación móvil
<b>BCS:</b>	Estación Base de Control
<b>RS:</b>	Estación Repetidora
<b>UE:</b>	Equipo de Usuario
<b>A-GPS:</b>	Servicio de Posicionamiento Global Asistido

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1-1:</b> Constelación GNSS.....	8
<b>Tabla 2-1:</b> Frecuencias de la banda L.....	12
<b>Tabla 3-1:</b> Estructura de la señal GPS.....	14
<b>Tabla 4-1:</b> Aplicaciones GPS.....	29
<b>Tabla 5-1:</b> Evolución generación red móvil.....	30
<b>Tabla 6-1:</b> Precisión del Wireless E911.....	36
<b>Tabla 1-2:</b> Características GPS en Smartphone.....	49
<b>Tabla 2-2:</b> Especificaciones técnicas modelo de gama de teléfonos.....	49
<b>Tabla 3-2:</b> Escenarios Propuestos.....	51
<b>Tabla 1-3:</b> Disponibilidad de los satélites en gama alta y media. Parque Maldonado.....	67
<b>Tabla 2-3:</b> Disponibilidad de los satélites en gama alta y media, Parque Sucre.....	70
<b>Tabla 3-3:</b> Disponibilidad de los satélites en gama alta, Paseo Shopping.....	76
<b>Tabla 4-3:</b> Errores de posicionamiento calculados en gama alta y media - escenario 1.....	86
<b>Tabla 5-3:</b> Errores de posicionamiento calculados en gama alta y media - escenario 2.....	88
<b>Tabla 6-3:</b> Errores de posicionamiento en gama alta y media calculados en el escenario 3.....	90
<b>Tabla 7-3:</b> Errores de posicionamiento en gama alta y media calculados en el escenario 4.....	92
<b>Tabla 8-3:</b> Resultados obtenidos en el dispositivo de gama media.....	93
<b>Tabla 9-3:</b> Resultados obtenidos en el dispositivo de gama alta.....	94

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1-1:</b> Constelación de satélites GPS.....	10
<b>Figura 2-1:</b> Centro de control de misiones GPS .....	11
<b>Figura 3-1:</b> Usuarios GPS.....	11
<b>Figura 4-1:</b> Generación de la señal .....	13
<b>Figura 5-1:</b> Determinación del tiempo de propagación de la señal.....	16
<b>Figura 6-1:</b> Errores en GPS.....	17
<b>Figura 7-1:</b> Esquema de la propagación multicamino .....	19
<b>Figura 8-1:</b> Arquitectura de un receptor GPS .....	22
<b>Figura 9-1:</b> Diagrama de bloques, etapa front-end .....	23
<b>Figura 10-1:</b> Códigos de correlación replica Prompt-Early-Late.....	25
<b>Figura 11-1:</b> Correlación con error de fase.....	26
<b>Figura 12-1:</b> Receptores GPS. A la izquierda un navegador convencional, a la derecha un modelo sub-métrico. 27	
<b>Figura 13-1:</b> Receptores GPS. A la izquierda un modelo mono frecuencia, a la derecha una doble frecuencia.....	28
<b>Figura 14-1:</b> Elementos de una red celular. ....	31
<b>Figura 15-1:</b> Forma de las células.....	33
<b>Figura 16-1:</b> Esquema de distribución básico en redes celulares.....	34
<b>Figura 17-1:</b> Aplicaciones para la telefonía móvil.....	34
<b>Figura 18-1:</b> Arquitectura de A-GPS .....	37
<b>Figura 19-1:</b> Mensajes de Navegación.....	40
<b>Figura 20-1:</b> Plano de usuario en la red CDMA. ....	42
<b>Figura 21-1:</b> La arquitectura interna de un receptor móvil. ....	45

<b>Figura 1-2:</b> Proceso para el desarrollo del proyecto. ....	47
<b>Figura 2-2:</b> Escenarios .....	51
<b>Figura 3-2:</b> Gnslogger en ejecución .....	52
<b>Figura 4-2:</b> Datos en bruto en formato texto.....	53
<b>Figura 5-2:</b> Diagrama del programa desarrollado.....	56
<b>Figura 6-2:</b> Líneas de código para cargar archivos .....	57
<b>Figura 7-2:</b> Matriz ordenada de los datos en bruto. ....	57
<b>Figura 8-2:</b> Líneas de programación para la extracción de columnas de la matriz.....	58
<b>Figura 9-2:</b> Pantalla principal AGPSLAB. ....	59
<b>Figura 1-3:</b> Puntos de referencia. Parque Maldonado.....	62
<b>Figura 2-3:</b> Puntos de referencia. Parque Sucre.....	62
<b>Figura 3-3:</b> Puntos de referencia. C.C La Condamine .....	63
<b>Figura 4-3:</b> Puntos de referencia. Paseo Shopping .....	64
<b>Figura 5-3:</b> Satélites en vista para el dispositivo de gama alta en el Parque Maldonado: A la izquierda modo de operación A-GPS, a la derecha SPS.....	65
<b>Figura 6-3:</b> Satélites en vista para el dispositivo de gama media en el Parque Maldonado: A la izquierda modo de operación A-GPS, a la derecha SPS.....	66
<b>Figura 7-3:</b> Satélites en vista para el dispositivo de gama alta en el Parque Sucre: A la izquierda modo de operación A-GPS, a la derecha SPS.....	68
<b>Figura 8-3:</b> Satélites en vista para el dispositivo de media en el Parque Sucre: A la izquierda modo de operación A-GPS, a la derecha SPS.....	69
<b>Figura 9-3:</b> Satélites en vista para el dispositivo de gama alta Centro Comercial “La Condamine”: A la izquierda modo de operación A-GPS, a la derecha SPS. ....	71
<b>Figura 10-3:</b> Satélites en vista para el dispositivo de gama media Centro Comercial “La Condamine”: A la izquierda modo de operación A-GPS, a la derecha SPS.....	72
<b>Figura 11-3:</b> Disponibilidad de los satélites en gama alta y media. La Condamine .....	73

<b>Figura 12-3:</b> Satélites en vista para el dispositivo de gama media Paseo Shopping: A la izquierda modo de operación A-GPS, a la derecha SPS.....	75
<b>Figura 13-3:</b> Relación señal a ruido para el dispositivo de gama alta Parque Maldonado: A la izquierda modo de operación A-GPS, a la derecha SPS.....	77
<b>Figura 14-3:</b> Relación señal a ruido para el dispositivo de gama media, Parque Maldonado: A la izquierda modo de operación A-GPS, a la derecha SPS.....	78
<b>Figura 15-3:</b> Relación señal a ruido para el dispositivo de gama alta, Parque Sucre: A la izquierda modo de operación A-GPS, a la derecha SPS.....	79
<b>Figura 16-3:</b> Relación señal a ruido para el dispositivo de gama media, Parque Sucre: A la izquierda modo de operación A-GPS, a la derecha SPS.....	80
<b>Figura 17-3:</b> Relación señal a ruido para el dispositivo gama alta, La Condamine: A la izquierda modo de operación A-GPS, a la derecha SPS.....	81
<b>Figura 18-3:</b> Relación señal a ruido para el dispositivo gama media, La Condamine: A la izquierda modo de operación A-GPS, a la derecha SPS.....	82
<b>Figura 19-3:</b> Relación señal a ruido para el dispositivo gama alta, Paseo Shopping: A la izquierda modo de operación A-GPS, a la derecha SPS.....	83
<b>Figura 20-3:</b> Relación señal a ruido para el dispositivo gama media, Paseo Shopping: A la izquierda modo de operación A-GPS, a la derecha SPS.....	84
<b>Figura 21-3:</b> Trayectoria evaluados de los dispositivos, Parque Maldonado: A la izquierda gama alta, a la derecha gama media. ....	85
<b>Figura 22-3:</b> Trayectoria evaluados de los dispositivos, Parque Sucre: A la izquierda gama alta, a la derecha gama media. ....	87
<b>Figura 23-3:</b> Trayectoria evaluados de los dispositivos, La Condamine: A la izquierda gama alta, a la derecha gama media. ....	89
<b>Figura 24-3:</b> Trayectoria evaluados de los dispositivos, La Condamine: A la izquierda gama alta, a la derecha gama media. ....	91

## RESUMEN

El trabajo de titulación tuvo como objetivo determinar y comparar la precisión en dispositivos móviles de gama media y alta en modos de operación de servicio de posicionamiento estándar (SPS) y el servicio de posicionamiento global asistido (A-GPS) en escenarios externos e internos de lugares céntricos de la ciudad de Riobamba, para ello se tomó en cuenta dos etapas fundamentales, en la primera se usó receptores GPS integrados en el Samsung Galaxy S8 y Huawei P10 Lite que se utilizaron para la extracción y almacenamiento de datos brutos (Datos en bruto), la fase dos se realizó una interfaz gráfica en MatLab que permite el procesamiento de medidas de latitud, longitud, disponibilidad de satélites visibles (SVid) y relación señal a ruido (SNR), tomadas en cuatro escenarios considerados importantes por su lugar de ubicación. La precisión alcanzada en el escenario interno es de 9,68m para SPS en comparación al 8,39 de A-GPS, para el escenario externo se tuvo un error de 2,65m frente a 2,19m respectivamente, la reducción del error que se presenta en escenario externo con una reducción del 17,36% y en interno la reducción fue de 13,32% gracias a las correcciones recibidas por la red móvil, por otra parte el rendimiento alcanzado en el dispositivo de gama alta para escenarios externos fue del 95% e internos del 91%, mientras que el dispositivo de gama media obtuvo un 90% de rendimiento para la navegación en exteriores y 55% en interiores. Se recomienda hacer el estudio de campo con diferentes condiciones y tomando en cuenta nuevos escenarios.

**Palabras clave:** <TECNOLOGÍA Y CIENCIAS DE LA INGENIERÍA>, <TELECOMUNICACIONES>, <SISTEMA DE POSICIONAMIENTO GLOBAL (GPS)>, <ANDROID>, <ASISTENCIA DE GPS (A-GPS)>, <ERRORES GPS>, <PRECISIÓN GPS>, <RENDIMIENTO DE NAVEGACIÓN>.

## SUMMARY

The purpose of the titration work was to determine and compare the accuracy of mid-range and high-end mobile device in standard positioning service (SPS) operation modes and the assisted global positioning service (A-GPS) in external and internal scenarios central places of the city of Riobamba, for this, two fundamental stages were taken into account, in the first one GPS receivers integrated in the Samsung Galaxy S8 and Huawei P10Lite were used, which were used for the extraction and storage of raw data, phase two an interface was made graph in MatLab that allows the processing of measurements of latitude, longitude, availability of visible satellite (SVid) and signal-to-noise reaction (SNR), taken in four scenarios considered important for their location. The accuracy achieved in the internal scenario is 9.68m for SPS compared to 8.39 for A-GPS, for the external scenario there was an error of 2.65m versus 2.19m respectively, the reduction of the error that occurs in the external scenario with a reduction of 17.37% and internally the reduction of the error that presented in external scenario with a reduction was 13.32% thanks to the correction received by the mobile network, On the other hand, the performance of the 95%, while the mid-range device obtained a 90% performance for outdoor navigation and 55% indoors. It is recommended to do the field study with different conditions and taking into account new scenarios.

- **Keywords:** <TECHNOLGY AND SCIENCES OF ENGINEERING>, <TELECOMMUNICATIONS>, <GLOBAL POSITIONING SYSTEM (GPS)>, <ANDROID>, <GPS ASSISTANCE (A-GPS)>, <GPS ERRORS>, <GPS PRECISION>, < NAVIGATION PERFORMANCE>.

# INTRODUCCIÓN

## Antecedentes

El Sistema de Posicionamiento Global (GPS), trabaja con una constelación de 24 satélites en órbita media (MEO) sobre la tierra, a una distancia 20.200 km, el 22 de febrero de 1978 fue lanzado el primer satélite con total responsabilidad del desarrollo y mantenimiento del sistema por el Departamento de Defensa De los Estados Unidos, la misión de esta tecnología fue proporcionar servicios de posicionamiento, navegación y sincronización paramilitares y civiles sobre una base mundial (Sanz Subirana, et al., 2013, p. 15).

Los servicios de GPS son ofrecidos en dos estándares diferentes, Servicios de Posicionamiento Estándar SPS (demodulación de código C / A) y Servicios de Posicionamiento Preciso PPS (código P). La precisión de estos servicios está influenciada por varios sesgos de medición y errores aleatorios. SPS bajo un promedio global del 95% del tiempo, puede proporcionar una precisión de error de 13 [m] horizontal y 22 [m] vertical, para el peor sitio se tiene 36 [m] y 77 [m] respectivamente, trabaja en la banda de frecuencia 1575.420 [MHz] L1 , de la misma manera el PPS tiene un error de precisión inferior a 10 [m] en condiciones ideales y del ambiente, la precisión en este estándar se da a través de los resultados proporcionada por P-código de medidas, lo que permite una mayor exactitud y usa las dos bandas de frecuencia L1 y L2 1227.600 [MHz] (Chang y Baciú, 2012, p. 20).

El receptor GPS estima su posición y la precisión depende de factores externos considerados fuentes de error que afectan a la señal en su trayectoria desde el satélite hacia el receptor. Los errores del GPS se clasifican en tres grupos, los errores propios de los satélites dentro de los cuales se toma en cuenta a los errores producidos por las órbitas, de reloj originados por la derivación propia del instrumento y de configuración geométrica producidos por la alineación de los satélites. El error debido al medio de propagación provoca un retraso en la señal en su llegada, el principal causante es la atmósfera en todas sus capas por ejemplo los errores producidos por la tropósfera y el multipath. Ecuador debido a su posición geográfica la atmósfera se ve afectada en mayor proporción por la radiación ultravioleta, ésta tiende a permanecer ionizadas debido a las mínimas colisiones que se producen entre los iones, el error introducido por este factor alcanza 10 [m], estos errores pueden ser mitigados a través de técnicas de DGPS y asistencia a GPS por diversas tecnologías de comunicaciones (Grimes, 2008, p. 25).

En Ecuador la telefonía celular inicia el servicio a finales de 1993, con la entrada de una de las principales operadoras en la actualidad llamada Claro, así también Movistar, CNT y Tuenti que posteriormente ingresaron al mercado. Su evolución se ha dado desde la primera generación 1G con los dispositivos de gama baja, como son los equipos Nokia 1100, Sagem XT, Motorota C200 o C 115 Alcatel, con niveles bajos de procesamiento y características limitadas al uso de servicio de llamadas y mensajería, en la segunda y tercera generación se presentan dispositivos de gama media con una variedad infinita de modelos de teléfonos con cámaras de foto, pantalla color, conexión rápida a Internet (tecnología EDGE), envío de mensajes multimedia (MMS) y acceso a casilla de e-mail (POP3), en la actualidad la cuarta generación que involucra al Smartphone, teléfono inteligente que cambió el modo en que las personas llevan a cabo su vida diaria con servicios de mensajería, llamadas, datos e incluye el servicio de posicionamiento a través de terminales inteligentes que incorporan nuevas antenas que incluye la de GPS (Tourinho, 2007, p. 10).

Las precisiones en los servicios de navegación en los dispositivos móviles han tomado gran auge, su funcionamiento se basa en la combinación de los sistemas de posicionamiento por satélite (GPS) y lo asiste a través de la red móvil el mismo que transmite a través de su red correcciones de ciertos errores comunes desde las estaciones bases. Gracias a esta asistencia es posible obtener alta precisión con los dispositivos de bajo costo ya que las características físicas dentro de los dispositivos celulares son de calidad estándar.

## **FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

### **Sistematización del problema**

- ¿Cuáles son las herramientas de extracción utilizadas para obtenerlos datos brutos del dispositivo móvil?
- ¿Cuál es programa más apropiado para el desarrollo del procesamiento de la información extraída?
- ¿Cuál será la precisión alcanzada con SPS y A-GPS?
- ¿Cuál es la disponibilidad del servicio para escenario en navegación interna y externa?

## JUSTIFICACIÓN TEÓRICA

En la actualidad el uso de teléfonos celulares con capacidad de recepción de señales de GPS ha incrementado notablemente, convirtiéndose en una herramienta práctica para obtener nuestra localización. Sin embargo, la precisión ofrecida por estos dispositivos difiere respecto a los receptores de GPS profesionales, las condiciones desfavorables en las que la señal es recibida son los principales factores de la imprecisión generada en la posición final.

Con el objetivo de mitigar los errores en la señal, es necesario la implementación de técnicas de diferencial de GPS lo que permite la eliminación de errores comunes específicamente los provocados por la atmosfera y troposfera. A más de ésta, la asistencia de GPS (A-GPS) se considera una opción para el mejoramiento en la precisión de la posición, su funcionamiento consiste en la recepción de las correcciones, a través de la transmisión de los paquetes por la red móvil.

Actualmente en Ecuador, la A-GPS se obtiene por parte de las operadoras móviles del país que en sus radios bases contienen los servidores GNSS y los ofrece bajo un cobro. El sistema de funcionamiento que posee un GPS tradicional, requiere que el receptor busque los datos orbitales y horarios del satélite este proceso se llama Time To First Fix TTFF o arranque en frío, donde se necesita tomar un promedio 30 segundos aproximadamente para terminar estos procesos, si los usuarios se encuentran en el entorno o zona de alta interferencia, puede incluso tomar varios minutos, provocando retardos e inclusive errores en la adquisición de coordenadas de la localización del dispositivo. Esto se puede mejorar con la A-GPS la misma que hace uso de las torres de red celular instalados con estaciones GPS para obtener la información del satélite.

Si el servicio de navegación celular es de uso masivo es necesario determinar qué tan fiable, con respecto a la precisión, se puede alcanzar a través del uso de asistencia de GPS.

## **JUSTIFICACIÓN APLICATIVA**

El proyecto pretende determinar una comparativa en cuanto a la precisión que brinda los dispositivos móviles utilizados para la navegación personal, considerando una de las técnicas la A-GPS que utiliza los datos de los satélites y según la posición dada por la celda celular, el GPS dispondrá de los datos de los satélites disponibles y los completará en el Rx, el time to first fix será mucho menor (30 seg), para ellos es necesario la extracción de los datos brutos del dispositivo móvil, los que serán almacenados y procesados para el análisis, desarrollo y evaluación de los parámetros que influyen en la precisión. Se demostrará a través de las gráficas en el programa de desarrollo, para su posterior interpretación y visualización en una interfaz gráfica.

Mediante dicho trabajo se procura plantear escenarios distintos de pruebas tanto en la zona urbana y centros comerciales de la ciudad de Riobamba, para poder evidenciar todos los posibles casos que se puedan dar en la efectividad de la ubicación del objeto.

## **OBJETIVOS**

### **Objetivo general**

Determinar y comparar la precisión en los dispositivos móviles Android de gama media y alta en modo de SPS vs A-GPS por la red móvil.

### **Objetivos específicos**

- Analizar el estado del arte de Sistema Posicionamiento Global (GPS) y Asistencia de GPS.
- Interpretar los diferentes parámetros de mediciones establecidas en los datos en brutos (raw data) extraídos de los dispositivos móviles.
- Desarrollar el procesamiento de la información extraída en un software.
- Medir el rendimiento de la navegación en escenarios internos y externos en modo SPS Y A-GPS.
- Analizar y Comparar los resultados del rendimiento de la precisión en los dispositivos móviles.

## CAPÍTULO I

### 1 MARCO TEÓRICO

En el presente capítulo se investiga los diferentes tipos de servicios de posicionamiento bajo los requerimientos de las técnicas de precisión, para brindar una mayor efectividad en los receptores móviles, además se estudia las gamas de los teléfonos media y alta; así como también la red celular, sus características y tecnologías existentes.

#### 1.1 Sistema Global de Navegación por Satélite-GNSS

Al referirse de GNSS, se determina como el conjunto de sistemas de navegación por satélite, que son el GPS, GLONAS y Galileo. Son sistemas que proporcionan señales desde el espacio, y son capaces de dotar en cualquier momento el posicionamiento espacial y temporal permitiendo brindar una cobertura total en el planeta (Álvarez García, 2008, p. 4).

Bajo criterios de los autores (PEREZ, y otros, 2011, pág. 13):

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

(Manuel, 2012, p. 3) expone que:

GNSS *Global Navigation Satellite System* por sus siglas en inglés, es el acrónimo que se refiere al conjunto de tecnologías de sistemas de navegación por satélite que proveen de posicionamiento geoespacial con cobertura global de manera autónoma. Un receptor de GNSS es capaz de determinar su posición en cuatro dimensiones (longitud, latitud, altitud, y tiempo), lo que ha dado lugar a multitud de aplicaciones civiles y militares

GNSS, en síntesis, es un conjunto de elementos que tienen por objetivo permitir la navegación personal en tiempo real sobre ámbito terrestre, en cualquier momento y bajo cualquier condición atmosférica, así mismo, la diseminación de tiempos precisos (Manuel, 2012, p. 3).

Es decir, el GNSS es un sistema de satélites que emiten señales hacia un receptor en la tierra proporcionando disponibilidad de la información las veinticuatro horas del día con buena capacidad de satélites permitiendo obtener buenas precisiones a pesar de las condiciones del terreno, todo este desarrollo espacial garantiza proveer información acerca del posicionamiento tanto para usuarios civiles como a militares.

### ***1.1.1 Historia***

A lo largo del tiempo los principios del GNSS se establecen desde los años 70 con el desarrollo del sistema estadounidense GPS, este tipo de servicio es sus inicios eran específicamente para aplicaciones con fines militares, a pesar de que era un sistema de posicionamiento global, no cumplía con las funcionalidad como en la actualidad, es decir fueron sistemas de uso exclusivo militar cuyo control la tenían el DoD (Department of defense) de los Estados Unidos, y bajo un control estricto gubernamental (Álvarez García, 2008, p. 5).

Como la utilización de este servicio era notorio, no se tardó, en empezar a tener en cuenta sus aplicaciones civiles, cuando el Gobierno de los Estados Unidos encarga realizar algunos estudios a distintas agencias como a RAND, con el objetivo de analizar el beneficio de emplear este tipo de tecnología para los fines civiles (Julien, 2014, p. 13).

De esa manera, tras varios estudios realizados, por los años noventa, esta tecnología empieza a desarrollar aplicaciones para el uso civil, logrando numerosos acuerdos entre el gobierno estadounidense y distintos países del mundo. Siendo el GPS hasta el momento el único sistema de navegación por satélite plenamente operativo, y debido a que el gobierno ruso decide no seguir adelante con GLONASS, los estadounidenses tienen en este período el control de los sistemas de posicionamiento con sus satélites (Álvarez García, 2008, p. 5).

Con el segmento espacial (red de satélites) perteneciente de manera exclusiva a los EEUU, el resto de países, como Japón, Australia, y el continente europeo, se centran en el desarrollo del segmento de tierra, es decir, de los centros de control y recepción de las señales GPS, y de elaborar sistemas de aumento (SBAS y GBAS) para dicha tecnología, que les permitan obtener un

posicionamiento más preciso a través de distintos métodos que veremos más adelante (Manuel, 2012, p. 16).

Esto plantea inquietudes a nivel internacional, ya que, la capacidad que tienen los EEUU para emitir la señal civil del GPS, también lo es para distorsionarla o dejar de emitirla en caso de guerra o conflictos entre países (lo que se entiende como disponibilidad selectiva), siendo una necesidad para para los demás países el tener su propio GNSS, que les permita de manera autónoma disponer de esta tecnología sin dependencia de los EEUU (Álvarez García, 2008, p. 5).

El resto de los países tienen un camino largo para recorrer en el desarrollo de nuevos sistemas de navegación por satélite. Europa plantea Galileo en 2005 como sistema con un uso exclusivamente civil, los gobiernos de los distintos países podrán emplearlo también con fines militares. Rusia relanza el proyecto GLONASS y otros países como China plantean el desarrollo de sistemas experimentales como COMPASS, la India IRNSS y Japón QZSS como sistemas regionales (Manuel, 2012, p. 16).

El sistema de navegación por satélites resuelve múltiples actividades, como capacidad de los nuevos sistemas, así como, interoperabilidad con el GPS o costos entre otras cosas. Factores que implican a multitud de organizaciones, como agencias espaciales encargadas del desarrollo del sistema, gobiernos y otras agencias nacionales e internacionales encargadas de asuntos legislativos. Han proliferado en multitud de países agencias, publicaciones, asociaciones de GNSS con el fin de proponer aplicaciones, soluciones y acuerdos, así como educar sobre esta tecnología, debido en parte a su prometedor futuro, y en parte a su complejo entorno internacional (Manuel, 2012, p. 16).

Como ya se mencionó, a este sistema se le conoce como una red de estaciones GNSS, consideradas como un pilar básico para el desarrollo de varias aplicaciones, por lo que en la actualidad hay organismos con estaciones permanentes GNSS a nivel mundial (IGS), europeo (EUREF), Nacional (IGN) y regional (RAP) (Berrocoso D., 2012, p. 17).

Actualmente se habla de cuatro Sistemas Globales de Navegación por Satélite que corresponde a la constelación de GNSS (Manuel, 2012, p. 7):

- El Sistema de Posicionamiento Global (GPS) de los Estados Unidos de América
- El Sistema Orbital Mundial de Navegación por Satélite (GLONASS) de la Federación Rusa

- Con la fase de desarrollo y algunos avances importantes como la interoperabilidad con el americano GPS, el Europeo GALILEO, logró incorporarse al sistema de constelaciones desde el año 2013. El sistema de navegación europea, Galileo, parecido al GPS, cuenta con la tecnología más fiable.
- BEIDOU proyecto desarrollado por la República Popular de China A principio de 2007 se pusieron 2 satélites en marcha, de momento (abril 2012), ya tienen 10 satélites experimentales en órbita.

En la *tabla 1-1*, se muestra los diferentes tipos de constelaciones que pertenecen al conjunto de sistemas de navegación por satélite.

**Tabla 1-1:** Constelación GNSS

Constelación	Número de satélites	Orbitas	Planos Orbitales	Inclinación	Altitud
GPS	24	MEO	6	50°	20200 Km
GLONAS	24	MEO	3	64.8°	19100 Km
GALILEO	27	MEO	3	56°	23222 Km
BEIDOU	5	GEO	3	58.75°E 80°R 110.5°E 140°E	35786 Km
	27	MEO		55°	21528 Km
	3	IGSO		55°	35786 Km

Fuente: (Sanz Subirana, et al, 2013, pp. 8-12)

Realizado por: Julio Sagnay, Wilson Freire (2018)

Su funcionamiento corresponde a todo el proceso que con lleva desde cuándo se envía la información hasta que se recibe, involucrando los distintos segmentos como: espacial, de control y el del usuario, de tal manera que relaciona entre sí, permitiendo realizar las correcciones de los satélites si es preciso, con las respectivas informaciones enviadas desde los distintos segmentos, como también la estimación de la posición brindando la localización de las cosas u objetos.

Para determinar la posición de un receptor GNSS se lleva a cabo ciertos parámetros como, el tiempo que la señal demora en llegar al receptor, y los datos que emiten los relojes de los satélites que deben estar sincronizadas con el receptor para no presentar un margen de error en los datos arrojados. Los relojes atómicos de los satélites son mucho más precisos que los relojes de los receptores, siendo esto uno de los factores importantes a tener en cuenta en el momento de la medición del tiempo (SANCHEZ, y otros, 2011 pág. 23).

### **1.1.2 Mediciones GNSS en tiempo real**

Corresponde a la obtención de la información en el momento de ocurrencia del evento o proceso, es decir obtener la calidad deseada en el mismo instante de la medida, teniendo en cuenta que los instrumentos debe estar en capacidad de recibir información adicional a la transmitida por los satélites GNSS, siendo comunicaciones de modo unidireccional o bidireccional con otra estación, red o satélite lo que permite recibir correcciones adicionales a las medidas que se realiza (Hoyer, 2002, p. 1).

Las principales opciones para efectuar mediciones GNSS corresponden a RTK, Omnistar, CNAV, Sistemas de suscripción, NTRIP, Sistemas de internet y telefonía celular (Hoyer, 2002, p. 2).

## **1.2 Sistema Global de Posicionamiento – GPS**

Está formado por una estructura dividida en tres segmentos diferentes: segmento espacial, segmento de control, y segmento de usuarios:

El segmento espacial está formado por los satélites que establecen el sistema, tanto de navegación como de comunicación, así como las diferentes señales que envían y reciben cada una de los receptores, mientras que los primeros que orbitan alrededor de la tierra, repartiéndose en distintos planos orbitales, en cambio el segundo forma parte de los llamados sistema de aumento que sirven para la corrección de errores de posicionamiento (PEREZ, y otros, 2011 pág. 13).

Para la prestación adecuada de servicios de navegación, el segmento espacial debe tener el suficiente número de satélites de navegación, de manera que permitan garantizar una cobertura global en todo momento. Además, para ser lo suficientemente robusto en el servicio, ha de tener un número que le permita transmitir información de manera redundante en caso de que algún satélite deje de prestar servicio, o para que haya un mayor número de satélites en una zona que nos permitan obtener un posicionamiento más preciso (Álvarez García, 2008, p. 6).

En la actualidad el GPS garantiza un mínimo de cinco satélites visibles en cualquier parte del mundo, además en la actualidad tiene una constelación de treinta satélites, distribuidos en seis planos orbitales de manera no uniforme como se detalla en la *figura 1-1*, ya que los satélites que se fueron incrementándose a la constelación original uniforme de veinticuatro satélites, proporciona información redundante en los sistemas de servicios de navegación (Álvarez García, 2008, p. 6).



**Figura 1-1:** Constelación de satélites GPS

**Fuente:** (Álvarez García, 2008, p. 6)

El segmento de control maneja datos de los satélites que recogen en las estaciones de la tierra, es un segmento independiente propio de cada país o asociación de países, que estructuran en función de distintos criterios de acuerdo a los servicios a ofrecer.

Las funciones respectivas son garantizar las prestaciones del sistema mediante monitoreo del segmento espacial y aplicar correcciones de posición orbital y temporal a los satélites, enviando información de sincronización de relojes atómicos y correcciones de posicionamiento de órbitas a los distintos satélites (Álvarez García, 2008, p. 7).

El sistema presenta una estructura básica conformada por un conjunto de estaciones de monitoreo y una estación de control, que reciben las señales de los satélites y desempeña las funciones designadas a cada una de ellas. De modo que cada estación terrena genera su propia información sobre el funcionamiento del sistema. Todo el conjunto de información es enviada a una estación de control que aplica dichas correcciones al satélite de GNSS como se detalla en la *figura 2-1*, en cuanto a los parámetros como: posición orbital y coordenadas temporales. Es decir, se envía a través de las estaciones de monitorización o de control la nueva información al satélite, que corrige así su órbita y su mensaje de navegación (Álvarez García, 2008, p. 7).



**Figura 2-1:** Centro de control de misiones GPS

**Fuente:** (Álvarez García, 2008, p. 8)

Finalmente se tiene el segmento de usuario como se indica en la *figura 3-1*, formado por todos los receptores GPS que reciben las señales del segmento espacial y sus programas de procesados de datos, teniendo como elementos básicos la antena receptora con muchas formas y materiales, dependiendo de la aplicación son: monopolo, dipolo curvado, cónica espiral, helicoidal o microstrip y el elemento receptor que funciona con la frecuencia recibida por el terminal (Álvarez García, 2008, p. 8).



**Figura 3-1:** Usuarios GPS

**Fuente:** (Ayala Ramírez y Hasbun Bardales, 2012, p. 48)

### 1.2.1 Estructura de la señal GPS

Las señales GPS se transmiten en dos frecuencias de radio en la banda L, denominado enlace 1 (L1) y enlace 2 (L2), sus frecuencias se derivan de una frecuencia fundamental  $f_0 = 10.23$  MHz generado por oscilador del reloj atómico. Para el cálculo de las portadoras L1 y L2 corresponden las *Ecuación. 2-1* y la *Ecuación. 3-1*, respectivamente, estas frecuencias forman parte de la banda L de radiofrecuencias (Fallas, 2015, p. 10).

$$L1 = 154 \times f_0 \quad \text{Ecuación. 2-1}$$

$$L2 = 120 \times f_0 \quad \text{Ecuación. 3-1}$$

En la *Tabla 2-1* Se obtiene el valor de la portadora de la banda L.

**Tabla 2-1:** Frecuencias de la banda L.

Banda L	Ecuación	Frecuencias de Trabajo	Longitud de onda
L1	$154 \times 10.23$ MHz	1575.420 MHz	19.05 cm
L2	$120 \times 10.23$ MHz	1227.600 MHz	24.45 cm

Fuente: (Sanz Subirana, et al., 2013)

Realizado por: Julio Sagnay, Wilson Freire (2018)

El sistema GPS usa la técnica CDMA (Code Division Multiple Access por sus siglas en inglés) para enviar diferentes señales en la misma radio frecuencia y para la modulación usa BPSK (Binary Phase Shift Keying por lo siglas en inglés) o los siguientes tipos de códigos PRN y mensajes que se modula sobre las dos portadoras como se muestra en la *figura 4-1*.

Para la adquirir la posición también se usa el código “PRN” que son informaciones únicas transmitidas por cada satélite y conocido por el georeceptor, que genera una réplica del mismo. El receptor está diseñado para “trasladar” las efemérides que ha generado hasta que coincida con la efeméride producida por el satélite (correlación entre las dos señales). Para el cálculo de la distancia entre el satélite y el receptor se debe tener en cuenta variables como la velocidad de la señal y la diferencia en tiempo entre el código generado por el satélite y la réplica generada por el receptor, como anteriormente se determinó en la *Ecuación. 1-1* (Fallas, 2015, p. 7).



desviaciones de sus relojes, C/N, SVid, de los satélites etc. Esto inicia de nuevo cada 1500 bits de información (Ayala Ramírez y Hasbun Bardales, 2012, p. 51).

En la *tabla 3-1* Se ilustra el resumen correspondiente a la estructura de la señal GPS.

**Tabla 3-1:** Estructura de la señal GPS

FRECUENCIA	LONGITUD DE LA ONDA	TASA DE TRANSFERENCIA	TIEMPO
Código C/A (fo/10-1.023 Mhz)	293.1 m	1 Mbps	1 milisegundo
Código P (fo-10.23 Mhz)	29.31 m	10 Mbps	266 días, 7 días/satélite
Mensaje de Navegación		50 Mbps	30segundos

**Realizado por:** Julio Sagñay, Wilson Freire (2018)

Como todo sistema gratuito posee sus desventajas, los usuarios civiles tienen restringido el acceso completo a la precisión del sistema, para la cual se han desarrollado las siguientes técnicas:

- *Disponibilidad Selectiva (S/A):* Consiste en la degradación intencionada del reloj del satélite (proceso- $\delta$ ) y la manipulación de las efemérides (proceso- $\epsilon$ ) del sistema de localización. Sobre el posicionamiento horizontal el efecto dispone pasar de unos 10 m (S/A=off) a unos 100 m (S/A=on) correspondiente a un  $2\sigma - error$ .

El proceso  $\delta$  actúa directamente sobre la frecuencia fundamental del reloj del satélite, produciendo un sesgo de error claramente en la distancia o pseudo-distancias que se emplea en la trilateración y cálculos para la estimación de ubicación de cualquier objeto. A demás el proceso  $\epsilon$  consiste en truncar la información referente a las órbitas (Hernández, et al., 2001, p. 19).

- *A/S o Anti-Spoofing:* Se trata de la encriptación del código P, en el caso de que se degrade anti espionaje el código P se convierte en código Y sumándole un código secreto nuevo, esto es modulado sobre ambas portadoras de frecuencia. Con la finalidad de evitar el acceso a usuarios no autorizados a los códigos en las frecuencias P1 y P2, quedando únicamente a libre disposición el código C/A (más ruidoso) sobre frecuencia de L1. (Hernández, et al., 2001, p. 19).

### 1.2.2 *Funcionamiento*

El proceso que conlleva el posicionamiento de un objeto en cualquier parte del planeta, requiere de una actividad permanente y complejo de cálculos de las señales emitidas desde la red de satélites, que, mediante la adquisición de valores necesarios, se determina la posición requerida del receptor, tomando en consideración los siguientes parámetros durante los cálculos: pseudorango, triangulación, distancias, posición y corrección.

La efeméride es la información que utiliza el receptor para establecer su posición, además cada satélite emite a través de radio frecuencias sus propias efemérides, la misma que incluye frecuencia de la portadora, hora atómica, información doppler, el número del satélite, tipo de constelación, etc. (Peñañiel y Zagás, 2001, p. 16).

El receptor GPS procesa la información admitida de los satélites y se sincroniza con el reloj atómico de cada uno de los satélites encontrados, la sincronización se realiza cada segundo en el receptor portátil evaluando que no existan errores de conexión. (Peñañiel y Zagás, 2001, p. 18)

#### 1.2.2.1 *Pseudorango*

El pseudo-rango o pseudo-distancia se adquiere al medir la variación de tiempo que le toma a la señal de radio desde el satélite hacia el receptor y multiplicado por la velocidad de la señal propagada en el espacio libre, bajo la ecuación de movimiento rectilíneo uniforme que se detalla en la *Ecuación. 1-1* (Giménez y Ros, 2010, p. 29).

$$D = v \cdot \Delta t \qquad \text{Ecuación. 1-1}$$

En donde:

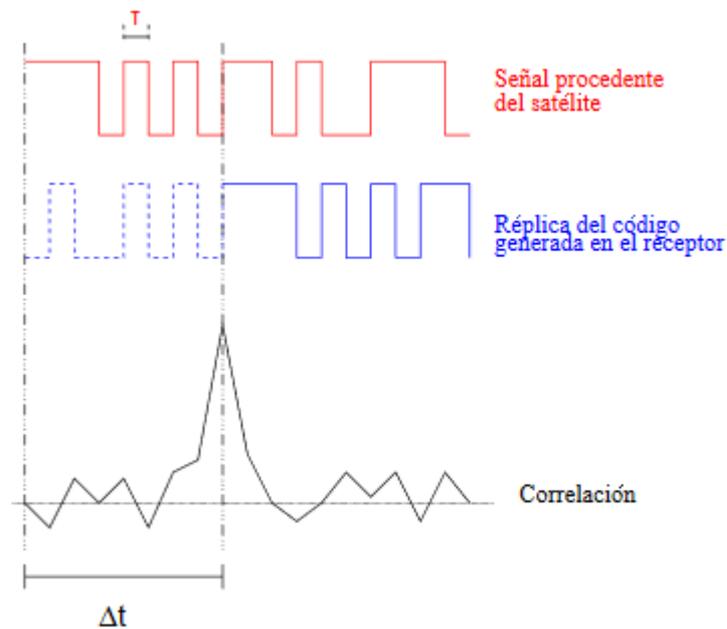
D = distancia entre el receptor o punto a medir y el satélite

v = velocidad de señal en el vacío, aproximadamente de 300.000 Km/s

$\Delta t$  = tiempo de viaje en segundos

Para la medición del tiempo se considera a partir del instante del viaje de la señal desde el respectivo satélite, esto se logra mediante la sincronización de los códigos pseudoaleatorios tanto del satélite como la proporcionada por el receptor, ambas señales son comparadas para evaluar el desfase que existe en tiempo ( $\Delta t$ ) cuando se genera el mismo código pseudoaleatorio, es donde

pueden existir errores, como se presenta en la *Figura 5-1* (Sanz Subirana, Zornoza y Hernández Pajares, 2013, pp. 37-38).



**Figura 5-1:** Determinación del tiempo de propagación de la señal

Fuente: (Hernández, Juan Zornoza y Sanz Subirana, 2001, p. 38)

### 1.2.3 Fuentes de Errores en los sistemas GPS.

Por tratarse de un sistema que determina el posicionamiento de manera precisa, el receptor GPS necesita conocer la posición actual de los satélites a los que establece conexión y el retraso que sufre la señal emitida para obtener el cálculo correcto de la posición solicitada, para considerarse preciso se debe tomar en cuenta diversas fuentes de error que se puedan presentar en la propagación de la señal del satélite hacia el receptor (Giménez y Ros, 2010, p. 12).

Dentro de las fuentes de error a considerarse se muestra en la *Figura 6-1*.



**Figura 6-1:** Errores en GPS

Fuente: (Sanz y Zomoza, 2015, p. 46)

### 1.2.3.1 Errores de segmento espacial.

**Errores de reloj.** Para obtener la ubicación solicitada por el usuario (receptor) se necesita conocer el tiempo que tarda la señal en llegar al punto solicitado, para ello los satélites se encuentran equipados con relojes atómicos de alta precisión, que no necesariamente son perfectos por lo que en ocasiones se presentan pequeñas variaciones en las mediciones del tiempo requerido para el viaje de las señales, proporcionando localizaciones erróneas (Fallas, 2015, p. 8).

**Errores de efemérides u orbitales.** Las medidas realizadas de pseudodistancia y fase son enviadas a las estaciones de control que se necesitan para el cálculo de futuras posiciones orbitales de los satélites, para posteriormente enviarlas a los receptores, pero debido a diversas situaciones que se presentan en la trayectoria de los satélites estas efemérides enviadas presentan errores en su información, debido a que no es posible predecir con exactitud las posibles posiciones orbitales de los satélites (Antonio y Sobrino, 2009, p. 288).

### 1.2.3.2 Errores de propagación

Los errores que se presentan en la propagación de la señal entre el satélite y el receptor, se deben a la afectación de su velocidad de transmisión; si considerando un medio ideal y que la señal se propague por el vacío, su velocidad de propagación es la velocidad de la luz ( $c$ ); pero en el caso de observaciones GPS estas señales debes atravesar las diversas capas de la tierra para poder alcanzar su objetivo de llegar al receptor que se encuentra ubicado en algún punto de la superficie terrestre (Sanz y Zornoza, 2015, p. 35).

Al pasar por estas capas la señal sufre un cambio de velocidad y dirección a lo que se considera señales refractadas, afectando directamente a la trayectoria inicial por lo que aumentara su longitud debido a las varias curvaturas sufridas por la señal, por el efecto de la refracción (Sanz y Zornoza, 2015, p. 37).

### **Refracción Ionosférica.**

La ionosfera es una capa de la atmosfera de la tierra que se encuentra establecida entre 100 y 1000 km de altitud, en las que la presencia de los distintos tipos de radiación convierte a esta capa en un medio disperso que afectan a las ondas de radio que provienes de los satélites generando errores en la propagación de la señal (Sanz y Zornoza, 2015, p.40). El retardo generado por la ionosfera depende principalmente al número de electrones que entran en contacto con la señal en su paso por la ionosfera y se lo representa en función del cuadrado de la frecuencia de la onda propagada, otro de los factores a tomarse en cuenta es el ángulo de recepción variando para cada punto en específico, dependiendo su latitud, dirección y momento de observación (Peñafiel y Zagás, 2001, p. 8).

### **Refracción troposférica.**

Otra de las capas que debe atravesar la señal de GPS es la denominada troposfera que se comprende hasta aproximadamente los 80 km, pero siendo los últimos 40 km lo que generan retardos considerablemente por los cambios de presión y temperatura que se efectúan por incrementar la altura (Peñafiel y Zagás, 2001, p. 8).

Las condiciones varían dependiendo del lugar que se solicite el servicio, en la que los átomos y moléculas neutras presentes en dicha capa interfieren con las ondas propagadas. El índice de refracción depende principalmente de la temperatura del área, la presión y el vapor de agua, y se la considera un medio no dispersivo por lo que la propagación es independiente de la frecuencia (Peñafiel y Zagás, 2001, p. 9).

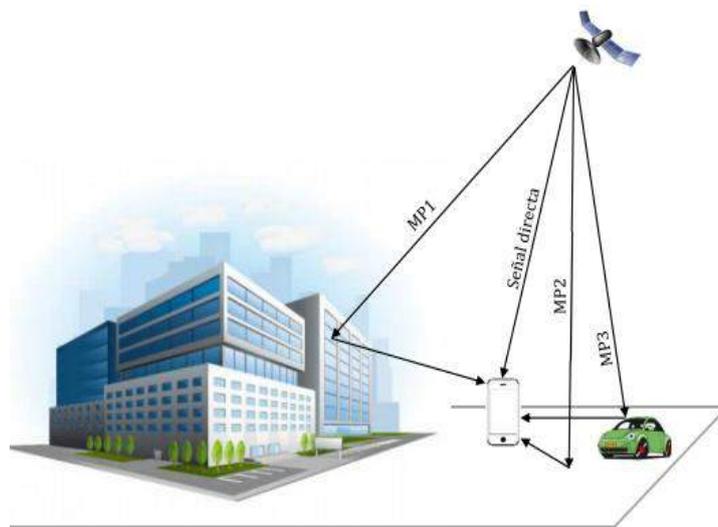
Debemos considerar que este tipo de retrasos no se presentan siempre con el mismo impacto es decir no son constantes, tomamos en cuenta factores que son influyentes (DeTopografía, 2012):

- a. **Elevación del satélite.** Si el ángulo de elevación a tomarse en cuenta es bajo, el impacto del retraso en las señales del satélite será mayor a que si el ángulo de elevación del satélite es mayor, ya que la distancia con respecto al satélite será mayor
- b. **La densidad de la ionosfera.** Esta densidad depende de los rayos del sol, por lo que este efecto durante el día disminuye la velocidad de la señal, mientras que el retraso ionosférico en las señales GPS medidos durante la noche es mínima.
- c. **Vapor de agua.** El vapor de agua presente en la atmosfera interfiere notablemente en las señales GPS, logrando introducir errores en cuanto a su posición.

### 1.2.3.3 Errores Locales

Este tipo de error es producido cuando la señal GPS sale del satélite y a travesar todas las capas de la atmosfera hasta la llegada al receptor cada uno de ellas se explica más detalladamente a continuación.

#### **Multicamino**



**Figura 2-1:** Esquema de la propagación multicamino

**Fuente:** (Fallas, 2015, p. 7)

Consiste en las múltiples reflexiones que sufre la señal que proviene del satélite en superficies con características reflejantes (lagos, edificios, árboles, vehículos, etc.), propias del entorno

cercano al receptor como se observa en la *figura 7-1*, provocando que en su recepción se perciba la señal directa y varias señales superpuestas con recorridos diferentes por lo que sus tiempos de propagación serán más largos afectando directamente a la amplitud y forma de onda, lo que provoca errores en las mediciones (Holanda Blas y Bermejo Ortega, 1998, p. 39).

**Ruido en el receptor.** Existen varios tipos de errores que se encuentran presentes en los receptores GPS, en el proceso del cálculo de su ubicación existe la presencia de pequeñas fluctuaciones en la señal, que son imposibles de predecir lo que genera ruido. Se dice que ruido también se refiere a las señales de radio frecuencia que son captadas por la antena de los receptores GPS ajenas a la de interés, otro motivo de presencia de ruido son los generados por los componentes propios que conforman la estructura física del receptor entre los que tenemos amplificadores, osciladores, filtros, entre otros (Jaramillo V., 2014, p. 127).

Existen ocasiones en que los datos generados presentan ciertas alteraciones mínimas que al momento de ser interpretadas y se transforman en errores al momento del cálculo del tiempo que se demora la señal en propagarse, alterando la ubicación solicitada por el usuario final, este tipo de situaciones son controladas de forma periódica por el segmento de control y corregidos de ser necesario (Instituto Geográfico Agustín Codazzi, 2013, p. 14).

Se presentan casos en los que el receptor tiene visibilidad de más de cuatro satélites en órbita disponible, por lo que este decide a los que mejor resulte conectarse y a los demás los ignora.

Si estos satélites a lo que se comunica están demasiado juntos, el área de intersección para definir la localización aumentará el margen de error, en cambio si los satélites están separados lo suficiente, la intersección de las circunferencia generan ángulos rectos lo que minimiza el margen de error, existen receptores que aplican el principio al que se lo denomina "Dilación Geométrica de la Precisión", DGDP que permite al receptor establecer conexión con satélites que presenten el menor error posible (Instituto Geográfico Agustín Codazzi, 2013, p. 15).

#### ***1.2.4 Estimación de la Posición***

Para el cálculo de la posición con el sistema GPS se fundamenta con la idea de que, si se conocen las posiciones de los satélites, se llegará a determinar las coordenadas (X, Y, Z) del receptor, conocida como el principio de trilateración que determina las ubicaciones relativas, como anteriormente ya se mencionó la sincronización tanto el reloj del receptor como también del

emisor esto facilita obtener la información del pseudorange, que son útiles al momento estimar la posición.

Para la sincronización de la señal los receptores no poseen relojes atómicos, si no de cuarzo, esto genera una exactitud inferior y ocasiona que se introduzca un sesgo en la medición del tiempo; a pesar de ello, este error es el mismo para todos los satélites. Debido a este error las lecturas de tiempo se denominan “pseudo rangos” (el término rango indica la diferencia entre dos valores: valor final-valor inicial) (Fallas, 2015, p. 2).

Para resolver esta incógnita en el sistema se requiere utilizar un sistema (X, Y, Z, T) cada una de las variables representadas en el plano tridimensional y la cuarta variable es el error en el reloj del receptor. Razón por el cual el usuario(a) requiere de al menos cuatro satélites para realizar una localización en 3D (Fallas, 2015, pp. 3-9). A demás se determina que el cálculo del tiempo de viaje es complejo de hallar, puesto que las señales de radio tiene una gran velocidad en comparación de las pequeñas distancias que deben recorrer desde la red de satélites hacia la tierra, y necesitan relojes de alta precisión puesto que el promedio de este tiempo es de 0.067 segundos, como ya se mencionó arriba los satélites cuentan con relojes de alta precisión en nanosegundos, lo que no se puede tener en los receptores, esto ocasiona que se utilice un satélite adicional para corregir la medida del tiempo.

### ***1.2.5 Tipos de Servicios GPS***

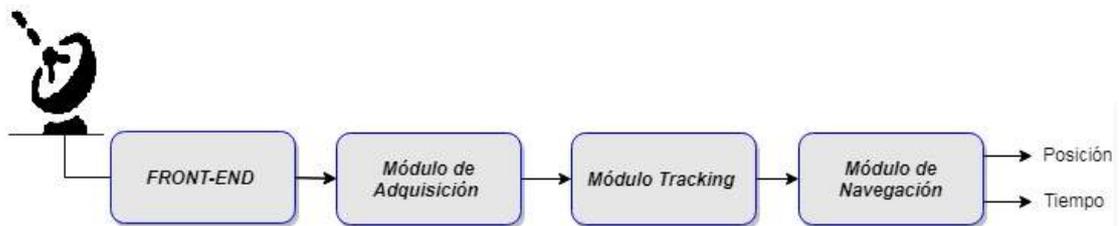
El sistema de posicionamiento global presenta dos tipos de servicio el SPS y PPS que se indica a continuación.

- **Servicio de Posicionamiento Estándar (SPS):** Este tipo de servicio se encuentra disponible a la sociedad civil y militar en la banda de frecuencia L1 sin pago alguno, La exactitud del servicio puede verse afectado por la degradación de la señal en épocas de emergencia nacionales. Para la cual el sistema usa el código C/A que proporciona un servicio sin degradación alcanzando una precisión entre 20 y 40 m (Ayala Ramírez y Hasbun Bardales, 2012, p. 52).
- **Servicio de Posicionamiento Preciso (PPS):** Propiamente este servicio sigue siendo exclusivo de uso militar y para usuarios autorizados como en sus inicios, el departamento de defensa de los Estado Unidos es el encargado de otorgarlos el código P, para poder

acceder a este tipo de señal mucho más preciso del SPS teniendo una precisión de 20 a 40 m. (Ayala Ramírez y Hasbun Bardales, 2012, p. 52).

### 1.2.6 Receptores GPS

Como se explicó anteriormente el objetivo principal de un receptor GPS, es determinar su posición de la manera más precisa posible, para ello la señal recibida del satélite pasa por una serie de procesos de manera secuencial desde el instante en que la antena del dispositivo capta la señal hasta proporcionar su localización, como se muestra en la *figura 8-1*.



**Figura 3-1:** Arquitectura de un receptor GPS

Fuente: (Jaramillo V., 2014, p. 42)

Se analiza los principales bloques que componen la arquitectura de un receptor GPS.

#### 1.2.6.1 Front-End

La señal de radio frecuencia emitida por el satélite es recibida por una antena incorporada en el equipo garantizando la recepción de la máxima cantidad de señales, como requisito básico debe recibir señales de todos los satélites visibles a unos cinco grados sobre el horizonte, una vez obtenida esta señal es necesario la conversión a banda base para poder realizar el muestreo correcto de la señal. Al momento de obtener la señal en banda base, es necesario muestrear la señal, siendo los datos de muestra la única información necesaria para el receptor, estos datos obtenidos del proceso de muestreo son almacenados en memoria, el tamaño de esta memoria determina la longitud del registro de datos y servirá como un buffer para el post-procesamiento de la señal (JAMES BAO, 2013, p. 109).

El módulo *front-end* como se indica en la *figura 9-1* viene equipado con un amplificador de bajo ruido que permite filtrar la señal de entrada y amplificar solo la señal deseada, dependiendo del tipo de receptor cuenta con una o varias etapas de conversión a frecuencia intermedia. Un filtrado

antialiasing que eliminar la presencia de señales conocidas como *alias* y preparar a la señal para la conversión y finalmente un conversor análogo-digital *ACD* permite digitalizar la señal análoga recibida (Jaramillo V., 2014, p. 43).



**Figura 4-1:** Diagrama de bloques, etapa front-end

Fuente: (Jaramillo V., 2014, p. 43)

#### 1.2.6.2 Módulo de Adquisición

En esta etapa se tiene como entrada una serie de muestras debidamente almacenadas que provienen del módulo front-end, lista para ser procesada, por lo que la función de la etapa de adquisición es determinar el comienzo de los datos de un satélite determinado que permiten identificar los satélites visibles por el receptor del usuario, obteniendo dos parámetros claves para esta etapa que son la frecuencia y fase de código C/A (Reyes Aguilar, 2012, p. 41).

Los parámetros mencionados hacen referencia a las siguientes características (Pérez Montoya, 2009, pp. 43-44):

- **Frecuencia:** La frecuencia recibida puede diferir su valor inicial, debido a que se produce movimiento tanto del receptor como del satélite lo que afecta a la señal de interés, a este desplazamiento se lo conoce como efecto Doppler que llega a desplazar la señal en hasta 10 KHz si consideramos a receptores móviles y en receptores estacionarios este efecto no superará los 5 KHz.
- **Fase del código:** “La fase del código denota el punto en el bloque de datos actual donde comienza el código C/A. Si un bloque de datos de 1ms es examinado, el dato incluye todo un código C/A y por lo tanto el principio del código C/A.

Cada uno de los satélites de GPS transmite un código C/A que es único para cada satélite por lo que el receptor debe correlacionar cada uno de los 32 códigos que se envían, indispensable para determinar que satélite es visible o no para el usuario que lo solicite, la señal que recibe el receptor conocida como *S* es una combinación de cada uno de los satélites que mantienen conexión con el receptor y se lo representa de la siguiente manera:

$$S = S^1(t) + S^2(t) + S^3(t) + \dots + S^n(t) \quad \text{Ecuación. 4-1}$$

Para cada uno de los códigos que se recepte se debe realizar una búsqueda en tiempo y en frecuencia, generando una réplica local de cada uno de estos códigos para realizar la correlación de la señal de entrada con la generada localmente, el principal objetivo de la correlación es calcular el retardo de la señal, para ello cuando se adquiere la señal de un determinado satélite  $k$ , la señal de entrada se lo multiplica con un código C/A que se genera localmente.

La correlación busca que las señales de los satélites que no sean analizadas sean casi eliminadas en el proceso, para mantener el componente de la señal deseada, el código que se genera en el receptor debe estar correctamente alineada en tiempo con la señal de entrada, para lograr esta alineación se logra con la correcta fase del código, que permite determinar el instante en el que un periodo del código C/A analizado comienza, por lo que podemos decir que es el inicio de los datos del satélite analizado.

El movimiento que se produce tanto en el satélite como en el recetor ocasiona un desplazamiento en la frecuencia, que en la etapa de *front-end* al realizar la conversión a banda base se debería tener una frecuencia intermedia, existe la presencia de una frecuencia residual conocida como frecuencia Doppler, que se debe extraer para que se realice el cálculo de la pseudodistancia, este proceso se lo conoce como búsqueda en frecuencia.

Una vez finalizada la búsqueda en tiempo y frecuencia para cada satélite se tiene conocimiento del inicio del código C/A del satélite en cuestión y el valor del desplazamiento ocurrido en la señal, se puede obtener la pseudodistancia que servirá para realizar el cálculo del posicionamiento que requiere el usuario.

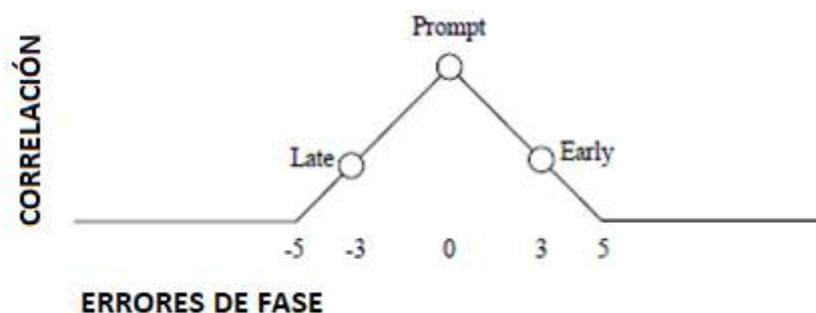
### 1.2.6.3 Módulo de Tracking (Seguimiento)

El modulo anterior aporta como resultado parámetros estimados de frecuencia y fase del código C/A, lo que busca el modulo tracking es refinar estos valores y mantener la pista de estos valores debido al constante cambio que sufre la señal al ser tratada, para ello se emplea un seguimiento en tiempo con dos arquitecturas que trabajan en paralelo, por una parte, el que monitorea la frecuencia Doppler se denomina PLL (*phase lock loop*), mientras que el seguimiento del retraso de código lo hace el DLL (*delay lock loop*). (Jaramillo V., 2014, p. 59).

El proceso se realiza de manera que en cada iteración el error tienda a cero, lo que en consecuencia la señal de referencia con su respectiva replica se encuentran cada vez más alineadas que es lo que busca el módulo de seguimiento para estimar de una manera precisa los parámetros de interés.

Dentro del proceso del *DLL* se busca correlacionar la señal con un código C/A que se genera localmente para cada satélite recibido, buscando eliminar parte del código C/A y dejar como resultado una señal que contenga los mensajes de navegación, cabe recalcar que la señal a tratar es a partir de la fase calculada en el proceso anterior, que es donde se encuentran almacenados los datos del satélite.

Para ello el DLL utiliza tres correladores uno código *prompt*, que es la señal que contiene el código C/A local, y dos conocidos como *early* y *late*, la fase calculada de señal GPS de entrada debe estar completamente alineada con la del código C/A local, pero esta alineación no siempre se cumple dado a la presencia de diversas perturbaciones que sufre la señal la fase puede tener un desplazamiento que puede ser tanto a la izquierda como a la derecha. Para determinar en qué dirección se desplaza la fase de la señal, se genera dos códigos PRN adicionales, el PRN original denominado *prompt*, código *early* ilustrados en la *figura 10-1* que no es más que el código *prompt* desplazado tres muestras a la derecha y el código *late* que desplaza al código *prompt* 3 muestras a la izquierda (Johansson et al., 1998, p. 14).



**Figura 5-1:** Códigos de correlación replica Prompt-Early-Late

Fuente: (Johansson et al., 1998, p. 16)

En la *figura 11-1*, muestra el desplazamiento que sufren los códigos, si se produce un cambio de dirección en cualquiera que sea el sentido, todos los códigos llegan a desplazarse en la misma dirección, para determinar la dirección del cambio se utiliza un algoritmo capaz de determinar el valor del error de la fase denominado  $\epsilon$ ,

Dónde:

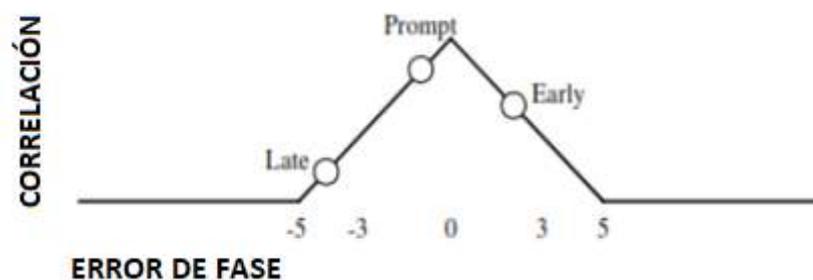
$\varepsilon = \text{early/late}$

Por lo tanto, si:

$\varepsilon = 1$ , cuando están perfectamente alineados,

$\varepsilon < 1$ , si hay que desplazar el código a la derecha,

$\varepsilon > 1$ , si hay que desplazar el código a la izquierda.



**Figura 6-1:** Correlación con error de fase.

Fuente:(Johansson et al., 1998, p. 16)

Por otro lado, en el proceso de la arquitectura PLL se genera una señal localmente mediante un oscilador para que se ajuste la frecuencia y fase de la señal GPS y posteriormente extraer de manera correcta su respectiva desviación Doppler, utiliza como módulo la envolvente de la señal del código *prompt* y como fase utiliza la señal de error, lo que permite estimar el desplazamiento en frecuencia de la señal de entrada (Jaramillo V., 2014, p. 70).

Por tratarse de un sistema de lazo cerrado realiza las iteraciones necesarias para a medida que el proceso de seguimiento avanza la fase se aproxime a cero, luego de procesada se obtiene el valor del error de fase que permite extraer el desplazamiento Doppler de la señal GPS, luego de pasar por las arquitecturas DLL y PLL, si se logra alinear el código *prompt* y se lo correlaciona con la señal replica se tiene como resultado los datos demodulados (Reyes, 2012, p. 50).

#### 1.2.6.4 Módulo de Navegación

El último módulo del receptor en el que como entrada tiene los parámetros obtenidos en la etapa de seguimiento, tanto el valor estimado de la desviación Doppler como el retraso de código son necesarios para obtener de manera adecuada los pseudorángos o como también se los denomina observables de fase de cada uno de los satélites que hayan sido considerados como visibles para así obtener la posición que el usuario lo solicita (Jaramillo V., 2014, p. 82).

### 1.2.7 Tipos de receptores

El uso de GPS en el mercado de uso civil en la actualidad se ha convertido en esencial para el desarrollo de las actividades cotidianas, por lo que existen gran variedad de equipos que nos ayudan a solucionar el tema de posicionamiento, su clasificación se enfoca en el nivel de precisión alcanzada por los equipos (Peñañel y Zagas, 2001, p. 61).

- Convencionales
- Sub-métrico
- Mono frecuencia
- Doble frecuencia

Los equipos convencionales que son los más utilizados por su precio cómodo y facilidad de transporte que trabajan en la frecuencia  $L1$ , su interfaz sencilla permite el uso de múltiples aplicativos con navegación asistida, la precisión varía de 10 a 100m, dependiendo del modelo utilizado, existen equipos que permiten trabajar con una mayor precisión que oscilan desde los 10cm a los 30cm usando dispositivos sub-métricos como se observa en la *figura 12-1* (Peñañel y Zagas, 2001, p. 63).



**Figura 7-1:** Receptores GPS. A la izquierda un navegador convencional, a la derecha un modelo sub-métrico.

**Fuente:** (Peñañel y Zagas, 2001, p. 62)

Los equipos mono-frecuencia y de doble frecuencia mostrados en la *figura 13-1* son más costosos debido a que nos garantizan obtener precisiones dentro del rango de 1 metro en mediciones de tiempo real para distancias de 5 a 10 km en el caso de los monofásicos y de 10 hasta 500km en los que equipos que permiten el análisis a doble frecuencia, tienen la característica de realizar

correcciones también en tiempo real vía satélite por lo que son compatibles con sistemas DGPS. (Ayala Ramírez y Hasbun Bardales, 2012, p. 40)



**Figura 8-1:** Receptores GPS. A la izquierda un modelo mono frecuencia, a la derecha una doble frecuencia.

**Fuente:**(Ayala Ramírez y Hasbun Bardales, 2012, p. 41)

Actualmente se encuentra integrado en los teléfonos celulares receptores de GPS que permiten el acceso a su ubicación por lo que se considera que por la precisión alcanzada de alrededor de 10 m, se encuentra dentro de los navegadores convencionales y son usados para la navegación personal, que para realizar correcciones de errores se utiliza bajo ciertas condiciones como la utilización de datos.

### **1.2.8 Aplicaciones GPS.**

La presencia de satélites que cubren toda la superficie terrestre ha contribuido a la aparición de un sin número de soluciones a necesidades cotidianas facilitando la vida de los usuarios, permitiendo la localización de puntos en la tierra con gran precisión, surgen aplicaciones de uso civil en diversas áreas.

Los receptores GPS permiten obtener su ubicación, pero cabe recalcar que maneja información exclusivamente de datos de posición, facilitando tareas como navegación personal, seguimiento de rutas, almacenar puntos geo-referenciales para posibles estudios (Instituto Geográfico Agustín Codazzi, 2013, p. 24).

Entre las principales aplicaciones GPS se encuentra la vigilancia, búsqueda de personas y objetos, navegación por determinadas rutas, publicidad por pedido, para realizar planificaciones de redes

entre otras *ver tabla 1-4* ,el servicio de emergencias que se presenta como uno de los servicios más importantes, permitiendo localizar llamadas de carácter de emergencia que provienen desde teléfonos móviles, ubicándolos con precisión sin necesidad de un informe previo de su ubicación de la persona que realiza la llamada (Pietilä et al., 2002, p. 388).

En Ecuador el Servicio Integrado de Seguridad ECU-911 se presenta como una solución tecnológica a lo que se conoce como geo-referenciación aportando la localización geográfica del dispositivo móvil de interés, en una plataforma que garantiza la atención de emergencias, que consiste en visualizar de la manera más precisa posible y de forma automática el punto desde el cual se realiza la llamada a nivel nacional. (Localizador Móvil – Servicio Integrado de Seguridad ECU 911).

En la *tabla 4-1* , se presenta las aplicaciones según: (Takasu y Yasuda, 2011, p. 94)

**Tabla 2-1:** Aplicaciones GPS

<b>NAVEGACIÓN AÉREA</b>	<b>NAVEGACIÓN TERRESTRE</b>	<b>POSICIONAMIENTO ESTÁTICO Y TEMPORIZACIÓN</b>	<b>BÚSQUEDA Y RESCATE</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Aproximación y aterrizaje de no precisión.</li> <li>- Ruta Nacional</li> <li>- Ruta oceánica</li> <li>- Terminal</li> <li>- Áreas remotas</li> <li>- Operaciones de helicópteros</li> <li>- Actitud de la aeronave</li> <li>- Evitación de colisiones</li> <li>- Control de tráfico aéreo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Monitoreo del vehículo.</li> <li>- Mejora del horario.</li> <li>- Enrutamiento mínimo.</li> <li>- Cumplimiento de la ley.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Exploración de recursos extraterritoriales.</li> <li>- Levantamiento hidrográfico.</li> <li>- Ayudas a la navegación.</li> <li>- Transferencia de tiempo.</li> <li>- Agrimensura.</li> <li>- Sistemas de información geográfica.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Reportes de posición y monitoreo.</li> <li>- Cita.</li> <li>- Búsqueda coordinada.</li> <li>- Evitación de colisiones.</li> </ul>
	<b>NAVEGACIÓN MARÍTIMA</b>	<b>ESPACIO</b>	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Oceánico.</li> <li>- Costero.</li> <li>- Puerto / aproximación</li> <li>- Vías navegables.</li> <li>- Interiores.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Lanzamiento.</li> <li>- En vuelo / en órbita.</li> <li>- Reingreso / aterrizaje.</li> <li>- Medida de la actitud.</li> </ul>	

Realizado por: Julio Sagñay y Wilson Freire

### 1.3 Redes Móviles

Una red móvil se caracteriza por estar formado por infraestructura fija y móvil, lo que permite ofrecer servicios de manera inalámbrica, gracias a los componentes de radiocomunicaciones con las que están diseñadas.

A lo largo del tiempo se han venido desarrollando diferentes generaciones de redes móviles como se indica en la *tabla 5-1* que buscan satisfacer la demanda de los usuarios que cada vez es mayor en lo que a tasas de transmisión se refiere buscando siempre reducir los tiempos de espera para la prestación de servicios (Becvar, et al. 2013, p. 13).

**Tabla 3-1:** Evolución generación red móvil.

<b>Generación</b>	<b>Nombre/Abreviación</b>	<b>Características</b>
1era generación (1980 a 1995)	<b>NMT</b> ( <i>Nordic Mobile Telephone</i> ); FIN, S, N, DK <b>AMPS</b> ( <i>Advanced Mobile Telephone System</i> ); USA <b>TACS</b> ( <i>Total Access Communication System</i> ); UK, IRL RADIOCOM 2000; FR	Sistemas analógicos Sistemas nacionales de Voz
2da generación (desde 1992)	GSM (Global System for Mobile Communication) DAMPS (Digital AMPS), resp. IS136; USA PCS 1900 (Personal Communication System); USA PDC (Personal Digital Communication) GPRS (General Packet Radio Service); conocida como generación 2,5 EDGE (Enhanced Data rates for Global Evolution); conocida como generación 2,75	Sistemas digitales Voz + datos
3a generación (desde 2004)	CDMA 2000 (1×EV-DO, 1×EV-DV) <b>UMTS</b> ( <i>Universal Mobile Telecommunication System</i> )	MULTIMEDIA

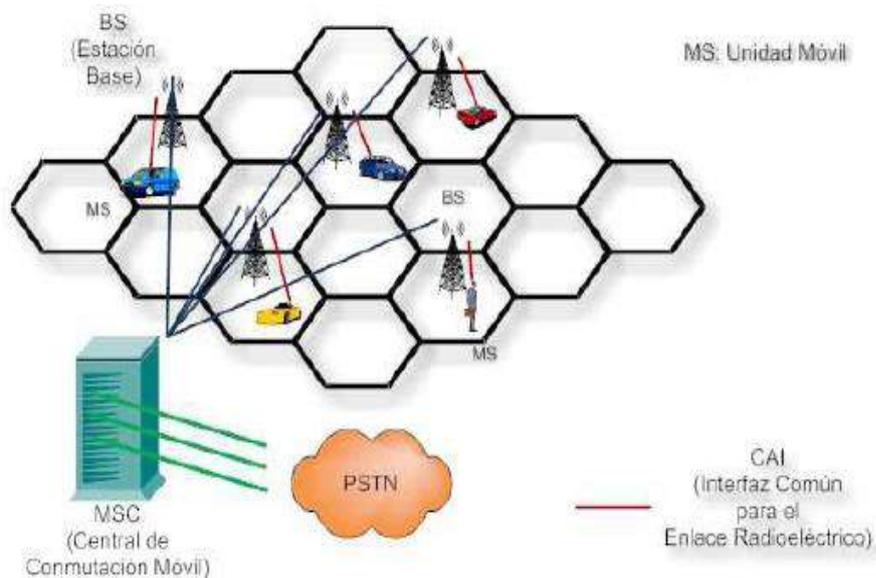
	<b>HSPA</b> ( <i>High Speed Packet Access</i> ), HSPA+; conocida como generación 3,5  <b>LTE</b> ( <i>Long Term Evolution</i> ); conocida como generación 3,9	
4a generación	<b>LTE-A</b> ( <i>Long Term Evolution-Advanced</i> )	MULTIMEDIA

Fuente: (Becvar, Mach y Pravda, 2013, p. 13)

Realizado por: Julio Sagnay, Wilson Freire (2018)

### 1.3.1 Arquitectura

Las celdas están constituidas de una estación base (BS) que puede estar integrada de uno o varios transmisores y receptores, los que establecen conexión directa con los dispositivos móviles denominados estaciones móviles (MS), que se encuentren dentro de la zona de cobertura o coberturas lejanas gracias a las repetidoras (RS).



**Figura 9-1:** Elementos de una red celular.

Fuente: (Criollo Román, 2008, p. 1)

La red celular está conformada por una infraestructura que consta de los siguientes elementos presentados en la *figura 14-1*.

**Estación Base (BS):** Denominada así a las estaciones fijas dentro de la célula, que cubre una zona de cobertura determinada.

Las Radio base como también se las conoce, son equipos de telecomunicaciones que se encargan de la transmisión y recepción de enlaces de radio que permite la cobertura de señal dentro de una determinada célula, por lo general son torres situadas estratégicamente que cuentan con una o varias antenas, dependiendo de la situación.

Para una red celular típica cada celda está equipada con su respectiva radio base, las cuales establecen conexión a la denominada Central de Conmutación Móvil (MSC) a través de conexiones típicamente inalámbricas lo que permite una comunicación directa entre la central de telefonía móvil con cada uno de los dispositivos móviles que se conecten a la red en determinada celda (Criollo Román, 2008, p. 2).

**Central de conmutación móvil (MCS):** Por sus siglas en inglés *Mobile Switching Center*, se encarga del monitoreo permanente de la red, interconexión con redes distintas y con la red pública PSTN, encargada del manejo de conexión y desconexión de las distintas llamadas efectuadas y la correcta tarifación, maneja el control de potencia, realiza la gestión para soportar *handoff* y *roaming* entre otras funciones específicas (Criollo Román, 2008, p. 1).

La MSC mantiene los respectivos registros encargados del manejo de peticiones de uso del servicio, permitiendo a los abonados la comunicación entre estaciones base, usuarios que soliciten acceso dentro de la misma red, usuarios que soliciten salida a la red de telefonía pública u otras operadoras, realizando los procedimientos necesarios y oportunos para una adecuada comunicación para los usuarios (Guevara Toledo y Vásquez Alarcón, 2013, p. 26).

**Estación Base de Control (BCS):** Son estaciones fijas cuyo objetivo es controlar de manera automática las emisiones y el correcto funcionamiento de las estaciones base.

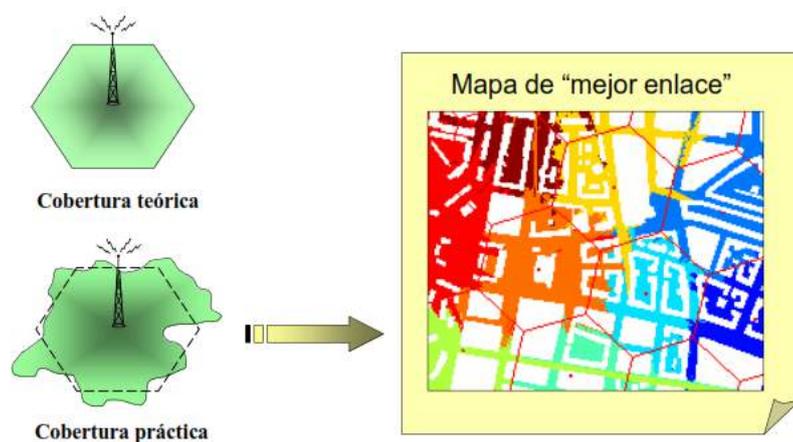
**Estación Repetidora (RS):** Estas estaciones permiten retransmitir señales con un nivel bajo de potencia garantizando el envío de información en zonas poco accesibles para determinada estación base (Ribadeinera, 2016).

**Estación Móvil (MS):** Estación con facilidad de movilidad.

Los dispositivos móviles poseen una antena que permite el envío y recepción de señales de radio de la estación base a la que se conecta, permitiendo a los usuarios hacer uso de los servicios requeridos (Criollo Román, 2008, p. 2).

El servicio de telefonía móvil (MTS) permite la comunicación entre teléfonos móviles además de garantizar la conexión con la red de telefonía pública PSTN e internet, está diseñado de tal forma que permite dividir extensas zonas geográficas en áreas pequeñas a las que se denomina celdas o células, por lo que adopta el termino de telefonía celular.

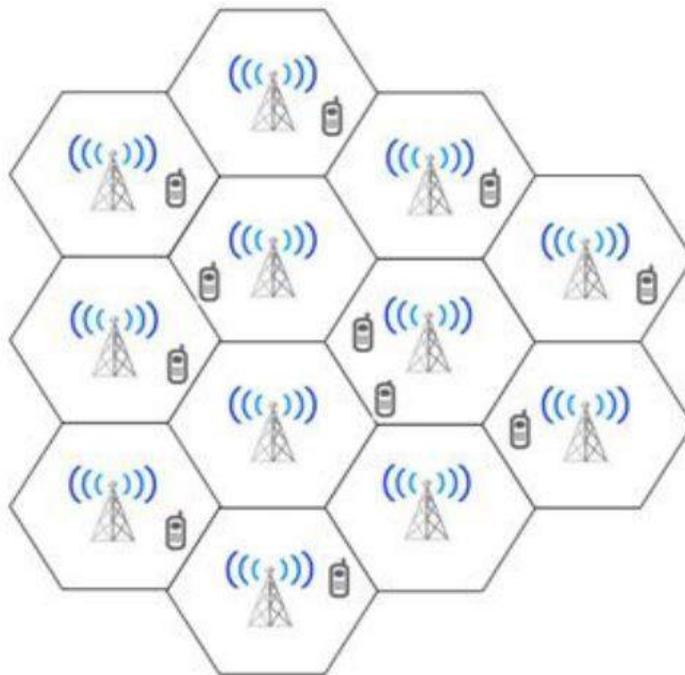
El concepto de red celular reutiliza las frecuencias en celdas que se encuentren separadas cada cierta distancia como se muestra en la *figura 16-1*, por las que las radio bases de células cercanas deberán operar a frecuencias diferentes, la cobertura en la práctica se asemeja a la una figura hexagonal por lo que en la teoría se usa esta figura geométrica.



**Figura 10-1:** Forma de las células.

Fuente: (Ribadeinera, 2016)

En la *figura 15-1* se observa en modo de funcionamiento de las celdas celulares, gracias a estas células la distancia de transmisión no es muy extensa reduciendo el consumo de energía de los dispositivos móviles por lo que es posible tener el tamaño y peso reducido de los dispositivos como lo conocemos en la actualidad (Pogo Bustamante, 2011, p. 17).



**Figura 11-1:** Esquema de distribución básica en redes celulares.

Fuente: (Canseco Torres, 2015, p. 27)

### 1.3.2 Aplicaciones de telefonía móvil

Permiten al usuario efectuar un conjunto de tareas de cualquier tipo profesional, de ocio, educativas, de acceso a servicios como se observa en la *figura 17-1*.



**Figura 12-1:** Aplicaciones para la telefonía móvil.

Fuente: (Ribadeinera, 2016)

#### **1.4 GPS Asistido en Redes Celulares (A-GPS)**

Fue desarrollado por el sistema telefónico de emergencia de los EE. UU con fines básico de las llamadas al 9-1-1 la cual es un punto de respuesta de seguridad pública (PSAP).

PSAP es una instalación que dispone de personal y está equipada para recibir llamadas de emergencias, además cuenta con servicio mejorado que cuando una persona realiza una llamada al 9-1-1 desde un teléfono fijo el sistema tiene la responsabilidad de garantizar la ubicación desde el lugar de donde proviene la llamada telefónica.

Con el crecimiento de los dispositivos celulares de los años 90, las llamadas de emergencias inalámbricas al 9-1-1 empezaron a ser una preocupación, a diferencia de las llamadas de línea fija que se conocía la ubicación por el sistema, esto generaba un problema para proporcionar la ubicación del usuario que llame desde el celular, el sistema PSAP aplicó las reglas mejoradas al tradicional 9-1-1 siendo el nuevo sistema inalámbrico E911 para dispositivos móviles (Lissai, 2006, p. 46).

Las limitaciones que presentan los receptores GPS incorporados en los dispositivos celulares frente a la recepción de las señales satelitales, determinan que debe tener una vista directa hacia ellos, los inconvenientes se muestran al encontrarse dentro de edificios, centros comerciales, estacionamiento u otros entornos, en estas situaciones los receptores GPS no pueden funcionar correctamente esto genera a que no se pueda realizar el procesamiento de cálculos para estimar la ubicación.

Otra limitación es el tiempo hasta la primera corrección (TTFF), para un receptor GPS que acaba de encenderse ('arranque en frío') se tarda entre 30 segundos y varios minutos en adquirir la primera corrección de ubicación. Al encontrarse en un evento urgente donde las vidas humanas están en peligro, cada segunda cuenta. Si el GPS no puede proporcionar la ubicación rápidamente, no puede cumplir el propósito de la regla E911 que fue desarrollada en sus inicios, contar con la información inmediata y rápida frente a sistemas de emergencias telefónicas (Lissai, 2006, p. 64).

Sin embargo, las redes GSM pueden solucionar este problema a través de receptores GPS instalados en las Radio bases que ayudan a este problema. Estos receptores se denominan Unidades de Medición de Localización (Location Measurement Units - LMU). Con el fin de corregir este problema, se debe instalar una LMU cada 300 km en la red que proporciona servicios de telecomunicaciones móviles terrestres al público (PLMN).

La asistencia en dispositivos móviles establece una red de referencia GPS para manejar receptores con vista directa al espacio, esta red de referencia se enlaza a la red en operación (ejemplo red de telefonía celular) y transmite la información a la estación móvil (MS) permitiendo mejorar el funcionamiento en la navegación personal. La parte asistida de esta técnica consiste en proporcionar los mensajes de navegación tomadas de los satélites y datos de correcciones que envían de las estaciones de referencia hacia los dispositivos en demanda.

#### **1.4.1 Regulación del Wireless E911**

El despliegue de E911 mejorado para las llamadas que se realizan a través de celulares se dividió en dos fases. La fase I requirió que las empresas proveedores de servicios inalámbricos proporcionaran a los PSAP la ubicación del sitio celular desde donde se hacía la llamada, es decir, la celda en la que el usuario hizo la llamada 9-1-1 físicamente. En cambio la fase II correspondía que la ubicación del dispositivo móvil debe proporcionarse al PSAP en dos dimensiones latitud y longitud con una precisión dentro de un radio de 125 metros (Lissai, 2006, p. 46).

**Tabla 4-1:** Precisión del Wireless E911

<b>Soluciones</b>	<b>Precisión en longitud (m)</b>	<b>Porcentaje de llamadas (%)</b>
Red	100	67
	300	95
Teléfonos	50	67
	150	95

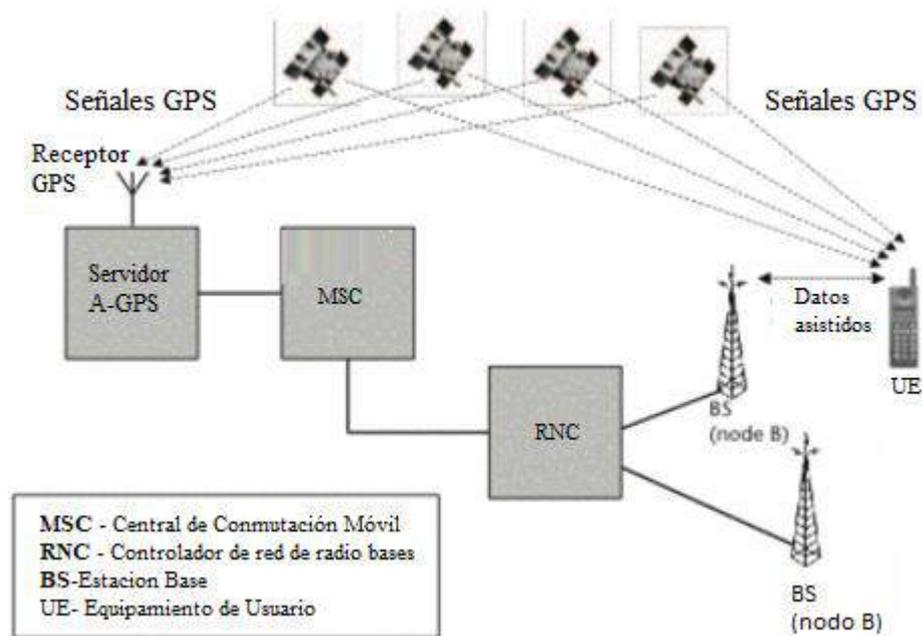
**Fuente:** (Lissai, 2006, p. 47)

**Realizado por:** Sagñay Julio, Freire Wilson (2018)

La *tabla 6-1* detalla las demandas de las precisiones alcanzadas a través de la red celular, como ya se determinó en las páginas anteriores el sistema de funcionamiento del GPS que proporciona la localización en tres dimensiones, esto llevo a la incorporación de receptores GPS a cada teléfono móvil siendo una buena solución para los requisitos de E911.

#### **1.4.2 Arquitectura**

Para una correcta definición de cada una de los elementos de la arquitectura de A-GPS se ilustra a continuación mediante la *Figura 18-1*.



**Figura 13-1:** Arquitectura de A-GPS

Fuente: (Lissai, 2006, p. 76)

A continuación se detalla cada uno de los elementos de la arquitectura de asistencia de GPS:

#### 1.4.2.1 Servidor A-GPS

Dispone de una buena señal de satélite y una gran capacidad de cálculo para el procesamiento de datos, por lo que puede comparar las señales fragmentarias a él, el beneficio que tienen en las implementaciones asistidas por MS corresponde hacer el tiempo y proceso que se puede reducir descargando la mayor parte de la información en el servidor de asistencia, beneficiando del software y la cantidad de procesamiento con que cuentan. Cada servidor A de GPS está a cargo de múltiples BS (Lissai, 2006, p. 76):

#### 1.4.2.2 Centro de Conmutación Móvil (MSC)

Se encarga del establecimiento y desconexión de las llamadas, las centrales se conectan entre sí mediante enlaces de comunicaciones entre centrales o enlaces inter-centrales, monitoreo de la red, conexión de la red celular a la PSTN, como también cumple con la función de regular la potencia del móvil, además dependiendo de la cantidad de abonados y del tráfico pueden hallarse una o varias MSC (Criollo Román, 2008, p. 1).

#### *1.4.2.3 Controlador de RED de Radio Base (RNC)*

Control y monitorización de un grupo de BTS, varias posibilidades de ubicación fija e intercambio y administración de frecuencias. Cumple con el papel de la Gestiona los recursos de radio y control de sus respectivos elementos como la transferencia dentro del conjunto de BTS, asigna canales y similares. La comunicación se realiza con las BTS sobre lo que se denomina la interfaz Abis (Ribadeinera, 2016, p. 25).

#### *1.4.2.4 Estación Base (BS)*

Llamada también como Radio Base, encargada de realizar la transmisión y recepción de radio con la cobertura establecida para cada una de las celdas celulares en los entornos urbanos y rurales. Físicamente esto es observable como torres de antenas colocadas en los sitios estratégicos que se ubican bajo estudios de cobertura y división de la zona a cubrir en regiones pequeñas llamada celdas celulares (Criollo Román, 2008, p. 2).

#### *1.4.2.5 Equipo de Usuario (UE)*

Propiamente es el teléfono celular del abonado, conocido como terminal móvil compuesta por varios elementos como se ilustra a continuación:

- Unidad de control
- Antena
- Transceptor

Transceptor desarrolla el objetivo de enviar y recibir transmisiones de radio de la estación base más cercana, a través de este conjunto de actividades realizadas, los abonados cuentan con el servicio de telefonía (Criollo Román, 2008, p. 2).

### **1.4.3 Funcionamiento**

La tecnología del GPS asistido mejora el rendimiento del receptor, esta técnica reduce el tiempo que toma al receptor en calcular su ubicación (TTFF), además mejora la sensibilidad de recepción en el dispositivo, esto permite mejorar la precisión en la posición calculada, los dispositivos móviles reciben la asistencia a través de los servidores de asistencia que tiene conocimiento

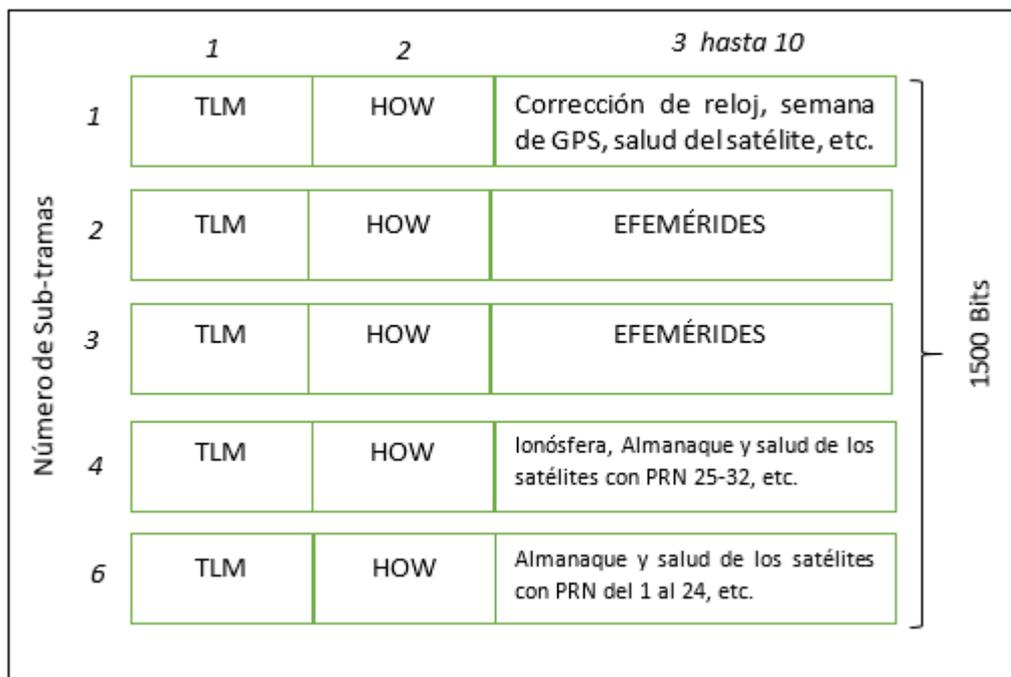
exacto de las señales de GPS que están disponible para los dispositivos celulares en las celdas que están a cargo (Lissai, 2006, p. 76).

El servidor de asistencia está conectado al MSC, a través de la red celular se envía información al móvil, que incluye datos como de las señales disponibles en esa área y como resultado mejora la ubicación proporcionando las actualizaciones, estos mensajes de navegación puede estar basados en IP y no pasar por el MSC y el BSC existiendo dos maneras de enviar y recibir información de asistencia al teléfono celular:

La asistencia de GPS se divide en dos grupos importantes, Mobile Station Assisted (MSA) las técnicas de la red celular realizan el cálculo de la ubicación del móvil, en cambio Mobile Station Based (MSB) información usada para adquirir satélites rápidamente, que provee datos orbitales o almanaque de la constelación de satélites GPS, este proceso se realiza en el dispositivo celular, además las correcciones de los mensajes de navegación (almanaque, SVid etc.) datos enviados desde el servidor de GPS ubicadas en las radio bases de la red celular, para el presente trabajo de investigación se basará en dos modos de operación SPS y A-GPS respectivamente.

Los datos de asistencia de GPS proporcionados al teléfono ayudan a detectar las señales de GPS más rápido y permite tener acceso a las señales más débiles (26 dB), esto se consigue gracias a las correcciones de los mensajes de navegación enviadas desde el servidor GPS (ubicada en la infraestructura celular) a través de redes móviles, ya se mencionó en la sección A-GPS que los datos pueden estar basados en Protocolo de Internet (IP), también se detalló que la asistencia puede darse a través de dos métodos, para el análisis del trabajo se considera únicamente el plano de usuario, que determina que la comunicación entre el móvil y el servidor están basados en IP.

En este apartado se enfatiza los datos de asistencia por la red celular que proporcionan a los teléfonos móviles, a través del espectro radio eléctrico cuando se encuentre en contacto con una BS (base station). La información de asistencia que pueden enviarse se ilustra en la *Figura 19-1*.



**Figura 14-1:** Mensajes de Navegación

Fuente: <https://www.e-education.psu.edu/geog862/node/1740>

Como se observa en la figura anterior el mensaje de navegación consta de cinco subtramas, cada subtrama contiene 10 palabras y cada palabra está compuesta por 30 bits siendo 1500 bits cantidad de mensaje de navegación, en cambio uno completo contiene 25 cuadros (páginas) para descargar por completo correspondiente a 37500 bits, esta información se transmite a una frecuencia baja a 50 Hz en las portadoras de L1 y L2 a una tasa de transferencia de 50Mbps para transmitir y recibir (Harper et al., 2004, p. 135).

De modo que, una página de cuadros 1-5 tarda 30 segundos en descargarse. El almanaque debido a que contiene 25 páginas, el tiempo necesario para descargar el almanaque es:  $25 \text{ páginas} * 30 \text{ segundos} / \text{página} = 750 \text{ segundos} = 12.5 \text{ minutos}$ . Por otro lado, las efemérides tardan  $6 \text{ segundos} / \text{subtrama} * 5 \text{ subtramas} = 30 \text{ segundos}$  para descargar. Se debe tomar en cuenta que el almanaque es el mismo para todos los satélites, mientras que las efemérides son únicas para cada satélite.

A continuación, se presenta una descripción breve sobre los dos campos importantes de los mensajes de navegación.

### **Efemérides**

- Dispone de información sobre el número de la semana, los coeficientes de corrección del reloj del satélite, la precisión y la salud del satélite, y los parámetros orbitales.
- Válido dos horas antes y dos horas después del tiempo de efemérides (toe). Se puede pensar en el TOE cuando los datos se calcularon a partir del segmento de control GNSS.
- Usado para el cómputo de coordenadas satelitales en tiempo real que se requiere en el cálculo de posición.
- Correspondientes a las subtramas 1, 2, y 3

### **Almanaque:**

- Contiene información orbital menos precisa que las efemérides.
- Válido por un período de hasta 90 días.
- Se usa para acelerar el tiempo hasta la primera corrección en 15 segundos (en comparación con no tener el almanaque almacenado).
- Se encuentra todos los satélites con su identificación.
- Satélites con PRN de 25 a 32 y 1 al 24 en las subtramas 4 y 5.

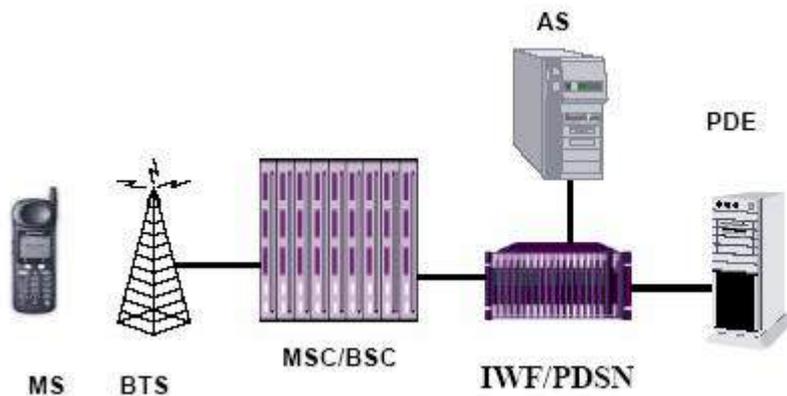
El receptor es capaz de calcular una posición del objeto sin tener presente un almanaque, ya que esta ayuda a reparar los satélites por primera vez, pero eso es todo. Sin embargo, las efemérides son vitales para el cálculo de posicionamiento como también se utilizan para el post-procesamiento, ya mencionado anteriormente, las efemérides permiten el cálculo de la ubicación del satélite que se requiere para estimar la posición del receptor (HEXAGON POSITIONING INTELLIGENCE pág. 1).

Consecuentemente, se puede registrar las efemérides de cada constelación cuando se está extrayendo los DATOS EN BRUTO en el receptor, en el presente documento se analiza solo las efemérides GPS, con el pasar del tiempo la información se deteriora en cuanto a la precisión de algunos parámetros de las datos y como también de los mensajes de navegación y para evitar que exista información obsoleta el Segmento de Control es el encargado de actualizar la información cada dos horas en las subtramas 1, 2 y 3 en cambio de las 2 tramas restante se renuevan cada 6 días.

La arquitectura que usa el servicio de asistencia de GPS corresponde a la infraestructura de redes celulares, los servidores de A-GPS de Qualcomm se llama "PDE". El sistema móvil (MS) y el Sistema transceptor Base (BTS) junto con el centro de Conmutación móvil / Controladores de

Estación Base (MSC/BSC), estos elementos son comunes tanto para el plano de usuario y a arquitectura de control, la estación móvil recibe señales de GPS y medidas de red CDMA que comunica con los servidores mediante BTS y MSC.

El sistema corresponde a la interconexión del servidor (PDE) con la función de inter funcionamiento/ nodo de servicio de datos por paquetes (IWF/PDSN) para comunicarse con el servidor de aplicaciones (AS) y con MSC/BSC, en la *Figura 20-1*, se observa el modo de funcionamiento de IWF/PDSN.



**Figura 15-1:** Plano de usuario en la red CDMA.

Fuente: (Lissai, 2006, p. 126).

Nortel Network fabrica elementos compatibles con el Proyecto de Asociación de Tercera Generación (3GPP), siendo uno de ellas el servidor de A-GPS SMLC (servicios de centros de ubicación móviles), ayuda en la adquisición de señales satelitales en teléfonos que cuenten con capacidad integrada de asistencia de GPS.

#### **1.4.4 Características**

Depende de la red de internet o conexión a un proveedor de servicio de internet (ISP), para llegar a determinar la precisión a través de A-GPS, el teléfono móvil es vinculado a un servicio de datos de la red celular, es decir el enlace mediante ISP. Los teléfonos inteligentes en el presente trabajo cuentan con chips GPS que no requieren de conexión a datos para capturar y procesar los datos de posicionamiento, a pesar de ello, usa servicio de internet para ofrecer una precisión más óptima en el posicionamiento.

Anteriormente se mencionó que los GPS tradicionales en modo SPS reciben la información directa de los satélites. Con la finalidad de estimar una mayor precisión en la navegación personal, esta tecnología requiere la disponibilidad de una conexión de datos que puede proporcionar la asistencia para mejorar el rendimiento de los chips GPS en el dispositivo móvil.

#### ***1.4.5 Receptores móviles bajo la plataforma ANDROID***

Android es un sistema operativo de código abierto basado en Linux que se origina principalmente para teléfonos móviles, con los avances tecnológicos en la actualidad los dispositivos que soportan este sistema son cada vez más, por lo que es común ver dispositivos pequeños como relojes inteligentes, televisores, entre otros, que integran este sistema operativo.

Los Smartphone son teléfonos móviles que integran funciones de PDA por sus siglas de asistente digital personal integradas en el dispositivo que ofrecen una serie de servicios que van más allá de poder realizar llamados telefónicos o redactar mensajes de textos, en la actualidad ofrecen cámara de alta definición, servicio de GPS, acceso a Internet, reproductor de MP3, radio, juegos, calculadora, reloj despertador, brújula, entre muchas otras funciones (Vázquez, 2011, p. 30).

Los celulares suelen ser clasificados de distintas formas, generalmente bajo las siguientes clases (Vázquez, 2011, p. 33):

##### ***1.4.5.1 Celulares de gama baja:***

Son dispositivos que en relación a precios oscilan entre 120 dólares y disponen entre 1 a 1.5 GB de memoria RAM, acompañados de 4 GB de almacenamiento que en el mejor de los casos llegan a los 2 GB de RAM y 8 GB de almacenamiento interno, pero bajando la calidad de otros aspectos como el nivel de procesamiento, la calidad de cámara entre otros que afectan directamente a su rendimiento.

##### ***1.4.5.2 Celulares de gama media***

Estos dispositivos ofrecen especificaciones mejores a los de gama baja por lo que su precio oscila de 300 a 600 dólares por lo que sus funciones son mucho más prácticas para los usuarios con un nivel de procesamiento mejor, con mejor resolución de la cámara, memoria RAM de 3 GB, presentan un procesador de 8 núcleo a 2.1GHz, capacidad de batería que llegan a los 3000mAh.

#### 1.4.5.3 Celulares de gama alta

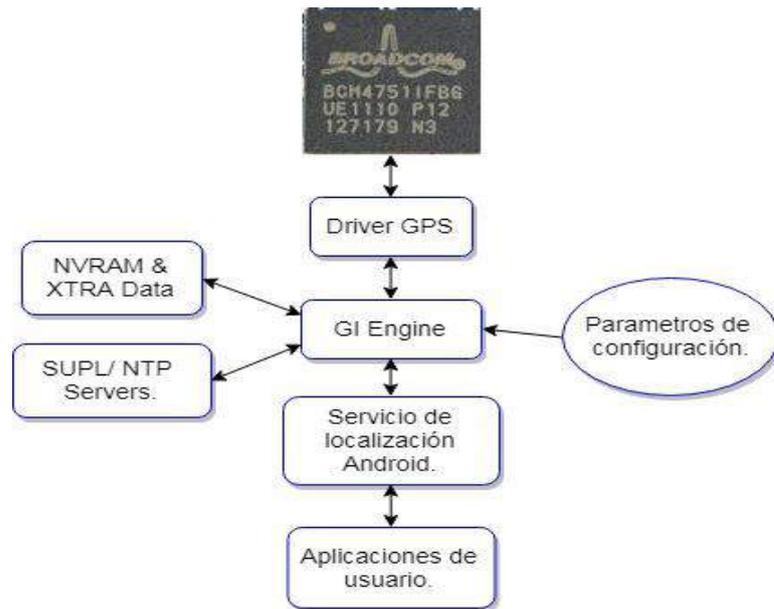
Son los equipos con mayor costo en el mercado con precios que sobrepasan los 800 dólares y ofrecen varias de las opciones antes mencionadas, pero presentando innovaciones en relación a la calidad del equipo, ofreciendo al usuario mejoras como por ejemplo una cámara que permite mayor nitidez, otra de las mejoras es la capacidad de conexión de cuarta generación a Internet a gran velocidad. Cuentan con capacidades de almacenamiento interno de mínimo de 64 GB, memoria RAM de 4GB, procesador de 8 núcleos a 2.45GHz, batería de 3000mAh.

La principal diferencia que presentan los teléfonos de distintas gamas radica en los elementos de fabricación tanto hardware como software con los que son diseñados, los componentes *hardware*, son todos los componentes físicos del Smartphone, por ejemplo, procesador, batería, pantalla, cámaras, memorias (RAM y almacenamiento), sensores, antenas, etc. El componente *software*, es la capa visual y funcional del terminal, lo que permite hacer uso de todas sus funciones, finalmente el diseño es un componente que está compuesto por tres características a tener en consideración como materiales de construcción, medidas del terminal y aspecto físico del dispositivo (xatakandroid).

Los dispositivos de gama alta presentan componentes de calidad que reúnen todas las características, componentes, avances, tendencias e innovaciones que proporciona la tecnología móvil para el momento del lanzamiento. Los de gama media presentan un buen rendimiento a pesar de la diferencia notable del precio, por lo que la calidad de un teléfono celular inteligente no está determinada por la gama.

Los dispositivos Android cuenta con un sin número de funciones, siendo el servicio de GPS el más utilizado en la actualidad para aplicaciones de navegación personal y localización y navegación en cualquier parte del mundo mediante el uso de mapas, gracias a que cuentan con receptores GPS que permiten al usuario obtener su ubicación.

La arquitectura interna de un receptor integrado en los dispositivos Android sin importar la gama, se muestra en la *Figura 21-1*.



**Figura 16-1:** La arquitectura interna de un receptor móvil.

Fuente: <https://elandroidlibre.lespanol.com/2012/12/cmo-est-estructurado-el-gps-en-android.html>.

Los cinco elementos que intervienen para obtener el posicionamiento se detalla en la siguiente lista(El Android libre) .

- **Chip**

Se trata de la parte hardware del receptor GPS que permite recibir las ondas de radio frecuencia que provienen directamente de los satélites. Los chips GPS están diseñados para optimizar la batería del teléfono por lo que su fabricación se basa en la implementación de componentes de bajo costo incorporando un oscilador y una antena. Para más información sobre receptores *ver sección receptores GPS*.

- **Driver**

Permite establecer la comunicación el chip con el sistema operativo del dispositivo móvil, usando API's de bajo nivel como por ejemplo *gps.default.so*, para establecer el envío de información recibida por el receptor en lenguaje máquina.

- **GL Engine**

En este bloque se maneja información de localización almacenada en la raíz del sistema que dependiendo de la versión de Android por lo general los parámetros de configuración se almacenan en archivos *.xml* o *.conf* por ejemplo *gpsconfig.xml* en el directorio */system/etc/gps* específicamente, se encarga de suministrar información necesaria sobre

la localización de BS cercanas según la operadora de red a la que el móvil se conecte, y guardando en memoria los datos obtenidos. Si se solicita el posicionamiento en modo A-GPS, es necesario acceder al directorio SUPL del servidor NTP (Network Time Protocol), usado por el dispositivo para sincronizar sus relojes mediante la conexión a Internet, reduciendo el tiempo de consulta. Todos los datos manejados es este proceso son almacenados en una memoria NVRAM que posee el dispositivo.

- **Servicios de Localización**

Se trata de un conjunto de interfaces que son programadas en lenguaje JAVA, usadas en Android para controlar los diferentes aspectos de GPS un ejemplo de esto puede ser *Location Manager* proporcionando los permisos necesarios para que una determinada aplicación utilice información necesaria mediante una vía de comunicación entre las aplicaciones finales y los datos almacenados en GL Engine, mediante API's propias de Android.

- **Aplicaciones**

Gracias a los desarrolladores de aplicaciones, tenemos la facilidad de acceder a la localización de manera rápida y sin el mayor esfuerzo, son las aplicaciones de usuario final que instalamos en nuestros teléfonos móviles de ahí que tenemos aplicaciones como Google Maps, GPS status, GPS test entre otras aplicaciones que hacen uso de datos de posicionamiento para proporcionar al usuario información requerida.

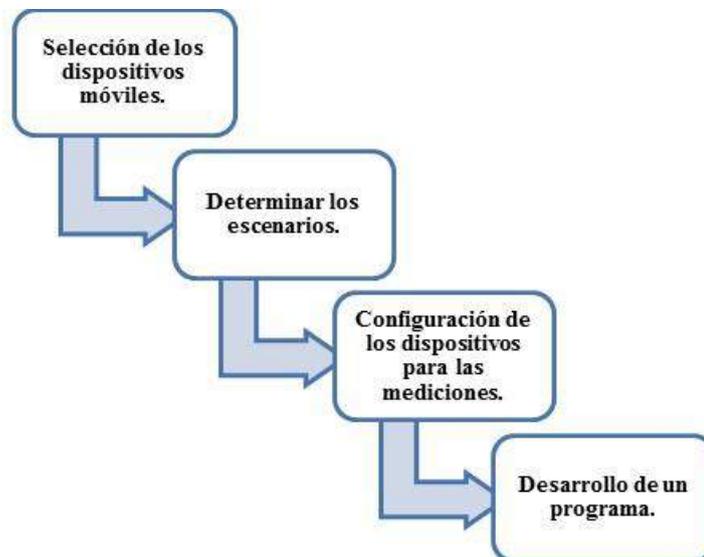
## CAPÍTULO II

### 2 MARCO METODOLÓGICO

Para la elaboración del presente capítulo se considera dos etapas, siendo la primera la recepción de datos en bruto en distintos escenarios dentro de la ciudad de Riobamba provincia de Chimborazo para su respectivo análisis, como segunda etapa se tiene la interpretación, procesamiento y manejo de los datos en el software de MatLab para ver el comportamiento del posicionamiento en los dispositivos móviles.

#### 2.1 Metodología

La metodología a utilizar en el presente proyecto se basa en una investigación de campo donde se analizan datos en bruto de navegación obtenidos de los dispositivos móviles Android de gama media y alta, realizando el procesamiento de información para determinar la precisión en la navegación personal con y sin A-GPS.



**Figura 1-2:** Proceso para el desarrollo del proyecto.

Realizado por: Julio Sagñay, Wilson Freire (2018)

Como se muestra en la *figura 1-2*, para el desarrollo del trabajo se toma 4 bloques importantes a seguir, selección de los dispositivos móviles, determinar los escenarios, configuración de los

dispositivos para la medición y desarrollo de un programa de procesamiento para la visualización de los parámetros importantes del sistema de posicionamiento.

## **2.2 Selección del dispositivo móvil**

Los receptores a utilizar deben ser teléfonos celulares con sistema operativo Android, que dentro de su arquitectura interna cuenten con receptores GPS indispensable para el registro de actividad GNSS. El sistema operativo Android define interfaces de programación de aplicaciones *API* que permite al usuario acceder a las funciones GPS del sistema, es por ello que Google lanzó la aplicación GnsLogger, que facilita el registro de datos de mediciones GNSS. Por otra parte, el sistema operativo Android, es la plataforma predominante sobre iOS en 62 de los 70 países (Andro4cill).

Para la selección de teléfonos que se utiliza en el proyecto se debe tomar en cuenta dispositivos Android que soporten las mediciones de GNSS en bruto, los desarrolladores de Android muestran en su página oficial de GPS WORLD en la que se encuentra una lista completa de los teléfonos que se pueden usar para la medición (Raw GNSS Measurements), ya que la extracción de datos brutos solo está disponible a partir de la versión Android 7.0.

Las ventas de smartphones tuvieron un incremento del 3% anual. En 2015 se entregaron 1,44 mil millones de equipos, en tanto que en 2016, el número alcanzó los 1,49 mil millones de unidades, según las últimas cifras de Strategy Analytics (INFOBAE). Los fabricantes que más vendieron en 2017 a nivel mundial corresponden: Samsung vendió 309,4 millones de unidades en el año y lidera el ranking. El segundo lugar es para Apple con 46,7 millones y el tercero, para Huawei con 39,1 millones (Tecnología, Internet y Marketing).

De éstos se elige los modelos de teléfono más representativos de cada fabricante que son compatibles por cumplir con las condiciones requeridas de interés para el análisis de A-GPS. Ver *tabla 1-2*

**Tabla 1-2:** Características GPS en Smartphone.

Modelo	Versión de Android	Control de ganancia automática	Mensajes de navegación	Rango delta acumulado	Reloj HW	Sistemas globales
Huawei P10 Lite	7.0	No	No	No	Sí	GPS
Samsung S8	7.0	No	Si	Si	Sí	GPS GLONASS GALILEO BeiDou

**Fuente:** <https://developer.android.com/guide/topics/sensors/gnss>

**Realizado por:** Julio Sagnay, Wilson Freire (2018)

### 2.2.1 Características técnicas de los teléfonos seleccionados

Otra de las características a tener presente en la selección de los dispositivos es que soporte el servicio de asistencia GPS *A-GPS*.

**Tabla 2-1:** Especificaciones técnicas modelo de gama de teléfonos.

	Huawei P10 Lite	Samsung S8
		
<b>Sistema operativo</b>	Android 7.0	Android 7.0
<b>Sensores</b>	Huella dactilar, acelerómetro, giroscopio, proximidad, brújula.	Escaner de iris, huella dactilar, Acelerómetro, giroscopio, Sensor de Proximidad, brújula, barómetro, Ritmo cardiaco.
<b>Procesador</b>	Octa-core (4x2.1 GHz Cortex-A53 & 4x1.7 GHz Cortex-A53)	Octa-core (4x2.3 GHz & 4x1.7 GHz) –
<b>GPS</b>	Soporta A-GPS, GPS	Soporta A-GPS, GLONASS, BDS, GALILEO

**Fuente:** <https://www.xatakamovil.com/analisis/huawei-p10-lite-analisis>

**Realizado por:** Julio Sagnay, Wilson Freire (2018)

Los dispositivos móviles tienen integrada una antena GPS en su arquitectura interna, que utiliza polarización lineal permitiendo al dispositivo recepción de las señales GPS que en su mayoría sufren el efecto de multi-trayectoria, el procesamiento interno del dispositivo debe resolver este problema y separar las señales que se recibe directamente y las que son reflejadas.

### **2.3 Escenarios propuestos**

Asistencia de GPS por la red móvil surge como una de las técnicas para mejorar la precisión para la navegación en ambientes internos como centros comerciales, coliseos, entre otros, y ambientes externos considerados a sitios públicos y libres de edificaciones como parques, mercados y plazas.

Se debe considerar también los factores externos climáticos que deterioran la señal de GPS afectando la precisión en la solución final cabe recalcar que las medidas se realizan durante el día, con temperaturas promedio que oscilan de 16 °C a 23 °C con su máxima valor registrado al medio día considerando como el peor de los casos debido al efecto de ionización que sufre la ionosfera.

Ecuador, al encontrarse cerca de la línea Equinoccial se encuentra más próximos al sol, esto presenta el factor que atribuye a una alta concentración de radiación solar. (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología, 2015)

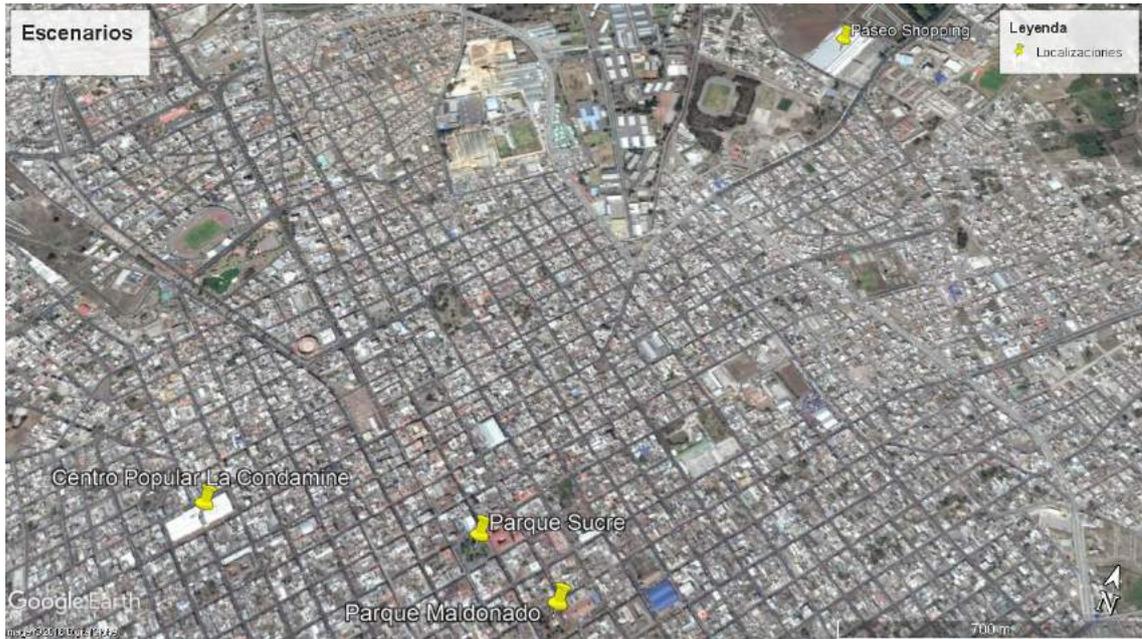
Se evalúa el rendimiento de A-GPS en los dos ambientes considerando las condiciones para el peor y mejor de los casos, respectivamente. Para la medición de datos GNSS receptados en ambientes externos se toma en cuenta dos parques de la zona céntrica de la ciudad Riobamba provincia de Chimborazo, los parques Maldonado y Sucre, que por su ubicación presentan gran concurrencia de habitantes y de automóviles como se muestra en la *figura 4-2*, además en sus alrededores existe la presencia de edificaciones y árboles que llegan a interferir a la señal.

Las mediciones para ambientes internos se considera el Centro Comercial Popular “La Condamine”, que se ubica en las calles Carabobo y Colombia, y el Paseo Shopping ubicado en la Av. Antonio José de Sucre se observa en la *figura 4-2*, elegidos por contar con áreas extensas y debido a su infraestructura bloquea la visión directa a los satélites, generando que la señal sufra de múltiples reflexiones hasta la llegar al receptor.

**Tabla 3-2:** Escenarios Propuestos

Escenarios	Lugar	Ambiente
1	Parque Maldonado	Externo
2	Parque Sucre	
3	C.C. Condamine	Interno
4	Paseo Shopping	

Realizado por: Julio Sagñay, Wilson Freire (2018)



**Figura 2-1:** Escenarios

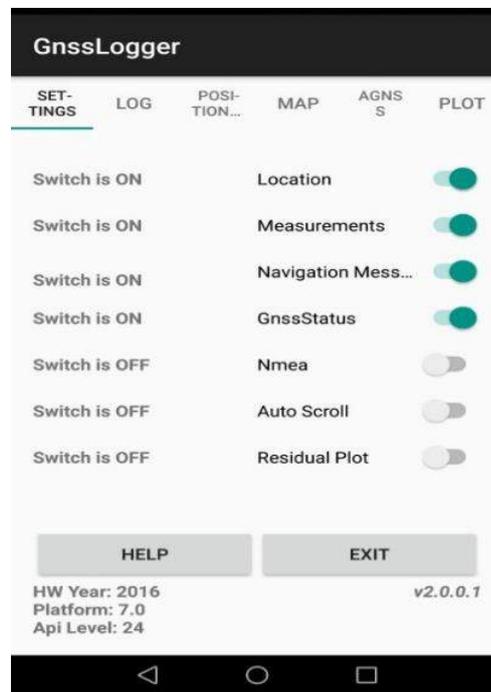
Realizado por: Julio Sagñay, Wilson Freire (2018)

## 2.4 Configuración del dispositivo móvil para el registro de datos

Para la toma de mediciones GNSS, la configuración del dispositivo móvil debe tener activado el acceso a la ubicación, se selecciona solo GPS para el modo SPS, donde el móvil recibe las señales directamente de los satélites, para el modo A-GPS por tratarse de un sistema que recibe correcciones utilizando la infraestructura de red celular, es importante activar el método de localización de precisión alta que combina la tecnología Wi-Fi, redes móviles y GPS para determinar la ubicación, cabe recalcar que el Wi-Fi debe estar desactivado para que no interfiera en el cálculo del posicionamiento.

Para las mediciones en modo A-GPS se usa la operadora móvil Movistar con tecnología 3G, que tiene alta cobertura del servicio en la zona urbana. (Carranza y Reyes, 2017,46).

Mediante la utilización de una aplicación denominada *GnssLogger* que permite registrar los datos de navegación, de las medidas realizadas que son almacenados en un archivo que se genera en formato texto, para su respectivo análisis.



**Figura 3-2:** Gnslogger en ejecución

**Fuente:** Los Autores

Activando los apartados que se muestra en la *figura 3-2*, de localización, medidas, mensajes de navegación y estado de GNSS, se da el permiso necesario para que el dispositivo móvil registre las medidas y las almacene en un archivo de texto como el que se muestra a continuación.



del tiempo de rotación de la Tierra en más de 0.9 segundos. El Tiempo Universal Coordinado (UTC), un tiempo atómico, es la base del tiempo civil. (<http://tycho.usno.navy.mil/leapsec.html>). (Leap Seconds)

- **Drift[NanosPerSecond]**. Se conoce como Drift a la condición en que la información de posicionamiento que provienen de los satélites se ve afectado por un cambio inesperado a la salida del sistema en función del tiempo, que puede ser causado por el cambio de los patrones propios de los satélites generando una pequeña diferencia entre la referencia real y la posición obtenida.
  - **Svid. (*Space Vehicle Identification*)**. Es un identificador que nos permite rastrear a los satélites visibles para el receptor y de los cuales se puede obtener información para determinar el posicionamiento.
  - **Cn0 [DbHz]**. La relación señal a ruido nos permite conocer que tanto afecta el ruido a la fidelidad de una señal GPS, por lo que mientras mayor SNR la información recibida será mejor.
  - **ConstellationType**. Nos indica a qué tipo de constelación pertenece el satélite del que se está recibiendo información. En el caso de establecer contacto con un satélite de la constelación de GPS se muestra el indicador igual a 1, 3 para satélites de GLONASS y 6 para satélites GALILEO.
  - **Latitude** Representa el arco meridiano que se cuenta desde su línea de referencia (Ecuador) hasta el punto en el que se encuentra el observador, su medida va de los 0° a los 90° su medida se realiza hacia el norte o sur indicando su respectivo hemisferio existe dos maneras de expresarlas por ejemplo si la coordenada está a 20 grados en latitud norte se representa con 20°N o a su vez +20°, y si es 20 grados sur sería 20°S ó -20°.
  - **Longitude** Se conoce como la distancia existente entre un punto de interés y el meridiano de Greenwich, y se mide de 0° a 180° midiéndose de Este a Oeste al igual que la latitud se lo expresa de dos maneras diferentes en las que 78 grados Este puede ser 78°E ó +78°, y 65 grados Oeste -65° (Ibañez, Gisbert and Moreno, p. 3).
- (UTC) [TimeInMs]** Hora universal coordinada, conocida popularmente como GMT (hora del meridiano de Greenwich) o hora zulú. La hora local difiere de UTC por el número de horas de su zona horaria.(Harper et al., 2004, p. 129)

De todos los campos mencionados anteriormente, para el análisis del trabajo se toma en cuenta los parámetros relación señal a ruido, satélites en vista y coordenadas geográficas (latitud y longitud), que permiten evaluar la calidad de información recibida en receptores móviles.

## 2.5 Desarrollo del programa

Luego de haber realizado las mediciones en los escenarios propuestos, el registro total de los datos corresponde a 16 archivos, cada escenario tiene cuatro archivos tomadas en dos gamas de teléfonos y dos modos de operación, el tiempo de cada registro tiene promedio de 6 minutos, por consiguiente el tiempo de recepción de GPS es 1 segundo y registra datos de promedio de 13 satélites, para determinar la cantidad de medición se tiene  $360 \text{ (tiempo medido)} * 13 \text{ (datos adquiridos del satélite)} = 4680$  líneas de datos en bruto en texto plano, es decir en todos los escenarios se tiene un total de 74880 líneas de datos.

Se analizó que existe una cantidad elevada de datos, por lo que se determina que el software debe tener la capacidad de procesar todos estos datos en bruto en formato de texto plano.

### 2.5.1 Requerimientos para el Software de la investigación

Una vez determinado los campos del GnsLogger y la gran cantidad de datos en bruto a manejar, se presenta los requerimientos del software.

**Extracción de la información de los archivos (Datos en bruto):** Este apartado corresponde a lectura de archivos en formato *.txt*, de las dos gamas de teléfonos establecidas en modos de operación en SPS y A-GPS.

**Procesamiento de los datos en bruto:** Es la preparación previa de los datos para ser usados, ya que pueden presentarse problemas como mezcla de datos numéricos, alfanuméricos, y de textos, debido a que los campos vienen separados, por comas, puntos y caracteres especiales etc.

**Almacenar los datos en bruto:** Al programar en un *script*, MATLAB simplemente ejecuta los comandos que se encuentran en el archivo, es decir carga todos de archivos de medición, imágenes de la pantalla de aplicación al área de trabajo.

**Capacidad de graficar los resultados:** El programa debe ser capaz de visualizar los parámetros mencionados para el análisis del rendimiento de precisión y navegación en los dispositivos móviles.

### 2.5.2 Selección de la herramienta de desarrollo Software

Por los requerimientos ya mencionados, se elige el programa Matlab como el lenguaje de programación para el desarrollo del trabajo, herramienta de gran utilidad en el campo de la ingeniería con un entorno de cálculo técnico de altas prestaciones para cálculos numéricos y visualizaciones, se trabajó con la versión R2015b que se detalla a continuación (MathWorks):

- **Sistema operativo:**
  - ✓ Windows: Windows 7, 8, 8.1 y 10
- **Procesador:** Intel o AMD x86-64 con soporte de instrucciones SSE2.
- **Disco:** 1 GB solo para MATLAB, 3-4 GB para una instalación típica.
- **RAM:** 2GB mínimo, 4 GB recomendado.
- **Tarjeta gráfica:** Soporte para OpenGL 3.3 recomendado con 1 GB en GPU.

Este programa tiene competidores, entre los que destacan Mathematica, y SCILAB, que son software libre, de código abierto, desarrollado por científicos de todo el mundo como una alternativa a MATLAB, a pesar de ello presenta ciertas diferencias de software como Interfaz de usuario, velocidad de la computación, herramientas, código fuente de disponibilidad e interfaces a otros programa, por lo que Matlab sigue siendo el software más utilizado (Borrel, 2016, p. 5).

### 2.5.3 Diagrama de bloques del Software de Práctica

A continuación, se muestra el diagrama de bloques del *software* de práctica como se detalla en la figura 5-2.



**Figura 5-2:** Diagrama del programa desarrollado.

Fuente: Los Autores

#### 2.5.3.1 Carga y lectura de archivos en Matlab

Para la creación del programa (scripts), se cargó al área de trabajo de matlab, todos los archivos de mediciones en formato de texto como se muestra en figura 6-2.

```

%SISTEMA DE POSICIONAMIENTO GLOBAL ASISTIDO
filename = 'C:\Users\home\Desktop\escenarios\pmaldonado\gama media\A-GPS.txt';
delimiter = {'\t', ','};
endRow =4137 ;

```

**Figura 6-2: Líneas de código para cargar archivos**

Realizado por: Los autores.

2.5.3.2 *Procesamiento y tabulación de los datos:*

Luego de la lectura de los archivos datos en bruto de los distintos escenarios, siguiendo las líneas de la programación del scripts, se procede a ordenar por campos del gnsslogger, de tal forma que se genere una matriz correcta para el manejo como se muestra en la *figura 7-2*.

#	Header	Description:										
#	Version:	v2.0.0.1	Platform:	7.0	Manufactu...	samsung	Model:	SM-G955F				
#	Raw	ElapsedRea...	TimeNanos	LeapSecond	TimeUncer...	FullBiasNa...	BiasNanos	BiasUncert...	DriftNanos...	DriftUncert...	HardwareC...	Svid
#	Fix	Provider	Latitude	Longitude	Altitude	Speed	Accuracy	(UTC)Time...				
#	Nav	Svid	Type	Status	MessageId	Sub-messa...	Data(Bytes)					
Nav	98	769	1	-1	15	124	82	123	-14	69	-12	-64
Nav	105	769	1	4	15	124	82	123	-14	69	-12	-64
Fix	gps	-1.655988	-78.675809	3010.576125	0.000000	12.000000	1524089369...					
Raw	747598	1426680000...	-120812444...	0.0	28.6507615...	0	1	0.0	39	3389879201...	63	23.4395580...
Raw	747599	1426680000...	-120812444...	0.0	28.6507615...	0	3	0.0	39	3389879230...	29	30.1287498...
Raw	747599	1426680000...	-120812444...	0.0	28.6507615...	0	7	0.0	39	3389879321...	42	26.8504714...
Raw	747600	1426680000...	-120812444...	0.0	28.6507615...	0	9	0.0	51	1990993	166	30.7833976...
Raw	747600	1426680000...	-120812444...	0.0	28.6507615...	0	11	0.0	51	17151511	67	21.4637432...
Raw	747601	1426680000...	-120812444...	0.0	28.6507615...	0	17	0.0	47	3389879207...	51	25.2993049...
Raw	747601	1426680000...	-120812444...	0.0	28.6507615...	0	19	0.0	17	1075661	166	11.8974456...
Raw	747602	1426680000...	-120812444...	0.0	28.6507615...	0	22	0.0	39	3389879171...	59	22.9904041...

**Figura 7-2: Matriz ordenada de los datos en bruto.**

Realizado por: Los autores.

Una vez realizada la tabulación de la información se procede a considera las siguientes características que debe cumplir en línea de programación:

- Convertir el contenido de las columnas que contienen cadenas numéricas a números
- Reemplazar cadenas no numéricas con NaN (no es un número).
- Convierte cadenas en la matriz de celdas de entrada a números. Reemplazado no numérico.
- Crea una expresión regular para detectar y eliminar prefijos no numéricos y sufijos.
- Dividir datos en columnas numéricas y de celda.

- Reemplazar celdas no numéricas con NaN.
- Crear variable de salida
- Borrar variables temporales

### 2.5.3.3 Selección y manejo de los parámetros establecidos:

Luego de tener listo los parámetros establecidos, se procede al manejo de los archivos, como primer paso se tiene la extracción de las columnas de SVid, coordenadas geográficas, relación señal a ruido y tipo de constelación de la matriz como se detalla en la *figura 8-2*.

```

b2=AGPS(:,1 ); % lee los dtos de lat y long
length(b2);
b4=dataset2cell(b2);
s = char( b4(:,1) );
x=length(s);
s1 = 'Fix';
tf = strcmp(s1,b4); %compara los char si son verdaderos se hace 1 caso contrario 0
j=1;
for h=1:x
    if(tf(h)==1)
        u(j)=h; %almcena las posiciones de los fix en esta variable
        j=j+1;
    end
end
end

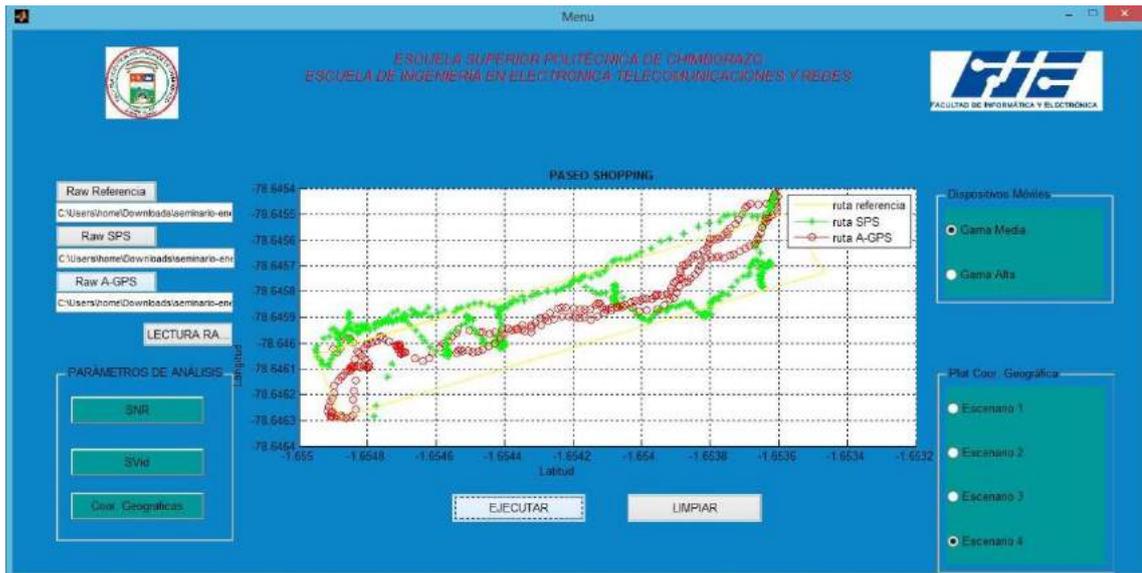
```

**Figura 8-2:** Líneas de programación para la extracción de columnas de la matriz.

**Realizado por:** Los autores.

### 2.5.3.4 Interfaz gráfica del software para el análisis

En la *figura 9-2*, se encuentra la pantalla principal desarrollada para el análisis de la precisión en los dispositivos móviles. Se tiene una aplicación en Matlab que se denomina *AGPSLAB*, que permite realizar las comparaciones necesarias para determinar el comportamiento de la precisión en los dispositivos móviles Android en los distintos modos de posicionamiento (SPS y A-GPS) a través de cargar los archivos .txt extraídos por la aplicación GNSSLogger. Se presenta una interfaz gráfica para la interacción entre usuarios y máquina con opciones de selección de las gamas de los dispositivos y los parámetros de análisis establecidos y plasmarlos en graficas individuales y grupales. Para mayor detalle del uso de la aplicación ver **Anexo A**.



**Figura 2-2:** Pantalla principal AGPSLAB.

**Realizado por:** Julio Sagñay, Wilson Freire (2018)

## CAPÍTULO III

### 3 ANÁLISIS DE RESULTADOS

En este capítulo se presenta los resultados obtenidos, se realizó las respectivas mediciones en cada uno de los escenarios establecidos, tanto en modo SPS como en A-GPS de las dos gamas de dispositivos móviles, a partir del análisis de los campos de GnsLogger descritos en el capítulo 2

#### 3.1 Especificación de los parámetros de Análisis

Para que el receptor GPS tenga un óptimo funcionamiento y proporcione su ubicación de manera correcta necesita tener visión directa con los satélites, ya que el cálculo de posicionamiento tiene relación directa con las señales que recibe de estos satélites, pero al encontrarse situado en ambientes internos la señal se ve afectada por diferentes perturbaciones provocando una atenuación de su potencia a medida que onda se propaga a través de la superficie, lo que presenta dificultades en el receptor al momento de procesar la localización por falta de datos suficientes.

El nivel de potencia mínimo con la que la señal emitida debe llegar al receptor según la revisión D de la especificación IS-GPS 200 de NAVSTAR GPS (Lissai, 2006, p. 73) y el documento SPS Performance Standard (Department Of Defense, 2008, p. 50), es de aproximadamente -158.5 dBW o -128.5 dBm en ambientes con vista directa a los satélites mientras que en ambientes internos los niveles de potencia llegan a atenuarse de -160dBw a -200dBw lo que provoca que el cálculo de ubicación sea una tarea difícil de lograr.,

La relación señal a ruido permite conocer que tanto afecta el ruido a la calidad de la señal GPS, por lo que se necesita señales con mínimo 26 dB de relación señal a ruido para obtener una recepción libre de errores y poder estimar la posición lo más precisa posible.

Para determinar la precisión en los receptores GPS móviles se han seguido los estándares establecidos en el documento Geospatial Positioning Accuracy Standards (Federal Geographical Data Committee, 1998, p. 4), en el que mencionan que el método usado para evaluar la estimación de la precisión es determinar el camino más corto entre dos puntos sobre la superficie terrestre aplicando la *ecuación 1-3*, para el cálculo del error se toma en cuenta la distancia entre el valor real (referencia) y el valor medido:

### **Ecuación 1-3.** Distancia entre dos puntos geográficos

$$d = (R * \text{acos}(\text{seno}(\text{Lat1}) * \text{sen}(\text{Lat2}) + \text{cos}(\text{Lat1})) * \text{cos}(\text{Lat2}) * \text{cos}(\text{long1} - \text{long2}))$$

Donde,

d = distancia entre dos punto geográficos

R= radio de la tierra (6372797 metros)

Lat1= latitud de referencia

Lat2= latitud medido

Long1= longitud de referencia

Long2= longitud medido

## **3.2 Escenarios de Medición**

Mediante la aplicación de Google Earth la cual es una ortofoto georeferenciada de buena precisión por lo que se considera un mapa de referencia, sobre esta se traza la trayectoria de referencias correspondientes a los lugares planteados.

### **3.2.1 Escenarios externos: Ubicado en la zona céntrica de la ciudad de Riobamba**

#### **3.2.1.1 Escenario 1: Parque Maldonado.**

Como se muestra en la *figura 1-3*, se tiene la imagen de referencia.



**Figura 1-3:** Puntos de referencia. Parque Maldonado

**Realizado por:** Julio Sagñay, Wilson Freire (2018)

### 3.2.1.2 Escenario 2: Parque Sucre

La referencia tomada de google earth se muestra en la *figura 2-3*.



**Figura 2-3:** Puntos de referencia. Parque Sucre

**Realizado por:** Julio Sagñay, Wilson Freire (2018)

### 3.2.2 Escenarios Internos

#### 3.2.2.1 Escenario 3: La Condamine

La referencia para este escenario se muestra en la *figura 3-3*.

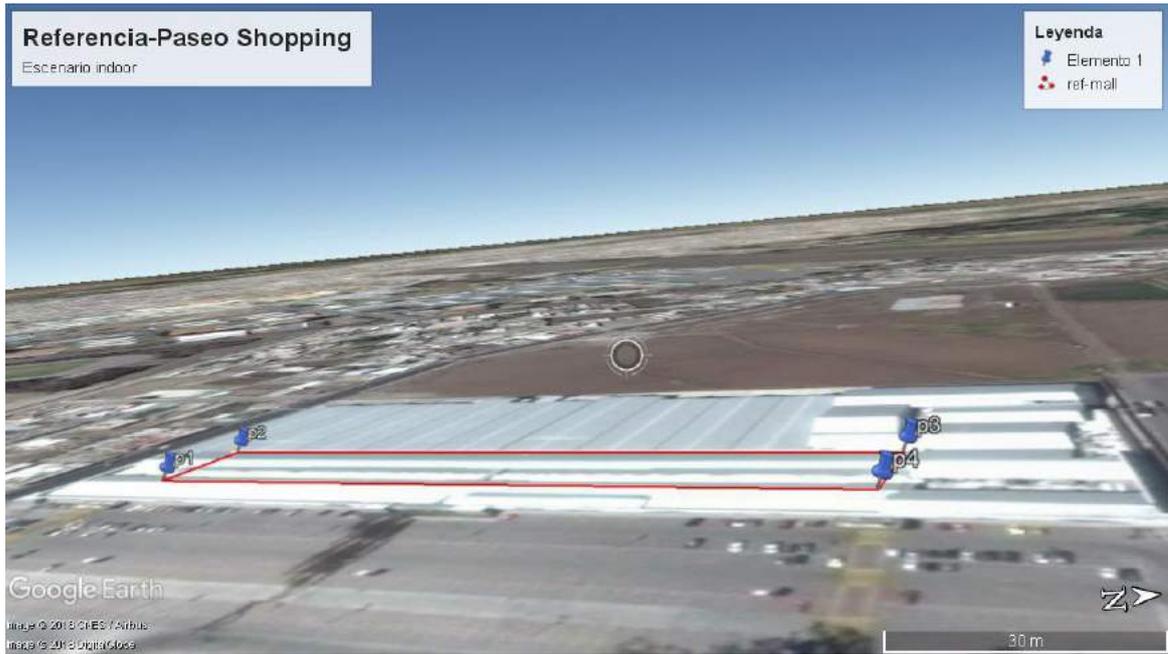


**Figura 3-1:** Puntos de referencia. C.C La Condamine

**Realizado por:** Julio Sagñay, Wilson Freire (2018)

#### 3.2.2.2 Escenario 4: Paseo Shopping

La *figura 4 -3*, correspondiente a la referencia.

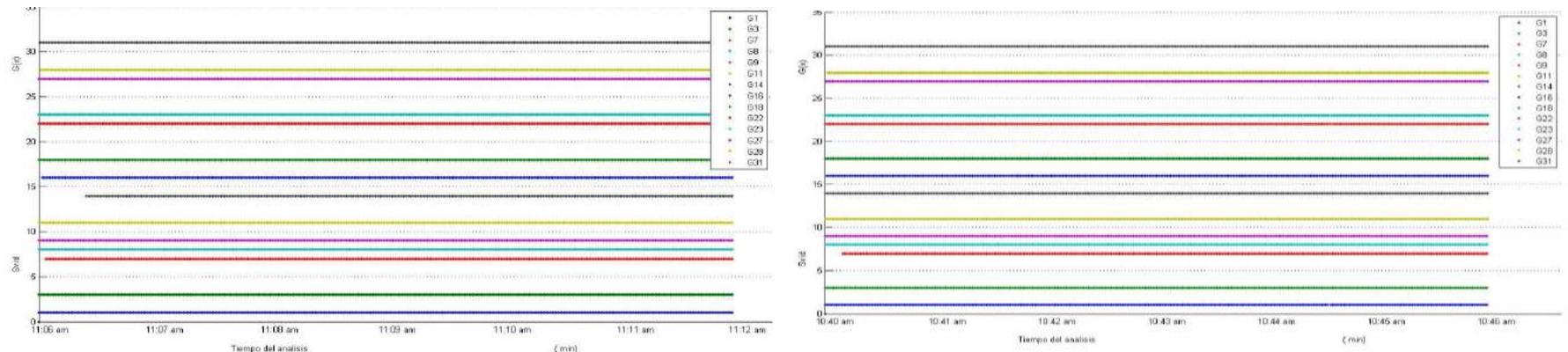


**Figura 2-3:** Puntos de referencia. Paseo Shopping

**Realizado por:** Julio Sagnay, Wilson Freire (2018)

### 3.2.3 SVID -Dispositivo gama alta - Samsung S8-Escenario 1

Esta prueba consistió en determinar cuántos satélites están conectados durante la medición en el ambiente externo.



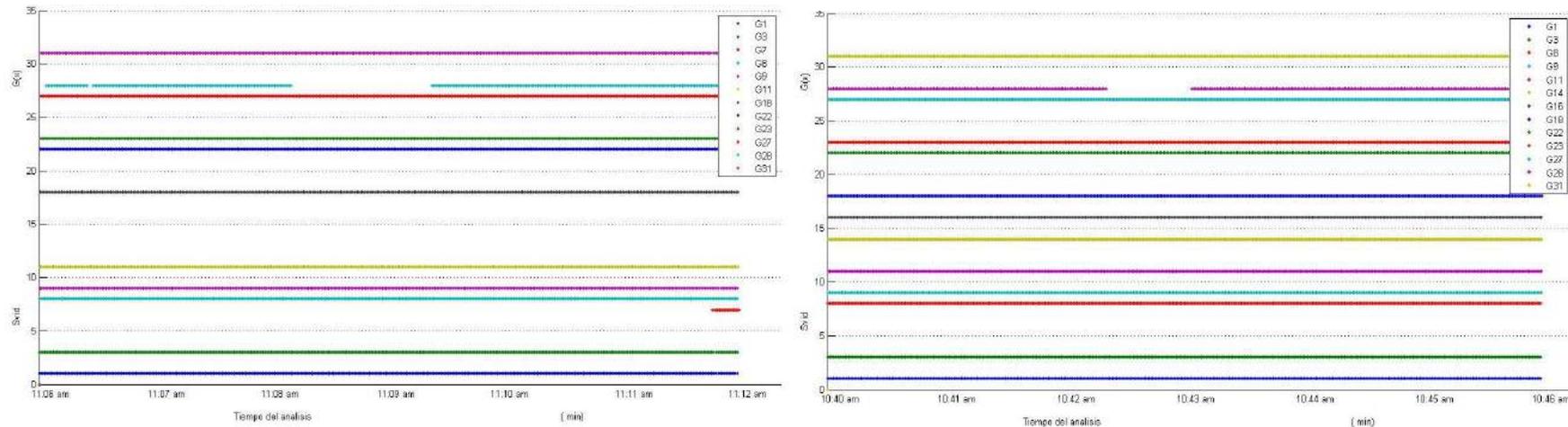
**Figura 5-3:** Satélites en vista para el dispositivo de gama alta en el Parque Maldonado: A la izquierda modo de operación A-GPS, a la derecha SPS.

**Realizado por:** Julio Sagnay, Wilson Freire (2018)

La *figura 5-3* muestra el número de satélites de la constelación de GPS visibles para el dispositivo, versus el tiempo de medición que dura completar la trayectoria realizada, para el modo A-GPS, en la época de 11:06 a 11:12 am se observa que los satélites 7, 14 no presenta conexión durante 2 y 15 segundos respectivamente de iniciada la medición. En cambio para el modo de SPS la época de medición comprendida de 10:40 a 10:46 am, el satélite 14 está visible durante todo el tiempo lo no ocurre con el satélite 7 que se conecta luego de los 6 s.

### 3.2.4 SVID -Dispositivo gama media – Huawei P10Lite-Escenario 1

Esta prueba consistió en determinar cuántos satélites están conectados durante la medición en el ambiente externo.



**Figura 6-3:** Satélites en vista para el dispositivo de gama media en el Parque Maldonado: A la izquierda modo de operación A-GPS, a la derecha SPS.

**Realizado por:** Julio Sagñay, Wilson Freire (2018)

La *figura 6-3* muestra el número de satélites de la constelación de GPS visibles para el dispositivo, versus el tiempo de medición que dura completar la trayectoria realizada, para el modo A-GPS, en un promedio de 6 minutos, se observa que el satélites 7 sólo se conecta los últimos 10 s, a diferencia del satélite 28 presenta variaciones en la conexión siendo así que se desconectó un periodo de 1 min, en cambio para el modo de SPS en promedio de tiempo 6 min, el satélite 7 está visible durante todo el tiempo de medición lo que no ocurre con el satélite 28 se desconecta al minuto 4 permaneciendo por 40 segundos de la medición.

**Tabla 1-3:** Disponibilidad de los satélites en gama alta y media. Parque Maldonado

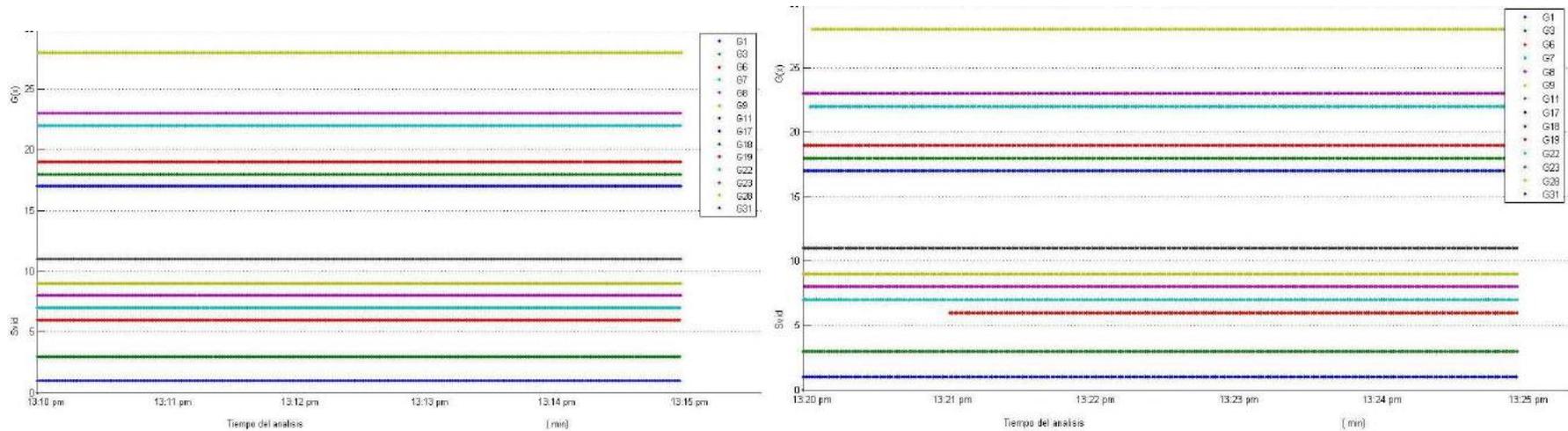
SVid	Gama Alta		Gama Media	
	SPS	A-GPS	SPS	A-GPS
1	100	100	100	100
3	100	100	100	100
7	97,2560976	98,8603989		3,71428571
8	100	100	100	100
9	100	100	100	100
11	100	100	100	100
14	100	92,8774929	100	
16	99,695122	99,4301994	100	
18	100	100	100	100
22	100	100	100	100
23	100	100	100	100
27	100	100	100	100
28	99,695122	100	87,3994638	75,4285714
31	100	100	100	100

**Realizado por:** Julio Sagñay, Wilson Freire (2018)

De la *tabla 1-3*, se aprecia que para gama alta en el modo de operación SPS, se tienen disponibilidad completa todos los satélites en vista, mientras que en el gama media el satélite 7 no está disponible para el dispositivo, en cambio en el modo A-GPS para gama media no existe la presencia del satélite 14 y 16.

### 3.2.5 SVID -Dispositivo gama alta - Samsung S8-Escenario 2

Esta prueba consistió en determinar cuántos satélites están conectados durante la medición en el ambiente externo.



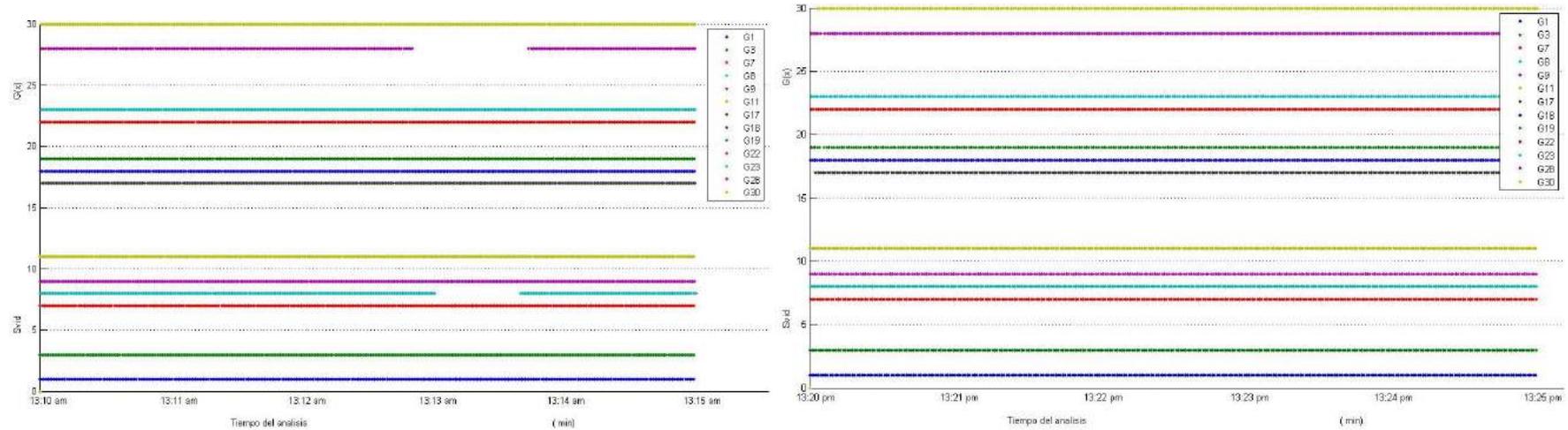
**Figura 3-3:** Satélites en vista para el dispositivo de gama alta en el Parque Sucre: A la izquierda modo de operación A-GPS, a la derecha SPS.

**Realizado por:** Julio Sagñay, Wilson Freire (2018)

La *figura 7-3*, se muestra el número de satélites de la constelación de GPS visibles versus el tiempo de medición que dura la trayectoria realizada desde 13:10 a 13:15 am, para el modo A-GPS, se visualiza que existe disponibilidad de todos los satélites, en cambio para SPS el tiempo de medición de 13:20 a 13:25 am, el satélite 6 se conecta luego de un 1 min de la medición.

### 3.2.6 SVid Dispositivo de gama media – Huawei P10 Lite-escenario 2

Esta prueba consistió en determinar cuántos satélites están conectados durante la medición en el ambiente externo.



**Figura 4-3:** Satélites en vista para el dispositivo de media en el Parque Sucre: A la izquierda modo de operación A-GPS, a la derecha SPS.

**Realizado por:** Julio Sagñay, Wilson Freire (2018)

La *figura 8-3*, se muestra el número de satélites de la constelación de GPS visibles versus el tiempo de medición que dura la trayectoria realizada un promedio de 5 min, realizada para el modo A-GPS, se visualiza que se desconectaron 2 de los 13 satélites en vista, teniendo al satélite 8 restableciendo luego de 40 s como también le ocurre al satélite 28 que reestablece luego de 90 s aproximadamente, mientras que para SPS todos los satélites permanecieron conectados todo el tiempo de medición.

**Tabla 2-3:** Disponibilidad de los satélites en gama alta y media, Parque Sucre

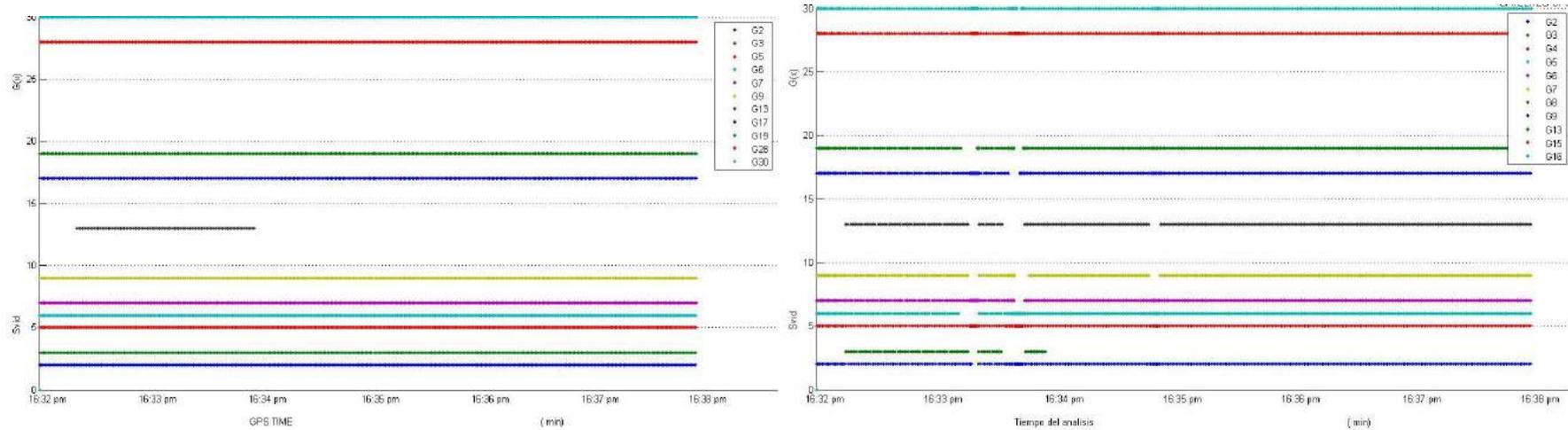
SVid	Gama Alta		Gama Media	
	SPS (%)	A-GPS (%)	SPS(%)	A-GPS(%)
1	100	100	100	100
3	100	100	100	100
6	78,52	100		
7	100	100	100	100
8	99,66	100	100	85,31
9	100	100	100	100
11	100	100	100	100
17	99,66	100	99,33	100
18	99,66	100	100	100
19	99,66	100	99,66	100
22	98,66	100	100	100
23	100	100	100	100
28	98,32	100	99,66	80,31
30	100	100	98,99	100

**Realizado por:** Julio Sagñay, Wilson Freire (2018)

De la *tabla 2-3*, se aprecia que para gama alta en el modo de operación SPS, se tienen disponibilidad completa de todos los satélites en vista, mientras que en la gama media el satélite 6 no está disponible para el dispositivo, en cambio en el modo A-GPS para gama media no existe la presencia del satélite 6.

### 3.2.7 SVid Dispositivo de gama alta – Samsung S8-escenario 3

Esta prueba consistió en determinar cuántos satélites están conectados durante la medición en el ambiente interno.



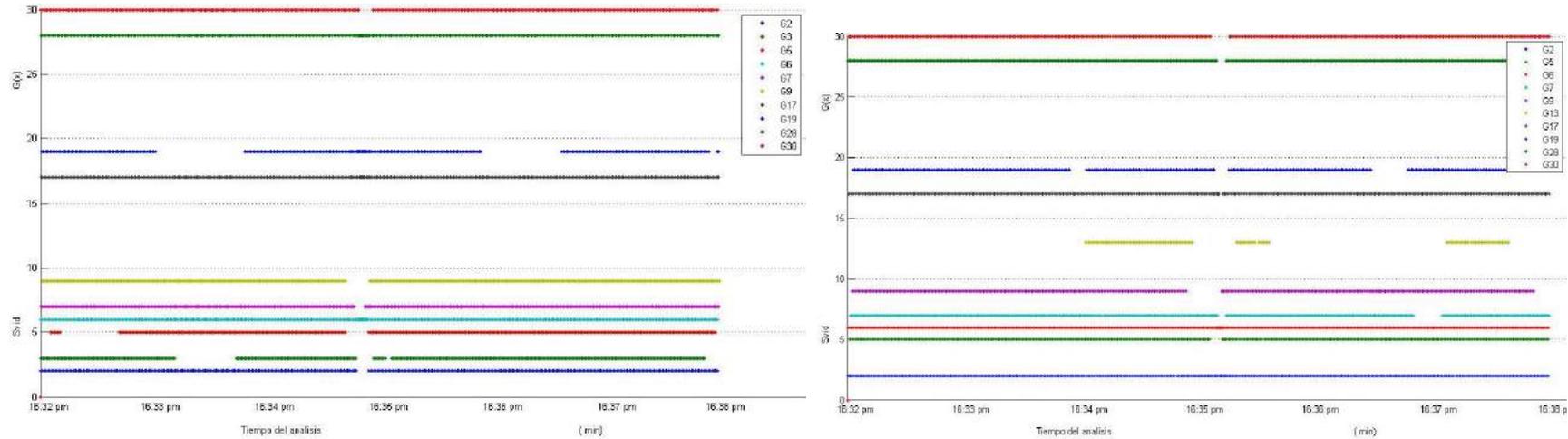
**Figura 9-3:** Satélites en vista para el dispositivo de gama alta Centro Comercial “La Condamine”: A la izquierda modo de operación A-GPS, a la derecha SPS.

**Realizado por:** Julio Sagñay, Wilson Freire (2018)

La *figura 9-3*, se muestra el número de satélites de la constelación de GPS visibles versus el tiempo de medición que dura la trayectoria realizada un promedio de 5 min desde 16:32 a 16:38 pm, realizada para el modo A-GPS, se visualiza que el satélite 13 está vista apenas minuto cuarenta aproximadamente, mientras que para SPS existe la variación de conexión de 8 satélites de los 11 satélites.

### 3.2.8 SVid Dispositivo de gama media – Samsung S8-escenario 3

Esta prueba consistió en determinar cuántos satélites están conectados durante la medición en el ambiente interno.



**Figura 5-3:** Satélites en vista para el dispositivo de gama media Centro Comercial “La Condamine”: A la izquierda modo de operación A-GPS, a la derecha SPS.

**Realizado por:** Julio Sagñay, Wilson Freire (2018)

La figura 10-3, se muestre el número de satélites de la constelación de GPS visibles versus el tiempo de medición que dura la trayectoria realizada un promedio de 5 min, realizada para el modo A-GPS, se visualiza que 7 satélites están en constante transición de los 10 en vista siendo la más notoria el satélite 18 que se desconecta tres veces por con un promedio de 20 s, mientras que para SPS existe la variación de conexión de 8 satélites de los 11 satélites, siendo la más representativa el satélites 18 que se desconecta tres veces pero con un promedio menor de 10s.

**Figura 3-3:** Disponibilidad de los satélites en gama alta y media. La Condamine

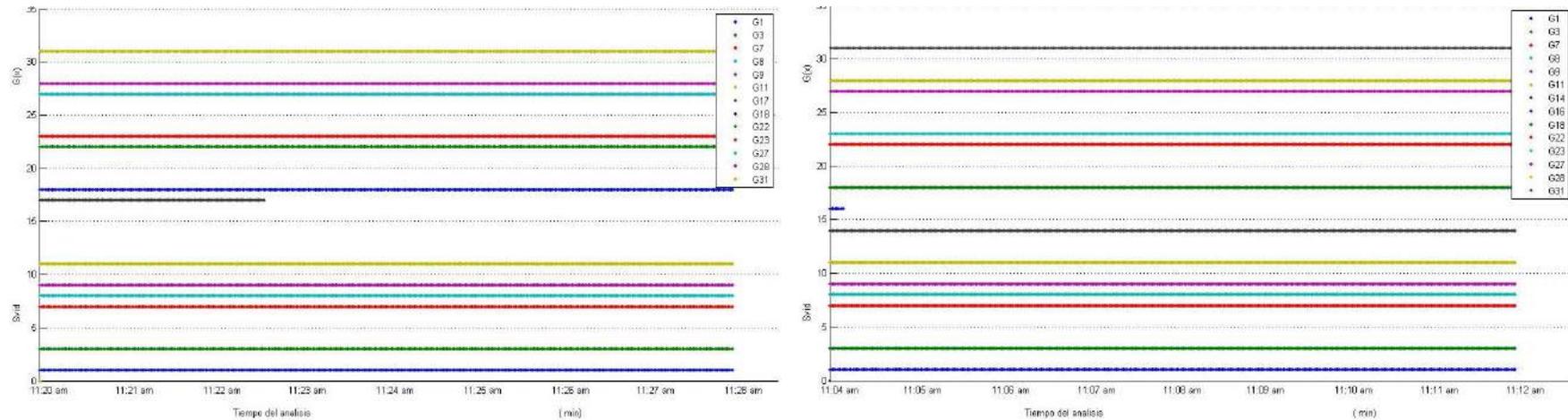
SVid	Gama Alta		Gama Media	
	SPS	A-GPS	SPS	A-GPS
2	96,68	100	99,23	96,61
3	19,95	99,74	95,37	82,29
5	100	100	100	84,38
6	94,37	100	91,77	100
7	96,42	100	89,46	97,14
9	89,00	99,74	25,71	94,53
13	81,33	23,96		
17	96,68	100	98,20	100
19	91,82	99,74	86,63	72,40
28	100	100	96,69	100
30	98,72	100	94,60	96,35

**Realizado por:** Julio Sagñay, Wilson Freire (2018)

De la *tabla 3-3*, se aprecia que para gama alta en el modo de operación SPS, se tienen disponibilidad completa de todos los satélites en vista, mientras que en la gama media el satélite 13 no está disponible para el dispositivo, en cambio en el modo A-GPS para gama media no existe la presencia del satélite 13.

### 3.2.9 SVid en Dispositivo de gama alta Samsung S8-Escenario 4

Esta prueba consistió en determinar cuántos satélites están conectados durante la medición en el ambiente interno.



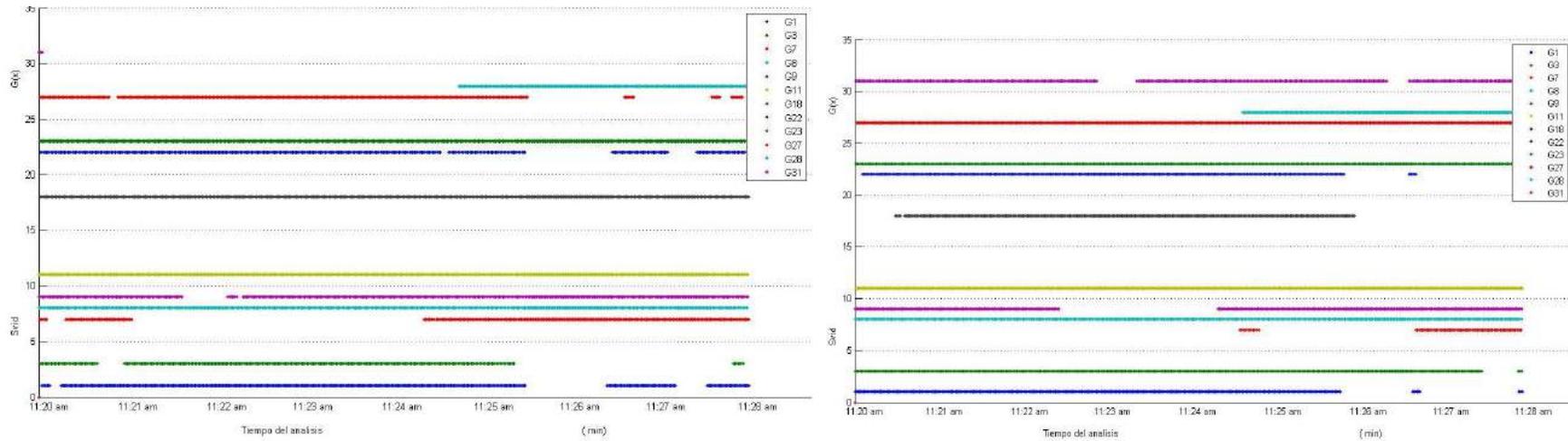
**Figura 11-3:** Satélites en vista para el dispositivo de gama alta Paseo Shopping: A la izquierda modo de operación A-GPS, a la derecha SPS.

**Realizado por:** Julio Sagñay, Wilson Freire (2018)

La *figura 11-3* muestra el número de satélites de la constelación de GPS visibles para el dispositivo, versus el tiempo de medición que dura completar la trayectoria realizada, para el modo A-GPS, en la época de 11:20 a 11:28 am, se observa que el satélites 18, se presenta la conexión durante los primeros 2 minutos y medio, en cambio para el modo de SPS la época de medición comprendida de 11:04 a 11:12 am, el satélite 16 se conecta a penas los primeros 4 s.

### 3.2.10 SVID -Dispositivo gama media– Huawei P10Lite-Escenario 4

Esta prueba consistió en determinar cuántos satélites están conectados durante la medición en el ambiente interno.



**Figura 6-3:** Satélites en vista para el dispositivo de gama media Paseo Shopping: A la izquierda modo de operación A-GPS, a la derecha SPS.

**Realizado por:** Julio Sagnay, Wilson Freire (2018)

La figura 12-3 muestra el número de satélites de la constelación de GPS visibles para el dispositivo, versus el tiempo de medición que dura completar la trayectoria realizada en un promedio de 8 min, para el modo A-GPS, se visualiza que 6 satélites están en constante transición de los 12 en vista siendo la más notoria los satélites 1, 9 y 27 que se desconecta tres veces por con un promedio de 13 s, mientras que para SPS existe la variación de conexión de 8 satélites de los 12 satélites, siendo la más representativa los satélites 7, 9 y 31 que se desconecta tres veces pero con un promedio menor de 8s.

**Tabla 4-1:** Disponibilidad de los satélites en gama alta, Paseo Shopping

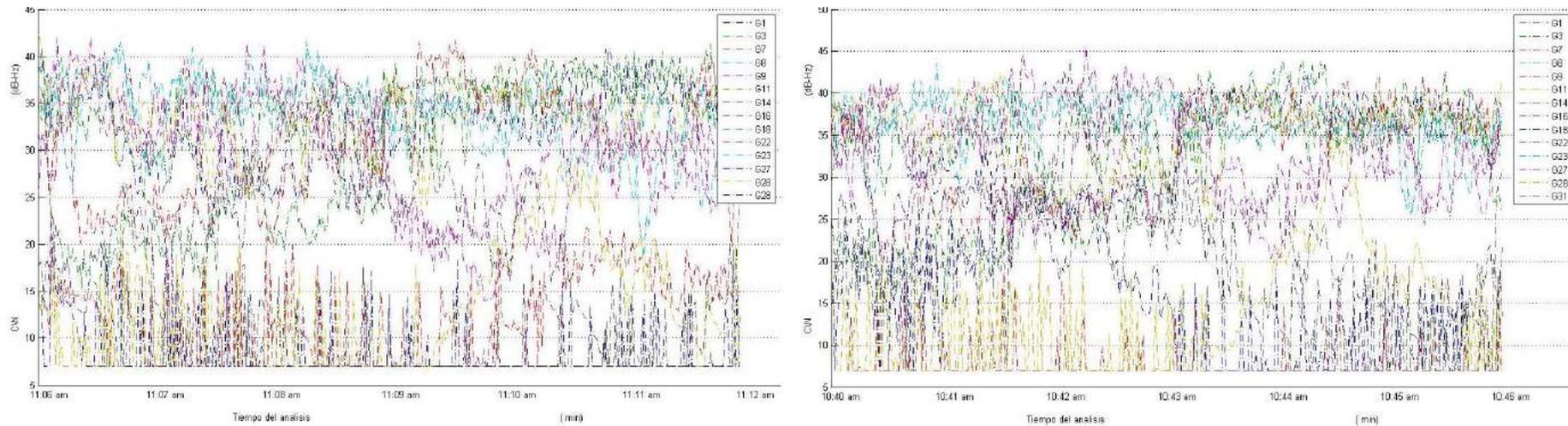
SVid	Gama Alta		Gama Media	
	SPS	A-GPS	SPS	A-GPS
1	100	100	71,91	78,39
3	100	100	93,82	61,76
7	100	100	19,32	56,21
8	100	100	100	100
9	100	100	74,90	92,35
11	100	100	100	100
14	100			
16	1,99			
17		30,59		
18	100	100	65,34	100
22	100	100	71,12	78,97
23	100	100	100	100
27	100	100	99,60	68,45
28	100	100	42,23	42,26
31	50	50	89,04	0,57

**Realizado por:** Julio Sagñay, Wilson Freire (2018)

De la *tabla 4-3*, se aprecia que para gama alta en el modo de operación SPS, no tiene disponibilidad del satélite 17, mientras que en la gama media los satélites 14, 16 y 17 no está disponible para el dispositivo, en cambio en el modo A-GPS para gama media no existe la presencia de los satélite 14, 16 y 17 a diferencia de gama alta solo dos no se presencia.

### 3.2.11 Relación señal a ruido – Gama Alta – Samsung S8-escenario 1

Esta prueba consistió en determinar el comportamiento de la señal GPS a la entrada del dispositivo en el ambiente externo.



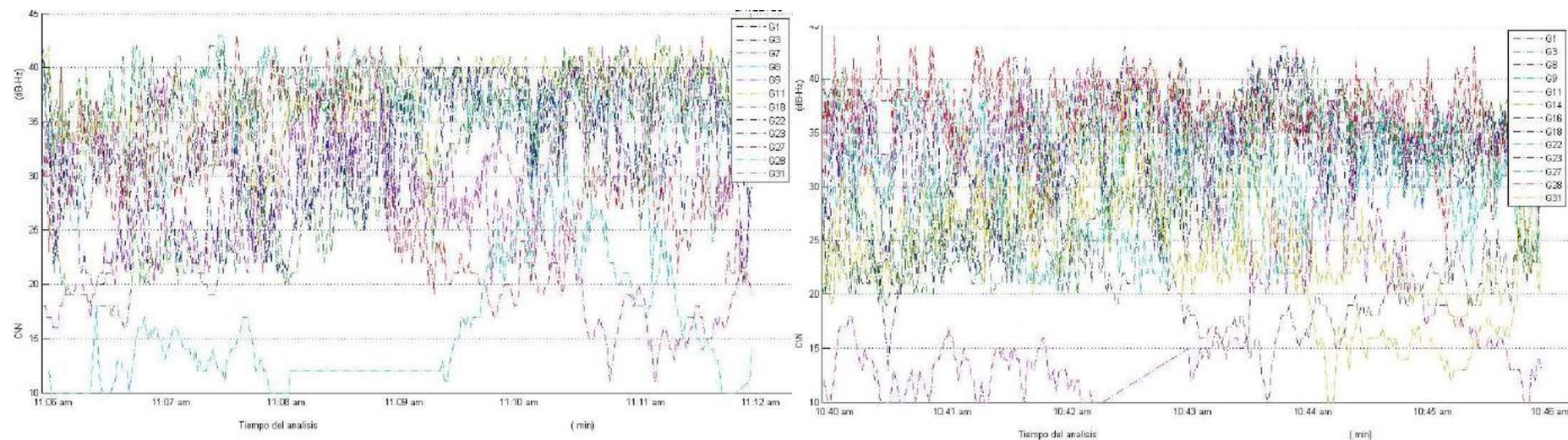
**Figura 7-3:** Relación señal a ruido para el dispositivo de gama alta Parque Maldonado: A la izquierda modo de operación A-GPS, a la derecha SPS.

**Realizado por:** Julio Sagñay, Wilson Freire (2018)

La *figura 13-3*, describe el comportamiento de las señales GPS que llegan al receptor en el instante de la medición, los niveles de la relación señal a ruido en su mayoría son superiores a los 26 dB llegando a picos máximos promedios de 46 dB, para el modo A-GPS, en cambio para SPS toma un promedio de 42 dB, de esto el receptor toma las mejores 4 señales para el cálculo de la posición, en este caso la gran mayoría está disponible.

### 3.2.12 Relación señal a ruido, gama media – Huawei P10Lite-escenario 1

Esta prueba consistió en determinar el comportamiento de la señal GPS a la entrada del dispositivo en el ambiente externo.



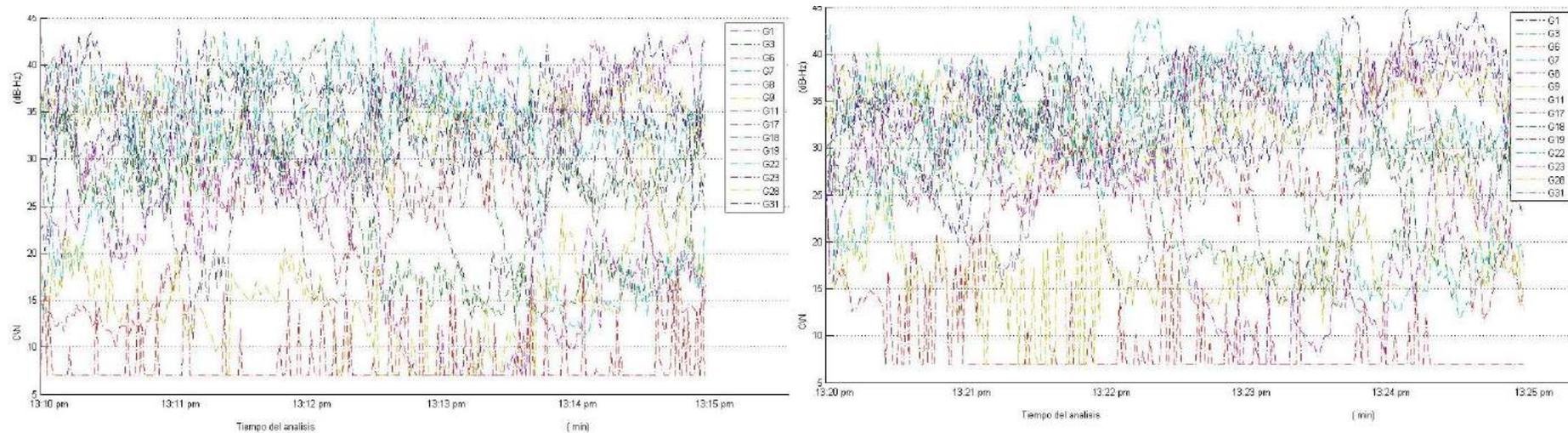
**Figura 8-3:** Relación señal a ruido para el dispositivo de gama media, Parque Maldonado: A la izquierda modo de operación A-GPS, a la derecha SPS.

**Realizado por:** Julio Sagnay, Wilson Freire (2018)

La *figura 14-3*, describe el comportamiento de las señales GPS que llegan al receptor en el instante de la medición, los niveles de la relación señal a ruido en su mayoría son superiores a los 26 dB llegando a picos máximos promedios de 43 dB, para el modo A-GPS, en cambio para SPS toma un promedio de 42 dB, de esto el receptor toma las mejores 4 señales para el cálculo de la posición, en este caso la gran mayoría está disponible.

### 3.2.13 Relación señal a ruido – Gama Alta – Samsung S8-escenario 2

Esta prueba consistió en determinar el comportamiento de la señal GPS a la entrada del dispositivo en el ambiente externo.



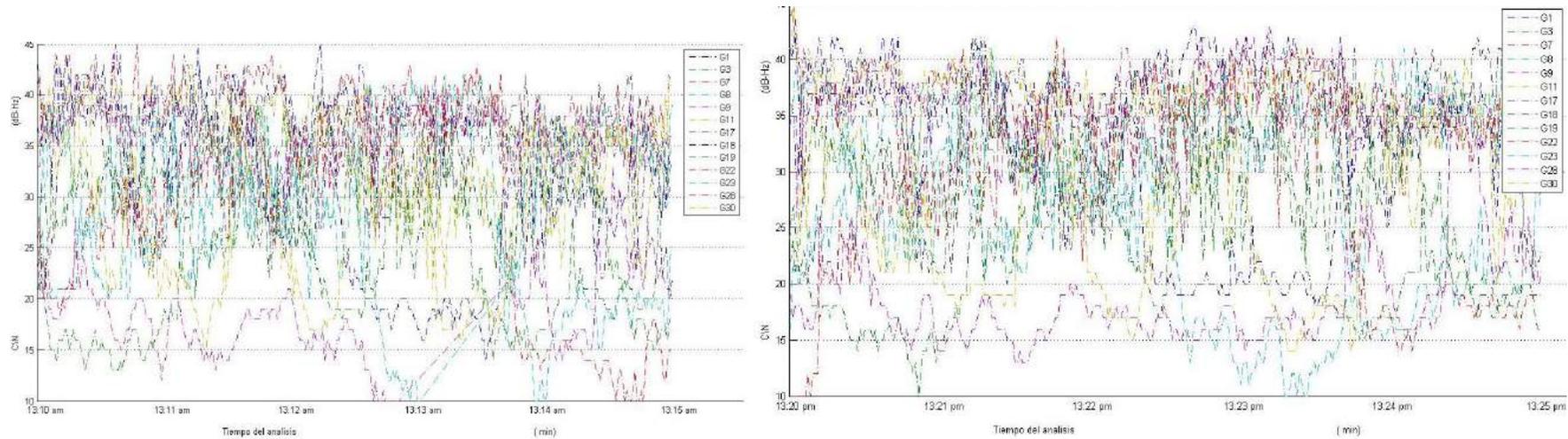
**Figura 9-3:** Relación señal a ruido para el dispositivo de gama alta, Parque Sucre: A la izquierda modo de operación A-GPS, a la derecha SPS.

Realizado por: Julio Sagñay, Wilson Freire (2018)

La *figura 15-3*, describe el comportamiento de las señales GPS que llegan al receptor en el instante de la medición, los niveles de la relación señal a ruido en su mayoría son superiores a los 26 dB llegando a picos máximos promedios de 45 dB, para el modo A-GPS, en cambio para SPS toma un promedio de 41 dB, de esto el receptor toma las mejores 4 señales para el cálculo de la posición, en este caso la gran mayoría está disponible.

### 3.2.14 Relación señal a ruido, gama media – Huawei P10Lite-escenario 2

Esta prueba consistió en determinar el comportamiento de la señal GPS a la entrada del dispositivo en el ambiente externo.



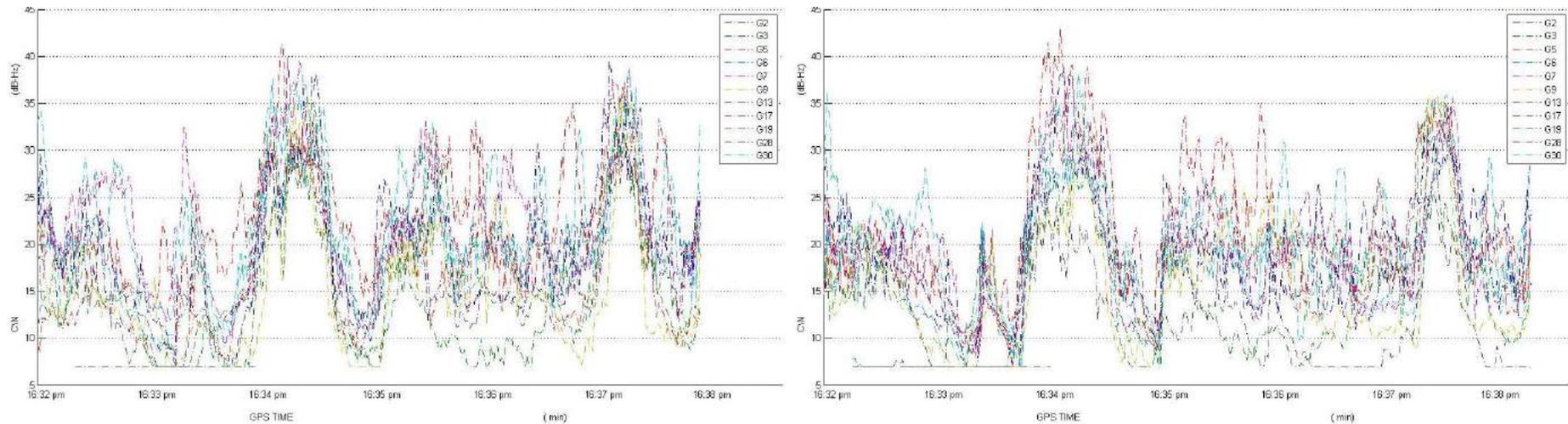
**Figura 10-3:** Relación señal a ruido para el dispositivo de gama media, Parque Sucre: A la izquierda modo de operación A-GPS, a la derecha SPS.

**Realizado por:** Julio Sagnay, Wilson Freire (2018)

La *figura 16-3*, describe el comportamiento de las señales GPS que llegan al receptor en el instante de la medición, los niveles de la relación señal a ruido en su mayoría son superiores a los 26 dB llegando a picos máximos promedios de 46 dB, para el modo A-GPS, en cambio para SPS toma un promedio de 40 dB, de esto el receptor toma las mejores 4 señales para el cálculo de la posición, en este caso la gran mayoría está disponible.

### 3.2.15 Relación señal a ruido – Gama Alta – Samsung S8-escenario 3

Esta prueba consistió en determinar el comportamiento de la señal GPS a la entrada del dispositivo en el ambiente interno.



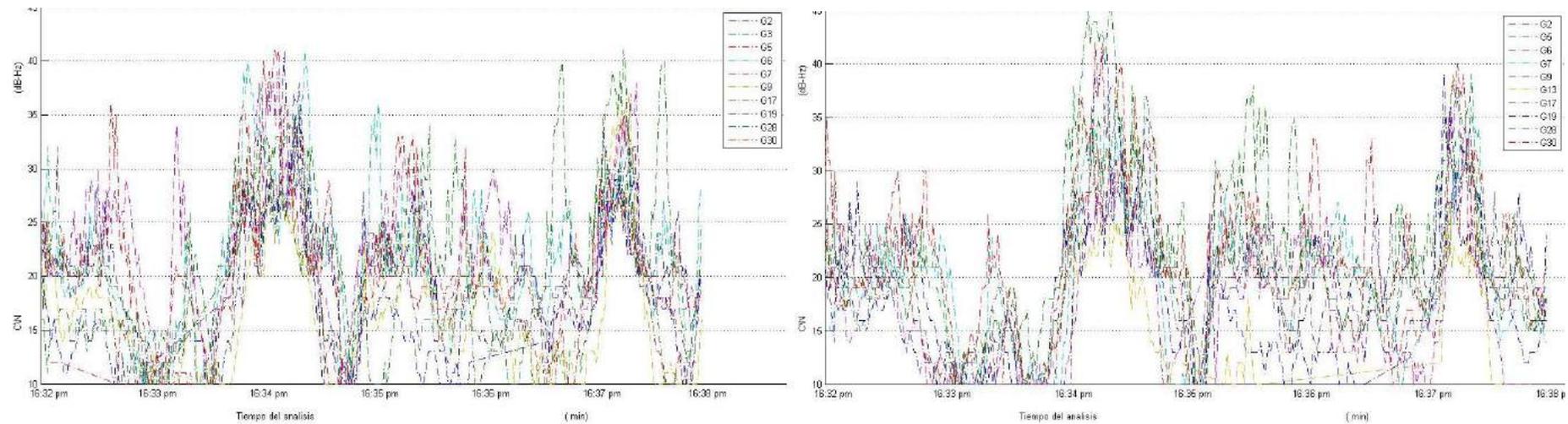
**Figura 17-3:** Relación señal a ruido para el dispositivo gama alta, La Condamine: A la izquierda modo de operación A-GPS, a la derecha SPS.

**Realizado por:** Julio Sagñay, Wilson Freire (2018)

La *figura 17-3*, describe el comportamiento de las señales GPS que llegan al receptor en el instante de la medición, al encontrarse en interiores la señal se atenúa a niveles bajos de lo establecido de los 26 dB y llegando a picos máximos promedios de 35 dB, para el modo A-GPS, en cambio para SPS toma un promedio de 33 dB, de esto el receptor toma las mejores 4 señales para el cálculo de la posición, en este caso la gran mayoría está disponible, el receptor toma las mejores 4 señales para el cálculo de la posición, en este caso pocas están disponibles.

### 3.2.16 Relación señal a ruido – Gama media – Huawei P10Lite-escenario 3

Esta prueba consistió en determinar el comportamiento de la señal GPS a la entrada del dispositivo en el ambiente interno.



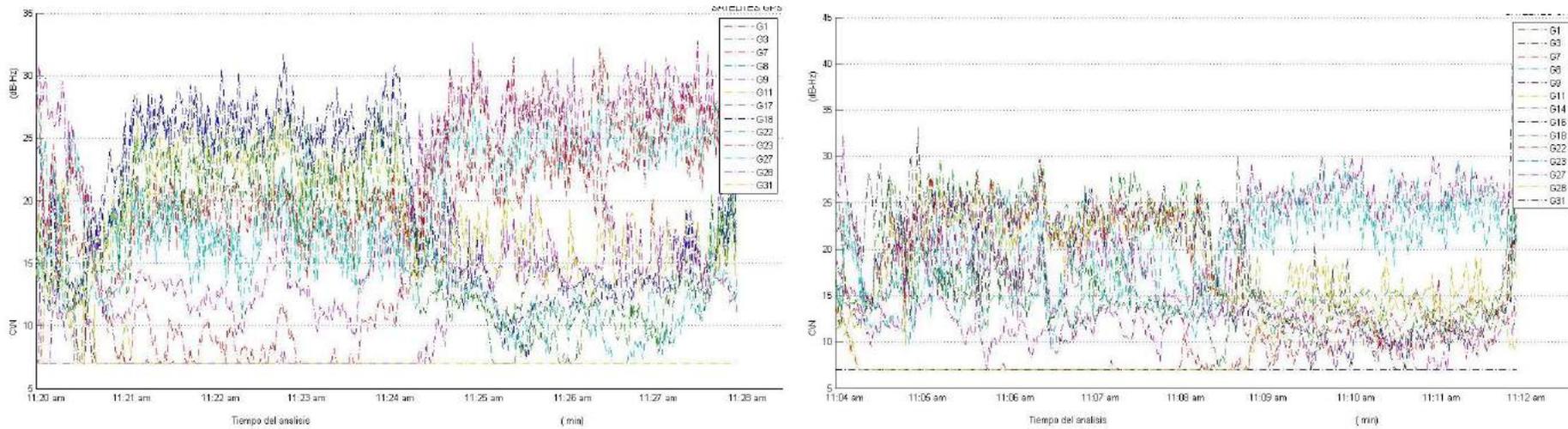
**Figura 11-3:** Relación señal a ruido para el dispositivo gama media, La Condamine: A la izquierda modo de operación A-GPS, a la derecha SPS.

**Realizado por:** Julio Sagñay, Wilson Freire (2018)

La *figura 18-3*, describe el comportamiento de las señales GPS que llegan al receptor en el instante de la medición, al encontrarse en interiores la señal se atenúa a niveles bajos de lo establecido de los 26 dB y llegando a picos máximos promedios de 32 dB, para el modo A-GPS, en cambio para SPS toma un promedio de 35 dB, de esto el receptor toma las mejores 4 señales para el cálculo de la posición, en este caso la gran mayoría está disponible, el receptor toma las mejores 4 señales para el cálculo de la posición, en este caso pocas están disponibles.

### 3.2.17 Relación señal a ruido – Gama Alta – Samsung S8-escenario 4

Esta prueba consistió en determinar el comportamiento de la señal GPS a la entrada del dispositivo en el ambiente interno.



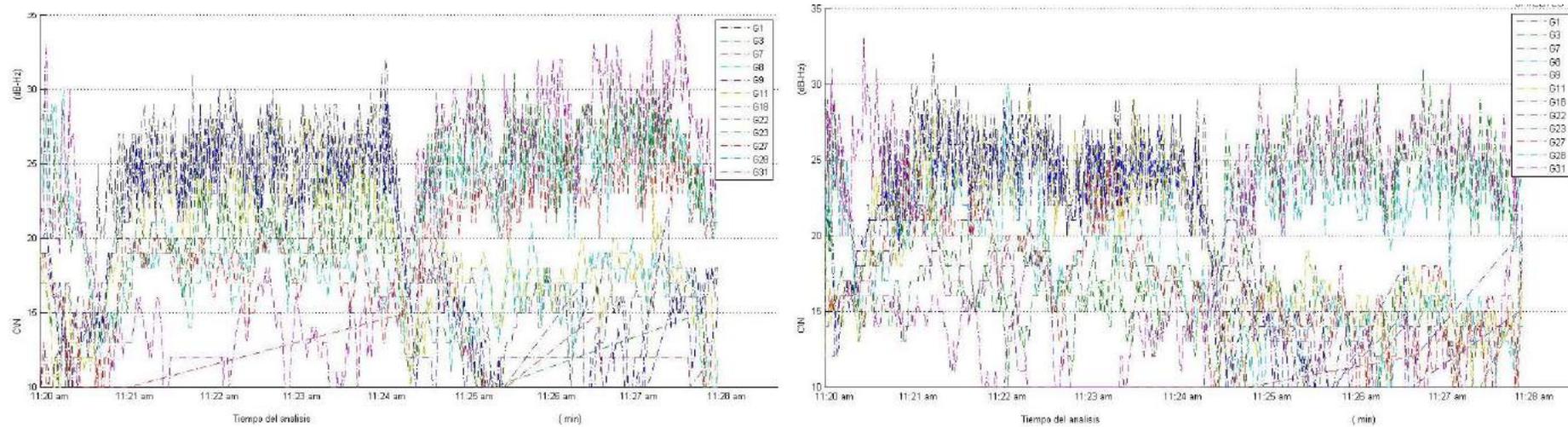
**Figura 12-3:** Relación señal a ruido para el dispositivo gama alta, Paseo Shopping: A la izquierda modo de operación A-GPS, a la derecha SPS.

**Realizado por:** Julio Sagñay, Wilson Freire (2018)

La *figura 19-3*, describe el comportamiento de las señales GPS que llegan al receptor en el instante de la medición, al encontrarse en interiores la señal se atenúa a niveles bajos de lo establecido de los 31 dB y llegando a picos máximos promedios de 32 dB, para el modo A-GPS, en cambio para SPS toma un promedio de 28 dB, receptor toma las mejores 4 señales para el cálculo de la posición, en este caso pocas están disponibles.

### 3.2.18 Relación señal a ruido – Gama media – Huawei P10Lite-Escenario 4

Esta prueba consistió en determinar el comportamiento de la señal GPS a la entrada del dispositivo en el ambiente interno.



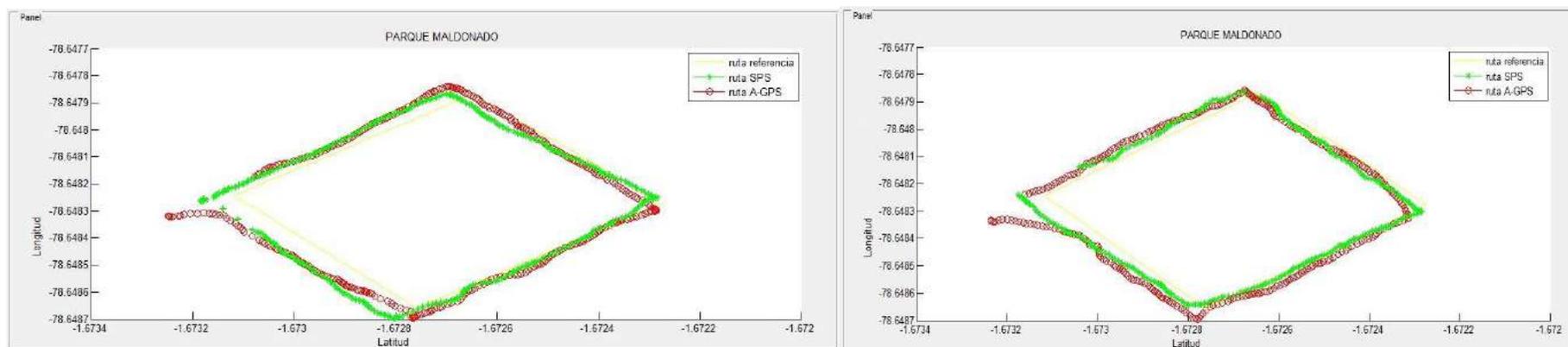
**Figura 13-3:** Relación señal a ruido para el dispositivo gama media, Paseo Shopping: A la izquierda modo de operación A-GPS, a la derecha SPS.

Realizado por: Julio Sagnay, Wilson Freire (2018)

La *figura 20-3*, describe el comportamiento de las señales GPS que llegan al receptor en el instante de la medición, al encontrarse en interiores la señal se atenúa a niveles bajos de lo establecido de los 26 dB y llegando a picos máximos promedios de 28 dB, para el modo A-GPS, en cambio para SPS toma un promedio de 29 dB, receptor toma las mejores 4 señales para el cálculo de la posición, en este caso pocas están disponibles.

### 3.2.19 Coordenadas Geográficas (Latitud, longitud)-escenario 1

Esta prueba consistió en determinar la precisión de los dispositivos usados para la navegación personal.



**Figura 14-3:** Trayectoria evaluados de los dispositivos, Parque Maldonado: A la izquierda gama alta, a la derecha gama media.

**Realizado por:** Julio Sagñay, Wilson Freire (2018)

En la *figura 21-3* se muestra las coordenadas geográficas latitud vs longitud, obtenidas del dispositivo que el tamaño de la muestra de gama alta en modo SPS representado en color verde y AGPS en rojo. Se puede observar el comportamiento de la ubicación en toda la trayectoria de cada uno de los sistemas en relación a su referencia representada en color amarillo.

En Dispositivo de gama alta, se tomaron en cuenta 259 muestras de las cuales solo 214 posiciones fueron validas en el modo SPS teniendo un rendimiento de 82,53% y en A-GPS de 259 muestras 33 de ellas resultaron erróneas provocando un 87,11% de rendimiento para la navegación.

En dispositivo de gama media, se tomaron en cuenta 259 muestras de las cuales solo 244 posiciones fueron validas en el modo SPS teniendo un rendimiento de 94,19% y en A-GPS de 259 muestras 33 de ellas resultaron erróneas provocando un 87,14% de rendimiento para la navegación.

**Tabla 5-3:** Errores de posicionamiento calculados en gama alta y media - escenario 1.

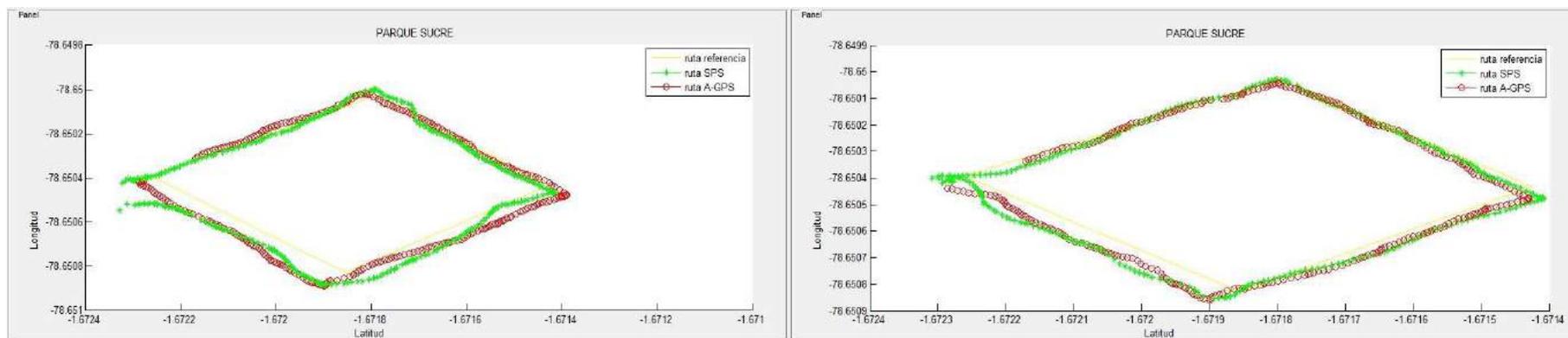
Error (m)	Gama Alta		Gama media	
	SPS	A-GPS	SPS	A-GPS
Media	3,34	2,065	6,62	6,35
Desviación estándar	2,063	1,042	1,96	0,09
Valor máximo	13,94	4,66	3,13	2,65
Valor mínimo	1,17	0,23	1,70	1,43

**Realizado por:** Julio Sagñay, Wilson Freire (2018)

En la *tabla 5-3* se determina los estadísticos descriptivos como media, desviación estándar, máximos, mínimos para estimar la precisión, por lo que el posicionamiento alcanzado en el parque Maldonado con el dispositivo de gama alta en modo SPS se alcanza a 3,13m mientras que en A-GPS es de 2,65m respecto a la referencia que indica que se produjo una reducción del error de 0,48m que representa un 15.35% con respecto a la media, mientras que en receptores de gama media en SPS el error alcanzado es de 3,34m y en A-GPS es de 2,065m equivalente a una reducción de 1,275m representando el 38.17%.

### 3.2.20 Coordenadas Geográficas (Latitud, longitud)-escenario 2

Esta prueba consistió en determinar la precisión de los dispositivos usados para la navegación personal.



**Figura 15-3:** Trayectoria evaluados de los dispositivos, Parque Sucre: A la izquierda gama alta, a la derecha gama media.

**Realizado por:** Julio Sagñay, Wilson Freire (2018)

En la *figura 22-3* se muestra las coordenadas geográficas latitud vs longitud, obtenidas del dispositivo que el tamaño de la muestra de gama alta en modo SPS representado en color verde y AGPS en rojo. Se puede observar el comportamiento de la ubicación en toda la trayectoria de cada uno de los sistemas en relación a su referencia representada en color amarillo.

En dispositivo gama alta, se tomaron en cuenta 291 muestras de las cuales solo 283 posiciones fueron validas en el modo SPS teniendo un rendimiento de 97,31% y en A-GPS de 259 muestras 19 de ellas resultaron erróneas provocando un 93,42% de rendimiento para la navegación.

En dispositivo de gama media, se tomaron en cuenta en, 291 muestras de las cuales solo 290 posiciones fueron validas en el modo SPS teniendo un rendimiento de 99,68% y en A-GPS de 259 muestras 3 de ellas resultaron erróneas provocando un 99% de rendimiento para la navegación.

**Tabla 6-3:** Valores Errores de posicionamiento calculados en gama alta y media - escenario 1.

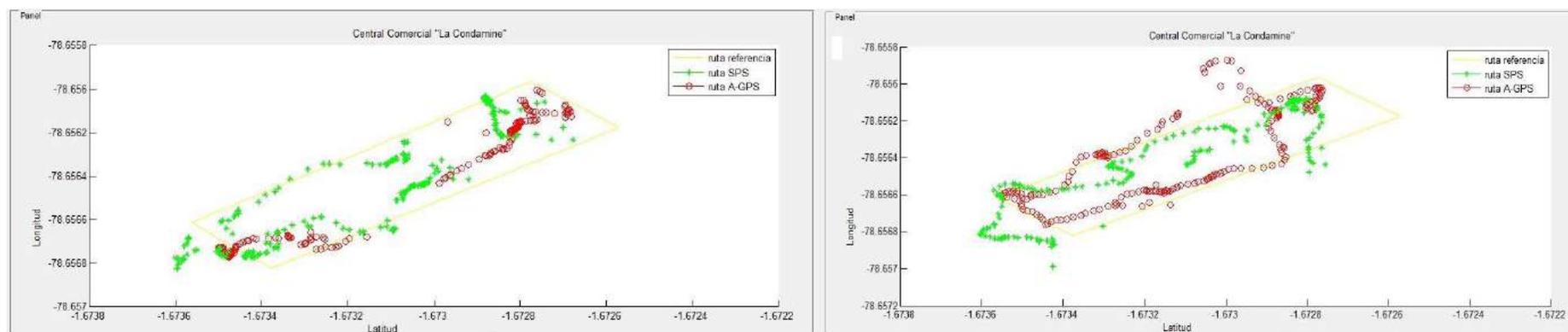
Error(metros)	Gama alta		Gama media	
	SPS	A-GPS	SPS	A-GPS
Media	4,20	3,06	2,65	2,19
Desviación estándar	2,62	1,16	1,72	1,11
Valor máximo	15,98	5,44	7,72	4,53
Valor mínimo	0,23	1,00	1,75	0,12

**Realizado por:** Julio Sagñay, Wilson Freire (2018)

El posicionamiento alcanzado en el parque Sucre con el dispositivo de gama alta en modo SPS se alcanza a 4,20 m mientras que en A-GPS es de 3,06 m respecto a la referencia que indica que se produjo una reducción del error de 1,14 m que representa un 27% con respecto a la media, mientras que en receptores de gama media en SPS el error alcanzado es de 2,65 m y en A-GPS es de 2,19 m equivalente a una reducción de 0,46 m representando el 17%.

### 3.2.21 Coordenadas Geográficas (Latitud, longitud)-escenario 3

Esta prueba consistió en determinar la precisión de los dispositivos usados para la navegación personal.



**Figura 23-3:** Trayectoria evaluados de los dispositivos, La Condamine: A la izquierda gama alta, a la derecha gama media.

**Realizado por:** Julio Sagñay, Wilson Freire (2018)

En la *figura 23-3* se muestra las coordenadas geográficas latitud vs longitud, obtenidas del dispositivo que el tamaño de la muestra de gama alta en modo SPS representado en color verde y AGPS en rojo. Se puede observar el comportamiento de la ubicación en toda la trayectoria de cada uno de los sistemas en relación a su referencia representada en color amarillo.

En gama alta, se tomaron en cuenta 170 muestras de las cuales solo 79 posiciones fueron validas en el modo SPS teniendo un rendimiento de 46,4% y en A-GPS de 170 muestras 91 de ellas resultaron erróneas provocando un 52,87% de rendimiento para la navegación.

En gama media, se tomaron en cuenta 170 muestras de las cuales solo 159 posiciones fueron validas en el modo SPS teniendo un rendimiento de 93,47% y en A-GPS de 170 muestras 11 de ellas resultaron erróneas provocando un 78,42% de rendimiento para la navegación.

**Tabla 7-3:** Errores de posicionamiento en gama alta y media calculados en el escenario 3.

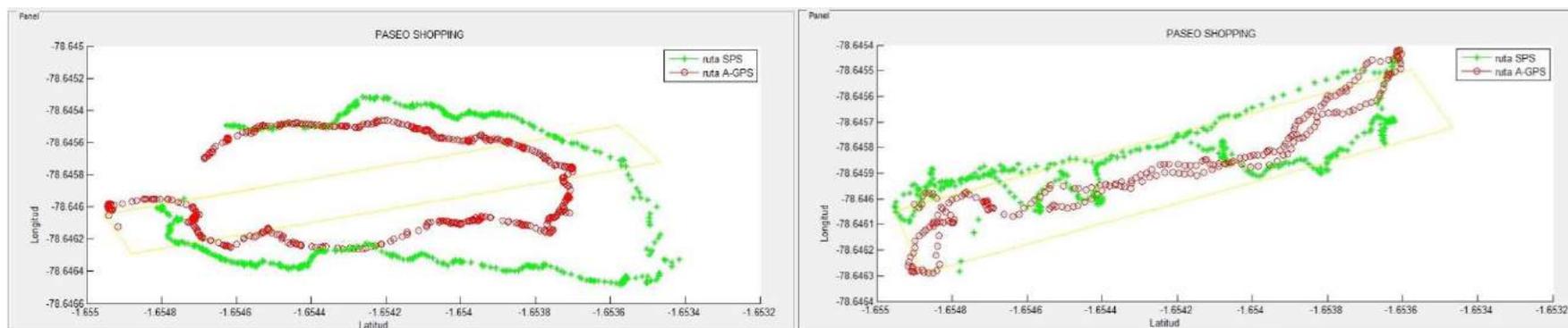
<b>Error</b>	<b>Gama alta</b>		<b>Gama media</b>	
	<b>SPS</b>	<b>A-GPS</b>	<b>SPS</b>	<b>A-GPS</b>
Media	12,32	7,87	9,68	8,39
Desviación estándar	5,89	5,54	6,41	5,28
Valor máximo	41,15	32,03	28,52	20,85
Valor mínimo	2,72	0,90	0,39	0,34

**Realizado por:** Julio Sagñay, Wilson Freire (2018)

El posicionamiento alcanzado en centro comercial “La Condamine” con el dispositivo de gama alta en modo SPS se alcanza a 12,32m mientras que en A-GPS es de 7,87m respecto a la referencia que indica que se produjo una reducción del error de 4,45m que representa un 36% con respecto a la media, mientras que en receptores de gama media en SPS el error alcanzado es de 9,68m y en A-GPS es de 8,39m equivalente a una reducción de 1,29m representando el 13%.

### 3.2.22 Coordenadas Geográficas (Latitud, longitud)-escenario 4

Esta prueba consistió en determinar la precisión de los dispositivos usados para la navegación personal.



**Figura 24-3:** Trayectoria evaluados de los dispositivos, La Condamine: A la izquierda gama alta, a la derecha gama media.

**Realizado por:** Julio Sagñay, Wilson Freire (2018)

En la *figura 24-3* se muestra las coordenadas geográficas latitud vs longitud, obtenidas del dispositivo que el tamaño de la muestra de gama alta en modo SPS representado en color verde y AGPS en rojo. Se puede observar el comportamiento de la ubicación en toda la trayectoria de cada uno de los sistemas en relación a su referencia representada en color amarillo.

En gama alta, se tomaron en cuenta 248 muestras de las cuales solo 172 posiciones fueron validas en el modo SPS teniendo un rendimiento de 69,72% y en A-GPS de 248 muestras 75 de ellas resultaron erróneas provocando un 47.51% de rendimiento para la navegación.

En gama media, se tomaron en cuenta 248 muestras de las cuales solo 243 posiciones fueron validas en el modo SPS teniendo un rendimiento de 98,18% y en A-GPS de 248 muestras 15 de ellas resultaron erróneas provocando un 94% de rendimiento para la navegación.

**Tabla 8-3:** Errores de posicionamiento en gama alta y media calculados en el escenario 4

Error(m)	Gama alta		Gama media	
	SPS	A-GPS	SPS	A-GPS
Media	33,16	21,87	16,40	12,84
Desviación estándar	17,33	8,94	8,30	7,28
Valor máximo	75,36	39,56	36,03	35,68
Valor mínimo	9,61	1,35	1,62	1,33

Realizado por: Julio Sagñay, Wilson Freire (2018)

El posicionamiento alcanzado en el Paseo Shopping con el dispositivo de gama alta en modo SPS se alcanza a 33,16m mientras que en A-GPS es de 21,87m respecto a la referencia que indica que se produjo una reducción del error de 11,29m que representa un 34% con respecto a la media, mientras que en receptores de gama media en SPS el error alcanzado es de 16.42m y en A-GPS es de 12,84m equivalente a una reducción de 3,56m representando el 21%.

### 3.2.23 Comparación de los resultados

Luego de analizar los distintos escenarios se presenta un resumen del rendimiento de la precisión en distintos modos de operación, y la disponibilidad del servicio. Para determinar el rendimiento de los dispositivos móviles se evalúa el porcentaje de posiciones calculadas por el receptor de forma correcta en relación a los puntos tomados para la referencia, es decir que en toda la trayectoria existieron puntos en los que el receptor no proporcionó una coordenada geográfica.

**Tabla 9-3:** Resultados obtenidos en el dispositivo de gama media

	Precisión(m)		Corrección A-GPS (%)	Rendimiento de navegación (%)		Disponibilidad del servicio (%)
	SPS	A-GPS		SPS	A-GPS	
ESCENARIO 1	3,34	2,065	38,17	82,53	87,11	90
ESCENARIO 2	2,65	2,19	17,36	97,31	93,42	
ESCENARIO 3	9,68	8,39	13,32	46,4	52,87	55
ESCENARIO 4	16,40	12,84	21,71	69,72	47,51	

**Realizado por:** Julio Sagnay, Wilson Freire (2018)

En la tabla 9-3 se observa la precisión obtenida en el teléfono Huawei P10Lite en los cuatro escenarios propuestos, teniendo una mayor precisión en el escenario 2 con un error de 2,65m en el que por la intervención de asistencia de GPS logra corregir un 17,36% logrando obtener 2,19m de error, el peor de los caso fue el escenario 4 que por su ubicación en un ambiente interno el error fue más significativo con un valor de 16,40m y la asistencia de GPS a pesar de no tener satélites visibles logra corregir este error un 21,84%.

El rendimiento de la navegación en el escenario 1 en el que se tomaron en cuenta 300 muestras de las cuales solo 284 posiciones fueron validas en el modo SPS teniendo un rendimiento de 82,53% y en A-GPS de 300 muestras 76 de ellas resultaron erróneas provocando un 87,11% de rendimiento para la navegación en ambientes externos.

El peor de los casos en ambientes internos en cuanto al rendimiento de navegación se tiene en el escenario 3 en el que el nivel en modo SPS llega al 46,4% y en A-GPS 52,87%, por lo que en general en escenarios internos el dispositivo de gama media llega a tener un rendimiento de tan solo el 55% de disponibilidad del servicio en comparación al 90% obtenido en escenarios externos.

**Tabla 10-3:** Resultados obtenidos en el dispositivo de gama alta

	Precisión(m)		Corrección A-GPS (%)	Rendimiento de navegación (%)		Disponibilidad del servicio (%)
	SPS	A-GPS		SPS	A-GPS	
ESCENARIO 1	3,13	2,65	15,35	94,19	87,14	95
ESCENARIO 2	4,20	3,06	27,14	99,6875	99,00	
ESCENARIO 3	12,32	7,87	36,18	93,47	78,35	91
ESCENARIO 4	19,16	15,87	34,05	98,18	94,00	

**Realizado por:** Julio Sagnay, Wilson Freire (2018)

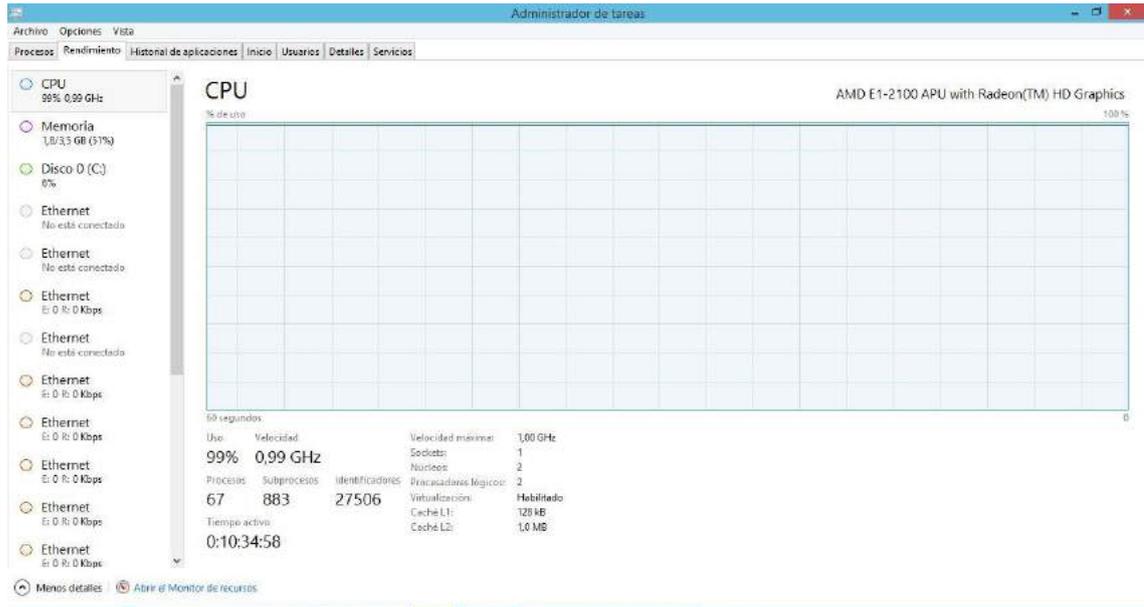
En la tabla 10-3 se observa la precisión obtenida en el teléfono Samsung Galaxy S8 en los cuatro escenarios propuestos, teniendo una mayor precisión en el escenario 1 con un error de 3,13m en el que por la intervención de asistencia de GPS logra corregir un 15,35% logrando obtener 2,65m de error, el peor de los caso fue el escenario 4 que por su ubicación en un ambiente interno el error fue más significativo con un valor de 19,16m y la asistencia de GPS a pesar de no tener satélites visibles logra corregir este error un 15,87% aportando una precisión de 15,87m.

El rendimiento de la navegación en el escenario 2 en el que se tomaron en cuenta 300 muestras de las cuales 297 posiciones fueron validas en el modo SPS teniendo un rendimiento de 99,68% y en A-GPS de las mismas 300 muestras tan solo 5 de ellas resultaron erróneas provocando un 99% aportando un rendimiento óptimo del dispositivo.

El peor de los casos en ambientes externos en cuanto al rendimiento de navegación se tiene en el escenario 3 en el que el nivel en modo SPS llega al 99,68% y en A-GPS 52,87%, por lo que en general en escenarios internos el dispositivo de gama media llega a tener un rendimiento de 91% de disponibilidad del servicio en comparación al 95% obtenido en escenarios externos, por lo que el nivel de rendimiento de navegación no influye en la precisión.

### **3.2.24 Evaluación del rendimiento del software desarrollado**

Por lo tanto, para la lectura de esta información se debe de tomar en cuenta un gran procesamiento del CPU ocupando el 99% de proceso de la computadora, como se observa en la figura 3-2.



**Figura9-3: Procesamiento de la computadora mientras se ejecuta aplicación en Matlab.**  
**Realizado por:** Julio Sagnay, Wilson Freire (2018)

Debido a la gran cantidad de datos que debe importar y manejar en Matlab, el tiempo de la ejecución del programa depende directamente del procesamiento de los datos en el CPU por ello es recomendable tener una computadora con un procesador suficientemente bueno para que realice de una manera rápida y correcta, en el pre-procesamiento y visualización de los parámetros.

## CONCLUSIONES

Se desarrolló una aplicación que se denomina *AGPSLAB*, donde se carga los archivos .txt de las mediciones realizadas, que permite realizar las gráficas de los parámetros necesarios para determinar el comportamiento de precisión en los dispositivos móviles Android en los modos de posicionamiento SPS y A-GPS.

Se presenta una interfaz gráfica para la interacción entre usuarios y máquina con opciones de selección de las gamas de los dispositivos y los parámetros de análisis establecidos y plasmarlos en gráficas individuales y grupales.

Para el análisis del rendimiento de la navegación en el ambiente interno con el dispositivo de gama alta, en el Centro Popular la Condamine el error obtenido para el modo SPS fue de 12,32m que con la intervención de la asistencia de GPS se logró reducir a 7,87m respecto a la referencia.

La precisión obtenida en el teléfono de gama media en el Paseo Shopping en el modo SPS fue de 9,68m que se logró disminuir con el uso de correcciones enviadas por la red móvil a 8,39m obtenidas en A-GPS.

El rendimiento de navegación en ambiente externo en el dispositivo gama alta fue de 95% de puntos válidos, presentando para el escenario 1 un error de 3,13m en modo SPS que mediante la asistencia de GPS se logró reducir a 2,65m, por otro lado, en el escenario 2 el error es 4,20m se redujo a 3,06m.

Para el dispositivo gama media, se obtuvo un rendimiento de navegación en ambientes externos de 90% con errores en las mediciones de 3,34m en SPS y gracias a la asistencia de GPS se redujo a 2,065m de A-GPS para el escenario 1, mientras que en el escenario 2 el error obtenido en SPS de 2.65m se logró corregir a 2.19m por la intervención de la asistencia de GPS.

Los dispositivos móviles con tecnología celular cuentan con un conjunto integrado de chips GPS, que son diseñados específicamente para obtener la ubicación del teléfono, que gracias a los resultados obtenidos en los escenarios de medición, la precisión alcanzada no representa un cambio significativo, por lo que se puede decir que la precisión de la ubicación no depende de la gama del dispositivo, si no de las condiciones presentadas al momento de realizar las mediciones.

## **RECOMENDACIONES**

Para futuras investigaciones donde el número de muestras obtenidas es demasiado extenso, se debería utilizar computadores que cuenten con capacidades de procesamiento altos, para optimizar el tiempo de respuesta de los parámetros requeridos.

Realizar pruebas similares en otros dispositivos Android que soporten las mediciones de GNSS.

Se recomienda determinar la precisión en dispositivos Android aplicando otras técnicas de posicionamiento interno utilizando tecnologías inerciales e inalámbricas propias del dispositivo.

Realizar el análisis de precisión realizado en este trabajo de titulación para nuevos escenarios urbanos.

## BIBLIOGRAFÍA

**ÁLVAREZ GARCÍA, A.D.**, *Sistema GNSS (GLOBAL NAVIGATION SATELLITE SYSTEM)(Tesis)* [en línea]. S.l.: Universidad Autónoma de Madrid. 2008. [Consulta: 24 junio 2018]. Disponible en: <http://arantxa.ii.uam.es/~jms/pfcsteleco/lecturas/20080125DavidGarcia.pdf>.

**ANTONIO, J. y SOBRINO, S.**, Fuentes de error en GPS y modelización. . S.l.: s.n., 2009. pp. 285-329.

**AYALA RAMÍREZ, A. y HASBUN BARDALES, M.M.**, *aplicaciones y uso de la tecnología de gps diferencial de doble frecuencia con precisión centimétrica en el área de levantamiento y replanteo topográfico georeferenciado.* [en línea]. S.l.: UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR. 2012. Disponible en: [http://ri.ues.edu.sv/1762/1/TESIS\\_DE\\_GPS\\_DIFERENCIAL\\_EN\\_PDF.pdf](http://ri.ues.edu.sv/1762/1/TESIS_DE_GPS_DIFERENCIAL_EN_PDF.pdf).

**BECVAR, Z., MACH, P. y PRAVDA, I.**, *Redes móviles.* S.l.: s.n. 2013. ISBN 9788001053072.

**BERROCOSO D., M.**, LOS SISTEMAS GNSS :LA ÚLTIMA REVOLUCIÓN GEODÉSICA. , 2012.

**CANSECO TORRES, M.**, Hacking y Seguridad en Redes de Telefonía Móvil. [en línea]. S.l.: s.n., 2015. [Consulta: 24 junio 2018]. Disponible en: [https://www.owasp.org/images/0/0b/OWASP\\_MCT.pdf](https://www.owasp.org/images/0/0b/OWASP_MCT.pdf).

**CHANG, E. y BACIU, G.**, *Introduction to wireless localization with iPhone SDK examples.* S.l.: s.n. 2012.

**CRIOLLO ROMÁN, C.M.**, *Escuela politécnica nacional* [en línea]. S.l.: Escuela politécnica nacional. 2008. Disponible en: <file:///C:/Users/HOGAR/Downloads/CD-2042.pdf>.

**DEPARTMENT OF DEFENSE, U.S.**, Global Positioning System Standard Positioning Service. *Www.Gps.Gov* [en línea], 2008. p. 1-160. Disponible en: <http://www.gps.gov/technical/ps/2008-SPS-performance-standard.pdf>.

**DeTopografía.** [en línea], 2012. [Consulta: 25 junio 2018]. Disponible en:

<http://detopografia.blogspot.com/p/apuntes-topografia-geodesia-cartografia.html>.

**El Android libre.** [en línea], [sin fecha]. [Consulta: 13 julio 2018]. Disponible en: <https://elandroidlibre.elespanol.com/2012/12/cmo-est-estructurado-el-gps-en-android.html>.

**FALLAS, J.**, Sistema de posicionamiento global. *Universidad Nacional* [en línea], 2015. p. 48. Disponible en: [http://www.ucipfg.com/Repositorio/MGAP/MGAP-05/BLOQUE-ACADEMICO/Unidad-3/complementarias/Sistemas\\_de\\_posicionamiento\\_global.pdf](http://www.ucipfg.com/Repositorio/MGAP/MGAP-05/BLOQUE-ACADEMICO/Unidad-3/complementarias/Sistemas_de_posicionamiento_global.pdf).

**FEDERAL GEOGRAPHICAL DATA COMMITTEE**, Geospatial Positioning Accuracy Standards Part 3 : National Standard for Spatial Data Accuracy. *National Spatial Data Infrastructure* [en línea], 1998. p. 28. DOI FGDC-STD-007.3-1998. Disponible en: <http://www.fgdc.gov/standards/projects/FGDC-standards-projects/accuracy/part3/chapter3>.

**GIMÉNEZ, T. y ROS, M.E.**, Sistema de Posicionamiento Global (GPS): *Sociedad de Especialistas Latinoamericanos en Percepción Remota y Sistemas de Información Espacial Sesión*, 2010.

**GUEVARA TOLEDO, A.P. y VÁSQUEZ ALARCÓN, V.G.**, *Estado actual de las redes LTE en Latinoamérica*. S.l.: s.n. 2013.

**HARPER, N. et al.**, Process for improving GPS acquisition assistance data and server-side location determination for cellular networks. *Global Positioning Systems* [en línea], 2004. p. 132-142. Disponible en: <http://www.sage.unsw.edu.au/wang/jgps/v3n12/v3n12p18.pdf>.

**HERNÁNDEZ, M., JUAN ZORNOZA, J. y SANZ SUBIRANA, J.**, Procesado de Datos GPS: código y fase Algoritmos, Técnicas y Recetas. [en línea], 2001. [Consulta: 24 junio 2018]. Disponible en: [http://gage.upc.edu/sites/default/files/TEACHING\\_MATERIAL/GPS\\_BOOK/CASTELLANO/PDGPS/LIBRO\\_PDGPS\\_gAGE\\_NAV\\_08.pdf](http://gage.upc.edu/sites/default/files/TEACHING_MATERIAL/GPS_BOOK/CASTELLANO/PDGPS/LIBRO_PDGPS_gAGE_NAV_08.pdf).

**HOLANDA BLAS, M.P. y BERMEJO ORTEGA, J.C.**, *Gps & glonass Descripción y Aplicación*. S.l.: s.n. 1998.

**HOYER, M.**, Conceptos Básicos Del Posicionamiento Gns En Tiempo Real. Ntrip Y Tópicos Relacionados Con El Tema. , 2002.

**IBAÑES, S., GISBERT, J.M. y MORENO, H.**, Geográficas. , [sin fecha]. p. 8.

**INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTIN CODAZZI**, mejora de los sistemas de cartografía del territorio colombiano. Capitulo 4 sistema de posicionamiento global - GPS . [en línea], 2013. p. 26-37. Disponible en: [ftp://gisweb.ciat.cgiar.org/DAPA/planificacion/GEOMATICA/GPS/GPS\\_Modulo.pdf](ftp://gisweb.ciat.cgiar.org/DAPA/planificacion/GEOMATICA/GPS/GPS_Modulo.pdf).

**JAMES BAO, Y.T.**, *Fundamentals of Global Positioning System Receivers*. S.l.: s.n. 2013. ISBN 9788578110796.

**JARAMILLO V., R.**, Simulación de las etapas de adquisición y tracking de un receptor GPS. , 2014. p. 1-165.

**JOHANSSON, F. et al.**, GPS Satellite Signal Acquisition and Tracking. , 1998.

**JULIEN, O.**, *future gnss signal*. Toulouse, Francia: s.n. 2014.

Leap Seconds. [en línea], [sin fecha]. [Consulta: 19 junio 2018]. Disponible en: <http://tycho.usno.navy.mil/leapsec.html>.

**LISSAI, G.**, Assisted GPS Solution in Cellular Networks. *Control*, 2006. p. 129.

**MANUEL, A.E.**, *GNSS: descripción, análisis y comparación con los sistemas de navegación por satélites(Tesis)* [en línea]. S.l.: Universidad Nacional de Cordoba. 2012. [Consulta: 24 junio 2018]. Disponible en: <http://www.bibliotecacpa.org.ar/greenstone/collect/facagr/index/assoc/HASHa7ae.dir/doc.pdf>.

**PEÑAFIEL, J. y ZAGAS, J.**, Fundamentos del sistema gps y aplicaciones en la topografía. *Colegio Oficial de Ingenieros Tecnicos en Topografia*, 2001. p. 1-135.

**PÉREZ MONTOYA, C.D.**, *Implementación de los algoritmos de seguimiento de la señal GPS sobre dispositivos lógicos programables (FPGA)(tesis)(posgrado)*. S.l.: Instituto Politécnico Nacional. 2009.

**PIETILÄ, S. et al.**, Mobile Location Applications and Enabling Technologies. *Technology*, 2002. p. 385-395.

**POGO BUSTAMANTE, J.K.**, *Análisis de los servicios de telecomunicaciones móviles en el Ecuador*. S.l.: Escuela politécnica del Ejército. 2011.

**Raw GNSS Measurements**. [en línea], [sin fecha]. [Consulta: 4 junio 2018]. Disponible en: <https://developer.android.com/guide/topics/sensors/gnss>.

**REYES AGUILAR, J.**, *Detección de señales del Sistema de Posicionamiento Global (GPS) usando MATLAB*. [en línea]. S.l.: Univerdidad Central «Marta Abreu» de las Villas. 2012. Disponible en: <http://cenida.una.edu.ni/Tesis/tnh60s164e.pdf>.

**RIBADEINERA, J.**, *Introducción a los sistemas moviles celulares*. [en línea]. S.l.: s.n., 2016. [Consulta: 4 abril 2018]. Disponible en: <https://www.dropbox.com/h>.

**SANZ, J. y ZORNOZA, J.**, *Introduction to DGNSS*. [en línea], 2015. [Consulta: 25 junio 2018]. Disponible en: [http://gage6.upc.es/eknot/Professional\\_Training/PDF/IntroductionDGNSS.pdf](http://gage6.upc.es/eknot/Professional_Training/PDF/IntroductionDGNSS.pdf).

**SANZ SUBIRANA, J., ZORNOZA, J.M.J. y HERNÁNDEZ PAJARES, M.**, *GNSS DATA PROCESSING Volume I: Fundamentals and Algorithms Acknowledgements*. [en línea], 2013. [Consulta: 24 junio 2018]. Disponible en: [http://www.navipedia.net/GNSS\\_Book/ESA\\_GNSS-Book\\_TM-23\\_Vol\\_I.pdf](http://www.navipedia.net/GNSS_Book/ESA_GNSS-Book_TM-23_Vol_I.pdf).

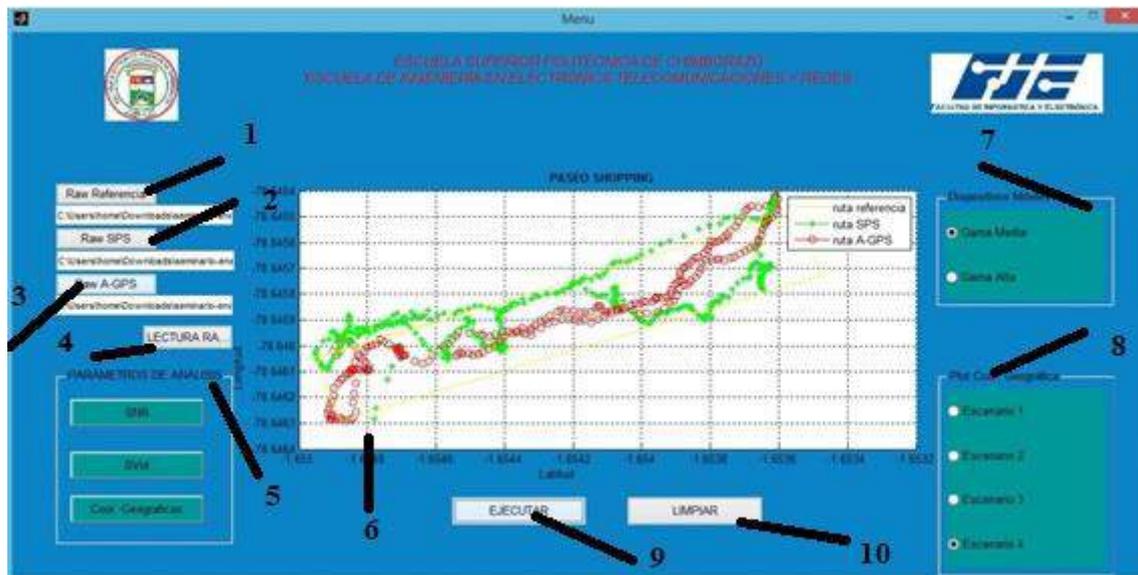
**TAKASU, T. y YASUDA, A.**, *GNSS Precise Positioning with RTKLIB Part 2. IPNT-J Seminar* [en línea], 2011. p. 94. Disponible en: [http://www.rtklib.com/rtklib\\_document.htm](http://www.rtklib.com/rtklib_document.htm).

**VÁZQUEZ, R.M.**, *Localización y Seguimiento por GPS con Android*. S.l.: s.n. 2011. xatakandroid. [en línea], [sin fecha]. [Consulta: 13 julio 2018]. Disponible en: <https://www.xatakandroid.com/respuestas/como-debe-ser-un-terminal-para-ser-gama-alta-media-o-baja>.

## ANEXOS

### Anexo A. USO DE LA APLICACIÓN AGPS-LAB

En este Anexo muestra el funcionamiento del programa desarrollado en GUI de MatLab para un fácil manejo del usuario. En la en la siguiente figura muestra la aplicación AGPS-LAB donde podemos cargar archivos de Datos en Bruto (Raw Data) en modo A-GPS y SPS, como también la medición de referencia y aplicar el procesamiento y manejo de datos para visualizar los parámetros (relación señal a ruido, satélites en vista y coordenadas geográficas), para el análisis de interés a través de que permiten evaluar la calidad de información recibida en receptores móviles.



#### Funcionamiento

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

##### 1.- RAW REFERENCE

En este botón se selecciona el archivo de la referencia, donde el número nos indica el año y la letra la extensión del archivo.

##### 2.- RAW SPS

Se ingresa al archivo de medición en modo SPS

##### 3.- RAW A-GPS

Se ingresa al archivo de medición en modo A-GPS

##### 4.- Lectura RINEX

En este botón se carga todos los archivos de los escenarios medidos.

### **5.- Parámetros de análisis.**

Se observa como: SVid, relación señal a ruido

### **6.- Plot**

Se visualiza los parámetros establecidos.

### **7.- Selección de teléfonos**

Se elige dispositivo de gama media y alta.

### **8.- Selección de teléfonos**

Se elige el cualquier escenario planteado.

### **9.-Procesamiento y Manejo de datos.**

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

### **10.- Limpiar**

Limpia los datos que está en la aplicación.

