



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

**“ANÁLISIS DE LA TÉCNICA DE CORRECCIÓN DE**  
**POSICIONAMIENTO PRECISO “RTK” UTILIZANDO SISTEMAS**  
**DE NAVEGACIÓN MULTICONSTELACIÓN PARA ANALIZAR**  
**LA PRECISIÓN EN LA POSICIÓN FINAL (PVT).”**

**Trabajo de titulación**

Tipo: Propuesta Tecnológica

Presentado para optar el grado académico de:

**INGENIERO EN ELECTRÓNICA, TELECOMUNICACIONES Y**  
**REDES**

**AUTOR:**

**SANTIAGO MARCELO VELASCO ÁLVAREZ**

Riobamba – Ecuador

2021



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

**“ANÁLISIS DE LA TÉCNICA DE CORRECCIÓN DE**  
**POSICIONAMIENTO PRECISO “RTK” UTILIZANDO SISTEMAS**  
**DE NAVEGACIÓN MULTICONSTELACIÓN PARA ANALIZAR**  
**LA PRECISIÓN EN LA POSICIÓN FINAL (PVT).”**

**Trabajo de titulación**

Tipo: Propuesta Tecnológica

Presentado para optar el grado académico de:

**INGENIERO EN ELECTRÓNICA, TELECOMUNICACIONES Y**  
**REDES**

**AUTOR: SANTIAGO MARCELO VELASCO ÁLVAREZ**

**TUTOR: Ing. MÓNICA ANDREA ZABALA HARO.**

Riobamba – Ecuador

2021

**©2021, Santiago Marcelo Velasco Álvarez.**

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

Yo, SANTIAGO MARCELO VELASCO ÁLVAREZ, declaro que el presente trabajo de titulación es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

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

Riobamba, 6 de septiembre de 2021



---

**Santiago Marcelo Velasco Álvarez**

**C.I: 060440909-4**



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA**

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

El Tribunal del Trabajo de Titulación certifica que: El trabajo de titulación: Tipo: Propuesta Tecnológica, **“ANÁLISIS DE LA TÉCNICA DE CORRECCIÓN DE POSICIONAMIENTO PRECISO “RTK” UTILIZANDO SISTEMAS DE NAVEGACIÓN MULTICONSTELACIÓN PARA ANALIZAR LA PRECISIÓN EN LA POSICIÓN FINAL (PVT).”**, realizado por el señor: SANTIAGO MARCELO VELASCO ÁLVAREZ, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del trabajo de titulación, el mismo que cumple con los requisitos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

NOMBRE

FIRMA

FECHA

Ing. Washington Gilberto Luna E. Mgs.

**PRESIDENTE DEL TRIBUNAL**

\_\_\_\_\_

**16-09-2021**

Ing. Mónica Andrea Zabala Haro Mgs.

**DIRECTORA DEL TRABAJO DE  
TITULACIÓN**

\_\_\_\_\_

**16-09-2021**

Ing. Jefferson Ribadeneira Ramírez PhD

**MIEMBRO DEL TRIBUNAL**

\_\_\_\_\_

**16-09-2021**

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo de titulación lo dedico principalmente a Dios, a mi abuelita Esther Luna que fue el motor principal de mis estudios, a mis padres que me supieron guiar de la manera adecuada a través de todo mi proceso de educación, con los valores y principios necesarios para formarme como un ciudadano de bien al servicio de la sociedad. Y a cada uno de mis maestros que mediante su conocimiento supieron compartirlo de la mejor manera, dándome así las bases necesarias para el desarrollo del conocimiento.

Santiago

## **AGRADECIMIENTO**

Primeramente, agradecer a Dios y a la virgen Dolorosa, por permitirme terminar de manera satisfactoria la carrera. Agradezco a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo y a todos los docentes que me supieron acompañar y guiar en mi proceso de formación a lo largo del estudio de la carrera de Ingeniería en Electrónica, Telecomunicaciones y Redes. Agradezco a mis padres: Marcelo y Vilma por darme la oportunidad de formarme de manera profesional y a toda mi familia en general, que supieron brindarme siempre el apoyo necesario para continuar mi proceso de formación a lo largo de todo el período académico. Agradezco a cada uno de mis compañeros que mediante su apoyo me supieron ayudar y guiar de manera incondicional.

Finalmente agradezco a la Ingeniera Mónica Zavala y al Ingeniero Mauro Hidalgo que fueron de especial ayuda para el desarrollo del presente trabajo de titulación.

Santiago

## TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	x
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiii
ÍNDICE DE ECUACIONES .....	xv
ÍNDICE DE ABREVIATURAS .....	xvi
ÍNDICE DE ANEXOS .....	xvii
RESUMEN .....	xviii
SUMMARY .....	xix
INTRODUCCIÓN .....	1

## CAPÍTULO I

<b>1. MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>6</b>
<b>1.1. GNSS (Sistema Global de Navegación por Satélite).....</b>	<b>6</b>
<i>1.1.1 Historia de GNSS .....</i>	<i>6</i>
<i>1.1.2. Funcionamiento y componentes de los sistemas GNSS.....</i>	<i>7</i>
<i>1.1.2.1. Segmento Espacial .....</i>	<i>7</i>
<i>1.1.2.2. Segmento de Control .....</i>	<i>8</i>
<i>1.1.2.3. Segmento de Usuario.....</i>	<i>8</i>
<i>1.1.3. Errores UERE (User Equivalent Range Errors) .....</i>	<i>8</i>
<i>1.1.3. Aplicaciones de GNSS.....</i>	<i>9</i>
<i>1.1.4. Señales GNSS.....</i>	<i>10</i>
<i>1.1.4.1. Atribución de Frecuencias .....</i>	<i>10</i>
<i>1.1.4. Clasificación de los Sistemas de GNSS.....</i>	<i>11</i>
<b>1.2. GPS.....</b>	<b>11</b>
<i>1.2.1. Señal de GPS.....</i>	<i>12</i>
<b>1.3. GLONASS.....</b>	<b>14</b>
<i>1.3.1. Señales de GLONASS. ....</i>	<i>14</i>

<b>1.4.</b>	<b>Galileo</b> .....	16
<b>1.4.1.</b>	<b>Señal Galileo</b> .....	16
<b>1.5.</b>	<b>Beidou</b> .....	18
<b>1.5.1.</b>	<b>Señales de Beidou</b> .....	18
<b>1.7.</b>	<b>Técnicas de corrección:</b> .....	22
<b>1.7.1.</b>	<b>Diferencial de GPS (DGPS)</b> .....	23
<b>1.7.1.1.</b>	<b>Dispersión de la precisión (DOP)</b> .....	23
<b>1.7.2.</b>	<b>NTRIP</b> .....	25
<b>1.7.3.</b>	<b>PPP (Precise Point Positioning)</b> .....	25
<b>1.7.4.</b>	<b>RTK (Real Time Kinematic)</b> .....	26
<b>1.7.5.</b>	<b>NRTK</b> .....	29
<b>1.8.1.</b>	<b>Ublox Neo 6m</b> .....	31
<b>1.8.2.</b>	<b>Ublox Neo/Leo M8T</b> .....	31
<b>1.8.3.</b>	<b>C099-F9P- Tarjeta de aplicación con multiconstelación</b> .....	32
<b>1.8.3.1.</b>	<b>Rendimiento de la tarjeta con ZED F9P:</b> .....	33
<b>1.8.3.2.</b>	<b>Rendimiento de la tarjeta en diferentes modos de posicionamiento GNSS.</b> .....	33
<b>1.8.3.3.</b>	<b>Diagrama de Bloques de la tarjeta de aplicación</b> .....	34
<b>1.9.</b>	<b>Multi-constelación</b> .....	34
<b>1.10.</b>	<b>Multi-frecuencia</b> .....	36
<b>1.9.1.</b>	<b>Servicios futuros de multifrecuencia con GNSS</b> .....	37
<b>1.11.1.</b>	<b>Agricultura de precisión</b> .....	38
<b>1.11.2.</b>	<b>Topografía.</b> .....	39
<b>1.11.3.</b>	<b>Aerofotogrametría Inteligente.</b> .....	39
<b>1.11.4.</b>	<b>Aviación</b> .....	40
<b>1.12.</b>	<b>ESTÁNDAR RTCM</b> .....	40
<b>1.12.1.</b>	<b>ESTÁNDAR RTCM 3.X</b> .....	41
<b>1.12.2.</b>	<b>RTCM ITRF modelos Geodésicos.</b> .....	43
<b>1.13.1.</b>	<b>Visor de la red GNSS del Ecuador</b> .....	46
<b>1.14.</b>	<b>Software RTKlib</b> .....	46

## CAPÍTULO II

<b>2.1.</b>	<b>Metodología de la investigación.....</b>	<b>49</b>
<b>2.1.1.</b>	<b><i>Tipo de investigación .....</i></b>	<b>49</b>
<b>2.1.2.</b>	<b><i>Métodos de investigación.....</i></b>	<b>49</b>
<b>2.1.3.</b>	<b><i>Técnicas de investigación.....</i></b>	<b>49</b>
<b>2.2.</b>	<b>Receptor móvil (Rover).....</b>	<b>50</b>
<b>2.2.1.</b>	<b><i>Operación del Rover .....</i></b>	<b>50</b>
<b>2.2.1.1.</b>	<b><i>Mensajes de generados de la tarjeta de aplicación. ....</i></b>	<b>51</b>
<b>2.3.</b>	<b>Escenarios planteados .....</b>	<b>55</b>
<b>2.3.1.</b>	<b><i>Escenario 1:.....</i></b>	<b>56</b>
<b>2.3.1.1.</b>	<b><i>Configuración Rover .....</i></b>	<b>56</b>
<b>2.3.1.2.</b>	<b><i>Configuración RTKNAVI.....</i></b>	<b>58</b>
<b>2.3.1.3.</b>	<b><i>Configuración de Entradas. ....</i></b>	<b>58</b>
<b>2.3.1.4.</b>	<b><i>Configuración de Salidas. ....</i></b>	<b>58</b>
<b>2.3.1.5.</b>	<b><i>Punto de precisión en el mejor y peor de los casos .....</i></b>	<b>60</b>
<b>2.3.2.</b>	<b><i>Escenario 2 .....</i></b>	<b>61</b>
<b>2.3.2.1.</b>	<b><i>Prueba en movimiento con NTRIP .....</i></b>	<b>64</b>
<b>2.3.2.2.</b>	<b><i>Prueba en movimiento sin NTRIP. ....</i></b>	<b>65</b>
<b>2.3.3.</b>	<b><i>Escenario 3 .....</i></b>	<b>65</b>
<b>2.3.3.1.</b>	<b><i>Conexión en tiempo real con NTRIP. ....</i></b>	<b>65</b>
<b>2.3.3.2.</b>	<b><i>Trayectoria 1 en el parque del estudiante con NTRIP.....</i></b>	<b>67</b>
<b>2.3.3.3.</b>	<b><i>Conexión Sin NTRIP. ....</i></b>	<b>67</b>
<b>2.3.3.4.</b>	<b><i>Trayectoria 2 escenario 1 sin NTRIP .....</i></b>	<b>68</b>
<b>2.3.3.5.</b>	<b><i>Conexión utilizando únicamente la constelación de GPS.....</i></b>	<b>69</b>
<b>2.5.</b>	<b><i>Diseño del sistema. ....</i></b>	<b>73</b>

## CAPITULO III

<b>ANÁLISIS DE RESULTADOS .....</b>	<b>74</b>
<b>3.1. Resultados Escenario 1.....</b>	<b>74</b>
<i>3.1.1. Puntos de medición en el escenario 1: .....</i>	<i>74</i>
<i>3.1.1.1. Resultados con GPS .....</i>	<i>76</i>
<i>3.1.1.2. Resultados con GPS+Galileo.....</i>	<i>76</i>
<i>3.1.1.3. Resultados con GPS+Galileo+Beidou. ....</i>	<i>77</i>
<i>3.1.1.4. Resultados con GPS+Galileo+Beidou+GLONASS.....</i>	<i>78</i>
<i>3.1.2. Punto de precisión peor de los casos.....</i>	<i>80</i>
<b>3.2. Análisis del escenario 2 .....</b>	<b>82</b>
<i>3.2.1. Resultado RTKNAVI con NTRIP multi-constelación. ....</i>	<i>83</i>
<i>3.2.2. Resultado RTKNAVI sin NTRIP .....</i>	<i>84</i>
<i>3.3.1. Análisis de resultados pruebas en movimiento en la ESPOCH.....</i>	<i>86</i>
<i>3.3.1.1 Trayectoria 1 - vehículo. ....</i>	<i>86</i>
<i>3.3.1.2. Trayectoria 2.....</i>	<i>91</i>
<i>3.3.1.3. Puntos de precisión utilizados para una ortofotogrametría. ....</i>	<i>93</i>
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>97</b>
<b>RECOMENDACIONES:.....</b>	<b>99</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	
<b>ANEXOS</b>	

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1-1:</b>	Datos principales de la señal de GPS .....	13
<b>Tabla 2-1:</b>	Datos principales de la señal GLONASS .....	15
<b>Tabla 3-1:</b>	Datos principales de la señal de Galileo .....	18
<b>Tabla 4-1:</b>	Resumen de constelaciones de GNSS .....	19
<b>Tabla 5-1:</b>	Módulos de u-blox para GNSS .....	30
<b>Tabla 6-1:</b>	Resumen de constelaciones de GNSS soportados .....	33
<b>Tabla 7-1:</b>	Rendimiento ZED F9P .....	33
<b>Tabla 8-1:</b>	Tiempos de convergencia y frecuencias de mensajes .....	33
<b>Tabla 9-1:</b>	Servicios de GNSS .....	37
<b>Tabla 10-1:</b>	Tipos de mensajes RTCM versión 3.3 de entrada soportados por ZED-F9P .....	42
<b>Tabla 11-1:</b>	Lista de mensajes de salida RTCM admitidos por ZED-F9P .....	42
<b>Tabla 1-2:</b>	Mensajes de tiempo de los diferentes sistemas de GNSS .....	52
<b>Tabla 1-3:</b>	Puntos referenciados del Escenario 1 mejor de los casos. ....	75
<b>Tabla 2-3:</b>	Errores delta entre el equipo SP60 y la tarjeta de aplicación: .....	75
<b>Tabla 3-3:</b>	Configuración de cada constelación .....	78
<b>Tabla 4-3:</b>	Puntos referenciados del Escenario 1 peor de los casos. ....	81
<b>Tabla 5-4:</b>	Diferencias entre el equipo Spectra SP60 y la tarjeta de aplicación de bajo costo	81
<b>Tabla 6-3:</b>	Conexión sin NTRIP y con NTRIP trayectoria “ESPOCH”. ....	85
<b>Tabla 7-3:</b>	Diferencias de posicionamiento con NTRIP y sin NTRIP. ....	85
<b>Tabla 8-3:</b>	Pruebas en movimiento con NTRIP y sin NTRIP .....	87
<b>Tabla 9-3:</b>	Visualización de datos con RTKLib trayectoria 1 con NTRIP y sin NTRIP .....	89
<b>Tabla 10-3:</b>	Tabla de resultados con NTRIP y sin NTRIP .....	91
<b>Tabla 11-3:</b>	Punto Cancha FIE .....	94
<b>Tabla 12-3:</b>	Diferencias entre los equipos. ....	94
<b>Tabla 13-3:</b>	Punto 2 alcantarilla cercana a la FIE .....	94
<b>Tabla 14-3:</b>	Diferencias entre los puntos del Spectra vs los de la tarjeta de bajo costo. ....	94



## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1-1:</b> Arquitectura sistemas de GNSS .....	7
<b>Figura 2-1:</b> Bandas de frecuencia de GPS, Glonass, Galileo y Beidou.....	11
<b>Figura 3-1:</b> Constelación de GPS. ....	12
<b>Figura 4-1:</b> Espectro de las señales de Galileo .....	17
<b>Figura 5-1:</b> Posicionamiento en el espacio con deriva en el reloj del receptor. ....	20
<b>Figura 6-1:</b> Posicionamiento de los satélites. ....	20
<b>Figura 7-1:</b> Linearización en un punto aproximado. ....	22
<b>Figura 8-1:</b> Diferencial de GPS.....	23
<b>Figura 9-1:</b> DOP degradada .....	24
<b>Figura 10-1:</b> Arquitectura de NTRIP .....	25
<b>Figura 11-1:</b> Posicionamiento por PPP. ....	26
<b>Figura 12-1:</b> Funcionamiento RTK.....	26
<b>Figura 13-1:</b> Relación de errores en un área pequeña con NRTK. ....	30
<b>Figura 14-1:</b> Módulo U-blox 6m.....	31
<b>Figura 15-1:</b> Módulos U-blox NEO/LEO M8T.....	32
<b>Figura 16-1:</b> Tarjeta de aplicación C099-F9P. ....	32
<b>Figura 17-1:</b> Diagrama de Bloques ZED-F9P. ....	34
<b>Figura 18-1:</b> Distribución de estaciones de multi-GNSS de MGEX .....	35
<b>Figura 19-1:</b> Módulos de precisión para agricultura.....	39
<b>Figura 20-1:</b> Flujo de trabajo para fotogrametría inteligente.....	40
<b>Figura 21-1:</b> Elipsoide, geoide y MSL.....	44
<b>Figura 22-1:</b> Modelo geoide EGM96.....	44
<b>Figura 23-1:</b> Estaciones REGME con cobertura 50km. ....	45
<b>Figura 24-1:</b> Visor Geográfico de la REGME.....	46
<b>Figura 25-1:</b> Aplicaciones integradas en RTKLIB.....	47
<b>Figura 1-2:</b> Modo de posicionamiento RTK de Float a Fixed.....	51
<b>Figura 2-2:</b> Mensaje de navegación en Posición Velocidad y Tiempo.....	52
<b>Figura 3-2:</b> Mensajes RAWX Multi-GNSS .....	54
<b>Figura 4-2:</b> Mensajes de corrección RTCM de la estación base.....	54
<b>Figura 5-2:</b> Mensaje del receptor SFRBX.....	55
<b>Figura 6-2:</b> Conexión mediante el puerto COM12.....	57
<b>Figura 7-2:</b> Comprobación de datos previo a la grabación de datos crudos.....	57
<b>Figura 8-2:</b> Launcher de la aplicación RTKLIB.....	58
<b>Figura 9-2:</b> RTKNAVI Datos de Entrada.....	58

<b>Figura 10-2:</b> Datos de salida .....	59
<b>Figura 11-2:</b> Grabación de los datos en un archivo de extensión .ubx .....	59
<b>Figura 12-2:</b> Datos de configuración de entrada en RTKNav. ....	60
<b>Figura 13-2:</b> Conexión con NTRIP estación ABEC3.....	60
<b>Figura 14-2:</b> Punto de precisión escenario 1. ....	61
<b>Figura 15-2:</b> Punto peor de los casos ambiente Indoor.....	61
<b>Figura 16-2:</b> Configuración inicial SW-Maps.....	62
<b>Figura 17-2:</b> Configuración del Rover finalizada y enlazado mediante bluetooth.....	62
<b>Figura 18-2:</b> Tarjeta de aplicación enlazada mediante NTRIP a ABEC3.....	63
<b>Figura 19-2:</b> Tarjeta de aplicación enlazada a ABEC3 con RTK con los satélites en uso .....	63
<b>Figura 20-2:</b> Tarjeta de aplicación con RTK fijo. ....	64
<b>Figura 21-2:</b> Trayectoria con NTRIP .....	64
<b>Figura 22-2:</b> Trayectoria sin NTRIP. ....	65
<b>Figura 23-2:</b> Datos para empezar a grabar la trayectoria.....	66
<b>Figura 24-2:</b> Trayectoria ESPOCH con NTRIP finalizada con multiconstelación. ....	66
<b>Figura 25-2:</b> Prueba en movimiento multiconstelación parque del estudiante. ....	67
<b>Figura 26-2:</b> Conexión sin NTRIP Escenario 1.....	67
<b>Figura 27-2:</b> Trayectoria 1 escenario 1 sin NTRIP con multiconstelación .....	68
<b>Figura 28-2:</b> Trayectoria 2 con DGPS sin NTRIP.....	68
<b>Figura 29-2:</b> Constelación seleccionada de GPS.....	69
<b>Figura 30-2:</b> Punto de precisión únicamente con GPS y NTRIP.....	69
<b>Figura 31-2:</b> Interfaz RTKLIB.....	70
<b>Figura 32-2:</b> Interfaz RTKCONV.....	70
<b>Figura 33-2:</b> Parámetros de configuración RTKCONV para multiconstelación.....	71
<b>Figura 34-2:</b> Funcionamiento del sistema de posicionamiento de multi-GNSS. ....	73
<b>Figura 35-2:</b> Diagrama de flujo para la obtención de datos.....	73
<b>Figura 1-3:</b> Puntos de medición con los equipos.....	74
<b>Figura 2-3:</b> Lista de mensajes de navegación únicamente con GPS.....	76
<b>Figura 3-3:</b> Mensajes de navegación de GPS+Galielo. ....	77
<b>Figura 4-3:</b> Mensaje de navegación de PVT. ....	77
<b>Figura 5-3:</b> Datos y correcciones recibidas de las constelaciones. ....	78
<b>Figura 6-3:</b> Peor de los casos punto escenario 1.....	81
<b>Figura 7-3:</b> Comparación puntos Indoor de Tarjeta de aplicación vs Spectra Sp60. ....	82
<b>Figura 8-3:</b> Terraza del domicilio en donde se realizó la trayectoria “ESPOCH”. ....	83
<b>Figura 9-3:</b> Prueba Escenario 2 con NTRIP.....	83
<b>Figura 10-3:</b> Palabra ESPOCH sin NTRIP.....	84
<b>Figura 11-3:</b> Punto inicial de la trayectoria con NTRIP. ....	84

<b>Figura 12-3:</b> Punto inicial de la trayectoria sin NTRIP.....	85
<b>Figura 13-3:</b> Diferencias entre el trayecto con NTRIP y sin NTRIP con Global Mapper.....	86
<b>Figura 14-3:</b> Prueba en movimiento en un vehículo.....	87
<b>Figura 15-3:</b> Prueba en movimiento trayectoria 2 parque del estudiante.....	91
<b>Figura 16-3:</b> Punto de precisión FIE 1 .....	93
<b>Figura 17-3:</b> Punto de precisión FIE 2 .....	94
<b>Figura 18-3:</b> Precisión de las imágenes únicamente con GPS .....	95
<b>Figura 19-3:</b> Precisión de las imágenes con multiconstelación con la tarjeta de bajo costo .....	96
<b>Figura 20-3:</b> Visualización de datos mediante Global Mapper.....	97
<b>Figura 21-3:</b> Ortofoto con coordenadas precisas de la FIE-ESPOCH.....	97

## ÍNDICE DE ECUACIONES

<b>Ecuación 1-1:</b> Medida de pseudodistancia de un satélite.....	20
<b>Ecuación 2-1:</b> Medidas de pseudodistancia a resolver con 4 satélites. ....	21
<b>Ecuación 3-1:</b> Dispersión de la precisión. ....	24
<b>Ecuación 4-1:</b> Pseudo-rango.....	27
<b>Ecuación 5-1:</b> Fase de portadora. ....	27
<b>Ecuación 6-1:</b> Corrección de Pseudo-rango (base). ....	28
<b>Ecuación 7-1:</b> Corrección de Fase de portadora (base).....	28
<b>Ecuación 8-1:</b> Corrección de Pseudo-rango (rover).....	28
<b>Ecuación 9-1:</b> Corrección de Fase de portadora (rover). ....	28
<b>Ecuación 10-1:</b> Medida de pseudorange con errores mitigados en la base. ....	28
<b>Ecuación 11-1:</b> Medida de Fase portadora con errores mitigados en la base.....	28
<b>Ecuación 12-1:</b> Medida de pseudorange con errores mitigados en el rover.....	28
<b>Ecuación 13-1:</b> Medida de Fase portadora con errores mitigados en el rover .....	28

## ÍNDICE DE ABREVIATURAS

<b>BPSK</b>	Modulación de dos fases ( <i>Binary-Phase Shift Keying</i> )
<b>C/A</b>	Código de ajuste grueso ( <i>Coarse Acquisition code</i> )
<b>CDF</b>	Función de distribución de probabilidad ( <i>Cumulative Distribution Function</i> )
<b>CDMA</b>	Multiplexación por división de códigos ( <i>Code Division Multiple Access</i> )
<b>CL</b>	Código de longitud larga ( <i>Long length Code</i> )
<b>CM</b>	Código de longitud moderada ( <i>Moderate length Code</i> )
<b>CS</b>	Servicio comercial ( <i>Commercial Service</i> )
<b>DOP</b>	Dispersión de la precisión ( <i>Dilution Of Precision</i> )
<b>ECEF</b>	Sistema de coordenadas centrado y fijo en la Tierra ( <i>Earth-Centered Earth-Fixed</i> )
<b>EGNOS</b>	Sistema de navegación geostacionario europeo ( <i>European Geostationary Navigation Overlay Service</i> )
<b>ESA</b>	Agencia Espacial Europea ( <i>European Space Agency</i> )

## **ÍNDICE DE ANEXOS**

**ANEXO A:** CONFIGURACIÓN DE LA TARJETA C099-F9P

**ANEXO B:** CONFIGURACIÓN BLUETOOTH DE LA TARJETA

**ANEXO C:** CREDENCIALES NTRIP-IGM

**ANEXO D:** CREACIÓN DE UNA API PARA GOOGLE STATIC MAPS

**ANEXO E:** CONFIGURACIÓN BLUETOOTH CON LA TARJETA A SW MAPS.

**ANEXO F:** TOMAS DE PUNTOS CON C099-F9P Y SPECTRA SP60 Y MOBILE MAPPER.

**ANEXO G:** TOMA DE PUNTOS DE PRECISIÓN CON SPECTRA SP60 Y LA TARJETA C099-F9P.

**ANEXO H:** PRUEBAS ESTÁTICAS CON LA TARJETA DE APLICACIÓN.

**ANEXO I:** PRUEBAS REALIZADAS DE UN PUNTO DE PRECISIÓN EN LA ESPOCH

**ANEXO J:** PROCESAMIENTO DE IMÁGENES CON PIX4D.

## RESUMEN

El objetivo de estudio del presente trabajo fue analizar las nuevas tecnologías existentes de posicionamiento mediante el uso de multi-constelacion de los sistemas GNSS, ya que actualmente en el mercado masivo de aplicaciones se está implementando esta técnica para obtener un posicionamiento preciso. Dado a que la mayoría de receptores únicamente utilizan GPS o GLONASS limita las aplicaciones que se pueden realizar en el mercado. Es por ello por lo que mediante el módulo ZED F9P (que soporta multi-constelación) integrado en la tarjeta C099-F9P, se analiza la precisión obtenida mediante las constelaciones de: GPS, GLONASS, Galileo, BeiDou, conectado mediante NTRIP a las estaciones base que ofrece la REGME, que mediante tres escenarios se puso a prueba la precisión final obtenida con tarjeta en tiempo real. Al utilizar esta tarjeta, representa un avance significativo en cuanto a sistemas de posicionamiento en tiempo real a bajo costo debido a las ventajas que ofrece la tarjeta, además de que todos los parámetros son configurables. En relación a los sistemas de posicionamiento precisos actuales, se ha podido comprobar que mediante este módulo enlazado a estación base de Ambato ABEC3 por NTRIP, se reciben correcciones en formato RTCM 3.0 los cuales sirven para que la tarjeta de aplicación, mediante un estado de representación del enlace, reciba correcciones en tiempo real de pseudorando y fase de portadora, logrando así llegar a precisiones similares de un equipo geodésico de alta precisión como lo es el Spectra SP60 teniendo resultados de 10mm a 20mm en cuánto al posicionamiento de la misma, pero con mucho menor presupuesto, incluso en ambientes indoor llegando a tener una mejor precisión. Finalmente, con el fin de comprobar la precisión en entornos reales, se realizó un post-proceso mediante el software Pix4D en donde se evidencia la importancia de utilizar sistemas de posicionamiento precisos.

### Palabras clave:

<SISTEMAS DE NAVEGACIÓN POR SATÉLITE>, <GLOBAL NAVIGATION SYSTEM>, <GLONASS>, <GALILEO>, <BEIDOU>, <COMISIÓN TÉCNICA DE RADIO PARA SERVICIOS MARÍTIMOS>, <MULTI-CONSTELACIÓN>, <TIEMPO REAL>



## **SUMMARY**

The study objective of the present work was to analyze the new existing technologies of positioning. The use of multi-constellation and the GNSS systems in the massive market of applications were implemented to obtain a precise positioning. Since most receivers only use GPS or GLONASS, it limits the applications they can perform on the market. That is why employing the ZED F9P module (which supports multi-constellation) on the C099-F9P card. The precision obtained by the constellations of GPS, GLONASS, Galileo, BeiDou, connected via NTRIP to the base stations, is analyzed—offered by REGME. Through three scenarios tested, the final precision was obtained with  $\sigma$  in real-time. Using this table represents a significant advance in terms of low-cost real-time positioning systems due to the card's advantages and the fact that all parameters are configurable. It has been possible to verify current precise positioning systems through this module linked to the Ambato ABEC3 base station by NTRIP. Corrections are received in RTCM 3.0 format, which is used so that the application table, through the status of the link's representation, obtains corrections in real-time of the pseudorandom and carrier phase. Thus, achieving similar accuracies of high-precision geodetic equipment such as the Spectra SP60, having resulted of 10mm to 20mm regarding the positioning of the same, but with a high lower budget, even indoors, achieving better precision. Finally, to check the precision in natural environments, the Pix4D software was post-processing. Thus, the importance of using precise positioning systems is evidenced.

## **KEY WORDS:**

<SATELLITE NAVIGATION SYSTEMS>, <GLOBAL NAVIGATION SYSTEM>,<GLONASS>, <GALILEO>, <BEIDOU>, <RADIO TECHNICAL COMMISSION FOR MARITIME SERVICES>, <MULTI-CONSTELLATION>, <REAL TIME>



## INTRODUCCIÓN

El concepto de obtener un sistema de posicionamiento preciso surge con GPS el cuál fue uno de los primeros sistemas en ser utilizado, que en principio fue diseñado para usos militares. A partir del año de 1995 en donde el servicio de posicionamiento estándar surgiría para el uso civil, con una precisión inicial de 100m. A partir del año 1998 sería tan preciso como el de uso militar alcanzando precisiones de hasta 20 m, con esas premisas, el sistema de posicionamiento GPS se implementó para el estudio de la tierra, así como diversas contribuciones al sector científico. Posterior a ello se desarrolló el sistema de posicionamiento GLONASS por parte de la Unión Soviética.

A partir de ello surgieron varias constelaciones de satélites que integran actualmente el Sistema de Navegación Global por Satélite (GNSS) como son: GPS, GLONASS, Galileo, BeiDou, QZSS y IRNSS. En donde cada uno de los sistemas funcionan de manera independiente, pero con la gran ventaja de que son interoperables entre sí.

Actualmente gracias a la interoperabilidad de los sistemas de posicionamiento en el artículo: (Cai, Changsheng ; Gao, Yang ; Pan, Lin ; Zhu, Jianjun, 2015) se desarrolla un modelo PPP de cuatro constelaciones para procesar simultáneamente las observaciones de cuatro sistemas GNSS GPS, Beidou, GLONASS y Galileo, en donde se compara las ventajas al combinar todos estos sistemas de posicionamiento obteniendo una mejora de la precisión obteniendo así errores de 5.2 cm, 2.7 cm y 8.3 cm en las direcciones Norte, Este y arriba. Además de que puede ser aplicado al procesamiento con PPP con archivos de observaciones simples, dobles o triples.

Debido al constante desarrollo en las aplicaciones de GNSS en el mundo, se ve en la necesidad de crear nuevos métodos de precisión en donde se mejore de manera significativa la fiabilidad, precisión y continuidad de la información, así como el mejorar las técnicas que se utilizan para la corrección errores producidos por las diversas interferencias que pueden causar los medios en la comunicación.

En el Ecuador existen estudios de aplicación de técnicas de corrección mediante DGPS, que en conjunto con NTRIP (Villacrés, 2014). Se demostró que mediante el uso de la antena incorporada de un dispositivo móvil y aplicando las técnicas de corrección de diferenciación de GPS, se logran precisiones de 5 a 10 metros en tiempo real.

En la ciudad de Riobamba, existen estudios realizados por estudiantes de la ESPOCH implementado la tecnología NTRIP; mediante la cual, se llega a la conclusión de que resulta un método idóneo y preciso el uso de la misma, para obtener precisiones centimétricas.

Analizando la información anterior, se propone realizar una propuesta tecnológica la cual sirva para trabajos de precisión, mediante la tarjeta de aplicación C099-F9P que soporta multi-constelación, se logren precisiones centimétricas en tiempo real mediante una conexión con NTRIP con las estaciones base del Ecuador a través de la REGME.

Para posteriormente realizar una comparación de la precisión obtenida mediante el uso de multi-constelación en relación a la obtenida con GPS y la combinación de las constelaciones soportadas por la tarjeta, mediante pruebas estáticas y en movimiento con la tarjeta de aplicación de bajo costo C099-F9P, para finalmente evaluar su aplicabilidad en entornos reales en donde se manejan altas precisiones, a través de una aplicación de Aero-fotogrametría con un dron del fabricante DJI, con el fin de evaluar el posicionamiento final obtenido.

## **FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

¿Existe trabajos de investigación relacionado al uso de la técnica de correcciones RTK con multiconstelación?

## **SISTEMATIZACIÓN DEL PROBLEMA**

- ¿Existe bibliografía suficiente de la técnica de corrección RTK en Ecuador?
- ¿Cuáles son los principios de operación de la técnica de corrección RTK con multi-constelación?
- ¿Cuál es el uso y aplicación de la técnica de posicionamiento preciso RTK en ejercicios de georreferenciación?
- ¿Cuál es la precisión de la solución final obtenida al aplicar la técnica de RTK con multi-constelación versus GPS?

## **JUSTIFICACIÓN TEÓRICA**

En el Ecuador, actualmente existe un servicio de posicionamiento en tiempo real mediante el protocolo NTRIP, el mismo es brindado por el IGM mediante sus 33 estaciones base a lo largo del país, proporcionando una precisión centimétrica. De igual forma existe el posicionamiento RTK en el país en donde se aplican técnicas de corrección y son muy útiles para aplicaciones en donde requieran un alto grado de precisión como: la Topografía, la Agricultura, etc.

Las tecnologías que se utilizan actualmente para el posicionamiento en Ecuador, principalmente se basan sólo en GPS y GLONASS; sin embargo, gracias al avance de las tecnologías y distintos tipos de antenas actuales en el mercado, se puede proporcionar un sistema de posicionamiento que soporte múltiples constelaciones, en donde se pueda obtener acceso a las señales de los satélites y utilizarlas para obtener un posicionamiento más preciso y en menor tiempo.

La importancia de esta investigación radica en analizar y estudiar la precisión final obtenida mediante el uso de la técnica de corrección en tiempo real que nos ofrece la tarjeta de aplicación C099-F9P con multiconstelación por medio de pruebas estáticas y en movimiento, en donde se evidencie la corrección proporcionada por los múltiples sistemas de navegación por satélite, al disponer de varios datos de satélites para el posicionamiento preciso.

## **JUSTIFICACIÓN APLICATIVA**

En el presente Trabajo de Titulación, se pretende analizar la precisión final obtenida en tiempo real con el uso de los sistemas GNSS disponibles mediante la conexión a NTRIP a las estaciones base de la REGME, para verificar el posicionamiento obtenido con las correcciones provisionadas por la estación base hacia una tarjeta de aplicación que dado a su arquitectura, soporta multi-constelación, con el fin de evaluar en diferentes escenarios la precisión obtenida en la posición mediante pruebas estáticas y en movimiento.

Con la ayuda de los software SW Maps y RTKLIB, se pretende evaluar los resultados obtenidos mediante los archivos de observación y navegación de la tarjeta de aplicación de bajo costo, con el fin de verificar la precisión de la posición obtenida en los diferentes escenarios que se plantean; además de que la información adicional para el post-proceso se pueden ocupar las siguientes páginas:



SW-Maps.

RTKLib



RTKLib.



ESA



IGS

Las cuáles servirán para la obtención y procesamiento de los datos con el fin de obtener una ortofoto del lugar de interés y analizar su precisión.



Pix4Dmapper

Pix4D

El Pix4D será el software con el cual se realiza la evaluación de la aplicabilidad de la precisión obtenida con la tarjeta de bajo costo en el procesamiento de un terreno, en este caso la FIE, con el fin de evaluar el posicionamiento obtenido con múltiples sistemas de GNSS.

## **OBJETIVOS**

### **OBJETIVO GENERAL**

Estudiar la técnica de corrección de posicionamiento preciso en “RTK” utilizada en sistemas de navegación con multiconstelación para analizar la precisión en la posición final en (PVT).

### **OBJETIVOS ESPECIFICOS**

- Indagar el estado del arte sobre las técnicas de corrección de posicionamiento de RTK.
- Analizar los principios de operación de la técnica de corrección RTK basado en multiconstelación.
- Implementar la técnica corrección de RTK con multiconstelación sobre ejercicios de georreferenciación.
- Evaluar la precisión de la solución final de la técnica de RTK con multiconstelación versus la precisión obtenida por GPS.

## CAPITULO I

### 1. MARCO TEÓRICO

#### 1.1. GNSS (Sistema Global de Navegación por Satélite)

El Sistema Global de Navegación por Satélite (GNSS) es el conjunto mundial de constelaciones de navegación por satélite que proporcionan un marco de referencia espaciotemporal que brinda sus servicios con una cobertura global. Son sistemas capaces de proporcionar los datos de posición de manera continua, independientemente de las condiciones atmosféricas, en cualquier lugar de la tierra y para cualquier número de usuarios (Álvarez, 2008).

##### *1.1.1 Historia de GNSS*

El término GNSS surge a partir de los años 70 con el desarrollo de la constelación de GPS, que como se mencionó previamente, tuvo sus orígenes con aplicaciones exclusivamente militares, su cobertura a pesar de ser mundial, no era, como hoy en día se la conoce ya que su uso era exclusivamente militar y cuyo control estaba bajo el Departamento de Defensa de los Estados Unidos, posteriormente se abrió este servicio para uso civil brindando así nuevas brechas para investigación y el estudio de la tierra.

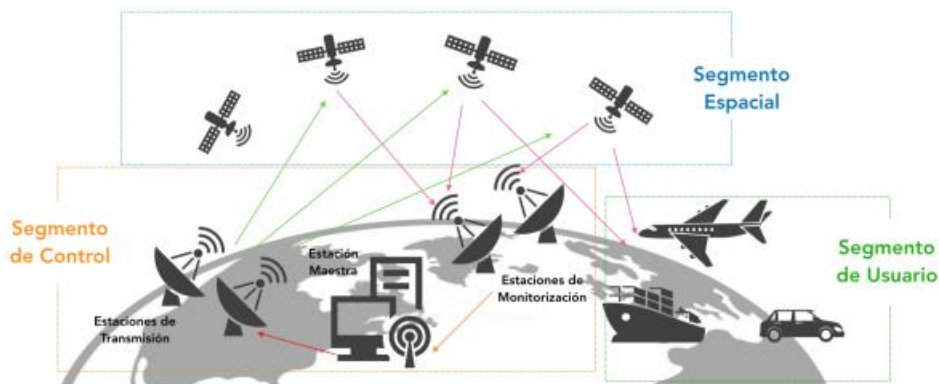
Es así como distintos tipos de países empiezan a crear sus propios sistemas de posicionamiento preciso, con el fin de dar cobertura a una zona en específico; sin embargo, conforme avanza el tiempo, el desarrollo de las constelaciones y el uso de cada frecuencia era licenciado por cada una de las mismas, logrando así una independencia con respecto a los otros servicios de posicionamiento. Es así como los sistemas de posicionamiento se han desarrollado en multitud de países, agencias, asociaciones de GNSS con el fin de proponer aplicaciones, soluciones y acuerdos, así mismo como para dar a conocer sobre sus múltiples ventajas en distintos campos aplicativos en donde se utilicen señales de posicionamiento de los satélites.

Actualmente gracias al avance y a la interoperabilidad de los sistemas de GNSS surge el sistema de posicionamiento preciso multi-GNSS, el cual consiste en el desarrollo de estrategias para la integración de señales multi-GNSS en los sistemas de posicionamiento logrando así, una resiliencia en las señales con el fin de no perder comunicación con los satélites y por ende brindar al usuario una fiabilidad de los datos más acertada. (Franklin López; Ángel ortega, 2017)

### 1.1.2. Funcionamiento y componentes de los sistemas GNSS

El funcionamiento principal de los sistemas GNSS radica en que, mediante una constelación de satélites artificiales, se obtienen rangos de señales, las cuáles son necesarias para proveer un servicio de posicionamiento para cada usuario en cualquier parte del globo terrestre, dado a que mediante el mensaje de navegación se obtienen los datos necesarios para posteriormente con varias de esas medidas realizar un proceso de triangulación, logrando así establecer la posición del receptor en coordenadas geográficas, con el fin de obtener un posicionamiento en términos de X, Y, Z. Si tenemos la distancia del receptor de al menos un satélite se posee toda una esfera de posibles localizaciones en el espacio; si en lugar de una tenemos dos, la posibilidad se reduce a una circunferencia; con una tercera, la incertidumbre de la posición se reduce a dos puntos. (Benigno, 2019 pág. 6)

Cada una de las constelaciones de GNSS poseen 3 segmentos fundamentales: segmento espacial, segmento de control y segmento de usuario.



**Figura 1-1.** Arquitectura sistemas de GNSS

Fuente: (Álvarez, 2008 pág. 3)

#### 1.1.2.1. Segmento Espacial

Es el segmento compuesto por los satélites que forman el sistema, tanto de navegación como de comunicación. En donde se envía la señal que se recibe en los segmentos de control y de usuario respectivamente, estas transmisiones de las señales están controladas por relojes atómicos altamente estables que se encuentran dentro de los satélites; además de que los segmentos espaciales de los sistemas de GNSS están formados por constelaciones de satélites que orbitan la tierra con el fin de garantizar a los usuarios al menos cuatro satélites para obtener el posicionamiento.

### *1.1.2.2. Segmento de Control*

El segmento de control o también denominado segmento terrestre es el responsable de un correcto funcionamiento de los sistemas de GNSS, entre sus funciones básicas y primordiales dentro de cada una de las constelaciones son:

- Controlar y mantener la configuración de cada una de las constelaciones de satélites.
- Tener una correcta predicción de las efemérides que llegan.
- Mantener la escala de tiempo correspondiente de cada GNSS.
- Actualizar los mensajes de navegación de todos los satélites.

### *1.1.2.3. Segmento de Usuario*

El segmento de usuario está compuesto por receptores GNSS cuya función principal es recibir las señales GNSS para determinar las pseudodistancias y resolver las ecuaciones de navegación para obtener las coordenadas y proporcionar una hora con un alto grado de precisión.

Los elementos básicos de un receptor de GNSS son:

- **Antena receptora:** estas antenas están diseñadas para recibir las señales que se transmiten a la misma frecuencia del sistema, poseen una cobertura hemisférica omnidireccional. El uso de los materiales y la construcción de las mismas va a depender de la aplicación en la cual se utilizará el receptor. Para los sistemas de GNSS pueden existir antenas de simple frecuencia o antenas de dos o más frecuencias según las constelaciones.
- **Front-end:** Es el encargado generalmente de filtrar, amplificar y digitalizar las señales entrantes.
- **Procesamiento de señales de banda base:** se utilizan diversas rutinas de procesamiento de señales para adquirir y rastrear las diferentes señales que llegan al receptor de los distintos sistemas de GNSS.
- **Procesamiento de aplicaciones:** según el fin con el cual se vaya a utilizar la antena la misma realiza diversas tareas con la información GNSS resultante para proporcionar resultados significativos al usuario.

### *1.1.3. Errores UERE (User Equivalent Range Errors)*

UERE es el término general para el análisis de errores del Sistema de posicionamiento global, entre los cuales están:

- **Errores en el reloj satelital:** Los receptores GPS calculan las distancias a los satélites en función de la diferencia de tiempo entre el instante en el que un satélite transmite una señal



y el momento en el que las recibe en la tierra, por lo que es fundamental que los relojes atómicos a bordo de los satélites estén perfectamente calibrados.

- **Multipath:** Los receptores GNSS deben discriminar entre las señales recibidas directamente de los satélites y otras señales que se han reflejado en los objetos circundantes, como edificios, árboles e incluso el suelo. Algunas señales reflejadas, pero no todas, se identifican automáticamente y se rechazan. Sin embargo, debido a que las reflexiones de una señal de origen en los satélites son más difíciles de minimizar, por lo que se utiliza técnicas para minimizar los errores causados por los mismos.
- **Errores en la ionósfera:** Las señales transmitidas por los satélites cerca del horizonte toman una ruta más larga a través de la ionosfera que las señales de los satélites en lo alto y, por lo tanto, están sujetas a una mayor interferencia. Se puede mitigar utilizando la combinación de dos o múltiples frecuencias. La relación entre el efecto de la ionósfera y las señales de GNSS utilizando una triple frecuencia, se puede escribir como:
- **Errores en el receptor:** En los receptores de GPS se cuentan con relojes de cuarzo que son menos estable que los relojes atómicos utilizados en los satélites NAVSTAR (DiBiase, 2009 pág. 7)

### *1.1.3. Aplicaciones de GNSS*

Mediante los sistemas GNSS se pueden obtener precisiones que van desde algunos metros cuyas aplicaciones se orientan a la navegación, seguimiento de fauna, etc. Hasta lograr precisiones de centímetros o incluso se llega a precisiones de milímetros dependiendo las técnicas de corrección de errores, así como las tecnologías que se utilicen en la comunicación. Dado al nivel de precisión que alcanza se utilizan ampliamente en aplicaciones como: la topografía, agricultura de precisión conducción autónoma de vehículos, fotometría, entre otros. Entre los principales servicios de aplicación de GNSS se tiene (Paweł Wielgosz, Tomasz Hadas, Anna Kłos, Jacek Paziewski, 2015-2018)

- **Aplicaciones en la automoción:** Actualmente es ampliamente utilizado en donde su principal función es brindar posicionamiento preciso en tiempo real para la conducción autónoma de los vehículos, en donde diversa información se procesa al instante entre: mapas, localizaciones, límites de velocidad, radares, estos sistemas son capaces de analizar y planificar rutas en marcha.
- **Aplicaciones en la Aviación:** Se utilizan principalmente para el piloto automático en los sistemas de aviación, así como las rutas de la aviación civil, en donde se pueden implementar sistemas como WAAS o LAAS para mejorar la precisión en los datos.
- **Aplicaciones en la Agricultura:** Mediante el posicionamiento preciso es altamente utilizado para el control de plagas, o la plantación de semillas dentro de un área extensa. Actualmente

la empresa John Deere utiliza sistemas de posicionamiento preciso para la plantación de semillas, y manejo autónomo de los tractores.

- **Aplicaciones para emergencias y gestión de crisis:** Mediante el uso de las señales de GNSS en conjunto con las estaciones base receptoras, es posible monitorear de manera continua desastres naturales, así como realizar un estudio para la prevención de los mismos. Actualmente existen empresas netamente dedicadas al estudio de las catástrofes naturales como lo es la ESA, NASA, entre otras.
- **Aplicaciones en la Topografía:** en donde se contribuye de manera significativa para fijar las coordenadas de un punto geográfico, georreferenciar terrenos, aplicación de técnicas de corrección para contribuir a la generación de mapas de un determinado lugar.

#### *1.1.4. Señales GNSS.*

Los satélites GNSS transmiten continuamente señales de navegación en dos o más frecuencias en la banda L. Estas señales contienen códigos de alcance y datos de navegación que permiten a los usuarios calcular tanto el tiempo de viaje desde el satélite hasta el receptor, así como las coordenadas del satélite en cualquier época (J. Sanz Subirana; & J.M. Juan Zornoza and M; & Hernández-Pajares, 2013).

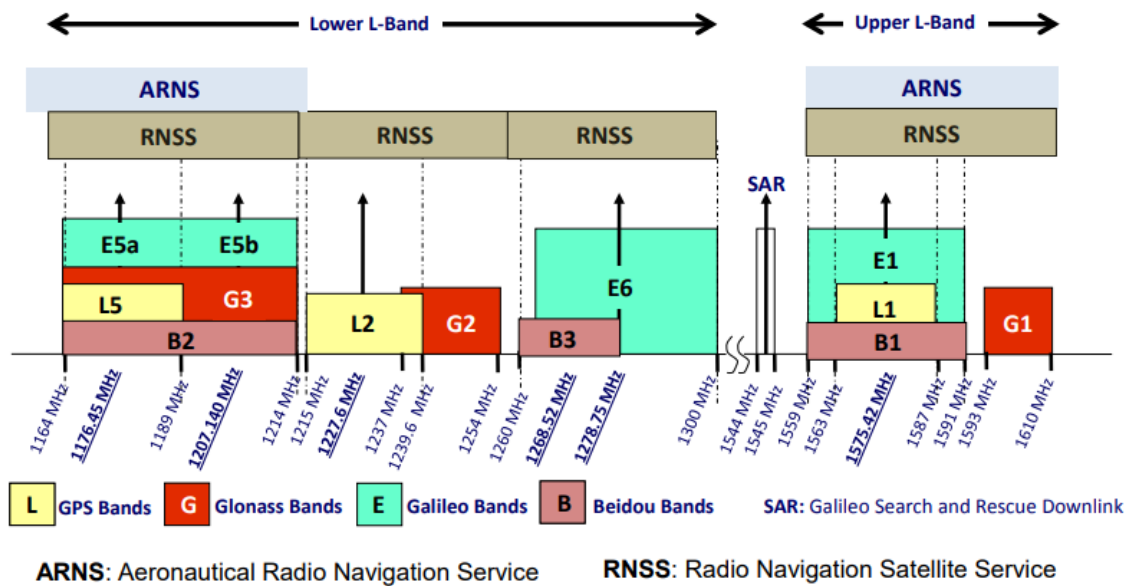
Los principales componentes de la señal se describen a continuación:

- **Portadora:** Señal sinusoidal de radiofrecuencia a una frecuencia determinada.
- **Código de alcance:** Secuencias de ceros y unos que permiten al receptor determinar el tiempo de viaje de la señal de radio desde el satélite hasta el receptor. Se denominan secuencias PRN o códigos PRN.
- **Datos de navegación:** Mensaje codificado en binario que proporciona información sobre las efemérides del satélite (elementos pseudokeplerianos o posición y velocidad del satélite), los parámetros de sesgo del reloj, el almanaque (con un conjunto de datos de efemérides de precisión reducida), el estado de salud del satélite y otra información complementaria.

##### *1.1.4.1. Atribución de Frecuencias*

La atribución de bandas de frecuencias es un proceso mediante el cual se asignan frecuencias específicas para un servicio determinado ya sea de televisión, radio, telefonía celular (móvil), radiodifusión por satélite, etc. Cada una de estas frecuencias pueden ser asignadas de manera diferente en cada país; sin embargo, existe la UIT (Unión Internacional de Telecomunicaciones) que es el organismo que coordina el uso global compartido del espectro radioeléctrico. La UIT divide el espectro electromagnético en bandas de frecuencias, con diferentes servicios de radio

asignados a bandas concretas. La figura 2 se muestra las bandas de frecuencia del Servicio de Radionavegación por Satélite (RNSS).



**Figura 2-1:** Bandas de frecuencia de GPS, Glonass, Galileo y Beidou

**Fuente:** (J. Sanz Subirana; & J.M. Juan Zornoza and M; & Hernández-Pajares, 2013 pág. 19)

Hay dos bandas en la región atribuidas al Servicio de Radionavegación Aeronáutica (ARNS) con locación primaria en todo el mundo. Corresponden a la banda L superior (1559-1610 MHz), que contiene las bandas GPS L1, Galileo E1, Glonass G1 y Beidou B1, y a la parte inferior de la banda L inferior (1151-1214 MHz), donde se encuentran las bandas GPS L5, Glonass G3, Galileo E5 y Beidou B2 (J. Sanz Subirana; J.M. Juan Zornoza; M. Hernández-Pajares, 2013).

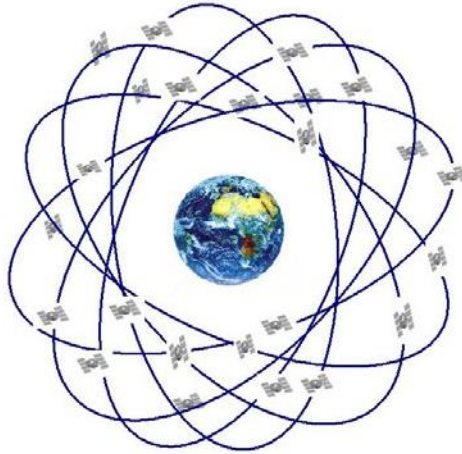
#### 1.1.4. Clasificación de los Sistemas de GNSS

El sistema de posicionamiento por satélite GNSS tiene dentro de su clasificación de constelaciones a GPS, Galielo, BeiDou, GLONASS, QZSS, y IRSNN. En donde cada una de las constelaciones tienen aplicaciones específicas y buscan el constante desarrollo para ofrecer sistemas de posicionamiento más precisos y con mayores ventajas en la comunicación.

### 1.2. GPS

GPS es el sistema de posicionamiento utilizado por excelencia, ya que aparte de ser uno de los pioneros en el posicionamiento de GNSS, es uno de los más extendidos a nivel global. GPS está conformado por una constelación de 24 satélites los cuales envían señales de rango, que permiten identificar al transmisor original, mismas que modulan un mensaje de navegación que contiene

datos importantes de efemérides para calcular la posición de cada uno de los satélites. A los datos de la hora y el estado de toda la constelación se lo conoce como almanaque. Esta señal se modula por varias portadoras a frecuencias ubicadas en la región UHF, entre ellas: L1, L2 y L5 (Bernhard Hofmann-Wellenhof, Herbert Lichtenegger, James Collins, 2012).



**Figura 3-1:** Constelación de GPS.

Fuente: (Hernández, 2007)

### 1.2.1. Señal de GPS

Las señales de GPS tradicionalmente se han transmitido en dos frecuencias de radio de la banda UHF, más comúnmente conocida en sistemas de navegación como la banda L. Estas dos frecuencias se denominan L1 y L2 y se derivan de una frecuencia común  $f_0 = 10.23 \text{ MHz}$  originada por los relojes atómicos (Alcalá, 2012).

$$f_{L1} = 154 \times f_0 = 1575.42 \text{ MHz.}$$

$$f_{L2} = 120 \times f_0 = 1227.60 \text{ MHz.}$$

Actualmente existen dos servicios disponibles en GPS:

**SPS:** El Servicio de posicionamiento Estándar es un servicio abierto y gratuito para todo el mundo en donde es un servicio de frecuencia única que utiliza una banda de frecuencia L1.

**PPS:** El Servicio de Posicionamiento Preciso es un servicio que está destinado a uso militar ya que está restringido por técnicas criptográficas en las señales en donde proporcionan las señales de navegación por dos bandas de frecuencia diferentes L1 y L2.

GPS utiliza la codificación CDMA para enviar diferentes señales en la misma frecuencia, y el tipo de modulación que utiliza es BPSK (Binary Phase Shift Keying).

Los siguientes tipos de códigos de PRN y mensajes son modulados sobre dos portadoras:

- **Código de Ajuste Grueso o C/A (course acquisition code):** Se trata de una secuencia que da lugar al servicio estándar civil SPS de 1023 chips (un chip es equivalente al concepto de un bit, pero recibe este nombre porque no pertenece a una palabra o byte de información sino a un código de identificación); este código se repite cada milisegundo, lo que da lugar a una tasa de chipping de 1.023 MHz; este código modula únicamente la señal L1 y es diferente para cada satélite.
- **Código de Precisión (P(Y)):** que se encuentra encriptado y permite el servicio para fines militares y de seguridad PPS (Precise Positioning Service); es un código de mayor longitud, de unos  $2.35 \cdot 10^{14}$  chips, con una tasa de chips de 10.23 MHz (es decir, los chips son diez veces más cortos que para el C/A); este código, en lugar de repetirse cada milisegundo como el C/A, se repetiría, siguiendo una tasa de 10.23 MHz cada 266.4 días pero se realiza un reset a las cero horas del domingo y cada satélite utiliza un fragmento diferente para que se pueda producir la identificación del mismo a través del código (así podemos llegar a tener 38 satélites en funcionamiento simultaneo ( $266.4/7 \approx 38.06$ ); el código P(Y) es militar y está encriptado, y modula tanto la L1 como la L2 (J. Sanz Subirana; & J.M. Juan Zornoza and M; & Hernández-Pajares, 2013 pág. 17).

**Tabla 1-1:** Datos principales de la señal de GPS

Frecuencia del reloj atómico	$f_0 = 10.23\text{MHz}$
Frecuencia L1	$154 \times f_0 = 1575.420\text{ MHz}$
Longitud de Onda L1	$19.03\text{ cm}$
Frecuencia L2	$120 \times f_0 = 1227.600\text{ MHz}$
Longitud de Onda L2	$24.42\text{ cm}$
P Frecuencia de Chip	$f_0 = 1575.420\text{ MHz (Mbps)}$
P Longitud de onda	$29.31\text{ m}$
P Período	$266\text{ días, }7\text{ días/satélite}$
C/A Frecuencia de Chip	$f_0/10 = 1.023\text{ MHz}$
C/A Longitud de Onda	$293.1\text{ m}$
C/A Período	$1\text{ ms}$
Frecuencia de mensaje de navegación	$50\text{ bps}$
Longitud de Trama	$30\text{ s}$
Longitud total del mensaje	$12.5\text{ min}$

**Fuente:** (J. Sanz Subirana; & J.M. Juan Zornoza and M; & Hernández-Pajares, 2013 pág. 20)

**Realizado por:** Santiago Velasco

### 1.3. GLONASS

GLONASS al igual que GPS tienen como objetivo fundamental determinar la posición de un objeto en cualquier parte del globo terráqueo, Fue desarrollado a inicios de los años 70 con el fin de ser el competidor del sistema de constelación de GPS, por parte de la unión soviética (Aleksey Boriskin, Gleb Zyryanov, 2008).

El primer satélite de GLONASS fue lanzado el 12 de octubre de 1982, y así sucesivamente varios más hasta llegar a principios del año 1996 en donde tenían una constelación operativa de 24 satélites. Desafortunadamente para el año 2002 fue desmantelada debido a problemas económicos; sin embargo, ya con el apoyo del gobierno ruso, fue capaz de estar nuevamente operativo a partir del 8 de diciembre de 2011.

**Primera generación:** Fue dividida en diferentes bloques denominados IIa, IIb y IIv con diferentes tiempos de vida útil generalmente con duración de 2 a 3 años.

**Segunda Generación:** Se la denomina como Glonass-M en donde la sigla “-M” indica que la constelación fue modernizada o modificada, para esta generación la vida útil de los satélites incrementó a 7 años.

**Tercera generación:** Se la conoce como Glonass-K, en esta generación incrementaron la vida útil de los satélites de 10 a 12 años y redujeron de manera considerable el peso a 750kg.

La constelación Glonass alcanzó la FOC (Full Operation Capability) el 8 de diciembre de 2011, después de que el satélite lanzado el 4 de noviembre (en la ranura 3) fuera declarado operativo a las 11:42 hora de Moscú. Con 24 satélites operativos, la constelación Glonass proporciona una cobertura completa de la superficie terrestre (Elliott D. Kaplan; & Christopher J. Hegarty, 2006 pág. 17).

#### 1.3.1. Señales de GLONASS

Las señales heredadas de Glonass están polarizadas circularmente a la derecha y centradas en dos radiofrecuencias de la banda L, denominadas aquí bandas G1 y G2.

Actualmente existen dos servicios de Glonass:

**SPS:** El Servicio de Posicionamiento Estándar (o Servicio de Señal de Precisión Estándar) es un servicio abierto y gratuito para los usuarios en el planeta. La señal de navegación se ofrecía inicialmente sólo en la banda de frecuencias G1, pero desde 2004 los nuevos satélites Glonass-M transmiten también una segunda señal civil en G2.

**PPS:** El Servicio de Posicionamiento Preciso (o Servicio de Señales de Alta Precisión) está restringido a los usuarios militares y autorizados. Se proporcionan dos señales de navegación en las dos bandas de frecuencia G1 y G2.

A diferencia de la constelación de GPS comparten las mismas frecuencias; sin embargo, cada satélite de GLONASS emite una frecuencia en específico dentro de la banda. Mediante esta frecuencia se determina el número de canal de frecuencia del satélite, permitiendo así a los receptores de los usuarios identificar los satélites mediante FDMA.

La planificación de la modernización de GLONASS incluye la transmisión de señales CDMA en las bandas G1, G2 y G3 (L3), e incluso en la banda L5 del GPS, además de transmitir las señales FDMA heredadas en las bandas G1 y G2.

La frecuencia real de transmisión de la señal GLONASS heredada en G1 y G2 puede derivarse del número de canal  $k$  aplicando las siguientes expresiones:

$$\text{Banda de frecuencia G1: } f_1(k) = 1602 + k \times 9/16 = (2848 + k) \times 9/16 \text{ MHz}$$

$$\text{Banda de frecuencia G1: } f_1(k) = 1602 + k \times 9/16 = (2848 + k) \times 9/16 \text{ MHz}$$

En principio tenían 24 canales, sin embargo, debido a regulaciones de la ITU se redujo a 12 canales. La reducción de 24 a 12 canales se compensa en la configuración, ya que dos satélites en la misma órbita transmiten exactamente a la misma frecuencia, pero ocupan ubicaciones antípodas. En consecuencia, nunca estarán simultáneamente a la vista de ningún usuario en la superficie de la Tierra (no obstante, los receptores espaciales deberán implementar funciones de discriminación para distinguir los satélites). En estas frecuencias se modulan dos códigos de alcance, el de adquisición gruesa C/A (código civil abierto) y el de precisión P (militar), junto con un mensaje de navegación D, mediante la técnica BPSK.

Los códigos C/A y P tienen periodos de 1 ms y 1 s, y anchos de chip de 586,7 y 58,67 m, respectivamente, y son aproximadamente dos veces más ruidosos que los del GPS.

**Tabla 2-1:** Datos principales de la señal GLONASS

Frecuencia del reloj atómico	$f_0 = 0.511 \text{ MHz}$
Frecuencia L1	$9/16(2848+k) = 1602.000+0.5625k \text{ MHz}$
Longitud de Onda	$18.7 \text{ cm } (k=0)$
Frecuencia L1	$7/16(2848 + k) = 1246.000+0.4374k \text{ MHz}$
Longitud de Onda	$24.1 \text{ cm } (k=0)$
P Frecuencia de Chip	$10f_0 = 5.11 \text{ MHz (Mcps)}$

P Longitud de onda	58.67 m
P Período	1 s
C/A Frecuencia de Chip	$f_0/10 = 1.023 \text{ MHz}$
C/A Longitud de Onda	586.7 m
C/A Período	1 ms
Frecuencia de mensaje de navegación	50 bps
Longitud de Trama	30 s (en CA), 10 s (en P)
Longitud total del mensaje	2.5 min (en CA), 12 min (en P)

Fuente: (J. Sanz Subirana; J.M. Juan Zornoza; M. Hernández-Pajares, 2013 pág. 28)

Realizado por: Santiago Velasco

## 1.4. Galileo

El Plan de Despliegue de Galileo tiene dos fases principales:

- (1) La fase de Validación en Órbita (IOV) con una constelación reducida de cuatro satélites operativos y su correspondiente infraestructura terrestre (2012).
- (2) La FOC que implica el despliegue del resto de la infraestructura terrestre y espacial, incluyendo una fase intermedia de capacidad operativa inicial (para 2014-2016) con 18 satélites en funcionamiento (los 4 satélites IOV más otros 14).

La constelación Galileo Full Operational Capability (FOC) consta de 27 satélites MEO operativos y 3 de repuesto a una altitud de 23.222 km y con una excentricidad orbital de 0,002. Diez satélites ocuparán cada uno de los tres planos orbitales inclinados en un ángulo de  $56^\circ$  con respecto al ecuador. Los satélites estarán repartidos alrededor de cada plano y tardarán unas 14 horas, 4 minutos y 45 segundos en orbitar la Tierra. Esta constelación garantiza, en funcionamiento nominal, un mínimo de seis satélites a la vista desde cualquier punto de la superficie terrestre en cualquier momento, con una elevación sobre el horizonte de más de  $10^\circ$  (Inc., 2015 pág. 40).

### 1.4.1. Señal Galileo

En la fase FOC, cada satélite Galileo transmitirá 10 señales de navegación en las bandas de frecuencia E1, E6, E5a y E5b, cada una de ellas con polarización circular hacia la derecha. Estas señales están diseñadas para dar soporte a los diferentes servicios que ofrece Galileo y EGNOS32, en función de las distintas necesidades que tengan los usuarios, como se indica a continuación:

**OS:** El servicio abierto (OS) es gratuito para los usuarios de todo el mundo. En él se ofrecen hasta tres frecuencias de señal distintas. Los receptores de una frecuencia ofrecerán prestaciones similares a las del GPS C/A. En general, las aplicaciones del OS utilizarán una combinación de



señales Galileo y GPS, lo que mejorará el rendimiento en entornos difíciles, como las zonas urbanas.

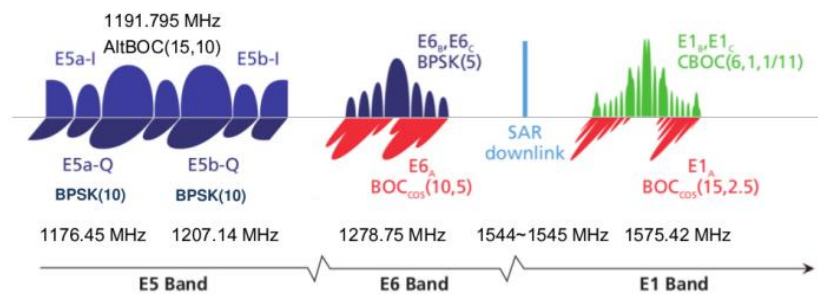
**PRS:** El Servicio Público Regulado (PRS) está destinado a las autoridades de seguridad (policía, ejército, etc.) que requieren una alta continuidad de servicio. Está bajo control gubernamental. Se introduce una modulación/criptación de la señal mejorada para proporcionar solidez contra las interferencias y la suplantación de identidad. Se dispondrá de dos señales de navegación PRS con códigos de alcance y datos encriptados (Inc., 2015 pág. 42).

**CS:** El Servicio Comercial (CS) proporciona acceso a dos señales adicionales protegidas por encriptación comercial (datos de alcance y mensajes). Se introducen velocidades de datos más altas (hasta 500 bps) para la transmisión de mensajes de datos.

**SAR:** Este servicio contribuye al sistema internacional Cospas-Sarsat de búsqueda y rescate (SAR). Se transmitirá una señal de socorro al Centro de Coordinación de Rescate y Galileo informará a los usuarios de que se ha detectado su situación.

**SoL:** El servicio de seguridad de la vida (SoL) ya está disponible para la aviación según las normas de la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI) gracias a EGNOS; Galileo mejorará aún más las prestaciones del servicio.

Al igual que en el GPS, todos los satélites comparten las mismas frecuencias y las señales se diferencian mediante la técnica CDMA. Estas señales pueden contener canales de datos y canales piloto. Ambos canales proporcionan códigos de rango, pero los canales de datos también incluyen datos de navegación. Los canales piloto (o tonos piloto) son señales sin datos, por lo que no se produce ninguna transición de bits, lo que ayuda al seguimiento de señales débiles. Los espectros de las señales de Galileo se muestran en la figura 4, donde los canales de datos y los canales piloto se representan en planos ortogonales.



**Figura 4-1:** Espectro de las señales de Galileo

Fuente: Stefan Wallner, 2015

**Tabla 3-1:** Datos principales de la señal de Galileo.

<b>Banda</b>	<b>Frec. Portadora (MHz)</b>	<b>Tipo de canal</b>	<b>Tipo de modulación</b>	<b>Tasa de Código (Mcps)</b>	<b>Tasa de datos (bps)</b>	<b>Servicios</b>
E1	1575.420	E1-A datos	BOC (15, 2.5)	2.5575	N/A	PRS
		E1-B datos	MBOC(6,1,1/11)	1.023	125	OS, CS, SoL
		E1-C piloto			-	
E6	1278.750	E6-A datos	BOC(10,5)	5.115	N/A	PRS
		E6-B datos	BPSK(5)		500	CS
		E6-C piloto			-	
E5a	1176.450	E5a-I datos	BPSK(10)	10.23	25	OS
		E5a-l piloto			-	
E5b	1270.140	E5b- l datos	BPSK(10)	10.23	125	OS, CS, SoL
		E5b- Q piloto			-	

**Fuente:** (J. Sanz Subirana; J.M. Juan Zornoza; M. Hernández-Pajares, 2013 pág. 32)

**Realizado por:** Santiago Velasco

## 1.5. Beidou

Existen tres variantes de satélites Beidou: el geoestacionario Beidou-G, el geosincrónico Beidou-IGSO y el MEO Beidou-M. Tienen una vida útil de ocho años y se basan en la plataforma DFH-3 (DongFangHong) de tres ejes estabilizados, construida por CASC (China Aerospace Science and Technology Corporation).

El primer satélite Beidou Fase II en órbita fue el satélite experimental BeidouM, lanzado el 14 de abril de 2007 (hora local) para probar la carga útil a bordo. Este satélite representó el primer paso del nuevo GNSS chino. A finales de diciembre de 2011, China había puesto en órbita cuatro satélites Beidou-G y cinco Beidou-IGSO.

El 27 de diciembre de 2011, con 10 satélites en órbita, el sistema Beidou comenzó formalmente a prestar un servicio operativo inicial de fase II a China y sus zonas circundantes (servicio regional). A finales de 2012, hay cinco satélites de navegación GEO, cuatro MEO y cinco IGSO en órbita. La finalización de la constelación de 35 satélites (5 GEO, 27 MEO y 3 IGSO).

### 1.5.1. Señales de Beidou

Los satélites Beidou Fase II/III transmitirán señales polarizadas circularmente a la derecha centradas en tres radiofrecuencias de la banda L, denominadas aquí bandas B1, B2 y B3. Se

prevén dos servicios para el sistema Beidou (en la fase II como servicio regional y en la fase III como servicio global):

**Servicio abierto:** El SPS (o Servicio de Señales de Precisión Estándar) es un servicio abierto, gratuito para todos los usuarios.

**Servicio autorizado:** Este servicio garantizará un uso muy fiable, proporcionando servicios de posicionamiento, velocidad y temporización más seguros, así como información del sistema, para los usuarios autorizados. Al igual que las señales GPS, Galileo o la nueva Glonass, las señales de alcance de Beidou se basan en la técnica CDMA. Las diferentes señales de navegación, la estructura y los servicios soportados, según el plan de señales actual para la Fase II y la Fase III.

**Tabla 4-1:** Resumen de constelaciones de GNSS

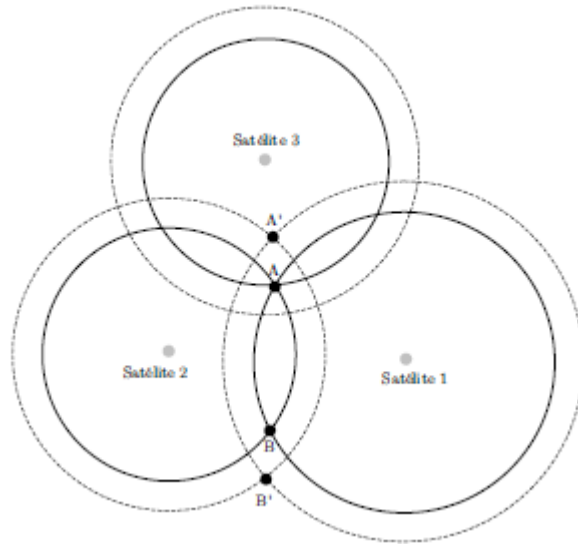
Sistema	GPS	GLONASS	Beidou	Galileo
Órbita	MEO	MEO	MEO, IGSO, GEO	MEO
Número de Satélites	24	24	27, 3, 5	30
Constelación	6 planos orbitales 56°	Walker (24/3/1) 64,8°	Walker (24/3/1) 55°	Walker (24/3/1) 56°
Servicios	SPS, PPS	SPS, PPS	OS, AS, WADS, SMS	OS, CS, PRS
Inicio del Servicio	Diciembre. 1993	Septiembre 1993	Diciembre 2012	2016/2017
Origen	USA	Rusia	China	Europa
Cobertura	Global	Global	Global	Global
Frecuencia (MHz)	L1 1575.42 L2 1227.60 L5 1176.45	G1 1602.00 G2 1246.00 G3 1268.52	B1 1561.098 B2 1207.14 B3 1268.52	E1 1575.42 E5a 1176.45 E5b 1207.14 E6 1278.75

**Obtenido de:** (Peter J.G; Teunissen; Oliver Montenbruck, 2017 pág. 17)

**Realizado por:** Santiago Velasco

### 1.6. Estimación de la posición mediante medidas de pseudodistancia:

Un receptor de GNSS, a partir de las medidas de tiempo de propagación de cada una de las señales captadas de al menos de 4 satélites es la forma geométrica por la cual se obtiene el posicionamiento y a su vez se estima el tiempo de deriva del reloj tal y como se muestra en la figura 5-1 (Plazaola, 2012 pág. 28).



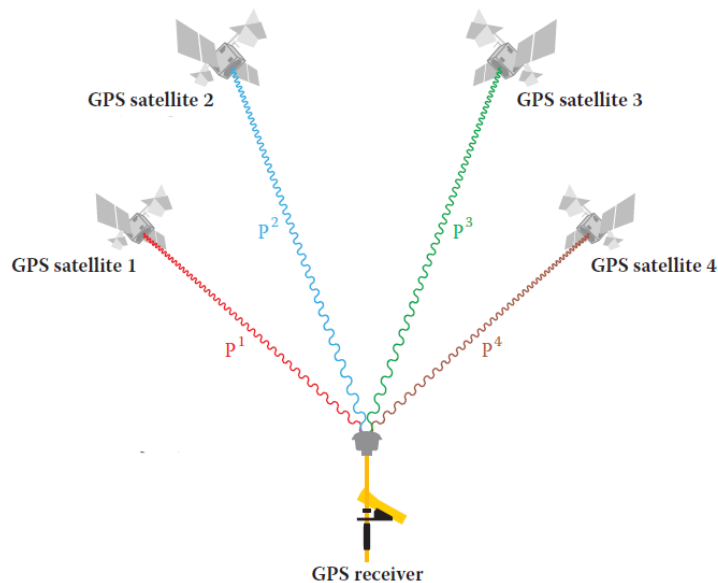
**Figura 5-1.** Posicionamiento en el espacio con deriva en el reloj del receptor.

Fuente: (Plazaola, 2012 pág. 21)

Las medidas de pseudodistancia se ven afectadas por varias fuentes de error como previamente se describió en secciones anteriores UERE. De todas esas fuentes de error una de las más significativas es la deriva del reloj del receptor. Bajo estas condiciones, una medida de pseudodistancia para un satélite es:

$$\rho_i = d_i + c t_r$$

**Ecuación 1-1:** Medida de pseudodistancia de un satélite



**Figura 6-1.** Posicionamiento de los satélites.

Fuente: (Sickle, 2015 pág. 71)

Las incógnitas a resolver son de las tres coordenadas correspondientes a la posición del receptor y la deriva del reloj  $t_r$ , por lo que son necesarias como mínimo 4 medidas o ecuaciones. Teniendo así:

$$\rho_1 = \sqrt{(x_1 - x_r)^2 + (y_1 - y_r)^2 + (z_1 - z_r)^2} + ct_r$$

$$\rho_2 = \sqrt{(x_2 - x_r)^2 + (y_2 - y_r)^2 + (z_2 - z_r)^2} + ct_r$$

$$\rho_3 = \sqrt{(x_3 - x_r)^2 + (y_3 - y_r)^2 + (z_3 - z_r)^2} + ct_r$$

$$\rho_4 = \sqrt{(x_4 - x_r)^2 + (y_4 - y_r)^2 + (z_4 - z_r)^2} + ct_r$$

**Ecuación 2-1:** Medidas de pseudodistancia a resolver con 4 satélites.

donde se han expandido las distancias  $d_i$  para hacer visibles las incógnitas de posición del receptor  $x_r$ ,  $y_r$  y  $z_r$ . El sistema de ecuaciones anterior no es lineal, por lo que se debe tener en cuenta que la solución no es inmediata. Típicamente se cuenta con una posición aproximada del receptor y lo que se realiza es linealizar las ecuaciones en torno a esa posición aproximada. Si las coordenadas de dicha posición son  $\hat{x}_r$ ,  $\hat{y}_r$  y  $\hat{z}_r$ , su relación con la posición real vendrá dada por:

$$x_r = \hat{x}_r + \Delta x_r$$

$$y_r = \hat{y}_r + \Delta y_r$$

$$z_r = \hat{z}_r + \Delta z_r$$

La linearización del sistema de ecuaciones, consiste en: mediante el desarrollo de Taylor se linearizan las ecuaciones alrededor de la posición aproximada, con el fin de utilizar sólo términos de dependencia lineal. Teniendo en cuenta estas premisas la ecuación se convierte en:

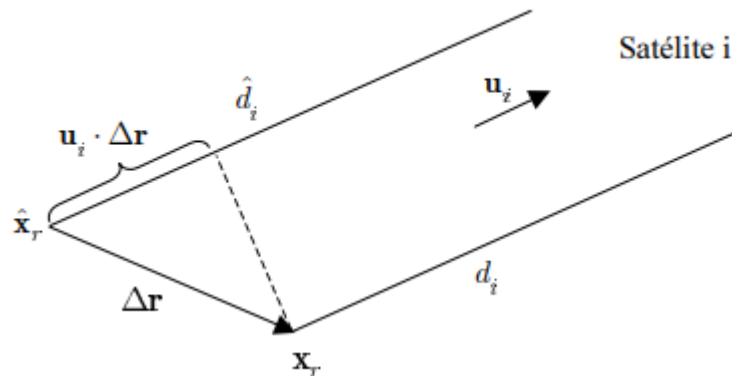
$$\rho_i = \hat{d}_i - u_{xi}\Delta x_r - u_{yi}\Delta y_r - u_{zi}\Delta z_r + ct_r = \hat{d}_i - \mathbf{u}_i \cdot \Delta \mathbf{r} + ct_r$$

En donde  $\hat{d}_i$  es la distancia de la posición aproximada al satélite,  $\Delta \mathbf{r}$  un vector formado por  $\Delta x_r$ ,  $\Delta y_r$ ,  $\Delta z_r$  y  $u_{xi}$ ,  $u_{yi}$ ,  $u_{zi}$  son las componentes del vector unitario  $u_i$  en la dirección del satélite, definido cómo:

$$u_{xi} = \frac{x_i - \hat{x}_r}{\hat{d}_i}$$

$$u_{yi} = \frac{y_i - \hat{y}_r}{\hat{d}_i}$$

$$u_{zi} = \frac{z_i - \hat{z}_r}{\hat{d}_i}$$



**Figura 7-1.** Linearización en un punto aproximado.

Fuente: (Plazaola, 2012 pág. 35)

La figura 7-1 representa la relación geométrica entre  $d_i$ ,  $\hat{d}_i$  y  $\Delta r$ . Los términos de la ecuación se pueden reordenar y expresar la ecuación como:

$$\hat{d}_i - \rho_i = u_{xi}\Delta x_r + u_{yi}\Delta y_r + u_{zi}\Delta z_r - ct_r$$

Y de forma matricial viene a estar representado por:

$$\Delta_p = \begin{bmatrix} \hat{d}_1 - \rho_1 \\ \hat{d}_2 - \rho_2 \\ \dots \\ \hat{d}_s - \rho_s \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} u_{x1} & u_{y1} & u_{z1} & 1 \\ u_{x2} & u_{y2} & u_{z2} & 1 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ u_{xs} & u_{ys} & u_{zs} & 1 \end{bmatrix} = H\Delta x$$

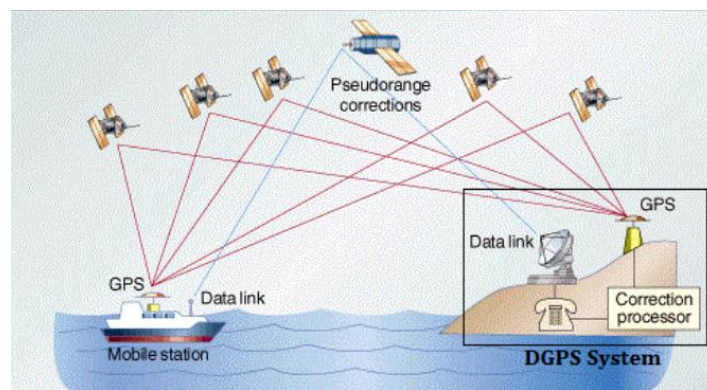
### 1.7. Técnicas de corrección:

Los errores en los relojes de los satélites, las órbitas imperfectas, el viaje de las señales a través de las capas de la atmósfera y muchas otras fuentes contribuyen a la inexactitud de las señales en los sistemas de navegación al momento de que llegan al receptor. Estos errores son variables, por lo que la mejor manera de corregirlos es monitorizarlos a medida que se producen. Una buena manera de hacerlo es instalar un receptor GPS en una estación cuya posición se conozca con exactitud; esto se lo denomina estación base. Esta estación base puede calcular su posición a partir de los datos del satélite, comparar esa posición con su posición real conocida, y encontrar la diferencia. Este error resultante se envía desde la base al rover con el fin de que se pueda corregir el error pero, debido a que los errores cambian constantemente, la estación base tiene que controlarlos todo el tiempo. Mientras esto ocurre, los rovers se desplazan de un lugar a otro recogiendo los puntos cuyas posiciones y se requiere, por lo tanto, conocer la ubicación en relación con la estación base, y obtener una posición adecuada que es el verdadero objetivo. Los datos de las correcciones se pueden obtener en post-proceso o en tiempo real, dependiendo el tipo

de técnica de corrección de errores que se utilice se puede mitigar la influencia de los errores en la señal de los sistemas de GNSS.

### 1.7.1. Diferencial de GPS (DGPS)

La técnica de diferencial de GPS incrementa de manera drástica la precisión e integridad de la posición en un receptor. El principio de funcionamiento radica en utilizar un receptor como referencia con coordenadas conocidas y de un receptor de usuario o más conocido como rover, para que a través de la diferenciación de sus medidas se elimine los errores correlacionados en espacio y tiempo (Mónica Zabala, Franklin López, y Ángel Ortega., 2017)



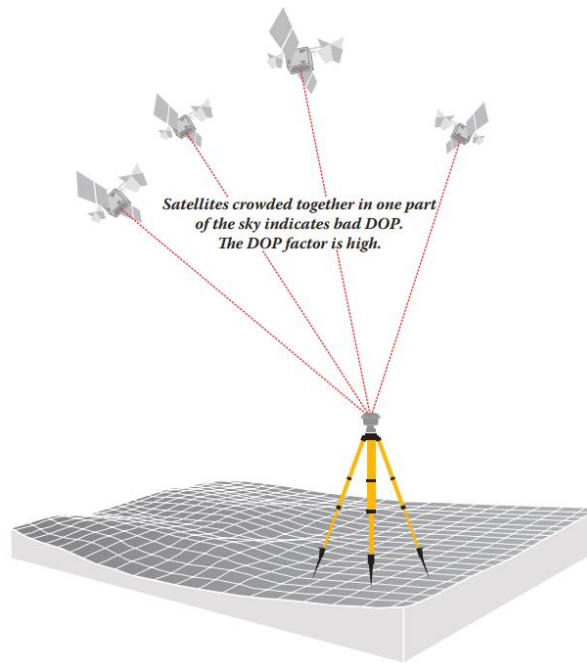
**Figura 8-1:** Diferencial de GPS

Fuente: (GAUTAM, 2012 pág. 43).

#### 1.7.1.1. Dispersión de la precisión (DOP).

La distribución de los satélites sobre el horizonte de un observador tiene una relación directa con la calidad de la posición derivada de ellos. La precisión de una posición GPS está sujeta a un fenómeno geométrico denominado dispersión de la precisión (DOP).

La DOP se refiere a el efecto de la geometría de los satélites que intervienen en la medición sobre el cálculo de las coordenadas del punto y el tiempo. Teniendo en cuenta que un factor DOP bajo es bueno, y tener un factor DOP alto es malo. En otras palabras, cuando los satélites están en la configuración óptima para una posición GPS fiable, el DOP es bajo; cuando no lo están, el DOP es alto (véase la figura 9-1).



**Figura 9-1.** DOP degradada

Fuente: (Sickle, 2015)

Como se evidencia en la figura 9-1 cuatro o más satélites deben estar por encima del ángulo de observables en el receptor para la solución simultánea de desfase del reloj y de las tres dimensiones de la posición de este. Sin embargo, si todos esos satélites están apilados entre sí en una misma parte del cielo, es probable que la posición tenga una incertidumbre inaceptable y la DOP, o dispersión de la precisión, sea alta. En otras palabras, una DOP alta es como una advertencia de que los errores reales de una posición GPS pueden ser mayores de lo que se espera; sin embargo, que no son los errores en sí mismos los que se incrementan directamente por el factor DOP; es la incertidumbre de la posición GPS la que se incrementa por el factor DOP. He aquí una aproximación del efecto:

$$\sigma = DOP \sigma_0$$

**Ecuación 3-1:** Dispersión de la precisión.

Donde:

$\sigma$  = Incertidumbre de la posición.

DOP = Dispersión de la precisión.

$\sigma_0$  = incertidumbre de las mediciones (UERE).

Ahora bien, dado que una posición GPS se deriva de una solución tridimensional, hay varios factores DOP que se utilizan para evaluar las incertidumbres de los componentes de una posición GPS. Por ejemplo, existe la dispersión horizontal de la precisión (HDOP) y la dispersión vertical



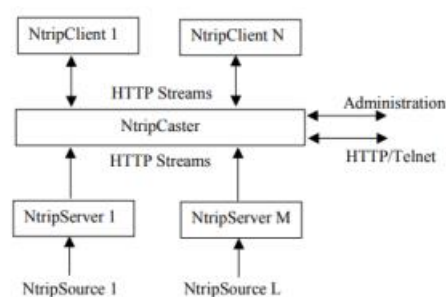
de la precisión (VDOP), donde la incertidumbre de una solución para el posicionamiento se ha aislado en sus componentes horizontales y verticales, respectivamente. Cuando se combinan las componentes horizontales y verticales, la incertidumbre de las posiciones tridimensionales se denomina dispersión de la precisión por posición (PDOP). También existe la dilución temporal de la precisión (TDOP), que indica la incertidumbre del reloj. Existe la dilución geométrica de la precisión (GDOP), que es la combinación de todas las anteriores. Por último, existe la dilución relativa de la precisión (RDOP), que incluye el número de receptores, el número de satélites que pueden manejar, la duración de la sesión de observación, así como la geometría de la configuración de los satélites. El error de alcance equivalente del usuario (UERE) es el presupuesto total de error que afecta a una medida de pseudorange. Es la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados de los sesgos individuales comentados en el capítulo 2.

### 1.7.2. NTRIP

Ntrip se refiere a una red de transporte de datos en formato RTCM (Radio Technical Commission for Maritime Services), a través el protocolo de Internet.

Este protocolo a diferencia de DGNSS intenta revertir la limitación de distancia entre la ubicación de la estación fija y el móvil. Está basado en el protocolo de hipertexto HTTP/1.1 (Hypertext Transfer Protocol) el cuál actúa en la capa más alta del TCP/IP (Transmission Control Protocol / Internet Protocol).

La finalidad de Ntrip es mejorar el flujo de datos de las CORS así como dar acceso a múltiples clientes que requieran el servicio a través de internet.



**Figura 10-1:** Arquitectura de NTRIP

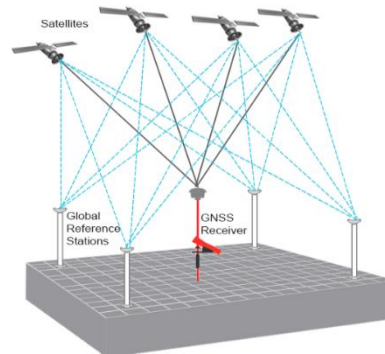
Fuente: (Zabala, 2018 pág. 3).

### 1.7.3. PPP (Precise Point Positioning)

Las soluciones PPP se basan en correcciones de reloj y órbita satelital GNSS, generadas a partir de una red de Estaciones de Referencia de Operación Continua o más conocida como: (CORS).

En donde, una vez calculadas las correcciones, se entregan al usuario vía satélite o Internet, lo que resulta en un posicionamiento en tiempo real por debajo al centímetro, sin la necesidad de una estación base local.

Las soluciones de PPP normalmente requieren un período de convergencia de 5 a 30 minutos para resolver cualquier sesgo local, como las condiciones atmosféricas, el multitrayecto y la geometría del satélite (Inc., 2015).



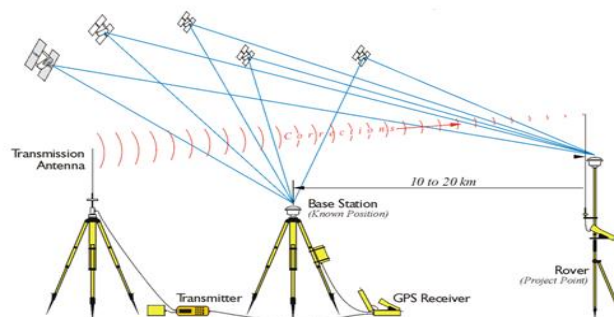
**Figura 11-1:** Posicionamiento por PPP

Fuente: (RF, 2020).

Mediante el uso de esta técnica se puede ofrecer una precisión hasta de 3 centímetros (o menos), que es ampliamente utilizada en: robótica, navegación autónoma, agricultura, construcción, minería y donde generalmente se necesita precisión a escala centimétrica.

#### 1.7.4. RTK (*Real Time Kinematic*)

Se trata de una técnica de GNSS diferencial originada a mediados de la década de 1990 que proporciona un posicionamiento de alto rendimiento en las proximidades de una estación base.



**Figura 12-1:** Funcionamiento RTK

Fuente: (Sickle, 2015).

Un sistema RTK consta de una estación base y un móvil. La estación base es un receptor estacionario del cuál se conoce su ubicación. La estación base calcula su ubicación utilizando la

señal recibida de los satélites GNSS según la técnica de medición de la fase de la portadora. Luego compara esta ubicación con su ubicación conocida para identificar cualquier error y generar una señal de corrección. Esta señal de corrección se transmite en tiempo real al móvil.

El Rover utiliza estos datos de corrección para mejorar su propia posición calculada a partir de las constelaciones GNSS para lograr una precisión en el orden de los centímetros (Qinjuan Zhang, 2020).

Los receptores RTK pueden ser de frecuencia simple o multifrecuencia con antenas de GPS; sin embargo, los receptores multifrecuencia son habituales debido a que el RTK se basa en observaciones de la fase de la portadora que son corregidas en tiempo real; es decir, depende de la fijación de ambigüedad de un ciclo entero lo cual se obtiene de manera más eficiente utilizando un receptor multifrecuencia capaz de realizar mediciones precisas de la pseudodistancia y de la fase de la portadora.

Para entender el posicionamiento con RTK, es necesario analizar las ecuaciones relacionadas al posicionamiento diferencial. Las observaciones convencionales de pseudo-rango y de la fase de la portadora se dan entre el satélite  $s$  ( $i$  y  $j$ ) y el receptor  $r$  (A, estación base y B, un rover) están dadas por:

$$R_r^s(t) = \rho_r^s(t) + cdT_r(t) - cdt^s(t) + I_r^s(t) + T_r^s(t) + M_r^s(t) + E_r^s(t) + \varepsilon_r^s(t)$$

**Ecuación 4-1:** Pseudo-rango.

$$\Phi_r^s(t) = \rho_r^s(t) + cdT_r(t) - cdt^s(t) + I_r^s(t) + T_r^s(t) + M_r^s(t) + E_r^s(t) + \lambda N_r^s + \varepsilon_r^s(t)$$

**Ecuación 5-1:** Fase de portadora.

*Donde:*

$R_r^s(t)$  y  $\Phi_r^s(t)$  son las medidas de pseudo-rango y fase de la portadora respectivamente.

$\rho_r^s$  es el rango geométrico entre el satélite  $s$  y el receptor  $r$  (m).

$c$  es la velocidad de la luz

$dT_r$  es el error de reloj en el receptor (s).

$I_r^s$  es el error del retraso ocasionado por la ionósfera (m).

$T_r^s$  es el error del retraso ocasionado por la tropósfera (m).

$M_r^s$  es el error ocasionado por el multipath (m).

$E_r^s$  representa al error orbital (m).

$N_r^s$  Es la ambigüedad de fase de la portadora.

$\varepsilon_r^s$  Errores aleatorios (m).

Se calcula la corrección de pseudodistancia (PRC) y la corrección de fase de portadora (CPC) en el receptor de la estación base conocida (A) con la ayuda de los satélites  $s$ . Estas correcciones diferenciales pueden ser expresadas en las siguientes ecuaciones ignorando el error de multitrayectoria y los errores aleatorios;

$$PRC_A^s(t) = \rho_A^s(t) - R_A^s(t)$$

$$PRC_A^s(t) = -cdT_A(t) + cdt^s(t) - I_A^s(t) - T_A^s(t) + E_A^s(t)$$

**Ecuación 6-1:** Corrección de Pseudo-rango (base).

$$CPC_A^s(t) = \rho_A^s(t) - \Phi_A^s(t)$$

$$CPC_A^s(t) = -cdT_A(t) + cdt^s(t) + I_A^s(t) - T_A^s(t) - E_A^s(t) - \lambda N_A^s$$

**Ecuación 7-1:** Corrección de Fase de portadora (base).

Estas correcciones son transmitidas hacia el rover (B) tanto las correcciones de pseudo-rango como las correcciones de portadora de fase son calculadas con las ecuaciones siguientes:

$$R_B^s(t)_{Corregido} = R_B^s(t) + PRC_A^s(t)$$

$$R_B^s(t)_{Corregido} = \rho_B^s(t) + cdT_{AB}(t) + \Delta I_{AB}^s(t) + \Delta T_{AB}^s(t) + \Delta E_{AB}^s(t)$$

**Ecuación 8-1:** Corrección de Pseudo-rango (rover).

$$\Phi_B^s(t)_{Corregido} = \Phi_B^s(t) + CPC_A^s(t)$$

$$R_B^s(t)_{Corregido} = \rho_B^s(t) + cdT_{AB}(t) - \Delta I_{AB}^s(t) + \Delta T_{AB}^s(t) + \Delta E_{AB}^s(t) + \lambda N_{AB}^s$$

**Ecuación 9-1:** Corrección de Fase de portadora (rover).

En la distancia limitada (menos de 10 km) entre la referencia (A) y el rover (B), los errores dependientes de la distancia están muy correlacionados y pueden despreciarse. En este caso, las observaciones corregidas de pseudodistancia y fase portadora para el rover (B) con los satélites  $i$  y  $j$  pasan a ser:

$$R_B^i(t)_{Corregido} = \rho_B^i(t) + c[dT_B(t) - dT_A(t)]$$

**Ecuación 10-1:** Medida de pseudorango con errores mitigados en la base.

$$\Phi_B^i(t)_{Corregido} = \rho_B^i(t) + c[dT_B(t) - dT_A(t)] + \lambda(N_B^i - N_A^i)$$

**Ecuación 11-1:** Medida de Fase portadora con errores mitigados en la base

$$R_B^j(t)_{Corregido} = \rho_B^j(t) + c[dT_B(t) - dT_A(t)]$$

**Ecuación 12-1:** Medida de pseudorango con errores mitigados en el rover

$$\Phi_B^j(t)_{Corregido} = \rho_B^j(t) + c[dT_B(t) - dT_A(t)] + \lambda(N_B^j - N_A^j)$$

**Ecuación 13-1:** Medida de Fase portadora con errores mitigados en el rover

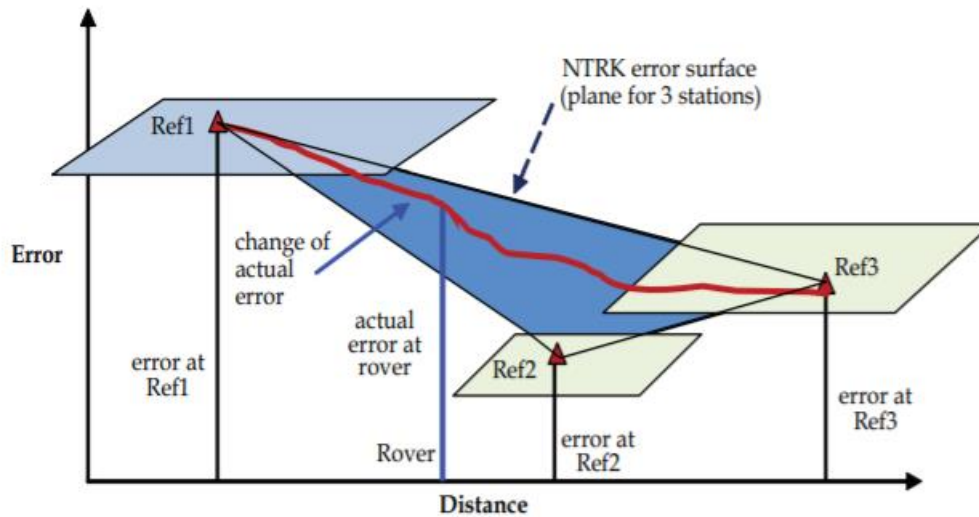
Al diferenciar las observaciones corregidas para el rover (B), se eliminan los errores del reloj del receptor. Entonces el rover calcula su posición a nivel centimétrico con las observaciones corregidas en tiempo real, si la resolución de la ambigüedad es fija.

#### ***1.7.5. NRTK***

Normalmente en el método RTK tradicional se utiliza una única estación de referencia, el rover necesita trabajar dentro de un rango corto desde la estación de referencia debido a la decorrelación espacial de los errores dependientes de la distancia inducidos por la ionosfera, la troposfera y los errores orbitales. El rango operativo del posicionamiento RTK depende, por tanto, de las condiciones atmosféricas existentes y suele estar limitado a una distancia de hasta 10-20 km. Además, no suele haber redundancia de las estaciones de referencia en caso de que la estación de referencia sufra algún fallo. La restricción del limitado alcance de la referencia al rover en RTK puede eliminarse utilizando un método conocido como Network RTK (NRTK), en el que se utiliza una red de estaciones de referencia con alcances normalmente inferiores a 100 km. Las estaciones de la red recogen continuamente las observaciones de los satélites y las envían a una instalación central de procesamiento, en la que las observaciones de las estaciones se procesan en un ajuste común de la red y se calculan los errores de observación y sus correcciones. Las correcciones de las observaciones obtenidas de la red se envían al usuario, que opera dentro del área de cobertura de la red, para mitigar sus errores de observación (Jiayong Yu; Xiaolin Meng; Banfu Yan; Bin Xu; Qian Fan; Yilin Xie, 2019).

El objetivo de la red RTK es minimizar la influencia de los errores dependientes de la distancia en la posición calculada de un rover dentro de los límites de la red. La NRTK proporciona redundancia de estaciones de referencia en la solución, de manera que, si las observaciones de una estación de referencia no están disponibles, la solución sigue siendo posible ya que las observaciones se recogen y procesan en un ajuste de red común. La figura 13 ilustra una demostración sencilla del concepto de NRTK mediante la representación de la relación entre los errores dependientes de la distancia modelados y sus valores reales. Los planos de error en las tres estaciones de referencia mostradas están en niveles diferentes. El NRTK proporciona una superficie de error formada por los errores en las tres estaciones de referencia (un plano en este caso). El cambio real del error entre las estaciones de referencia se muestra en rojo. Si un usuario se encuentra cerca de cualquiera de las estaciones, suponiendo que tiene el mismo nivel de error de esa estación de referencia, obtendrá una precisión razonable y resultará en pequeños errores de posicionamiento en el rover. A medida que el usuario se aleja de la estación de referencia, la magnitud del error diferencial entre el nivel de error real y el de la estación de referencia aumenta. Por otro lado, el error diferencial entre el error real y el error estimado por el NRTK, interpolado

en la superficie de error del NRTK en la ubicación del rover cuando se utiliza, se minimiza significativamente.






**Figura 13-1:** Relación de errores en un área pequeña con NRTK.

Fuente: (Sickle, 2015).

### 1.8. Tarjetas de aplicación de GNSS.

Las tarjetas de aplicación últimamente han ganado fuerza debido a su bajo coste y gran funcionalidad, dentro de los diferentes tipos de tarjetas de aplicación existentes cada una de acuerdo con su coste van incrementando sus funciones, gran ejemplo de ello son las tarjetas de aplicación del fabricante u-blox, que es un desarrollador activo de las tarjetas de aplicación orientadas al posicionamiento con GNSS.

**Tabla 5-1:** Módulos de u-blox para GNSS

Serie		Paquete/Dimensiones	Características
MAX		18-pines LCC 9,7 x 10.1 mm	Alto rendimiento, compacto, módulos de GPS/GNSS
NEO		24-pines LCC 12,2 x 16.0 mm	Flexible, configurable, módulos de GPS/GNSS
LEA		28-pines LCC 17,0 x 22.4 mm	Módulos de alta precisión GPS/GNSS

Fuente: (U-blox, 2019)

u-blox ha establecido estos chips compactos LCC que son capaces de soportar GPS, GLONASS, Galileo, Beidou. Pone un énfasis extraordinario en el suministro de receptores GPS/GNSS y módulos inalámbricos de alta calidad y fiabilidad, basados en normas estrictas y certificaciones reconocidas. El proceso de control de calidad interno de la empresa se extiende a todos sus socios de fabricación, que se adhieren a estrictos procesos impuestos por normas internacionales, como ISO9001 e ISO/ TS16949. El objetivo principal de estas tarjetas es la duración de su vida útil además de brindar un posicionamiento adecuado en cualquier momento.

### **1.8.1. Ublox Neo 6m**

El módulo GPS Ublox NEO-6M, es un dispositivo de bajo costo que cuenta con unas dimensiones de 12.2 x 16.0 x 2.4 mm, cuenta con 24 pines de los cuales. El voltaje de alimentación de la tarjeta es de 3.5 – 5 V. Posee una sensibilidad de captura de -148dBm, acompañado de una sensibilidad de rastreo de -161dBm, trabajando a una frecuencia de L1 (1575,42 MHz) (Franklin López; Ángel ortega, 2017).



**Figura 14-1:** Módulo U-blox 6m.

Fuente: (U-blox, 2019)

### **1.8.2. Ublox Neo/Leo M8T**

Los módulos GNSS NEO-M8T y LEA-M8T ofrecen una integridad de los datos mayor debido a la construcción de la misma ya que admite mas constelaciones de satélites. Cuanta con 72 canales, la versión NEO-M8T cuenta con 24 pines y la versión LEA cuenta con 28 pines. Se alimentan con un voltaje de (2.7 V a 3.6 V), soporta además los datos de medición de GPS, GLONASS, BeiDou, SBAS y QZSS y sus dimensiones son:

NEO-M8T: 24 pines LCC 12.2 x 16.0 x 2.4 mm, 1.6 g

LEA-M8T: 28 pin LCC 17.0 x 22.4 x 2.4 mm, 2.6 g



**Figura 15-1:** Módulos U-blox NEO/LEO M8T

Fuente: (U-blox, 2019)

### 1.8.3. C099-F9P- Tarjeta de aplicación con multiconstelación

Este módulo cuenta con una plataforma de receptor ZED F9P de u-blox que ofrece tecnología RTK (*Real-Time Kinematic*) multibanda para cumplir los requisitos de aplicaciones industriales con una solución de pequeño formato (54-LGA de 22x17 mm).

El módulo puede recibir y rastrear múltiples constelaciones GNSS), incluyendo las cuatro principales (GPS, GLONASS, Galileo y BeiDou), y los satélites SBAS y QZSS. Todas ellas se pueden procesar para proporcionar una solución de navegación RTK con corrección de datos. El módulo GNSS multibanda con RTK GNSS se caracteriza por una frecuencia de 1.2276 a 1.575 GHz, una sensibilidad de -167 dBm, una velocidad de datos de hasta 921,6 kbps, interfaces IC, SPI, UART y USB, una tensión de alimentación de 2,7 a 3,6 V y un rango de temperatura operativa de -40 a +85 °C en un dispositivo de montaje superficial (U-blox, 2019).



**Figura 16-1:** Tarjeta de aplicación C099-F9P.

Fuente: (U-blox, 2019).



**Tabla 6-1:** Resumen de constelaciones de GNSS soportados

Constelaciones	GPS, GLONASS, BEIDOU, GALILEO, QZSS
Frecuencias asociadas	L1C/A, L1OF, E1, B1I, L2OF, L2C, B2I, E5b
Protocolos soportados	NMEA, RTCM, UBX
Time to First Fix (TTFF)	Arranque en frío: 24 s Reconexión: 2 s
Precisión en un punto simple	1.5 m CEP
Precisión en (RTK)	0.01 m +1 ppm CEP

Realizado por: Santiago Velasco

### 1.8.3.1. Rendimiento de la tarjeta con ZED F9P:

**Tabla 7-1.** Rendimiento ZED F9P

Parámetro	Especificación	
Tipo de receptor	Receptor multi-banda GNSS de alta precisión	
Precisión de la señal de tiempo de pulso	RMS 99%	30 ns 60 ns
Frecuencia de la señal de tiempo de pulso		0.25 Hz a 10 MHz (configurable)
Límites de operación	Altitud Velocidad	80000 m 500 m/s
Precisión en la velocidad		0.05 m/s

Fuente: (u-blox, 2021 pág. 4)

### 1.8.3.2. Rendimiento de la tarjeta en diferentes modos de posicionamiento GNSS.

**Tabla 8-1.** Tiempos de convergencia y frecuencias de mensajes.

GNSS		GPS+GLO+GAL+BDS	GPS+GLO+GAL	GPS+GAL	GPS+GLO	GPS+BDS	GPS
	Arranque en frío	25s	25s	30s	26s	28s	30s
	Arranque en caliente	2s	2s	2s	2s	2s	2s
Frecuencia de mensajes de navegación	RTK	8Hz	10Hz	15Hz	15Hz	15Hz	20 Hz
	PVT	10Hz	12Hz	20Hz	25Hz	25Hz	25Hz
	RAW	20Hz	20Hz	25Hz	25Hz	25Hz	25Hz
Tiempo de convergencia	RTK	< 10s	< 10s	< 10s	< 10s	< 10s	< 10s

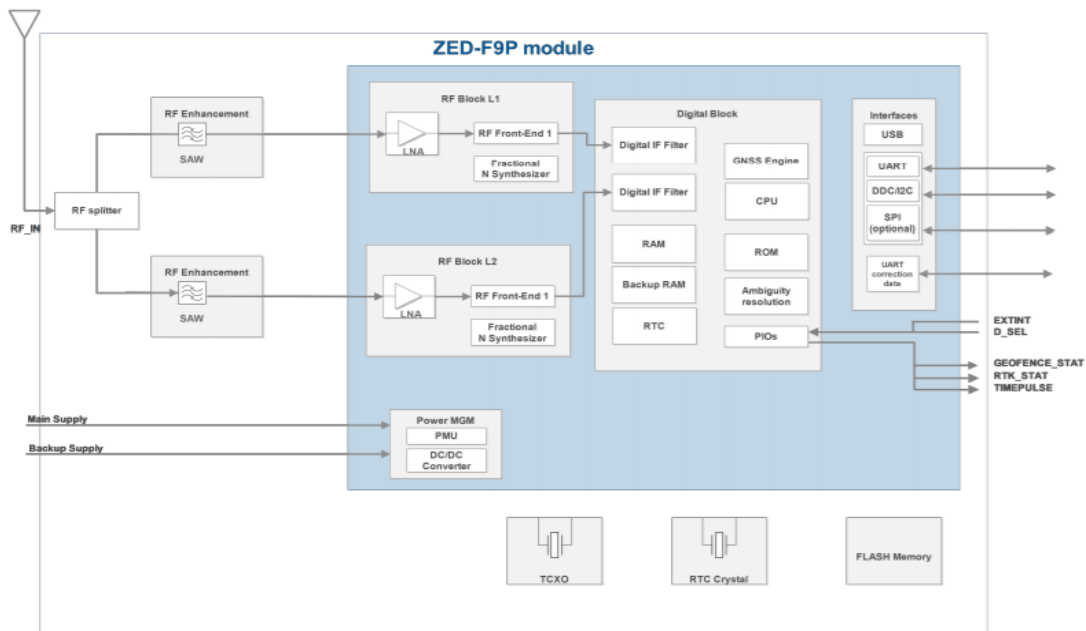
Fuente: (u-blox, 2021 pág. 5)

Se debe tener en cuenta que para que se den los tiempos de convergencia detallados en la tabla 8-1 se consideran condiciones ideales, en donde exista buena visibilidad de los satélites, un cielo despejado y los errores por multi-trayecto sean mínimos.

El módulo que integra la tarjeta GNSS ZED-F9P-02B es un receptor GNSS el cual puede recibir y rastrear múltiples constelaciones GNSS. Gracias a la arquitectura de front-end RF multibanda, se pueden recibir simultáneamente las cuatro principales constelaciones GNSS (GPS, GLONASS, Galileo y BeiDou) más los satélites SBAS y QZSS. Todos los satélites a la vista pueden procesarse para proporcionar una solución de navegación en tiempo real RTK, cuando se utilizan con datos de corrección. Si el consumo de energía es un factor clave, el receptor puede configurarse para un subconjunto de constelaciones GNSS. El sistema QZSS comparte las mismas bandas de frecuencia que el GPS y sólo puede procesarse junto con éste (u-blox, 2021 pág. 6).

El diagrama de funcionamiento del módulo incorporado en la tarjeta C099-F9P es tal y como se muestra en la figura 17-1.

### 1.8.3.3. Diagrama de Bloques de la tarjeta de aplicación



**Figura 17-1.** Diagrama de Bloques ZED-F9P.

Fuente: (u-blox, 2021 pág. 15)

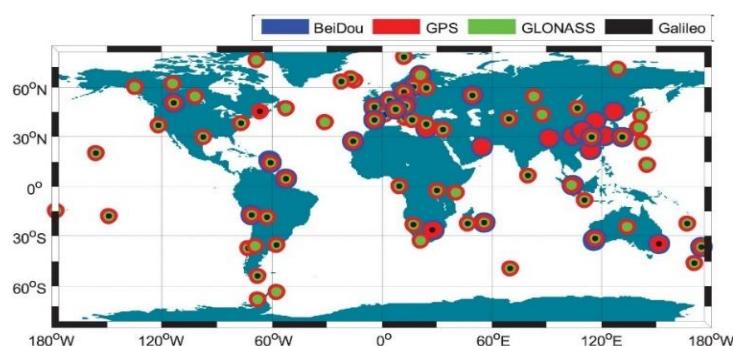
## 1.9. Multi-constelación

Un receptor multiconstelación puede acceder a las señales de varias constelaciones: GPS, GLONASS, BeiDou y Galileo. El uso de otras constelaciones, además del GPS, hace que haya un mayor número de satélites en el campo de visión, lo que representa las siguientes ventajas:

- Reducción del tiempo de adquisición de la señal.
- Mejora de la precisión de la posición.
- Reducción de los problemas causados por obstrucciones como edificios y follaje.
- Mejora de la distribución espacial de los satélites visibles, lo que da lugar a una mejor dilución de la precisión.

Cuando un receptor utiliza señales de varias constelaciones, la redundancia se incorpora a la solución. Si una señal se bloquea debido al entorno de trabajo, es muy probable que el receptor pueda captar simplemente una señal de otra constelación, lo que garantiza la continuidad de la solución y por ende un posicionamiento adecuado. Aunque es extremadamente raro, si un sistema GNSS falla, hay otros sistemas disponibles. En el modo multiconstelación, el receptor debe rastrear cinco satélites, al menos uno de los cuales debe ser de un satélite de la otra constelación, para que el receptor pueda determinar el desfase temporal entre constelaciones.

El Servicio Internacional GNSS (IGS), es uno de los mayores exponentes para el análisis de datos GPS de alta precisión, está plenamente comprometido con la expansión hacia un verdadero servicio multi-GNSS. Posee un programa denominado Multi-GNSS (MGEX) para recoger y analizar datos de GPS, GLONASS, BeiDou y Galileo. En el cual se cuenta con una comunidad de expertos dedicados al desarrollo de Multi-GNSS. Como parte principal del proyecto MGEX, en los últimos años se ha desplegado en todo el mundo una nueva red de estaciones de control multi-GNSS en paralelo a la red heredada del IGS para GPS y GLONASS. La red MGEX ha crecido hasta alcanzar más de 90 estaciones y ofrece una excelente oportunidad para demostrar los beneficios potenciales de los GNSS multiconstelación (B. Bonet; I. Alcantarilla; D. Flament; C. Rodriguez; N. Zarraoa., 2009).



**Figura 18-1:** Distribución de estaciones de multi-GNSS de MGEX

**Fuente:** (Xingxing Li; Xiadong Ren; Xiaohong Zhang; Mathias Fritsche, 2015 pág. 2)

Para el caso particular de este estudio dado a que se posee la tarjeta de aplicación C099-F9P del fabricante u-blox es posible obtener un servicio de multiconstelación en tiempo real dado a las características del módulo de procesamiento integrado en la tarjeta ZED F9P el cual es capaz de procesar múltiples señales de las diferentes constelaciones que actualmente están en

funcionamiento como son: GPS, GLONASS, Galileo, Beidou y QZSS. En donde a través de los datos crudos recibidos de cada una de las señales de las constelaciones es posible llegar a precisiones centimétricas.

El modo de operación de este módulo se basa principalmente en dos principios:

El primero es un modo de funcionamiento RTK que utiliza una base y un rover. En una configuración de este tipo, la base envía un flujo de datos de corrección diferencial (que cumple con el protocolo RTCM 3.3) a uno o más rovers a través de un enlace de comunicación, que en este caso la tarjeta de aplicación posee un módulo de WiFi y Bluetooth a 2,4Ghz que puede ser utilizado para el enlace. De este modo, el rover puede calcular su posición respecto a la base con gran precisión. En el modo RTK estándar, la base permanece estática en una posición conocida, mientras que en el modo RTK de base móvil (MB), tanto la base como los receptores del rover pueden moverse. Este último es ideal para aplicaciones en las que se requiere el desplazamiento de la posición relativa entre dos vehículos en movimiento como, por ejemplo, la función follow-me en un UAV.

El segundo modo de operación de la tarjeta es mediante una conexión NTRIP, se envían las correcciones en el formato RTCM a través del protocolo TCP/IP de una estación base conocida

### **1.10. Multi-frecuencia**

Cada uno de los satélites GNSS utiliza una o varias frecuencias para transmitir señales de alcance y datos de navegación. Estas señales varían en cuanto a su fiabilidad y disponibilidad. Cuantas más señales pueda acceder el receptor, más información podrá recoger de los satélites y más precisa y fiable será la posición calculada.

El GPS de navegación de los teléfonos, coches y otros dispositivos de consumo suele utilizar señales GPS o GNSS en una sola frecuencia (L1). Los receptores de doble frecuencia pueden recibir dos señales de cada sistema de satélites. Los receptores multifrecuencia, en cambio, reciben multitud de señales de cualquier sistema GNSS. Estos receptores multifrecuencia superan los límites de la tecnología GNSS para lograr el posicionamiento más preciso, fiable y robusto posible (Septentrio Corporation, 2019).

Entre las ventajas de disponer un receptor multifrecuencia están:

**Eliminación de errores ionosféricos:** El principal factor de distinción entre los receptores de frecuencia única y los de frecuencia doble (o múltiple) es la mayor precisión que puede conseguirse eliminando los errores ionosféricos de primer orden. Las partículas cargadas de la ionosfera perturban y retrasan las señales GNSS. Cuando el receptor tiene acceso a dos o más señales del mismo satélite, puede eliminar todos los errores ionosféricos importantes, lo que hace que la precisión independiente pase de varios metros a un solo metro.

**Resistencia a las interferencias de radiofrecuencia:** Las interferencias se producen cuando otras señales en la misma frecuencia superan a las señales GNSS. Las interferencias pueden ser causadas por radioaficionados o por dispositivos electrónicos vecinos y suelen afectar a una de las frecuencias del GNSS a la vez. El uso de señales en múltiples frecuencias permite al receptor cambiar a otra frecuencia si se detectan interferencias en una de ellas.

**Mejora del Multipath:** El Multipath es la distorsión de las señales directas de la línea de visión al ser contaminadas por señales idénticas reflejadas por objetos como edificios, coches o árboles. Las nuevas señales GNSS, como GPS L5, Galileo L1BC y, en particular, Galileo E5-AltBoc, son intrínsecamente más resistentes a los trayectos múltiples, por lo que un receptor que utilice estas señales sufrirá menos errores por trayectos múltiples.

**Mayor precisión:** Tener acceso a muchos satélites crea redundancia, lo que permite un análisis estadístico de los satélites y sus señales. Al disponer de esta información estadística, el receptor puede detectar y eliminar los fallos accidentales de las señales de alcance para mejorar la precisión del posicionamiento.

**Compatibilidad con RTK:** Ser capaz de recibir todas las señales GNSS hace que un receptor sea totalmente compatible con todas las redes RTK, ya que se proporcionan correcciones RTK para una determinada señal.

**Fijación rápida con RTK:** Para los receptores de una sola frecuencia puede llevar hasta varios minutos tener un posicionamiento RTK. Si un receptor puede rastrear y utilizar múltiples señales, el tiempo de convergencia para obtener el posicionamiento y el rumbo (receptores de doble antena) se reduce a varios segundos. Esto es especialmente importante en entornos difíciles en los que el posicionamiento puede perderse ocasionalmente y debe recuperarse rápidamente.

### *1.9.1. Servicios futuros de multifrecuencia con GNSS*

Varios sistemas GNSS están explorando formas de agregar valor a sus constelaciones de satélites con servicios de posicionamiento de alta seguridad y precisión, que estarán disponibles directamente a través de las señales GNSS en un futuro próximo. El uso de receptores GNSS multifrecuencia preparados para el futuro permite a los usuarios aprovechar estos próximos servicios tan pronto como estén disponibles. Cabe recalcar que todos los servicios estarán disponibles de manera gratuita a excepción de CAS.

**Tabla 9-1:** Servicios de GNSS.

Servicio	GNSS	Señal	Región	Estado
OSNMA	Galileo	E1b	Global	Beta

Chimera	GPS	L1C	Global	Aún no operativo
CAS	Galileo	E6	Global	Aún no operativo
POSEE	Galileo	E6	Global	Beta
CLAS	QZSS	L6	Japón	Operacional
SLAS	QZSS	L1s	Japón	Aún no operativo
PPP-B2b	Beidou	B2b	China	Beta Operativo

Fuente: (Bernhard Hofmann-Wellenhof, Herbert Lichtenegger, James Collins, 2012)

## 1.11. Aplicaciones en el mercado masivo

En el posicionamiento GNSS orientado a sensores de bajo costo tiene desafíos importantes para poder implementarlos dentro de un mercado masivo de aplicaciones como la topografía, cartografía, teledetección, agricultura de precisión y posicionamiento marino RD29. Entre los desafíos radica principalmente en que dado a que dependen de correcciones de alta frecuencia en tiempo real para mitigar errores. Esta dependencia hace que los sistemas de posicionamiento sean sensibles a los cortes de corrección, ya que una alta tasa de actualización en los datos implica que los usuarios deben mantener conexiones inalámbricas continuas para recibir oportunamente los datos de corrección. En aplicaciones del mundo real, los datos de corrección pueden ser bloqueados o atenuados por edificios o árboles y la pérdida de datos de corrección también puede ocurrir debido a conexiones de red inalámbricas deficientes, lo que provoca pérdidas frecuentes de paquetes de mensajes. La pérdida de datos de corrección, a su vez, reducirá la disponibilidad del sistema de posicionamiento debido a la degradación del rendimiento y la re-convergencia de las soluciones de posicionamiento en tiempo real para cada constelación.

### 1.11.1. Agricultura de precisión

La agricultura de precisión es una aplicación bien establecida para el uso de datos GNSS en donde actualmente muchos fabricantes de la industria agropecuaria utilizan en sus tractores, en donde mediante receptores GNSS permiten tener un control automatizado de sus cultivos. Logrando así la mejora de la productividad y el cuidado de los automotores, en un estudio realizado en la Universidad de Virginia se lograría un ahorro significativo de costos, así como una guía precisa para los sistemas de cultivos; uno de los mayores exponentes en la industria automotriz orientada a la agricultura es John Deere que incorpora en sus tractores módulos de alta precisión con servicios integrados de RTK y PPP, tal y como se muestra en la figura 19-1 con el fin de tener un

control lo más exacto posible al momento de realizar un arado del terreno o siembra en donde se requiere una alta precisión teniendo así el control de cultivos dentro de las granjas.



**Figura 19-1** Módulos de precisión para agricultura.

Fuente: (Williams, 2019).

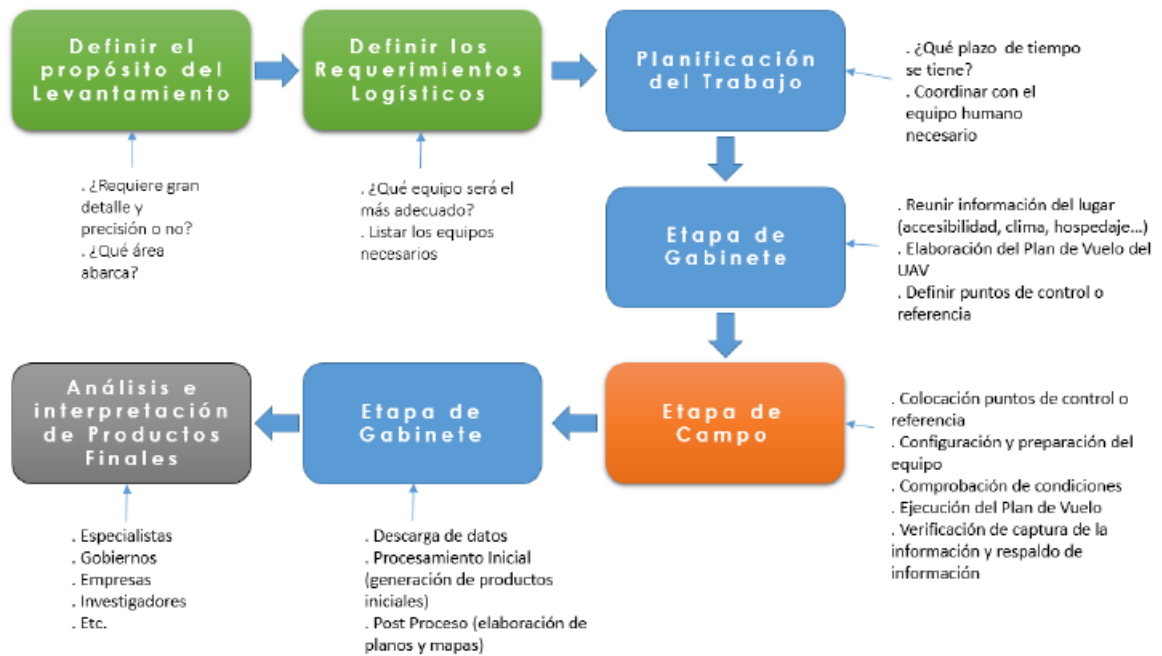
### ***1.11.2. Topografía.***

La topografía fue una de las primeras aplicaciones en adoptar los servicios GNSS de alta precisión y ha sido fundamental para definir los requisitos del usuario para el desarrollo de tecnologías.

La topografía requiere datos de alta precisión con bajos tiempos de convergencia / readquisición de datos, ya que estos parámetros están directamente relacionados con la calidad de su trabajo y la productividad de sus equipos. Dentro de las distintas aplicaciones que se pueden dar dentro de la topografía, es de vital importancia contar con una precisión lo más exacta posible, con el fin de poder realizar un estudio adecuado de algún levantamiento de terreno, medición de suelos, entre otros.

### ***1.11.3. Aerofotogrametría Inteligente.***

La aerofotogrametría representa un avance significativo para la aplicación dentro de ingeniería civil, Topografía, Geología, Arqueología, entre otras (Gonzales, 2019 pág. 6). Ya que mediante dispositivos UAV (Vehículos Aéreos no Tripulados) se pueden facilitar todas las aplicaciones previamente descritas, ya que mediante su flujo de trabajo, se puede reducir significativamente el proceso para realizar un levantamiento de un terreno; es por ello que en el libro de fotogrametría inteligente detallan los pasos a seguir para realizar un correcto levantamiento utilizando sistemas UAV en conjunto con los sistemas de navegación GNSS con el fin de obtener la precisión adecuada para el proyecto que se está desarrollando, tal y como se muestra en la figura 20-1:



**Figura 20-1:** Flujo de trabajo para fotogrametría inteligente.

**Fuente:** (Gonzales, 2019 pág. 14)

#### 1.11.4. Aviación

A medida que los aeropuertos y los cielos se congestionan cada vez más debido al creciente tráfico aéreo, existe una presión creciente sobre los aeropuertos pequeños y regionales para que sean accesibles de forma segura en todo momento. Para satisfacer estas demandas, la gestión del tráfico aéreo ha adoptado servicios de alta precisión, como el Sistema de superposición de navegación geostacionaria europea (EGNOS) para proporcionar una mayor precisión e integridad vertical. Se espera que la industria de la aviación continúe adoptando servicios de alta precisión para mejorar aún más la seguridad y la eficiencia de sus servicios de gestión del tráfico aéreo.

#### 1.12. ESTÁNDAR RTCM

La Comisión Técnica de Radio para Servicios Marítimos (RTCM) se estableció en 1947 como un comité asesor del Departamento de Estados Unidos. En la actualidad es una organización independiente para el uso de protocolos de mensajes de corrección.

Se han desarrollado muchos protocolos de mensajería en la industria para la difusión de datos DGNS basados en códigos y portadoras entre las estaciones de referencia y los usuarios. Principalmente los mensajes DGNS desarrollados por el Comité de Estudio 104 (SC-104) del RTCM. Este conjunto de mensajes ha evolucionado con el tiempo, siendo la versión 2.3 publicada en agosto de 2001. En febrero de 2004, el RTCM publicó directrices para un nuevo conjunto de



mensajes que utilizan un protocolo más eficiente. Este último protocolo, denominado versión 3.0, se centra actualmente en el DGPS de fase portadora. Ambos protocolos (versión 2.3 y 3.0) describen formatos de mensajes digitales que pueden ser emitidos desde una estación de referencia a un usuario utilizando cualquier enlace de datos.

### ***1.12.1. ESTÁNDAR RTCM 3.X***

Dado al avance de la tecnología a principios de la década de los 2000 cuando se estaban planificando nuevas constelaciones GNSS y poco después comenzaron a transmitir sus nuevas señales de navegación, estaba claro que RINEX 2 no era capaz de soportar plenamente las nuevas señales, modos de seguimiento y satélites de manera eficiente de cada una de las constelaciones que estaban emergiendo además de la modernización de las constelaciones de GPS y GLONASS con nuevas frecuencias y tipos de observaciones, especialmente al momento de rastrear frecuencias en diferentes canales, requería una definición más flexible de cada uno de los códigos de observación que se obtenían (IGS, 2020).

En el estándar se han definido distintas versiones de RINEX 3, entre ellas:

- RINEX 3.00 (2007) es totalmente compatible con el almacenamiento de datos de observación multi-GNSS.
- RINEX 3.01 (2009) introdujo un requisito importante al momento de generar observaciones de fase en diferentes modos o canales de seguimiento, es decir, aplicaba cambios de  $\frac{1}{4}$  de ciclo antes de la generación de los archivos RINEX.
- RINEX 3.02 (2013) agregó soporte para el sistema de satélite japonés Quasi Zenith (QZSS), información adicional sobre BeiDou (basada en el ICD publicado) y un nuevo mensaje para enumerar los sesgos de fase del código GLONASS.
- RINEX 3.03 (2015) se agrega soporte para las constelaciones NavIC / IRNSS y aclara varios problemas de implementación en 3.02. RINEX 3.03 también cambia la convención de señales BeiDou B1 a la convención 3.01 donde todas las señales B1 se identifican como C2x (no C1 como en RINEX 3.02).
- RINEX 3.04 (2018) se agregan aclaraciones para las tablas de señales para GLONASS, QZSS y BeiDou, y una pequeña cantidad de ediciones y correcciones necesarias de la versión anterior.
- RINEX 3.05 (2020) es una importante reestructuración y revisión del documento de formato para que sea más claro y fácil de leer, además de mejoras dentro del documento.

RTCM es un protocolo de datos binarios para la comunicación de la información de corrección del GNSS. El receptor ZED-F9P de alta precisión es compatible con RTCM, tal y como se

especifica en RTCM 10403.3, Differential GNSS (Global Navigation Satellite Navigation Satellite Systems) Services - Version 3 (7 de octubre de 2016).

La especificación RTCM se encuentra al momento de realizar este documento en la versión 3.5; se debe tener en cuenta que para formatos de multiconstelación (MIXED) se utilizan a partir del RINEX 3.0 en adelante.

**Tabla 10-1.** Tipos de mensajes RTCM versión 3.3 de entrada soportados por ZED-F9P

<b>Tipo de mensajes</b>	<b>Descripción</b>
RTCM 1001	Observables RTK GPS solo L1
RTCM 1002	Observables RTK GPS extendidos solo L1
RTCM 1003	Observables RTK GPS solo L1/L2
RTCM 1004	Observables RTK GPS L1 / L2 extendidos
RTCM 1005	Estación de referencia RTK estacionaria ARP
RTCM 1006	Estación de referencia RTK estacionaria ARP con altura de antena
RTCM 1007	Descriptor de antena
RTCM 1009	Observables GLONASS RTK solo L1
RTCM 1010	Observables GLONASS RTK extendidos solo para L1
RTCM 1011	Observables L1 / L2 GLONASS RTK
RTCM 1012	Observables L1 / L2 GLONASS RTK extendidos
RTCM 1033	Descriptor del receptor y la antena
RTCM 1074	GPS MSM4
RTCM 1075	GPS MSM5
RTCM 1077	GPS MSM7
RTCM 1084	GLONASS MSM4
RTCM 1085	GLONASS MSM5
RTCM 1087	GLONASS MSM7
RTCM 1094	Galileo MSM4
RTCM 1095	Galileo MSM5
RTCM 1097	Galileo MSM7
RTCM 1124	Beidou MSM4
RTCM 1125	Beidou MSM5
RTCM 1127	Beidou MSM7
RTCM 1230	Sesgos de fase de código GLONASS
RTCM 4072.0	Estación de referencia PVT (mensaje RTCM patentado de u-blox)

**Obtenido de:** (u-blox, 2021 pág. 15)

**Realizado por:** Santiago Velasco

**Tabla 11-1:** Lista de mensajes de salida RTCM admitidos por ZED-F9P

<b>Tipo de mensajes</b>	<b>Descripción</b>
RTCM 1005	Estación de referencia ARP
RTCM 1074	GPS MSM4
RTCM 1077	GPS MSM7
RTCM 1084	GLONASS MSM4
RTCM 1087	GLONASS MSM7
RTCM 1094	Galileo MSM4

RTCM 1097	Galileo MSM7
RTCM 1124	BeiDou MSM4
RTCM 1127	BeiDou MSM7
RTCM 1230	Sesgos de fase de código GLONASS
RTCM 4072.0	Estación de referencia PVT (mensaje RTCM patentado por u-blox)
RTCM 4072.1	Información adicional de la estación de referencia (mensaje RTCM patentado por u-blox)

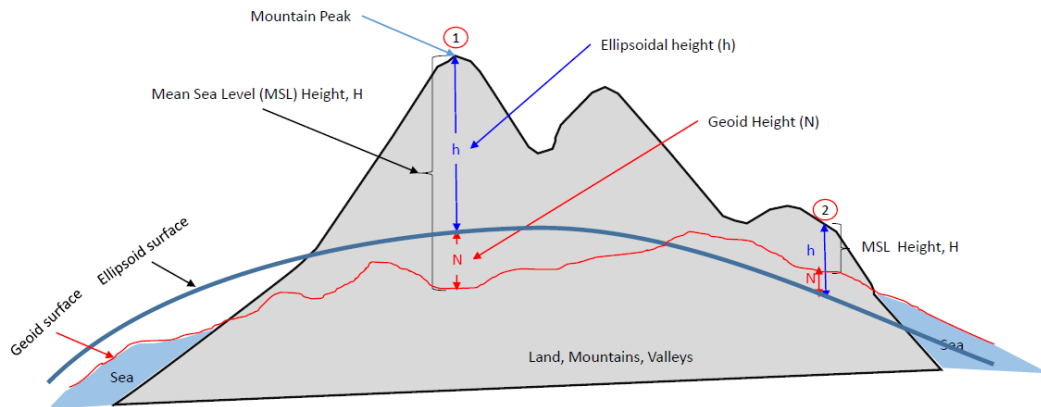
**Obtenido de:** (u-blox, 2021 pág. 16)

**Realizado por:** Santiago Velasco

### ***1.12.2. RTCM ITRF modelos Geodésicos.***

Las técnicas de corrección en tiempo real como RTK es un sistema diferencial mediante el cual el rover utiliza los datos de referencia proporcionados por la estación de referencia que para nuestro caso de estudio son las estaciones de referencia pertenecientes a la REGME. El marco de referencia terrestre internacional (ITRF) debe transformarse para que coincida con el marco de referencia requerido. Dado a que el rover (en este caso la tarjeta de aplicación C099-F9P) no emite la posición en el datum WGS84 directamente, por lo que se necesita configurar estos parámetros para poder realizar la conversión del sistema de referencia para utilizarlo en el software de mapeo.

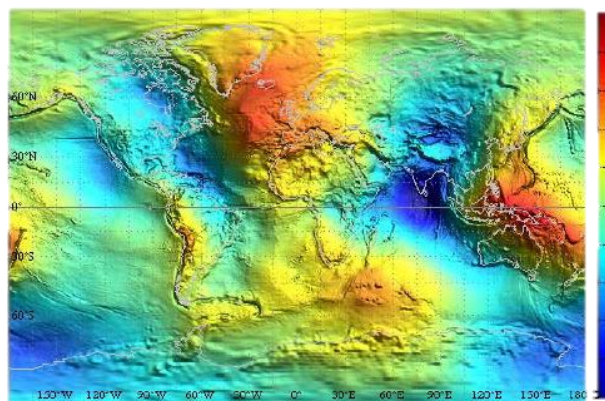
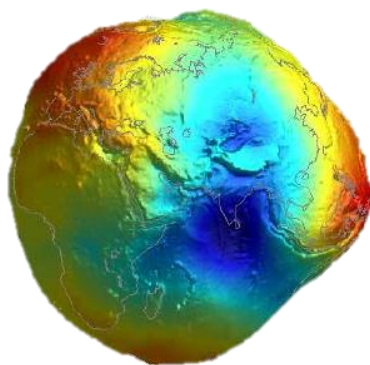
Para producir posiciones que puedan mostrarse en un mapa, es necesario traducir entre coordenadas brutas (por ejemplo,  $x$ ,  $y$ ,  $z$ ) y una posición relativa a la superficie de la Tierra (por ejemplo, latitud, longitud y altitud), y eso requiere definir la forma de elipsoide que mejor se ajuste a la forma de la Tierra. Históricamente, se han utilizado muchas definiciones diferentes de elipsoide para los mapas, muchas de las cuales son anteriores a la existencia del GNSS y muestran diferencias bastante significativas, lo que provoca discrepancias de hasta 100 metros en algunos lugares. Afortunadamente, la mayoría de los mapas digitales utilizan ahora el elipsoide WGS84. Sin embargo, para las precisiones de posición RTK que se encuentran ahora en el nivel de centímetros, se debe conocer el año ITRF para el datum WGS84 utilizado por el sistema cartográfico, con el fin de transformar la posición del rover RTK en el marco de referencia correcto. La tarjeta de aplicación que posee integrado el módulo ZED-F9P almacena el modelo de geoide EGM96 con una resolución limitada, lo que conlleva una precisión degradada de la altura media del nivel del mar y de la separación del geoide. Para una mayor precisión en la separación del geoide, se deberá aplicar un ajuste a la altura elipsoidal emitida por la ZED-F9P (u-blox, 2021 pág. 99).



**Figura 21-1.** Elipsoide, geoide y MSL.

**Fuente:** (Manandhar, 2021 pág. 26)

El datum WGS84 aproxima la Tierra mediante un elipsoide, que es básicamente una esfera deformada. El EGM96 es un modelo más complejo basado en la fuerza gravitatoria de la Tierra (que no es constante) que define lo que significa "nivel del mar", una forma suave pero irregular llamada "geoide". El WGS84 es el elipsoide que mejor se ajusta a ese geoide, y este ajuste se ha ido actualizando a medida que se han realizado mediciones más precisas del geoide a lo largo de los años. Tal y como se muestra en la figura 22-1 tenemos el modelo del geoide EGM96.



**Figura 22-1.** Modelo geoide EGM96.

**Fuente:** (Tokio, 2011)

Por lo que al tener un datum correcto para la región en la cual se aplica el estudio, resulta fundamental para mitigar los errores de altura y proporcionar una altura correcta respecto al geoide utilizado.

Para Ecuador se utiliza el datum WGS84 17S con el geoide EGM96 por lo que estos datos nos serán de utilidad al momento de realizar las mediciones con los equipos para utilizarlos en ejercicios de georreferenciación.

### 1.13. REGME

La REGME es la red GNSS de monitoreo continuo del Ecuador, la cual es un conjunto de estaciones enlazadas a la RENAGE Y SIRGAS\_CON las cuales están distribuidas por todo el territorio nacional. Estas estaciones son capaces de captar señales de las principales constelaciones GNSS (GPS+GLONASS+BeiDou+Galileo); sin embargo, actualmente solo cuenta con el tracking de datos de GPS Y GLONASS, con fecha de corte 26 de octubre 2020 cuenta con 33 estaciones en lugares estratégicos las cuales están funcionando constantemente las 24 horas del día los 7 días de la semana y los 365 días del año, a menos de que exista algún mantenimiento de las mismas, estarán siempre disponibles.

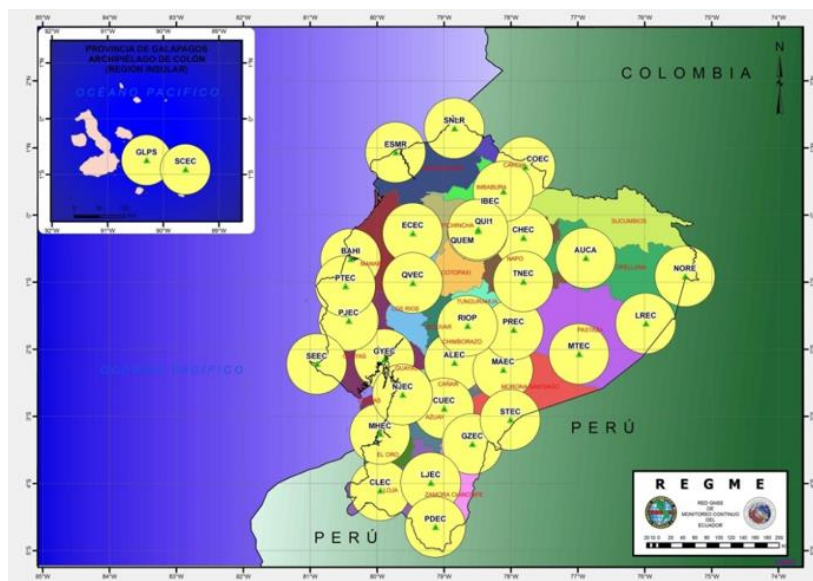
La REGME genera archivos diarios de 24 horas en formato RINEX 2.11 (O y N) con un intervalo de grabación de 30 segundos de cada estación además de las coordenadas (SIRGAS 95, ITRF 94) contenidas en las fichas técnicas, en donde el IGM proporciona la información recopilada a empresas institucionales y públicas del país.

Esta red constituye el marco geodésico de referencia nacional, con el fin de proporcionar a los usuarios una información debidamente georreferenciada, con el fin de realizar trabajos de distinta índole, entre ellos: trabajos topográficos, mapeo, geofísica, minería, entre otros.

La distribución actual de las estaciones REGME teniendo en cuenta un radio de 50km se muestra en la Figura 23-1.

Resulta importante mencionar que las estaciones conformadas de la REGME, forman parte de la red SIRGAS Continental.

La red SIRGAS de funcionamiento continuo (SIRGAS-CON) está compuesta actualmente por mas de 300 estaciones, de las cuales 58 pertenecen al IGS.

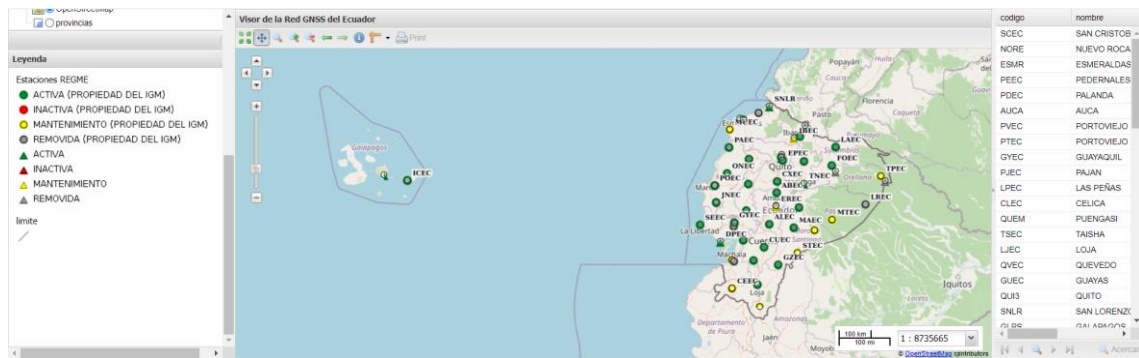


**Figura 23-1:** Estaciones REGME con cobertura 50km.

Fuente: Geoportel IGM, 2021

### 1.13.1. Visor de la red GNSS del Ecuador

El Instituto Geográfico Militar del Ecuador, mediante su página web de Geoportal proporciona a los usuarios un visor de sus estaciones GNSS disponibles, así como sus ubicaciones exactas de las mismas; mediante el visor de las estaciones es posible verificar el estado de las estaciones con el fin de que si alguna estación deja de estar disponible el usuario tenga la ventaja de disponer de estaciones aledañas para continuar accediendo a las mismas tal y como se puede verificar en la Figura 24-1.



**Figura 24-1:** Visor Geográfico de la REGME.

Obtenido de: Geoportal IGM, 2021

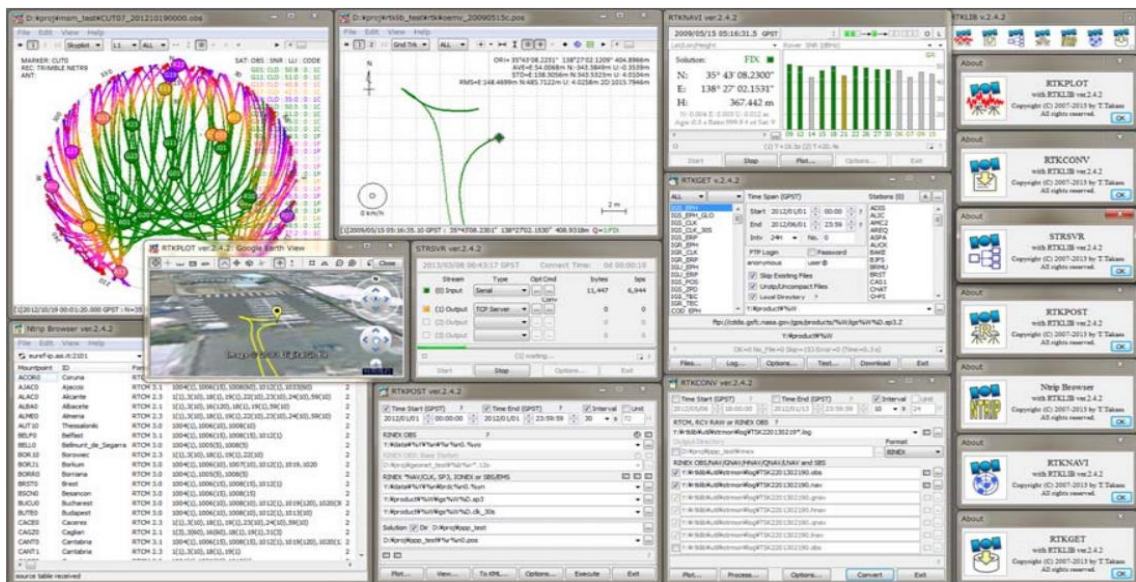
### 1.14. Software RTKlib

RTKLIB es un paquete de programas de código abierto cuyo uso es orientado hacia el posicionamiento estándar y preciso con GNSS (sistema global de navegación por satélite). RTKLIB consiste en una biblioteca de programas portátil y varios AP (programas de aplicación) que utilizan la biblioteca (Takasu, 2013 pág. 1). Dentro de las características principales de RTKLIB son:

- Soporta algoritmos de posicionamiento estándar y precisos con: GPS, GLONASS, Galileo, QZSS, BeiDou y SBAS
- Soporta varios modos de posicionamiento con GNSS tanto en tiempo real como en post-proceso: Simple, DGPS/DGNSS, Cinemático, Estático, Línea de base móvil, Fijo, PPP-Kinemático, PPP-Estático y PPP-Fijo.
- Soporta muchos formatos y protocolos estándar para GNSS: RINEX 2.10, 2.11, 2.12 OBS/NAV/GNAV/HNAV/LNAV/QNAV, RINEX 3.00, 3.01, 3.02 OBS/NAV, RINEX 3.02 CLK, RTCM ver.2.3, RTCM ver.3 .1 (con las enmiendas 1-5), RTCM ver.3.2, BINEX, NTRIP 1.0, NMEA 0183, SP3-c, ANTEX 1.4, IONEX 1.0, NGS PCV y EMS



- Soporta varios mensajes propietarios de receptores GNSS: NovAtel: OEM4/V/6, OEM3, OEMStar, Superstar II, Hemisphere: Eclipse, Crescent, u-blox.
- Soporta comunicación externa vía: Serie, TCP/IP, NTRIP, archivo de registro local (grabación y reproducción) y FTP/HTTP (descarga automática).
- Proporciona muchas funciones de biblioteca y API (interfaces de programas de aplicación): Funciones de satélite y sistema de navegación, funciones matriciales y vectoriales, funciones de tiempo y cadena, transformación de coordenadas, funciones de entrada y salida, funciones de rastreo de depuración, funciones dependientes de la plataforma, modelos de posicionamiento, modelos de atmósfera, modelos de antena, modelos de mareas terrestres, modelos de geoid, transformación de datum, funciones RINEX, funciones de efemérides y reloj, funciones de efemérides y reloj precisas, funciones de datos brutos del receptor, funciones RTCM, funciones de solución, convertidor KML de Google Earth, funciones SBAS, funciones de opciones, funciones de entrada y salida de datos de flujo, resolución de ambigüedades enteras, posicionamiento estándar, posicionamiento preciso, posicionamiento de post-procesamiento (Takasu, 2013 pág. 3).
- Incluye las siguientes aplicaciones dentro del software:



**Figura 25-1.** Aplicaciones integradas en RTKLIB.

Fuente: Tomoji Takasu, 2013

### 1.15. Software SW Maps

SW Maps es una aplicación GIS de Android utilizada para la recolección, presentación de información geográfica (SOFTWEL, 2016 pág. 7).

- Posee soporte para archivos KML
- Capas Shapefile, con estilo categorizado por atributos (según lo requiera el usuario)
- Se puede definir múltiples números de capas de características, cada una con un conjunto de atributos personalizados.
- Tipos de características: punto, línea, polígono.
- Tipos de atributos: tipo texto, numérico, opciones desplegadas o fotos
- Puede registrar las trayectorias de GNSS, con medición de distancias.
- Se puede importar capas de características desde plantillas o proyectos existentes.
- Compartir o exportar los datos recogidos como KMZ (con fotografías incrustadas) o como Shapefiles
- Conectar con receptores GPS externos a través de Bluetooth u USB.



## CAPÍTULO II

### 2. MARCO METODOLÓGICO

En el presente capítulo se expone la configuración del módulo C099-F9P con el fin de poder utilizarlo en los diferentes escenarios planteados para analizar su precisión final en tiempo real, misma que a través del servicio de NTRIP de las estaciones de monitoreo continuo del IGM se obtendrán las correcciones necesarias para el posicionamiento preciso.

#### 2.1. Metodología de la investigación

La metodología utilizada en el presente trabajo tiene como referencia a los estudios realizados por parte del grupo de desarrollo de multi-GNSS del IGS, así como el trabajo realizado por (Wang, y otros, 2016) en donde se expone la solución de la precisión en ambientes urbanos con una precisión centimétrica en diferentes locaciones, para lograr ello se trabajará con dos software de aplicación: U-center y SWMaps, mismos que son compatibles con la tarjeta C099-F9P que fue previamente descrita en el capítulo anterior. Con el fin de tener un parámetro de comparación, se pretende comparar los resultados obtenidos con el equipo de precisión de mayor costo Spectra SP60 y así poder evaluar, que tan buena precisión se obtiene con la tarjeta de aplicación de bajo costo en aplicaciones en tiempo real con multi-constelación.

##### 2.1.1. Tipo de investigación

La investigación del presente trabajo es de tipo aplicada debido a que se busca obtener los resultados óptimos mediante la implementación de un sistema de posicionamiento preciso, para brindar una precisión centimétrica en tiempo real, utilizando un dispositivo de bajo costo que sea capaz de recibir y procesar las señales de multi-constelación.

##### 2.1.2. Métodos de investigación.

El método de investigación empleado es investigativo, y aplicativo debido a que se pretende implementar un sistema a bajo costo con el fin de analizar los resultados obtenidos con multi-constelación en la precisión final PVT.

##### 2.1.3. Técnicas de investigación.

La principal técnica de investigación utilizada en este proyecto es aplicada debido a que se determinará la precisión obtenida con sistemas de navegación multi-constelación de bajo costo

para poder determinar la configuración adecuada para el módulo C099-F9P con el fin de obtener la mejor precisión posible.

## **2.2. Receptor móvil (Rover)**

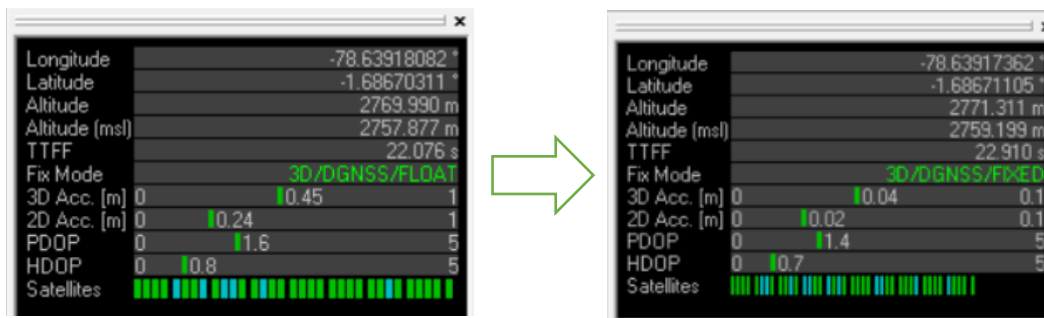
Para la toma de datos en tiempo real se utilizará la tarjeta de aplicación previamente descrita C099-F9P la cual mediante la antena ANN MB-00 es multiconstelación, mediante la conexión NTRIP a los casters de las estaciones de REGME con el fin de verificar los resultados obtenidos en PVT evaluando la precisión de la tarjeta mediante 3 escenarios diferentes.

Se escogió esta tarjeta de aplicación específicamente por sus grandes ventajas en cuanto a la precisión que se obtiene además de que para los fines de esta investigación cumple con los requisitos de ser multiconstelación que, comparado con equipos de precisión geodésica, se puede tener un rendimiento similar en el orden de los centímetros.

### **2.2.1. Operación del Rover**

En la configuración predeterminada, el módulo ZED-F9P intentará proporcionar la mejor precisión de posicionamiento dependiendo de los datos de corrección recibidos, en el capítulo anterior se habló sobre los tipos de mensajes de corrección que acepta el módulo para que pueda realizar las respectivas correcciones en su posición. La tarjeta al momento inicializarse deberá recibir los datos de las efemérides de cada uno de los satélites visibles y con una buena recepción de señal para poder calcular su posición. Una vez que se ha establecido el TTFF se procede a realizar la conexión con el servidor caster del IGM en donde mediante los distintos escenarios que se plantean se evalúa su precisión. Revisar el ANEXO A para las configuraciones iniciales de la tarjeta.

En su configuración por defecto, el módulo ZED-F9P intentará proporcionar la mejor precisión de posicionamiento en función de los datos de corrección recibidos. Entrará en modo flotante RTK en cuanto reciba un flujo de entrada de mensajes de corrección RTCM. Una vez que el rover haya resuelto las ambigüedades de la fase portadora, entrará en modo fijo RTK. En este modo, la precisión de la posición relativa entre la base y el rover puede esperarse que sea correcta a nivel centimétrico, tal y como se muestra en la figura 1-2.



**Figura 1-2.** Modo de posicionamiento RTK de Float a Fixed

**Realizado por:** (Santiago Velasco, 2021)

En el modo Fixed, la precisión de la posición relativa entre la base y el rover sea en el orden de los centímetros.

El período de tiempo entre RTK flotante y RTK fijo la operación se conoce como tiempo de convergencia. El tiempo de convergencia se ve afectado por la longitud de la línea de base, así como la visibilidad por trayectos múltiples y por satélite tanto en el móvil como en la estación base.

#### 2.2.1.1. Mensajes de generados de la tarjeta de aplicación.

Resulta fundamental analizar los mensajes generados de la tarjeta de aplicación de bajo costo C099-F9P con el fin de comprender los principios de operación para lograr el posicionamiento preciso con el uso de múltiples sistemas de GNSS.

Dado a que el receptor es capaz de recibir múltiples señales de los diferentes sistemas GNSS descritos previamente, es necesario que el receptor cuente con los datos de cada una de las señales trackeadas, para que mediante los mensajes de navegación UBX-NAV se interpreten cada uno de los parámetros recibidos.

#### **UBX-NAV-TIME**

Si bien la tarjeta puede recibir múltiples señales de GNSS a la vez, es necesario para el receptor conocer los tiempos de navegación para cada constelación, con el fin de obtener una medida precisa del tiempo en base a cada uno de los tiempos de los sistemas de GNSS, mitigando los sesgos de reloj.

Los receptores GNSS deben manejar una variedad de bases de tiempo diferentes, ya que cada GNSS tiene su propio sistema de referencia de tiempo. Es más, aunque cada GNSS proporciona un modelo para convertir la hora de su sistema en UTC, todos admiten una variante ligeramente diferente de UTC. Así, por ejemplo, el GPS admite una variante de UTC definida por el Observatorio Nacional de Estados Unidos, mientras que BeiDou utiliza la UTC del Centro

Nacional de Servicios de Tiempo de China (NTSC). Aunque las diferentes variantes de UTC suelen estar muy alineadas, pueden diferir hasta en unos cientos de nanosegundos. El grupo de configuración CFG-TP-\* permite al usuario elegir entre cualquiera de las horas GNSS (GPS, GLONASS, BeiDou, etc) y UTC soportadas. Asimismo, el grupo de configuración CFG-NAVSPG-\* permite al usuario seleccionar qué variante de UTC debe utilizar el receptor. Esto incluye una opción "automática" que hace que el receptor seleccione por sí mismo una versión UTC apropiada, basada en la configuración del GNSS (u-blox, 2021 pág. 58).

En la tabla 1-2 se representan los mensajes de navegación en base a las épocas recibidas de cada constelación.

**Tabla 1-2.** Mensajes de tiempo de los diferentes sistemas de GNSS

Tiempo de referencia	Mensaje
Tiempo de GPS	UBX-NAV-TIMEGPS
Tiempo de BeiDou	UBX-NAV-TIMEBDS
Tiempo de GLONASS	UBX-NAV-TIMEGLO
Tiempo de Galileo	UBX-NAV-TIMEGAL
UTC	UBX-NAV-TIMEUTC

Obtenido de: (u-blox, 2021 pág. 54)

Con esos mensajes es necesario validar que los resultados en la solución de los mensajes sean correctos, para ello el módulo debe procesar la información de las banderas recibidas alojadas en el mensaje UBX-NAV-PVT, si estas banderas están activadas, la hora es conocida y se considera válida para su uso. Estas banderas se encuentran en cada uno de los tiempos GNSS en la tabla de tiempos anterior.

Param	Value	Units
GPS Time Tag	222998.000	[s]
UTC Date and Time	27/ 7/ 2021 13:56:20 +000248093	
UTC Date and Time Confirmation Status	Date: CONFIRMED, Time: CONFIRMED	
UTC Time Accuracy	21	[ns]
Position Fix Type	3D Fix	
Fix Flags	FixOK DGNSS	
PSM state	n/a	
Position Latitude, Longitude, Height, MSL	-1.6867476, -78.6391288, 2771.5, 2759.4	[deg,deg,m,m]
Invalid Position Latitude, Longitude, Height, MSL	No	
Position Accuracy Estimate Horizontal, Vertical	0.0, 0.0	[m,m]
Velocity North, East, Down	0.000, -0.002, 0.000	[m/s,m/s,m/s]
Velocity, Heading Accuracy Estimate	0.048, 180.0	[m/s,deg]
Speed over Ground	0.002	[m/s]
Heading of Motion, Heading of Vehicle	0.0, n/a	[deg,deg]
Magnetic Declination, Declination Accuracy Estim...	n/a, n/a	[deg,deg]
PDOP	1.32	
#SVs Used	32	
Carrier Range Status	Fixed	

**Figura 2-2.** Mensaje de navegación en Posición Velocidad y Tiempo.

Realizado por: (Santiago Velasco, 2021)

Como se observa en la figura 2-2 los mensajes generados en la solución de posición, velocidad y tiempo de la tarjeta se representan con los datos de:

- El tiempo de la semana de GPS conocido como TOW (Time Of a Week).
- La fecha y el tiempo de la medición representado en el formato UTC.
- Confirmación de la validez de la hora: La información sobre la validez confirmada se proporciona en los indicadores `confirmedDate` y `confirmedTime` del mensaje UBX-NAV-PVT. Si estos indicadores están activados, la validez de la hora puede confirmarse utilizando una fuente independiente adicional, lo que significa que la probabilidad de que la hora sea correcta es muy alta.
- La precisión estimada del tiempo representada en ns.
- El PSM (Power Saber Mode), si en el caso requiriera un bajo consumo de energía.
- El tipo de posicionamiento que en este caso es un posicionamiento en 3D.
- Las banderas de corrección, en donde se representa si la solución es válida.
- La posición expresada en grados, minutos y segundos de latitud, longitud, altura, y la altura con respecto al nivel del mar.
- La velocidad de movimiento actual en las tres componentes Norte, Este y Altura.
- El PDOP obtenido
- El número de satélites utilizados para el posicionamiento.
- La solución de la fase portadora que puede ser flotante o fija.

### **Mensaje de configuración RXM-RAWX**

Este mensaje es de suma importancia comprender los campos que proporciona ya que, mediante este, se representa los datos crudos para poder generar un archivo de observación (mixed) multi-GNSS RINEX 3. Este mensaje contiene la información de pseudodistancia, efecto Doppler, la fase de la portadora, bloqueo de fase y calidad de la señal para cada uno de los satélites GNSS una vez que se han sincronizado las señales. Cabe recalcar que este mensaje es compatible con todos los GNSS activos, tal y como se muestra en la figura 3-2.

UBX - RXM (Receiver Manager) - RAWX (Multi-GNSS Raw Measurement Data) 34727

Local Time 2168.222997.998000000 [s]  
 Leap seconds 18 (VALID) [s] Clock reset

SV	Sig...	G...	Pseudo Range [m]	Carrier Phase [c...]	Dopple...	Lock T...	SNR	PR Std...	CP Std...	DO Std...	P...	C...	H...
S131	L1C...	-	36700276.37	192861231.69	-745.2	64500	46	0.08	0.004	0.064	Y	Y	Y
S133	L1C...	-	37753783.39	198397449.95	-744.5	64500	45	0.08	0.004	0.128	Y	Y	Y
S138	L1C...	-	36017376.36	189272573.56	-741.9	64500	47	0.08	0.004	0.064	Y	Y	Y
G02	L1C...	-	21760114.36	114350160.63	-622.9	64500	46	0.08	0.004	0.128	Y	Y	Y
G06	L1C...	-	20542424.27	107951157.12	-1925.3	64500	46	0.08	0.004	0.064	Y	Y	Y
G07	L1C...	-	22508636.23	118283657.42	-3987.8	64500	43	0.08	0.004	0.128	Y	Y	Y
B20	B1D1	-	24624971.03	128228695.83	1596.9	64500	40	0.16	0.008	0.256	Y	Y	Y
B23	B1D1	-	25243433.81	131449182.49	-3793.6	64500	43	0.08	0.004	0.128	Y	Y	Y
B27	B1D1	-	24163975.13	125828159.57	-1802.5	64500	43	0.08	0.004	0.128	Y	Y	Y
B32	B1D1	-	22596398.08	117665371.97	532.1	64500	49	0.08	0.004	0.064	Y	Y	Y
B37	B1D1	-	21620762.44	112584982.99	-2291.6	64500	49	0.08	0.004	0.064	Y	Y	Y
B30	B1D1	-	24156820.67	125790898.78	-1335.2	64500	42	0.08	0.008	0.128	Y	Y	Y
R10	L1OF	-7	18627081.20	99292823.13	14.7	64500	49	0.32	0.004	0.064	Y	Y	Y
R09	L1OF	-2	19714922.16	105276572.32	-3679.6	64500	51	0.32	0.004	0.064	Y	Y	Y
R05	L1OF	1	23408320.16	125130868.08	-1615.9	64500	43	0.32	0.008	0.128	Y	Y	Y
R07	L1OF	5	22019622.23	117872763.54	1643.3	64500	47	0.32	0.004	0.128	Y	Y	Y
R21	L1OF	4	21956804.31	117495289.52	-2766.1	64500	46	0.32	0.004	0.128	Y	Y	Y
G09	L1C...	-	23611225.75	124077813.49	-846.7	64500	40	0.16	0.008	0.256	Y	Y	Y
G11	L1C...	-	21197825.02	111395318.69	-31.9	64500	47	0.08	0.004	0.064	Y	Y	Y
G14	L1C...	-	20184812.69	106071899.54	660.8	64500	46	0.08	0.004	0.064	Y	Y	Y
G17	L1C...	-	23345990.80	122683997.53	-606.3	64500	40	0.16	0.008	0.256	Y	Y	Y
G19	L1C...	-	22975511.57	120737108.71	-657.1	64500	40	0.08	0.004	0.128	Y	Y	Y
G28	L1C...	-	21065644.58	110700696.35	1738.7	64500	46	0.08	0.004	0.064	Y	Y	Y
R06	L1OF	-4	21018210.92	112157205.12	540.8	64500	39	0.64	0.008	0.256	Y	Y	Y
R22	L1OF	-3	22219634.52	118609862.04	-1492.5	64500	38	0.64	0.012	0.256	Y	Y	Y
R11	L1OF	0	21821147.94	116605591.55	3120.0	64500	48	0.32	0.004	0.064	Y	Y	Y
G30	L1C...	-	20680008.29	108674165.64	-2810.8	64500	49	0.08	0.004	0.064	Y	Y	Y
E02	E1C	-	24432928.73	128711205.81	-2345.9	64500	46	0.08	0.004	0.064	Y	Y	Y
E08	E1C	-	23597161.00	124003915.10	50.4	64500	44	0.08	0.004	0.064	Y	Y	Y
E13	E1C	-	24598212.16	129264472.16	-1175.7	64500	44	0.08	0.004	0.128	Y	Y	Y
E03	E1C	-	26423818.55	138858106.29	-430.2	64500	40	0.16	0.008	0.128	Y	Y	Y
E27	E1C	-	25531281.69	134167791.91	1915.9	64500	41	0.16	0.008	0.128	Y	Y	Y

Figura 3-2. Mensajes RAWX Multi-GNSS

Realizado por: (Santiago Velasco, 2021)

### Mensaje RXM-RTCM

En este apartado de mensajes como se explicó en el capítulo anterior, se gestiona la información sobre un mensaje de entrada RTCM recibido desde la estación base perteneciente a la REGME en el formato RTCM 3.0. Se emite cuando se analiza con éxito un mensaje de entrada RTCM, independientemente de si el mensaje RTCM es compatible o no con el receptor.

UBX - RXM (Receiver Manager) - RTCM (RTCM input status) 36625

Statistics:

Message Type	Total messages	CRC passed messages	CRC failed messages	(Last) Reference Station ID
1004	559	559	0	0
1006	56	56	0	0
1012	560	560	0	0
1033	56	56	0	0
1230	56	56	0	0
1008	56	56	0	0
1013	56	56	0	0

List shows RTCM input messages received; not all may be used by the receiver

Current messages:

ix	Reference Station ID	Message ID	CRC check	Used
1399	0	1033	Passed	Yes
1398	0	1012	Passed	Yes
1397	0	1004	Passed	Yes
1396	0	1012	Passed	Yes
1395	0	1004	Passed	Yes
1394	0	1012	Passed	Yes
1393	0	1004	Passed	Yes
1392	0	1012	Passed	Yes
1391	0	1004	Passed	Yes
1390	0	1013	Passed	No
1389	0	1012	Passed	Yes
1388	0	1004	Passed	Yes
1387	0	1012	Passed	Yes
1386	0	1004	Passed	Yes
1385	0	1230	Passed	Yes
1384	0	1006	Passed	Yes

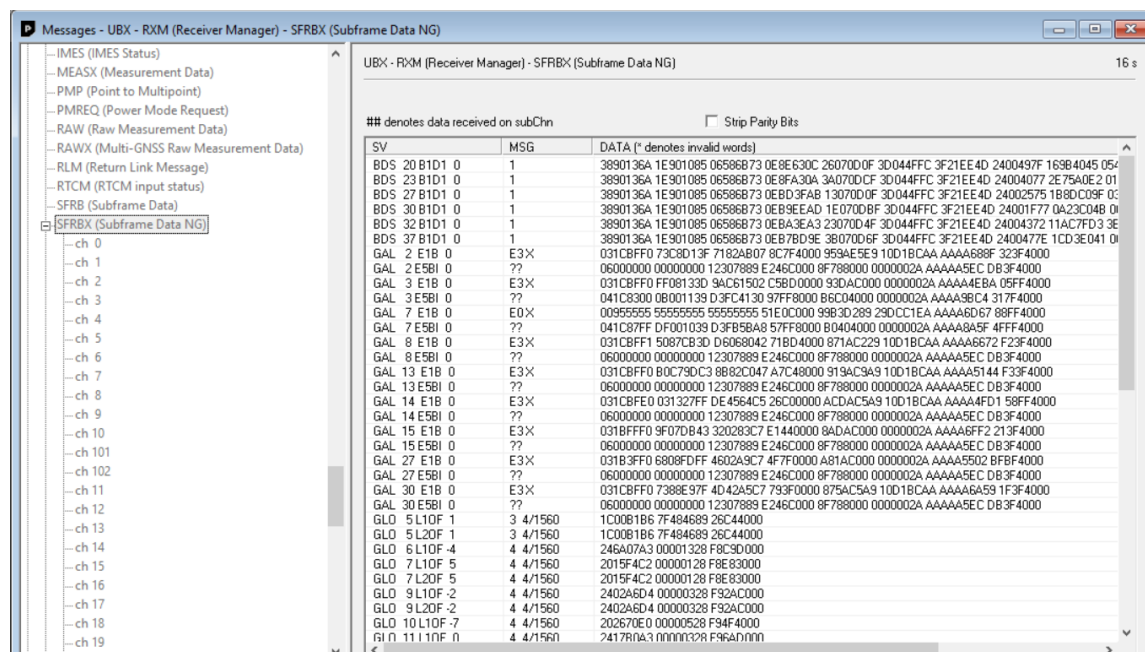
Figura 4-2. Mensajes de corrección RTCM de la estación base.

Realizado por: (Santiago Velasco, 2021)

## Mensaje RXM-SFRBX

Este mensaje informa de una subtrama completa de datos de navegación decodificados de una sola señal. El número de palabras de datos reportadas en cada mensaje depende de la naturaleza de la señal.

Cada mensaje UBX-RXM-SFRBX contiene una subtrama de bits de datos apropiada para el GNSS correspondiente, entregada en un número de palabras de 32 bits, como indica el campo numWords. Debido a la variación en la estructura de los datos entre los diferentes GNSS, el paso más importante para analizar un mensaje UBX-RXM-SFRBX es identificar la forma de los datos. Esto debe hacerse leyendo el campo gnsId, que indica de qué GNSS se decodificaron los datos. Los mensajes UBX-RXM-SFRBX sólo se generan cuando el receptor detecta subtramas completas y se han superado todas las comprobaciones de paridad pertinentes (u-blox, 2021 pág. 66).



SV	MSG	DATA (* denotes invalid words)
BDS 20 B1D1 0	1	3890136A 1E901085 06586B73 0E8E630C 26070D0F 3D044FFC 3F21EE4D 2400497F 169B4045 054
BDS 23 B1D1 0	1	3890136A 1E901085 06586B73 0E8E630C 3A070D0F 3D044FFC 3F21EE4D 2400497F 2E75A0E2 01
BDS 27 B1D1 0	1	3890136A 1E901085 06586B73 0E8E630C 13070D0F 3D044FFC 3F21EE4D 24002575 1B8DC05F 05
BDS 30 B1D1 0	1	3890136A 1E901085 06586B73 0E8E630C 1E070D0F 3D044FFC 3F21EE4D 24001777 0A23C049 01
BDS 32 B1D1 0	1	3890136A 1E901085 06586B73 0E8E630C 23070D0F 3D044FFC 3F21EE4D 24004372 11AC7FD3 3E
BDS 37 B1D1 0	1	3890136A 1E901085 06586B73 0E8E630C 38070D0F 3D044FFC 3F21EE4D 2400477E 1CD3E041 01
GAL 2 E1B 0	E3X	031CBFF0 73C8D13F 7182A807 8C7F4000 959A65E9 10D1B0CA AAAA688F 323F4000
GAL 2 E5B1 0	??	06000000 00000000 12307889 E246C000 8F788000 0000002A AAAA55C D83F4000
GAL 3 E1B 0	E3X	031CBFF0 FF08133D 9AC51502 C58D0000 93DA0000 0000002A AAAA4EBA 05FF4000
GAL 3 E5B1 0	??	041C8300 0B001139 D3FC4130 97FF8000 B6C04000 0000002A AAAA9BC4 317F4000
GAL 7 E1B 0	E0X	00955555 55555555 55555555 51E0C000 99B3D289 29CC1EA AAAA6D67 88FF4000
GAL 7 E5B1 0	??	041C87FF DF001039 D3FB5BA8 57FF8000 B0404000 0000002A AAAA8A5F 4FFF4000
GAL 8 E1B 0	E3X	031CBFF1 5087CB3D D6068042 718D4000 871AC229 10D1B0CA AAAA6672 F23F4000
GAL 8 E5B1 0	??	06000000 00000000 12307889 E246C000 8F788000 0000002A AAAA55C D83F4000
GAL 13 E1B 0	E3X	031CBFF0 B0C79DC3 8B82C047 A7C48000 919AC3A9 10D1B0CA AAAA5144 F33F4000
GAL 13 E5B1 0	??	06000000 00000000 12307889 E246C000 8F788000 0000002A AAAA55C D83F4000
GAL 14 E1B 0	E3X	031CBFE0 031327FF DE45E4C5 28C00000 ACCAC5A9 10D1B0CA AAAA4F11 58FF4000
GAL 14 E5B1 0	??	06000000 00000000 12307889 E246C000 8F788000 0000002A AAAA55C D83F4000
GAL 15 E1B 0	E3X	031BFF0 9F07D843 320283C7 E1440000 8ADAC000 0000002A AAAA6FF2 213F4000
GAL 15 E5B1 0	??	06000000 00000000 12307889 E246C000 8F788000 0000002A AAAA55C D83F4000
GAL 27 E1B 0	E3X	031B3FF0 6808FFDF 4602A9C7 4F7F0000 A81AC000 0000002A AAAA5502 B8BF4000
GAL 27 E5B1 0	??	06000000 00000000 12307889 E246C000 8F788000 0000002A AAAA55C D83F4000
GAL 30 E1B 0	E3X	031CBFF0 7388E97F 4D42A5C7 793F0000 875AC5A9 10D1B0CA AAAA6A59 1F3F4000
GAL 30 E5B1 0	??	06000000 00000000 12307889 E246C000 8F788000 0000002A AAAA55C D83F4000
GLO 5 L10F 1	3 4/1560	1C00B1B6 7F484689 26C44000
GLO 5 L20F 1	3 4/1560	1C00B1B6 7F484689 26C44000
GLO 6 L10F -4	4 4/1560	246A07A3 00001328 F8C30000
GLO 7 L10F 5	4 4/1560	2015F4C2 00000128 F8E30000
GLO 7 L20F 5	4 4/1560	2015F4C2 00000128 F8E30000
GLO 9 L10F -2	4 4/1560	2402A5D4 00000328 F92AC000
GLO 9 L20F -2	4 4/1560	2402A5D4 00000328 F92AC000
GLO 10 L10F -7	4 4/1560	202670E0 00000528 F94F4000
GLO 11 L10F 0	4 4/1560	24178A33 00000328 F96AD000

Figura 5-2. Mensaje del receptor SFRBX.

Realizado por: (Santiago Velasco, 2021)

### 2.3. Escenarios planteados

Para cumplir con los objetivos del presente trabajo se plantean tres escenarios diferentes en donde se pretende verificar la posición obtenida en los mismos, mediante el uso de la tarjeta de aplicación C099-F9P de bajo costo y a través de una conexión NTRIP con el Caster.

- **Escenario 1:** Se realiza la toma de un punto de precisión fuera y dentro de un domicilio, en donde se evidencie en el mejor de los casos (buena visibilidad de los satélites, baja obstrucción de las señales) y el peor de los casos (lluvia, multitrayecto, obstrucciones de

la señal) en tiempo real, para verificar la precisión utilizando sistemas multi-GNSS, con el fin de comparar los resultados obtenidos en relación con GPS, mediante el uso de las aplicaciones SW Maps, U-center y finalmente RTKlib.

- **Escenario 2:** Para este escenario con el fin de verificar la precisión obtenida mediante la tarjeta de aplicación se plantea un ejercicio de referenciación en donde no existan obstrucciones de señal, el multicamino sea bajo y tenga la mejor recepción de señales de los sistemas GNSS. Se realiza la trayectoria en la terraza de un domicilio de la palabra ESPOCH, conectado a las estaciones de la REGME con NTRIP y sin NTRIP para comparar los resultados obtenidos con multiconstelación.
- **Escenario 3:** Se realiza las pruebas en movimiento sobre un vehículo y en movimiento a través del parque del estudiante de la ESPOCH, para verificar la precisión obtenida de la tarjeta de aplicación mediante la conexión NTRIP con las estaciones REGME, con el uso de las aplicaciones SW Maps, U-center y finalmente RTKlib.
- **Aplicación:** Dado a que es necesario realizar ejercicios de georreferenciación, se plantea la toma de puntos precisos mediante los instrumentos de navegación por satélite Spectra SP60 y la tarjeta de aplicación de bajo costo, con el fin de evaluar los resultados obtenidos en una ortofotogrametría muy precisa, que sirve para trabajos topográficos.

### **2.3.1. Escenario 1:**

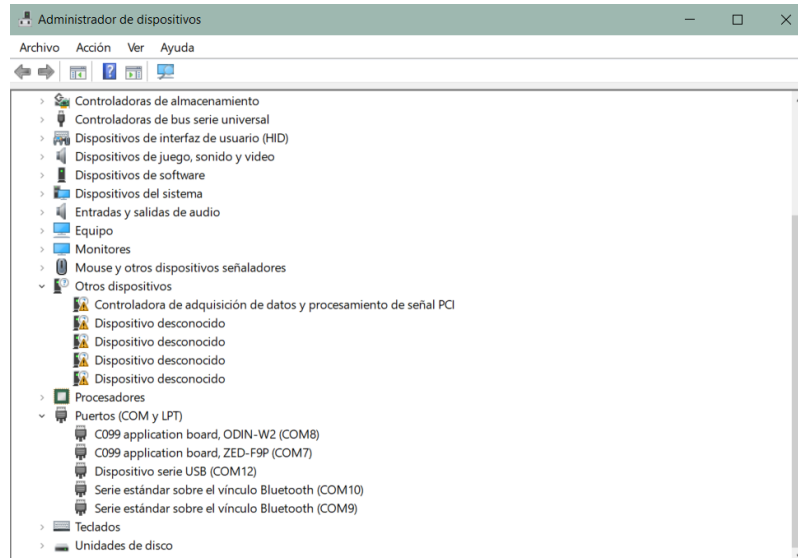
Para la obtención de datos se procede a configurar el receptor C099-F9P mediante el software de aplicación u-center con el fin de obtener los datos crudos de la medición.

Con el fin de tener un parámetro de comparación se evalúa la precisión obtenida únicamente con las señales de GPS, deshabilitando el resto de las señales, a través de la configuración de los mensajes en la tarjeta, en el apartado de GNSS se puede deshabilitar o habilitar las constelaciones soportadas por la misma

#### **2.3.1.1. Configuración Rover**

Para la conexión de la tarjeta con el módulo C099-F9P, al momento de conectar la tarjeta al puerto Windows automáticamente reconoce el dispositivo y descarga el driver correspondiente para poder utilizarlo normalmente; una vez terminada la instalación del puerto, podemos verificar en el administrador de dispositivos Windows los puertos conectados disponibles



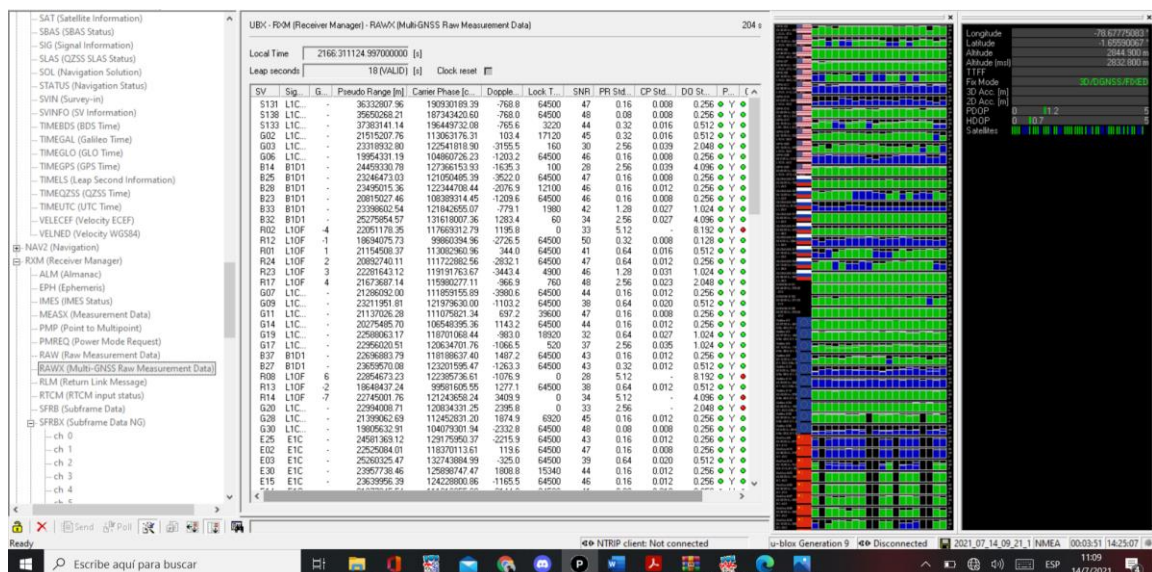


**Figura 6-2.** Conexión mediante el puerto COM12.

Realizado por: (Santiago Velasco, 2021)

Se debe asegurar que la tarjeta está generando los archivos RAWX Y SFRBX, mediante el software de u-center v21.02. Para lo cual se debe revisar los pasos a seguir para la configuración en el ANEXO A.

Una vez realizada la configuración en la tarjeta C099-F9P, se conecta la tarjeta de aplicación mediante Bluetooth al dispositivo móvil mediante la aplicación SW-Maps para empezar la recolección de datos del escenario.



**Figura 7-2.** Comprobación de datos previo a la grabación de datos crudos.

Realizado por: (Santiago Velasco, 2021)

### 2.3.1.2. Configuración RTKNAVI.

Una vez configurada la tarjeta de aplicación correctamente se procede a abrir la carpeta en donde se encuentra ubicado RTKLIB para poder utilizar RTKNAVI desde la aplicación, para este estudio se ha considerado la versión 2.4.3 b34.

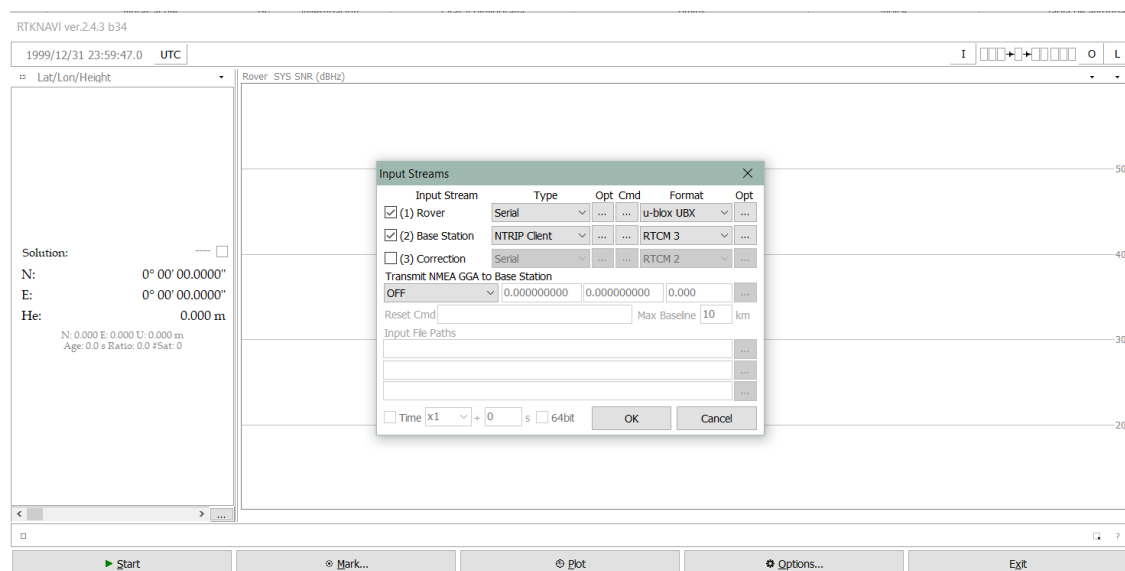


**Figura 8-2.** Launcher de la aplicación RTKLIB.

Realizado por: (Santiago Velasco, 2021)

### 2.3.1.3. Configuración de Entradas.

Mediante RTKNAVI se procede a configurar los datos del rover, así como de la estación base, debido a que la tarjeta de aplicación genera los mensajes en el formato .ubx se debe seleccionar ese tipo de formato en el rover. Para la conexión con la estación base se debe tener en cuenta que los formatos soportados mediante la conexión por NTRIP de los casters del Ecuador es el formato RTCM 2.3 y RTCM 3, que para el caso de este estudio se utiliza el formato RTCM 3 de entrada, tal y como se visualiza en la Figura 9-2.

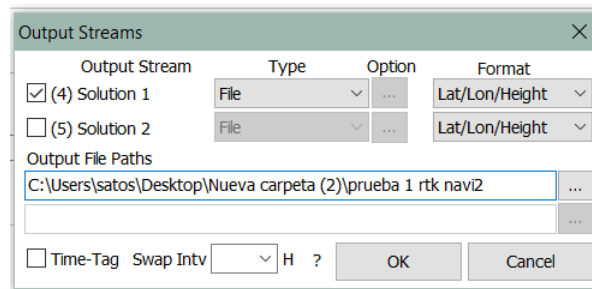


**Figura 9-2.** RTKNAVI Datos de Entrada.

Realizado por: (Santiago Velasco, 2021)

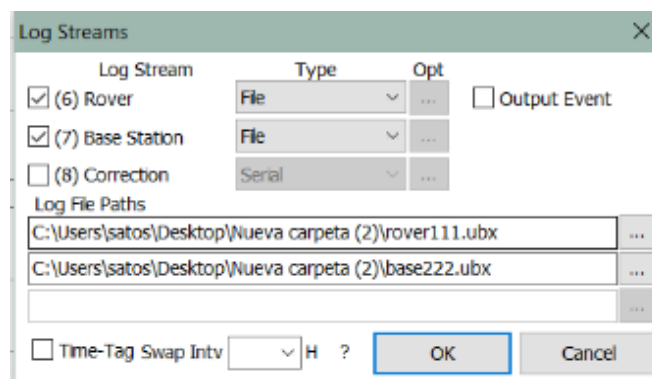
### 2.3.1.4. Configuración de Salidas.

La opción “O” del programa nos permite grabar los datos recibidos tanto de la estación base como del rover con el fin de luego poder ser convertidos estos archivos y utilizarlos en post proceso.



**Figura 10-2.** Datos de salida

**Realizado por:** (Santiago Velasco, 2021)

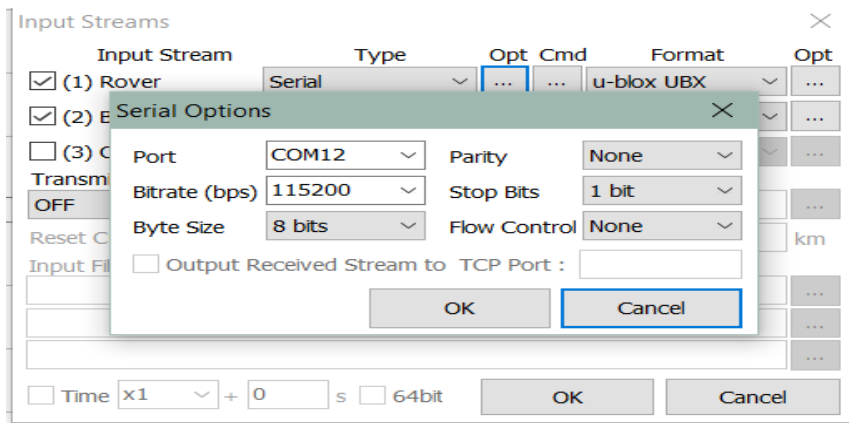


**Figura 11-2.** Grabación de los datos en un archivo de extensión. ubx

**Realizado por:** (Santiago Velasco, 2021)

Para visualizar los resultados obtenidos de la medición el archivo generado por la aplicación .ubx se puede visualizar directamente mediante la aplicación de RTKPost para verificar la trayectoria obtenida así como la solución de ambigüedades de fase portadora que se dieron durante todo el trayecto.

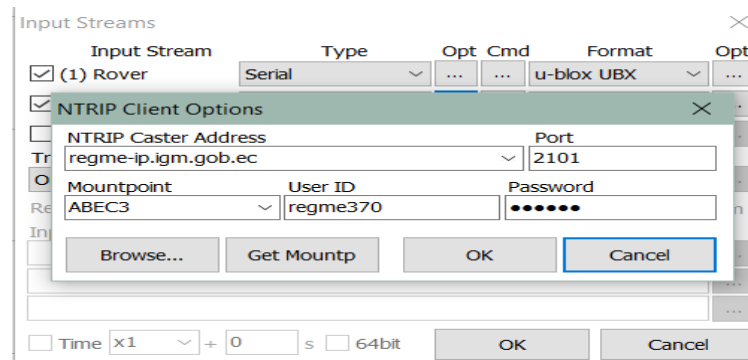
Posteriormente se debe configurar los siguientes parámetros para la obtención de los datos crudos mediante conexión USB, se debe identificar previamente el puerto en el cual está conectada la tarjeta, dentro del RTKNavi se procede a configurar el rover y se seleccionan los parámetros de entrada, tales como: el puerto que en este caso es el COM12, la velocidad del puerto que en este caso es 115200 según el estándar especificado y el tamaño de los bytes.



**Figura 12-2.** Datos de configuración de entrada en RTKNavi.

Realizado por: (Santiago Velasco, 2021)

Para la conexión con NTRIP se debe configurar los parámetros de entrada con el usuario y la contraseña que previamente se obtuvo en el Geoportal, tal y como se muestra en la Figura 13-2.



**Figura 13-2.** Conexión con NTRIP estación ABEC3.

Realizado por: (Santiago Velasco, 2021)

Para la configuración con SW Maps referirse al ANEXO E

Con el fin de tener un parámetro de comparación entre la precisión obtenida del equipo C099-F9P se toman puntos estáticos con el equipo Spectra SP60 para poder así evaluar los resultados de un equipo de alta precisión.

#### 2.3.1.5. Punto de precisión en el mejor y peor de los casos

Para el primer punto de precisión se tomó en cuenta la terraza del domicilio en donde se tomó puntos de control con el equipo C099-F9P y el Spectra Sp60.



**Figura 14-2.** Punto de precisión escenario 1.

**Realizado por:** (Santiago Velasco, 2021)

Para la obtención de los datos del punto referirse al ANEXO F utilizando las aplicaciones SW Maps para la tarjeta de aplicación y MM Field del equipo de precisión Spectra SP60.

Punto de precisión en el peor de los casos, que existan obstrucciones de señal en un ambiente Indoor, mediante el equipo de precisión Spectra SP60 y el equipo de bajo costo C099-F9P con el fin de comparar la precisión obtenida en el peor de los casos con ambos equipos de precisión.



**Figura 15-2.** Punto peor de los casos ambiente Indoor.

**Realizado por:** (Santiago Velasco, 2021)

### 2.3.2. *Escenario 2*

Para el escenario 2 se realiza mediante la aplicación SW-Maps, una prueba en movimiento que mediante palabra “ESPOCH” escrita en la terraza de un domicilio, se evidencie el



posicionamiento obtenido conectado con NTRIP y sin NTRIP con el fin de comparar la diferencia de precisión de posicionamiento en la tarjeta de aplicación de bajo costo.

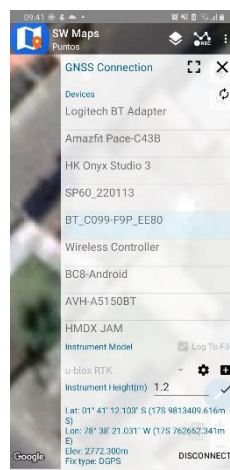
Para empezar a grabar la trayectoria, se realiza la conexión Bluetooth con la tarjeta, se debe tomar en cuenta que se debe activar el modo de visibilidad de la tarjeta para que se pueda acceder mediante una conexión Bluetooth a la misma (referirse al ANEXO B). Una vez activado el modo de visibilidad de la tarjeta se procede a configurar mediante SW Maps como se muestra en el ANEXO E



**Figura 16-2.** Configuración inicial SW-Maps

**Realizado por:** (Santiago Velasco, 2021)

Una vez realizada la configuración de la aplicación para enlazarse con la tarjeta; procedemos a conectar la tarjeta mediante el servicio de NTRIP.



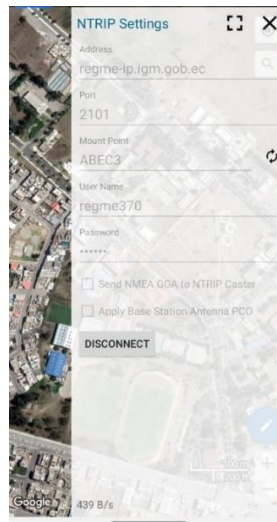
**Figura 17-2:** Configuración del Rover finalizada y enlazado mediante bluetooth.

**Realizado por:** (Santiago Velasco, 2021)

Para realizar las mediciones correspondientes al escenario se tomó en referencia la estación base ABEC3 ubicada a 48Km desde el inicio del punto de medición; se tomó en referencia esa estación

base debido a que la estación de la REGME denominada EREC3 al momento de realizar este estudio se encontraba en mantenimiento.

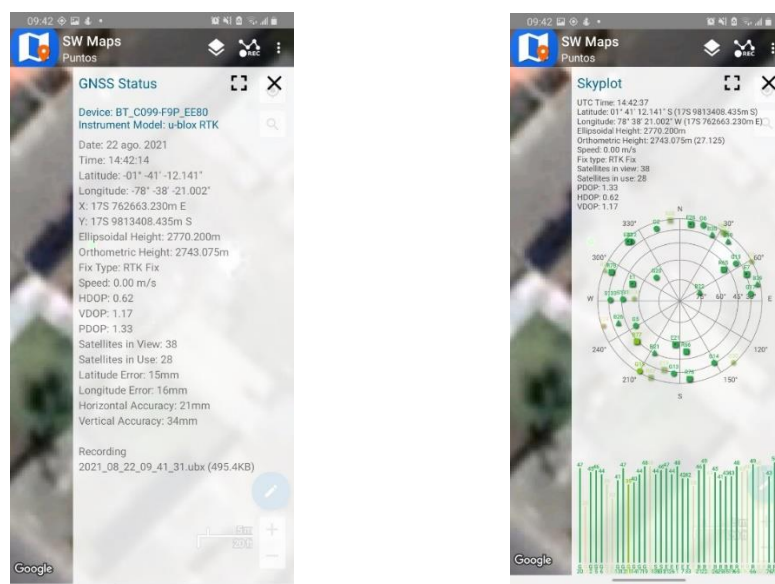
Para conectarse con la estación ABEC3 mediante NTRIP se selecciona mediante la aplicación SW Maps con el usuario y contraseña previamente obtenidos mediante el Geoportal del IGM (Revisar ANEXO C), una vez enlazado con la estación tendremos como resultado lo que se observa en la Figura 18-2.



**Figura 18-2.** Tarjeta de aplicación enlazada mediante NTRIP a ABEC3.

Realizado por: (Santiago Velasco, 2021)

Una vez enlazada la tarjeta de aplicación a la estación base el modo de posicionamiento pasa de ser: DGPS a RTK Fixed como se observa en la Figura 19-2.



**Figura 19-2.** Tarjeta de aplicación enlazada a ABEC3 con RTK fix junto con los satélites en uso.

Realizado por: (Santiago Velasco, 2021)

Se verifica que efectivamente la tarjeta se encuentra recibiendo los datos, mediante el led de RTK, que en un modo de posicionamiento RTK fijo el led se prende continuamente, si la solución es flotante, el led de RTK es intermitente.

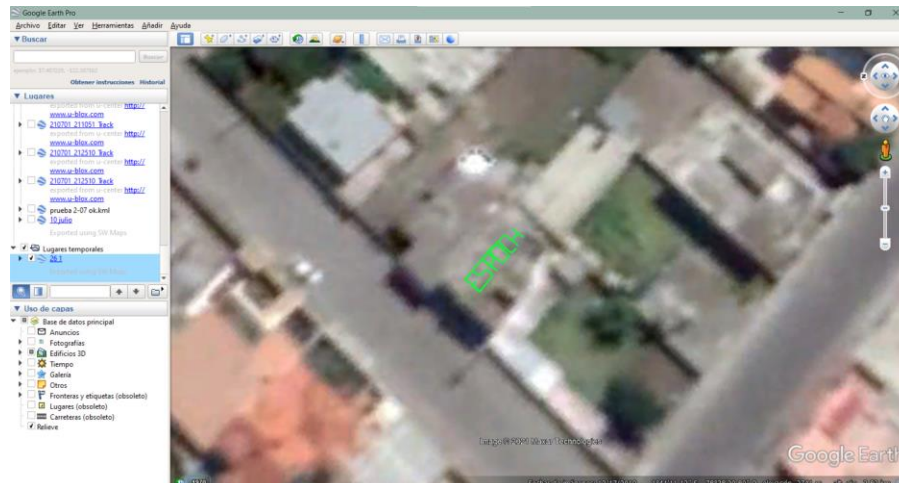


**Figura 20-2.** Tarjeta de aplicación con RTK fijo.

Realizado por: (Santiago Velasco, 2021)

Una vez finalizada la trayectoria se finaliza y se almacena en el apartado de SW Maps ⇒ RawData.

### 2.3.2.1. Prueba en movimiento con NTRIP

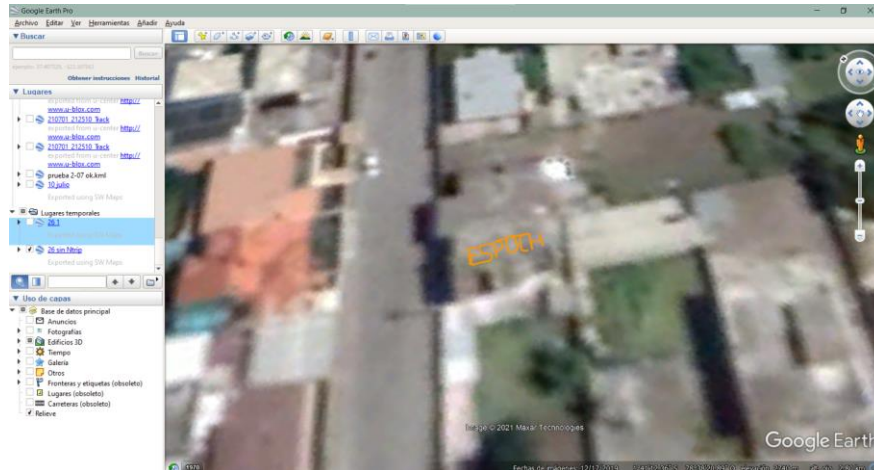


**Figura 21-2.** Trayectoria con NTRIP

Realizado por: (Santiago Velasco, 2021)



### 2.3.2.2. Prueba en movimiento sin NTRIP.



**Figura 22-2.** Trayectoria sin NTRIP.

Realizado por: (Santiago Velasco, 2021)

### 2.3.3. Escenario 3

Para el escenario 3 se ha tomado en consideración un espacio amplio en donde exista buena visibilidad con los satélites, además de que la hora de medición es adecuada debido a efectos que puedan afectar con las señales de cada uno de los satélites.

Para la obtención de datos crudos se procede a grabar los datos de la trayectoria a realizar; que en este caso es la trayectoria en la ESPOCH en un vehículo a una velocidad aproximada de todo el trayecto de 5Km/h con el fin de evidenciar su posicionamiento en tiempo real, además de una prueba en el parque del estudiante y finalmente un punto de precisión.

#### 2.3.3.1. Conexión en tiempo real con NTRIP.

Previo a la conexión se verifica mediante el software de u-center que los mensajes de datos se estén generando correctamente específicamente los archivos RAWX (multiconstelación), correspondientes a los datos crudos de las constelaciones en donde se detallan de cada uno de los satélites el tipo de datos que se reciben, así como el estado de cada una de las señales.

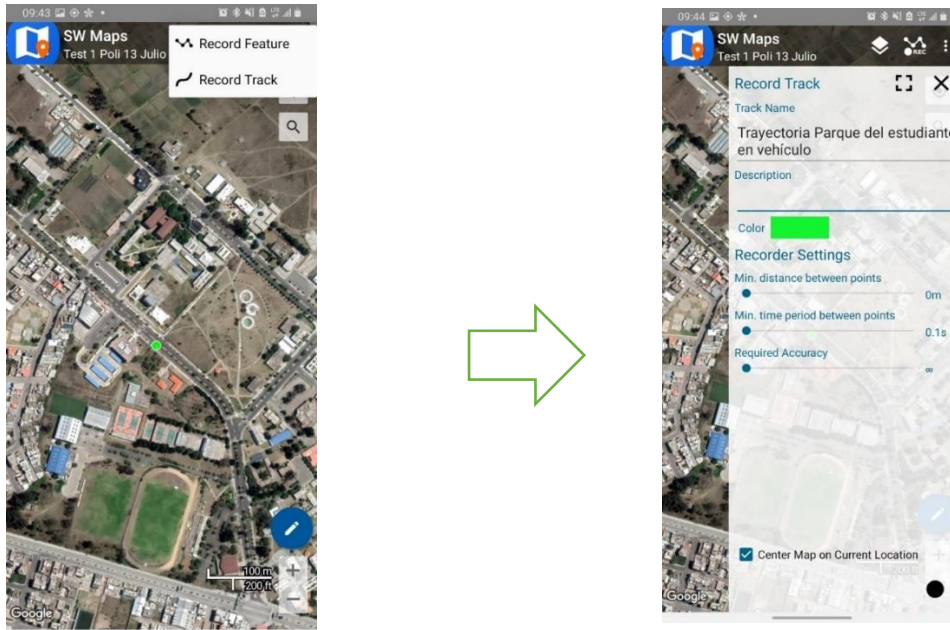
Dado a que se va a realizar una trayectoria en los parámetros de la aplicación se debe empezar a grabar los datos de la trayectoria para posteriormente visualizarlos con las herramientas de Google Earth y RTKPlot.

Como se observa en las Figura 23-2 existen varios parámetros los cuales nos serán de utilizada para la obtención de los datos, la aplicación nos permite seleccionar en el apartado de Recorder Settings:

- Distancia mínima entre los puntos seleccionaremos 0m.

- Período mínimo para que tome muestras es de 0.1s.
- Y la precisión requerida; seleccionamos la mejor disponible en ese momento.

Se inicia la grabación a una velocidad aproximada de 10 a 15 Km en el vehículo.



**Figura 23-2.** Datos para empezar a grabar la trayectoria.

**Realizado por:** (Santiago Velasco, 2021)

Dado que es un escenario en tiempo real; las trayectorias se van proyectando en el mapa de Google en tiempo real, tal y como se muestra en la figura 24-2 con una distancia total recorrida de 2263.595m.

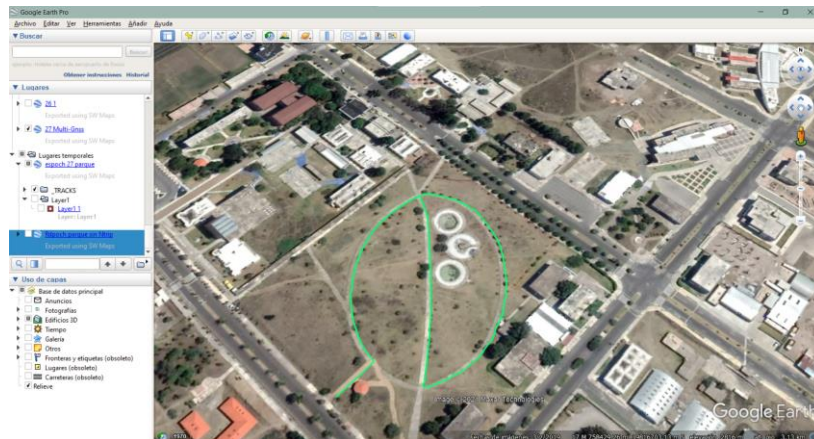


**Figura 24-2.** Trayectoria ESPOCH con NTRIP finalizada con multiconstelación.

**Realizado por:** (Santiago Velasco, 2021)

### 2.3.3.2. Trayectoria 1 en el parque del estudiante con NTRIP.

Se realiza un recorrido por el parque del estudiante con todas las constelaciones disponibles, obteniendo así:



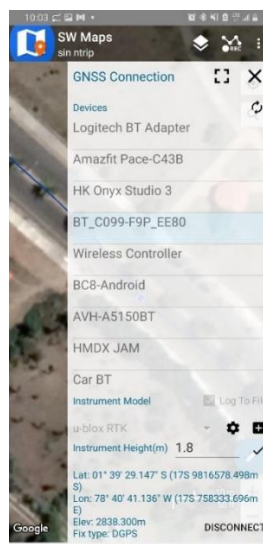
**Figura 25-2.** Prueba en movimiento multiconstelación parque del estudiante.

**Realizado por:** (Santiago Velasco, 2021)

### 2.3.3.3. Conexión Sin NTRIP.

Para la conexión sin NTRIP se procede a realizar los mismos pasos de la sección 2.3.3.1 a diferencia que no se conecta con la estación base ABEC3, para evaluar la precisión obtenida únicamente con la antena ANN-MB-00 de la tarjeta de aplicación C099-F9P.

Se procede a realizar la conexión mediante Bluetooth con la tarjeta:



**Figura 26-2.** Conexión sin NTRIP Escenario 1.

**Realizado por:** (Santiago Velasco, 2021)



Como se observa en la Figura 26-2 se realiza la conexión directa mediante bluetooth con la tarjeta con un método de resolución DGPS.

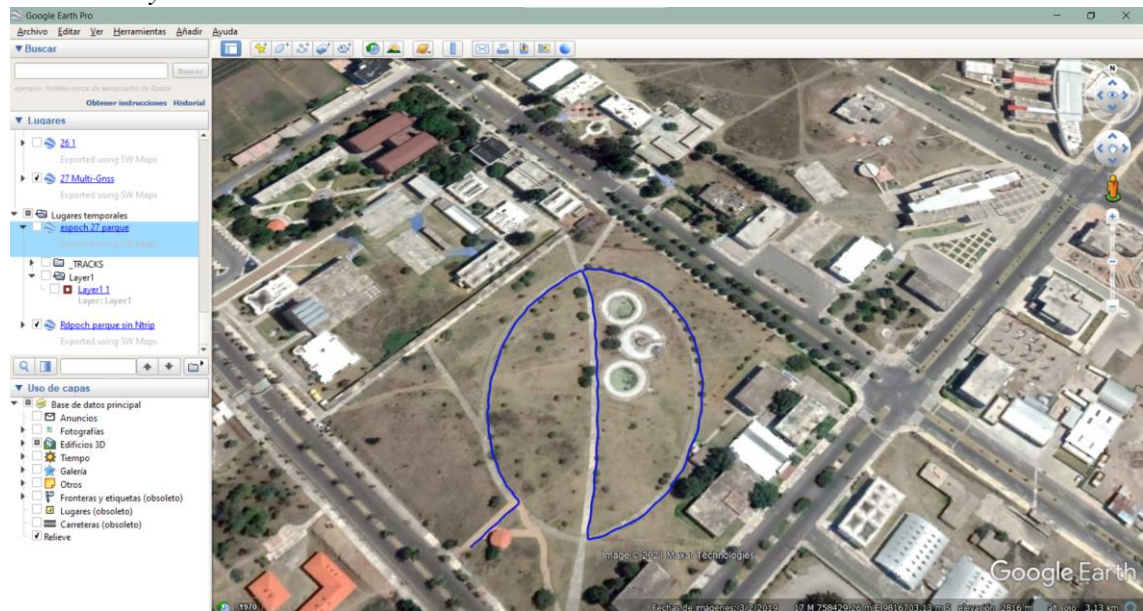
Una vez realizada la conexión se procede a realizar la toma de datos mediante el track de la aplicación Sw Maps, tal y como se mostró en pasos anteriores para este caso se siguió la misma trayectoria que se siguió con NTRIP con el fin de poder evaluar posteriormente los resultados.



**Figura 27-2.** Trayectoria 1 escenario 1 sin NTRIP con multiconstelación

Realizado por: (Santiago Velasco, 2021)

#### 2.3.3.4. Trayectoria 2 escenario 1 sin NTRIP



**Figura 28-2.** Trayectoria 2 con DGPS sin NTRIP.

Realizado por: (Santiago Velasco, 2021)

### 2.3.3.5. Conexión utilizando únicamente la constelación de GPS.

Se debe configurar previamente la tarjeta en el apartado de mensajes- UBX – CFG – GNSS en donde se selecciona las constelaciones que se van a utilizar deshabilitando las otras constelaciones para posteriormente evaluar la posición obtenida, tal y como se ve en la Figura 29-2.

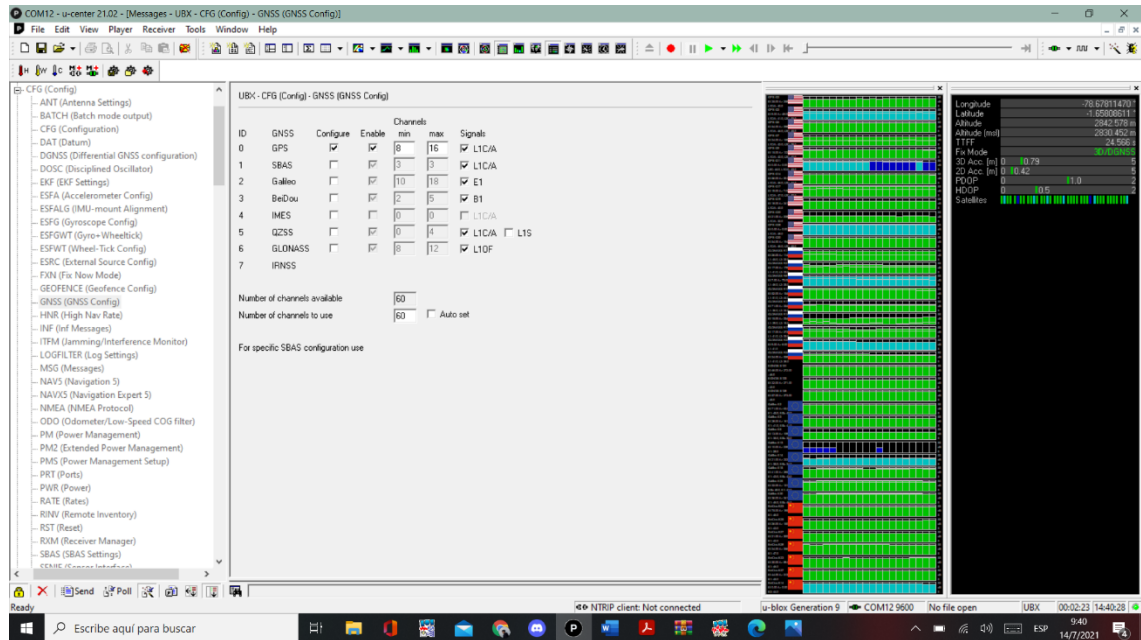


Figura 29-2. Constelación seleccionada de GPS.

Realizado por: (Santiago Velasco, 2021)

Una vez seleccionada la constelación deseada se desconecta la tarjeta y se conecta al dispositivo móvil para realizar la toma de datos mediante la aplicación SW Maps, que para este caso se evalúa una misma posición con diferentes combinaciones de señales GNSS.

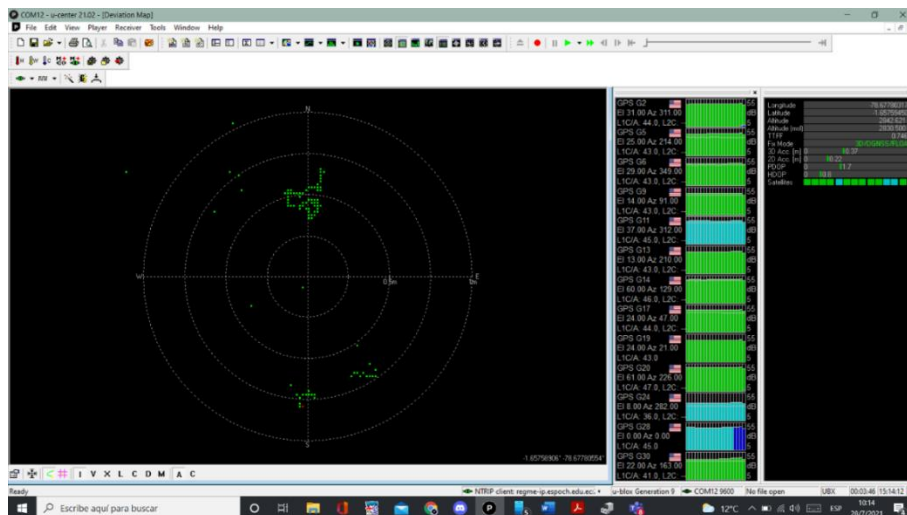


Figura 30-2. Punto de precisión únicamente con GPS y NTRIP.

Realizado por: (Santiago Velasco, 2021)

Se recolectan los datos así cada punto utilizando las combinaciones de constelaciones de:

- GPS.
- GPS+Galileo.
- GPS+Galileo+BeiDou.
- GPS+Galileo+BeiDou+GLONASS.

## 2.4. Archivos RINEX 3.04 con multiconstelación.

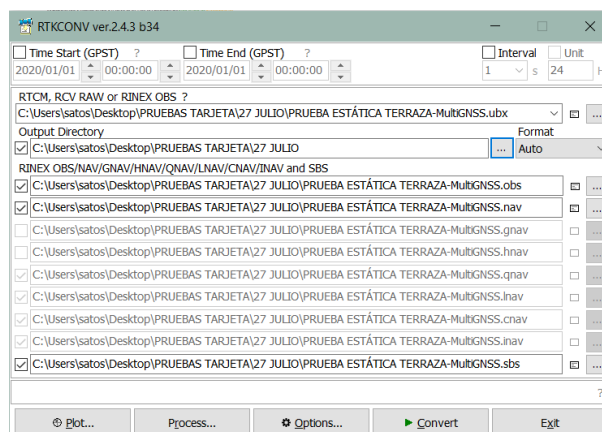
Dado a que la tarjeta de aplicación tiene un formato de salida de los datos .ubx, es necesario convertir esos datos de cada uno de los escenarios para poder ser interpretados mediante el software RTKCONV. Siguiendo los siguientes pasos:

1. Abrir RTKLib
2. Abrir RTKCONV.



**Figura 31-2.** Interfaz RTKLIB.

Realizado por: (Santiago Velasco, 2021)



**Figura 32-2.** Interfaz RTKCONV.

Realizado por: (Santiago Velasco, 2021)

Se selecciona el archivo .ubx que deseamos convertir a RINEX 3.04 y seleccionamos el directorio de salida en donde se guardará el archivo convertido. Posteriormente se dirige a la pestaña de opciones en donde se eligen los siguientes parámetros:

Options

RINEX Ver 3.04  Sep NAV Station ID 0000  RINEX2 Name

RunBy/Obsrv/Agency

Comment

Maker Name/#/Type

Rec #/Type/Vers

Ant #/Type ANN-MB 00

Approx Pos XYZ  0.0000 0.0000 0.0000

Antenna Delta H/E/N 0.0000 0.0000 0.0000

Phase Shift  Half Cyc Corr  Iono Corr  Time Corr  Leap Sec

Satellite Systems  GPS  GLO  GAL  QZS  BDS  NavIC  SBS Excluded Satellites

Observation Types  C  L  D  S GNSS Signals ?  L1  L2  L3  L4  L5 Mask... FCN...

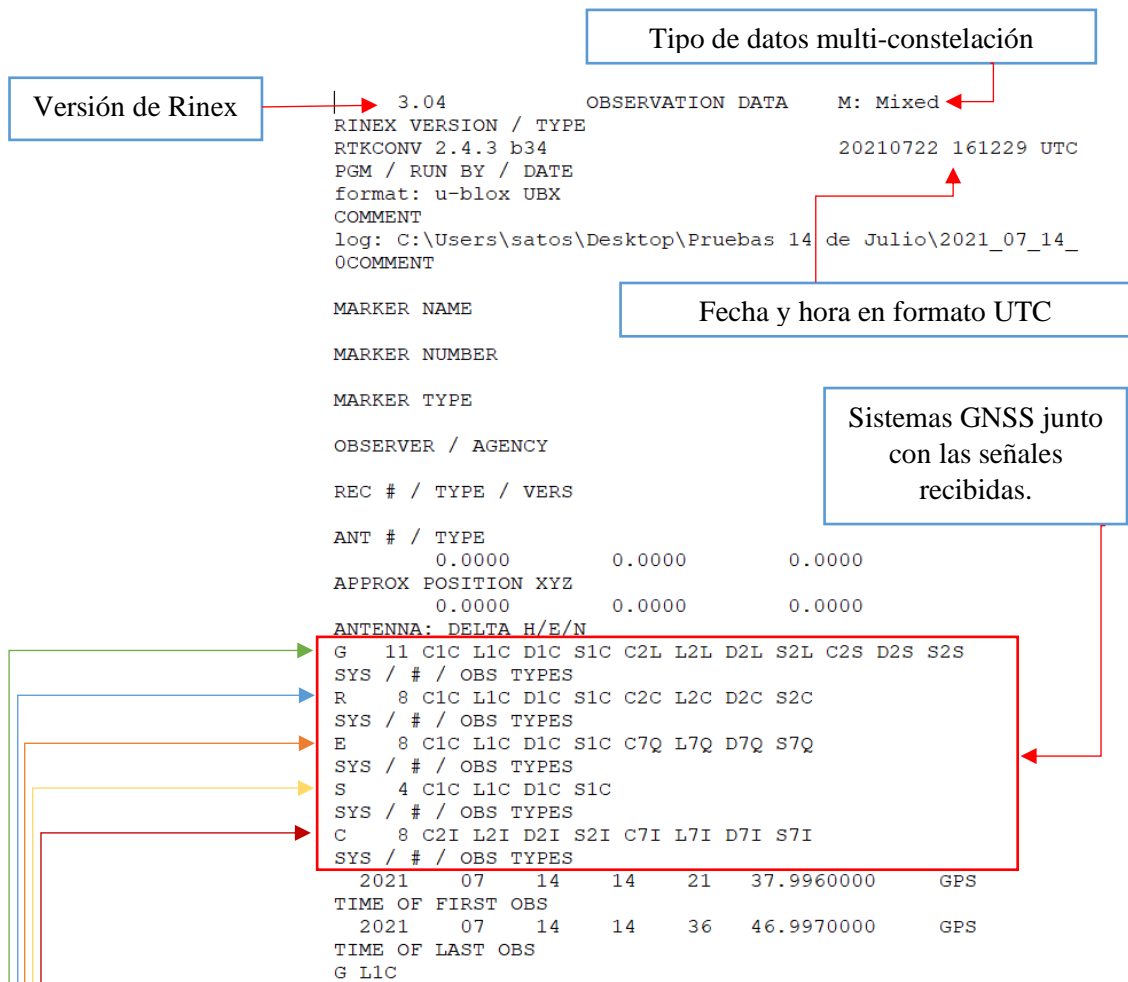
Receiver Options

Time Tolerance (s) 0.005 Debug OFF

**Figura 33-2.** Parámetros de configuración RTKCONV para multiconstelación.

Realizado por: (Santiago Velasco, 2021)

El archivo RINEX de observación resultante es el siguiente:



Códigos de observación Cada fila de códigos de observación está asociada con una constelación GNSS:

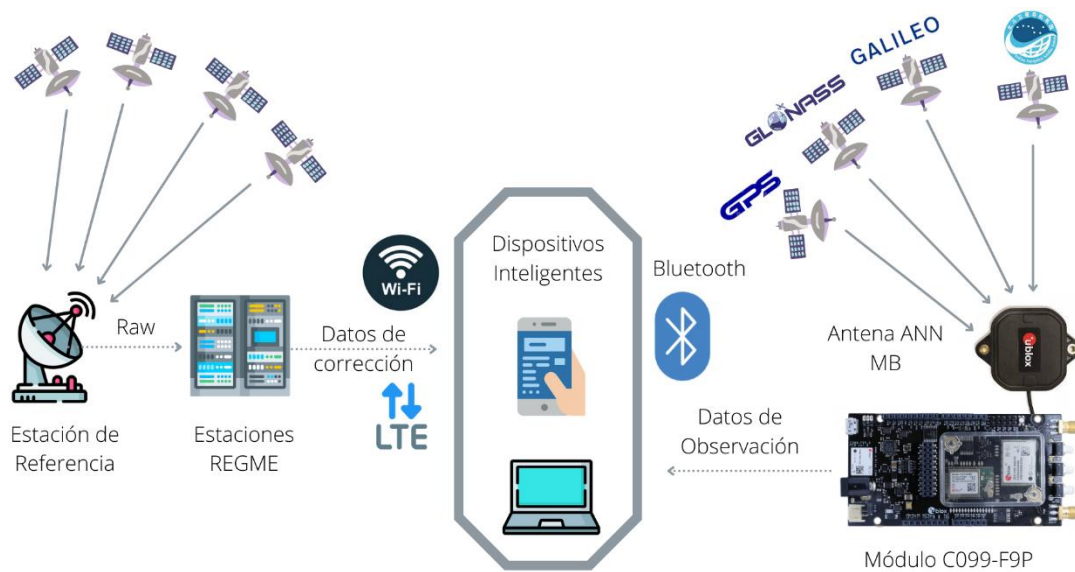
- G: GPS
- R: GLONASS
- E: Galileo
- S: SBAS
- C: BeiDou
- J: QZSS
- I: NavIC (IRNSS)

El primer carácter de cada código de observación indica el tipo de medición y puede tomar uno de los siguientes 4 valores.

- C: Pseudorange
- L: Fase portadora
- D: Doppler
- S: Intensidad de la señal



## 2.5. Diseño del sistema.

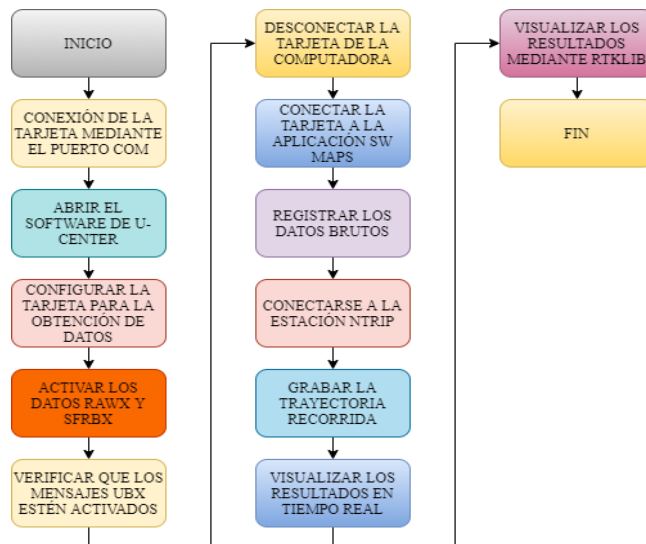


**Figura 34-2.** Funcionamiento del sistema de posicionamiento de multi-GNSS.

Realizado por: (Santiago Velasco, 2021).

En base a las conexiones con NTRIP se pretende analizar los resultados obtenidos en diferentes escenarios con el fin de analizar la precisión de la posición obtenida en diferentes escenarios planteando así el mejor escenario y el peor, con el fin de poder comparar los datos con un equipo de mayor precisión.

### 2.5. Diagrama de flujo para la conexión.



**Figura 35-2.** Diagrama de flujo para la obtención de datos

Realizado por: (Santiago Velasco, 2021)

## CAPITULO III.

### ANÁLISIS DE RESULTADOS

En base a los escenarios propuestos en el capítulo anterior se procede a realizar el análisis de los resultados conforme a los parámetros establecidos; en donde para pruebas kinemáticas se visualizan a través de la aplicación RTKNAVI, y para la toma de puntos de precisión se toma en cuenta las aplicaciones SW Maps y MMfield para la tarjeta de aplicación y el dispositivo Spectra SP60 respectivamente.

Los gráficos obtenidos de las mediciones se analizan las gráficas correspondientes a PVT:

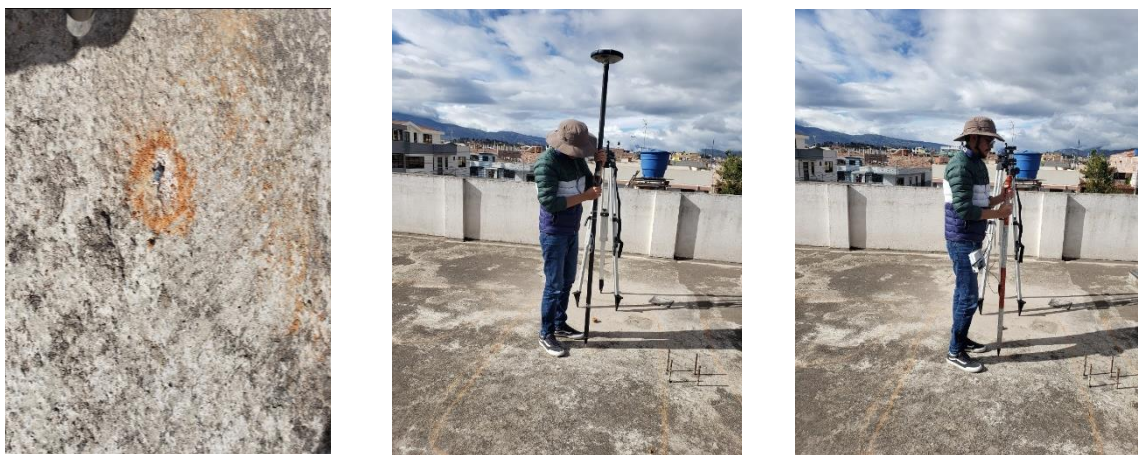
- Gnd Trk
- Position
- Velocity.

Debido a que previamente se grabaron los datos crudos de las mediciones realizadas se obtienen los siguientes resultados para los escenarios 1, 2 y 3. En donde se analiza la posición obtenida con el fin de verificar la fiabilidad de precisión que ofrece el receptor C099-F9P mediante NTRIP con multiconstelación y sin NTRIP.

#### 3.1. Resultados Escenario 1

##### 3.1.1. Puntos de medición en el escenario 1:

Para la recolección de los datos se planteó un punto de precisión el día 26 de Julio de 2021 en la terraza del domicilio en donde se tomaron diferentes mediciones con el equipo Spectra Sp60 y la Tarjeta de aplicación C099-F9P tal y como se muestra en la figura 1-3 conectados mediante NTRIP a la estación ABEC3 ubicada en la ciudad de Ambato.



**Figura 1-3.** Puntos de medición con los equipos.

Realizado por: (Santiago Velasco, 2021)

Se toma en cuenta 1 punto con condiciones idóneas, y otro en el peor de los casos.

**Tabla 1-3.** Puntos referenciados del Escenario 1 mejor de los casos.

<b>Equipo</b>	<b>Hor a</b>	<b>Correc ción</b>	<b>Coorden adas en X</b>	<b>Coorden adas en Y</b>	<b>Coorden adas en Z</b>	<b>Error Horizo ntal</b>	<b>Erro r Verti cal</b>
Spectra SP60	16:18 :58	RTK Fijo	762667.532 m	9813403.75 8m	2742.537m	0.009m	0.014 m
GPS	16:44 :08	RTK Flotante	762667.084 m	9813403.45 3m	2742.685m	0.099m	0.170 m
GPS+Galileo	16:49 :08	RTK Flotante	762667.536 m	9813404.38 2m	2742.063m	0.097m	0.160 m
GPS+Galileo+Beidou	17:27 :58	RTK Fijo	762667.523 m	9813404.84 0m	2742.865m	0.020m	0.030 m
GPS+Galileo+Beidou +Glonass	15:04 :49	RTK Fijo	762667.473 m	9813403.71 0m	2742.665m	0.017m	0.021 m

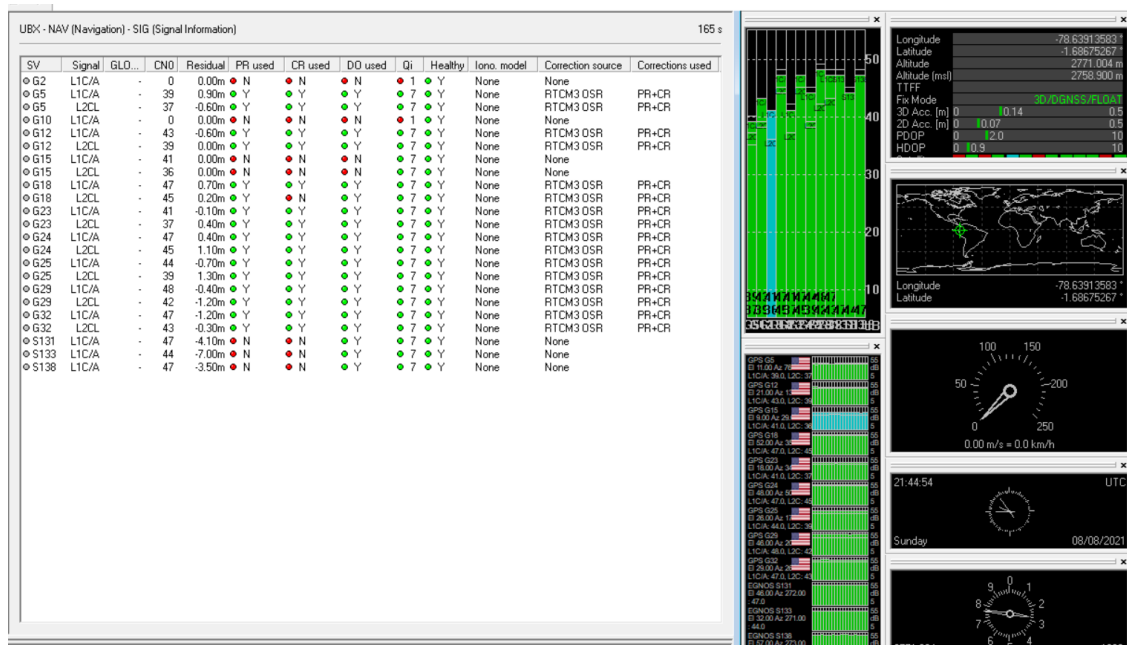
**Realizado por:** (Santiago Velasco, 2021)

**Tabla 2-3.** Errores delta entre el equipo SP60 y la tarjeta de aplicación:

<b>Equipo</b>	<b><math>\Delta X</math></b>	<b><math>\Delta Y</math></b>	<b><math>\Delta Z</math></b>	<b><math>\Delta H</math></b>	<b><math>\Delta V</math></b>
Spectra SP60 vs GPS	0.448m	0.305m	-0.148m	-0.090m	-0.156m
Spectra SP60 vs GPS+Galileo	-0.004m	-0.624m	0.474m	-0.088m	-0.146m
Spectra SP60 vs GPS+Galileo+Beidou	0.009m	-1.082m	-0.328m	-0.011m	-0.016m
Spectra SP60 vs GPS+Galileo+Beidou+Glonass	0.059m	0.048m	-0.128m	-0.008m	-0.007m

**Realizado por:** (Santiago Velasco, 2021)

En la tabla 2-3 se evidencian las diferencias de los resultados comparados de la tarjeta de aplicación con respecto al equipo de precisión Spectra SP60 en donde se obtienen los siguientes resultados:



**Figura 2-3.** Lista de mensajes de navegación únicamente con GPS.

**Realizado por:** (Santiago Velasco, 2021)

### 3.1.1.1. Resultados con GPS

Al evaluar la constelación de GPS mediante la tarjeta de aplicación de bajo costo, se evidencia que dado a que las correcciones de ambigüedades de fase de portadora se mantienen en modo “RTK flotante” los resultados en la precisión resultan degradados en: 44.8cm en latitud, 30.5cm en longitud y finalmente en altura un faltante de 12.8cm con respecto al equipo de precisión Spectra. Esto sucede debido a que únicamente se está utilizando la constelación de satélites de GPS que mediante la conexión por NTRIP con la estación base de referencia ABEC3 se reciben correcciones en formato RTCM 3 mediante la representación del estado de observación (OSR) mismos que sirven para el cálculo de la posición, por lo que el equipo no posee suficientes datos de corrección para que la solución mejore a RTK FIJO y por lo tanto la precisión mejore.

### 3.1.1.2. Resultados con GPS+Galileo

Como se observa en la tabla 3-2 existe una mejora en la posición en X considerable con respecto a únicamente GPS con una diferencia de apenas 0.004m; sin embargo, al combinarse con las constelaciones de Galileo las correcciones recibidas, no fueron las suficientes para pasar a una corrección de ambigüedades RTK fijo.

En la figura 3-3 se puede evidenciar los satélites utilizados para la corrección, así como la calidad de la señal que recibe el receptor así como las correcciones en RTCM 3 que efectivamente solo se reciben las señales de GPS y Galileo así como las correcciones de fase de portadora y señal de pseudorange.

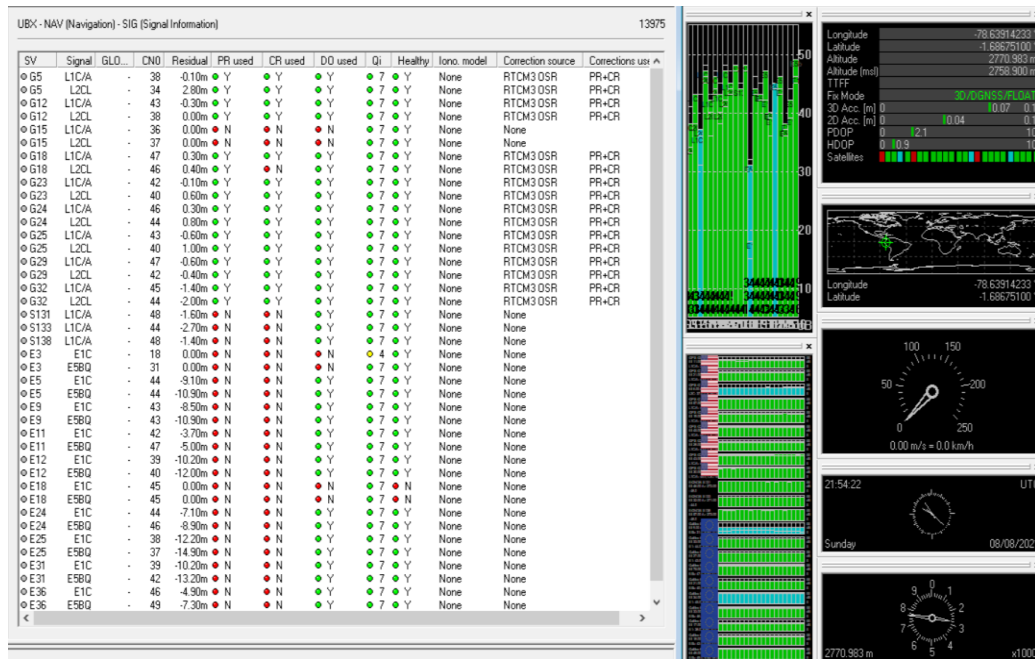


Figura 3-3. Mensajes de navegación de GPS+Galileo.

Realizado por: (Santiago Velasco, 2021)

### 3.1.1.3. Resultados con GPS+Galileo+Beidou.

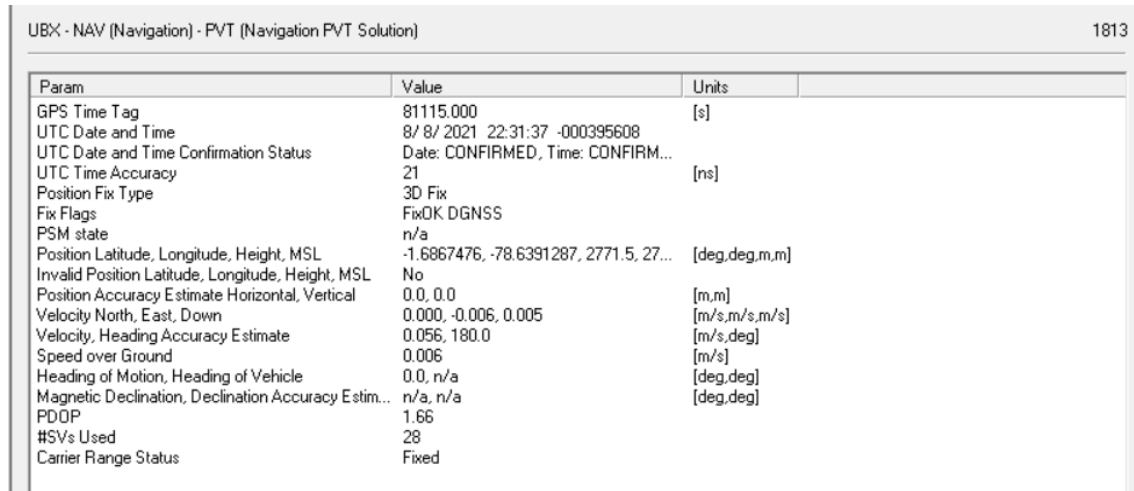


Figura 4-3. Mensaje de navegación de PVT.

Realizado por: (Santiago Velasco, 2021)

La precisión mejoró considerablemente debido al número de satélites utilizados en donde a través de la técnica de corrección por DGNSS se logran unas diferencias con respecto al equipo de precisión Spectra en el orden de centímetros, además de que se logran resolver las ambigüedades de fase portadora logrando un posicionamiento en modo RTK fijo.

### 3.1.1.4. Resultados con GPS+Galileo+Beidou+GLONASS.

Los resultados obtenidos al utilizar todas las constelaciones disponibles con la tarjeta de aplicación resultan en el orden de los milímetros con respecto al equipo de precisión Spectra SP60 en donde se reciben las correcciones en el formato RTCM de la estación base tanto de GPS como mensajes de GLONASS que son utilizados y manejados por la estación de referencia ABEC3 logrando un modo de posicionamiento RTK Fijo con 32 satélites en uso para el posicionamiento, cabe recalcar que para tener una posición adecuada y verificada es necesario contar con la monitorización autónoma de la integridad del receptor (RAIM), que como se observa en la figura El mensaje residual de pseudodistancia para cada satélite en la solución de navegación se utiliza para calcular la suma de los cuadrados residuales como variables de decisión y poder decidir el nivel de fallo de cada una de las señales y de esta manera poder escoger las mejores para el posicionamiento preciso en la tarjeta de aplicación.

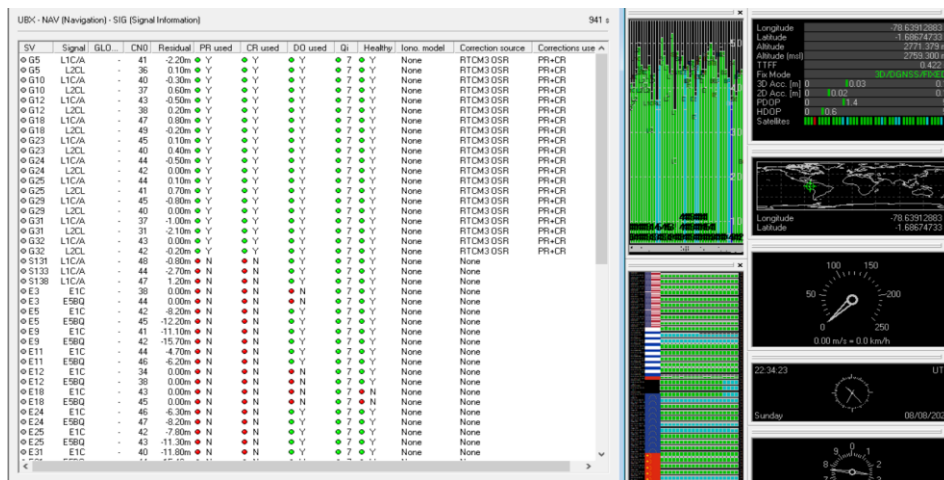


Figura 5-3. Datos y correcciones recibidas de las constelaciones.

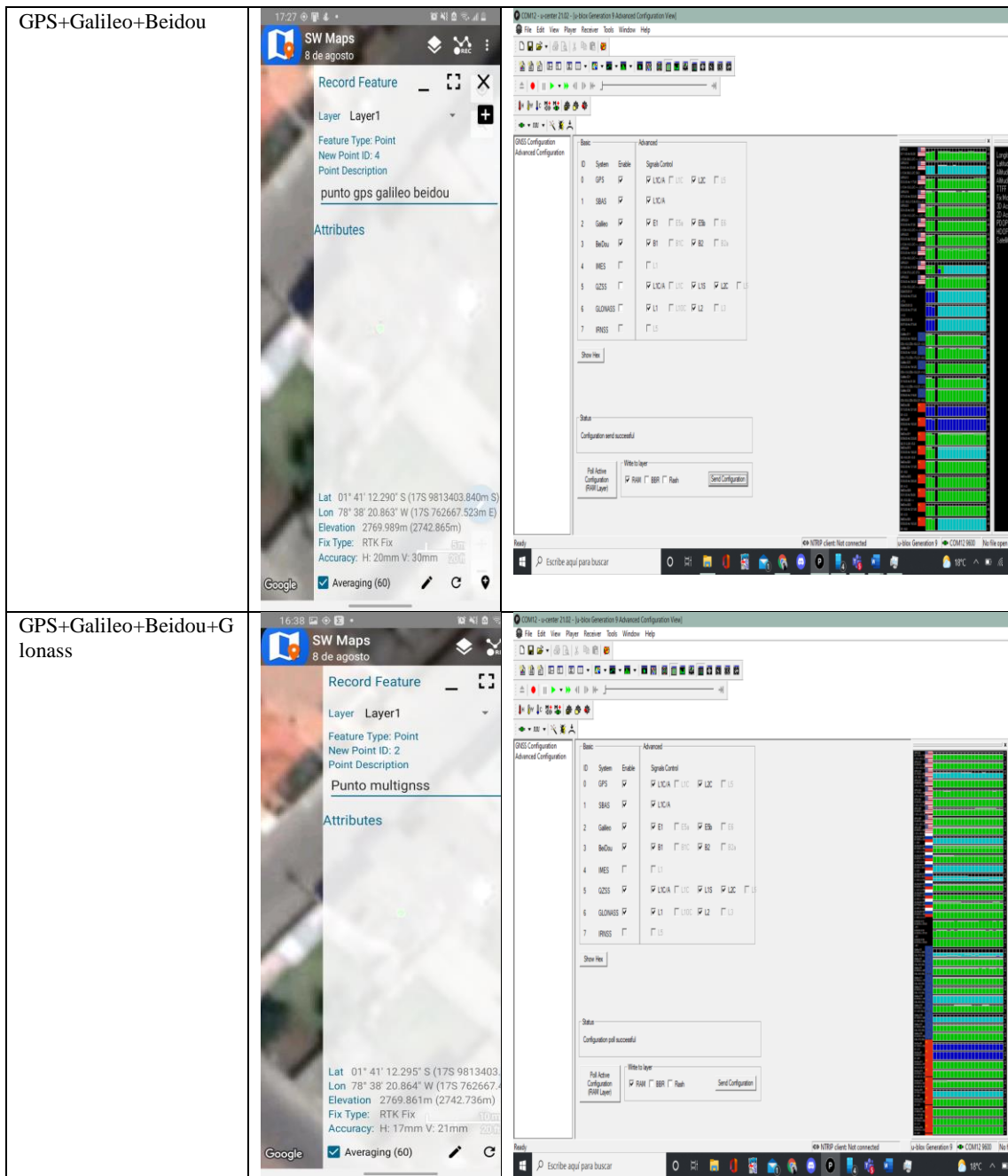
Realizado por: (Santiago Velasco, 2021)

Tabla 3-3. Configuración de cada constelación.

Constelación	SW Maps	Configuración
--------------	---------	---------------



<p>Spectra SP60</p>		
<p>GPS</p>		
<p>GPS+Galileo</p>		



Realizado por: (Santiago Velasco, 2021)

### 3.1.2. Punto de precisión peor de los casos.

Para el punto peor de los casos se toma en cuenta un punto dentro del domicilio en donde existen obstrucciones en la señal obteniendo con los dos equipos el Spectra Sp60 y la tarjeta de aplicación C099-F9P como se observa en la figura 6-3:





**Figura 6-3.** Peor de los casos punto escenario 1.

**Realizado por:** (Santiago Velasco, 2021)

Obteniendo así los siguientes resultados:

**Tabla 4-3.** Puntos referenciados del Escenario 1 peor de los casos.

Equipo	Hora	Corrección	Coordenadas UTM en X	Coordenadas UTM en Y	Altura Ortométrica	Error Vertical	Error Horizontal
Spectra SP60	16:49:23	DGPS	762654.164m	9813416.903m	2733.755m	8.054m	14.046m
C099-F9P	16:46:02	Flotante	762659.952m	9813407.647m	2735.977m	1.193m	1.500m

**Realizado por:** Santiago Velasco.

Dado a que las condiciones de la medición tenían obstrucciones, ninguno de los dos equipos logró una resolución de ambigüedades de fase a “Fijo”; sin embargo, la tarjeta de aplicación logró un RTK Flotante, mientras que el equipo de precisión Spectra únicamente DGPS, pese a estar conectados ambos equipos mediante NTRIP a la estación ABEC3. Se obtuvo una precisión relativamente buena de la tarjeta pese a estar con obstrucciones, logrando errores de 1.425m en vertical y 1.600m en horizontal.

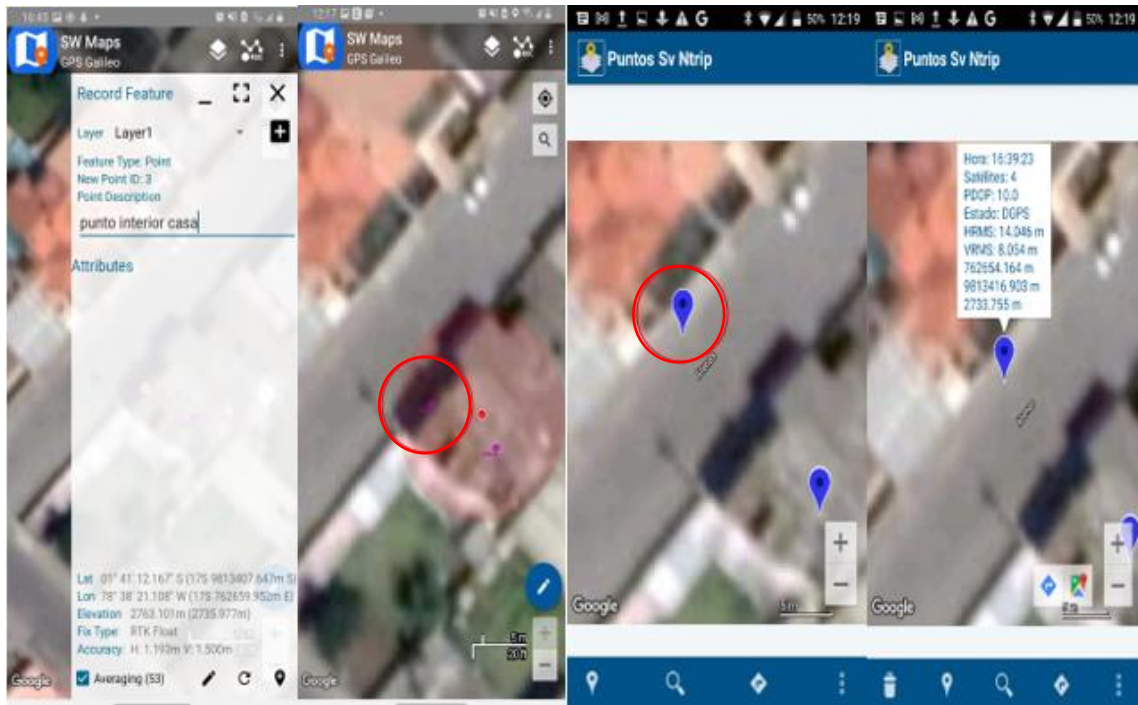
**Tabla 5-4.** Diferencias entre el equipo Spectra SP60 y la tarjeta de aplicación de bajo costo

Equipo	$\Delta X$	$\Delta Y$	$\Delta Z$	$\Delta H$	$\Delta V$
Spectra SP60 vs TarjetaBC	-5.788m	9.256m	-2.222m	6.861m	12.546m

**Realizado por:** (Santiago Velasco, 2021)

Como se puede observar en la tabla 3-5 las diferencias en cuanto al posicionamiento son considerables, esto se debe a que la tarjeta al trabajar con el estándar de DGNSS mediante la obtención de datos de navegación de las constelaciones, logra escoger los mejores datos para el posicionamiento de acuerdo con la calidad de señal que mediante la antena ANN-MB00, logrando

un posicionamiento incluso mejor que el equipo Spectra SP60 en ambientes Indoor, que se puede verificar en la siguiente figura 7-3:



**Figura 7-3.** Comparación puntos Indoor de Tarjeta de aplicación vs Spectra Sp60.

Realizado por: (Santiago Velasco, 2021)

### 3.2. Análisis del escenario 2

Para el escenario 2 se realizó en la terraza de un domicilio, en donde se realizaron pruebas kinemáticas y pruebas estáticas.

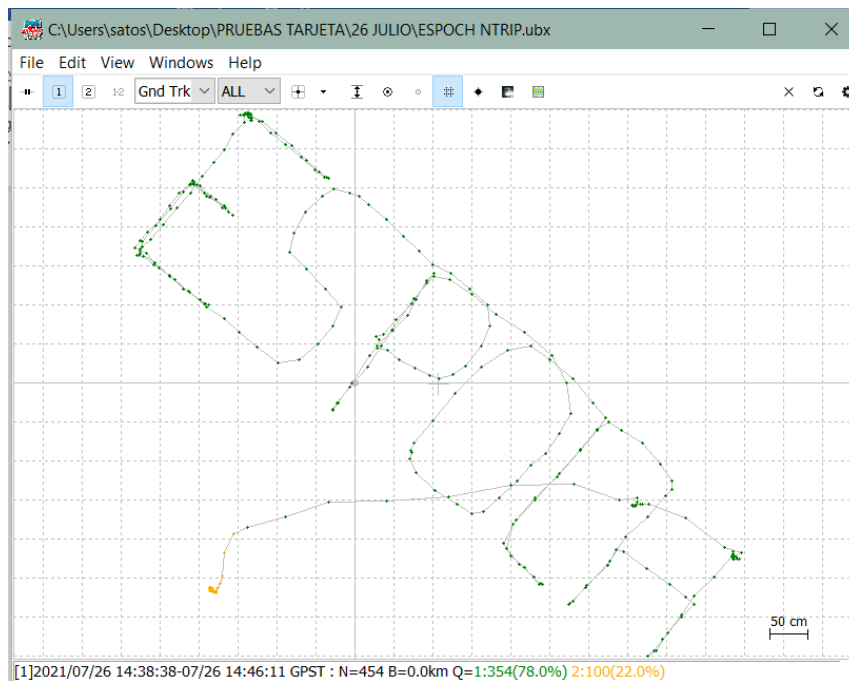
Para la prueba kinemática se escribió en la terraza del domicilio la palabra “ESPOCH”.



**Figura 8-3.** Terraza del domicilio en donde se realizó la trayectoria “ESPOCH”.

Realizado por: (Santiago Velasco, 2021)

**3.2.1. Resultado RTKNAVI con NTRIP multi-constelación.**



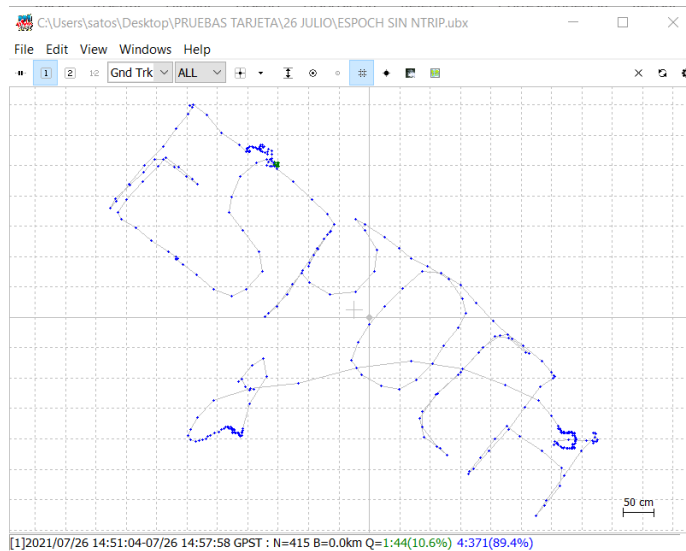
**Figura 9-3.** Prueba Escenario 2 con NTRIP.

Realizado por: (Santiago Velasco, 2021)

Se tiene en cuenta un escenario conectado a la estación de NTRIP ABEC3 se observa en la parte inferior que el resultado de las correcciones de ambigüedad en un 78% resultaron en modo “Fijo” y solo el 22% fueron en estado “Flotante”. Se obtuvieron esos resultados debido a que una vez finalizado el trayecto se terminó de grabar los datos dentro del domicilio por lo que las soluciones de ambigüedad se degradaron a Flotante debido a obstrucciones del interior del domicilio. Aun

así logrando una precisión muy buena entre punto a punto en relación a la palabra escrita que se puede visualizar en Google Earth.

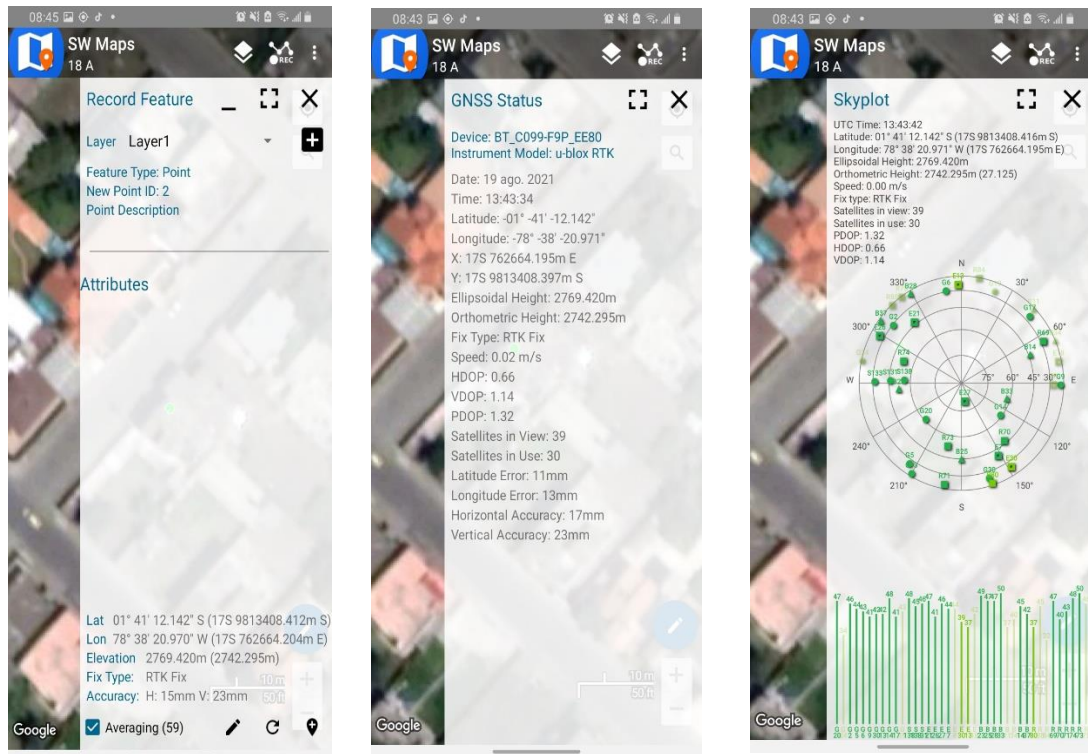
### 3.2.2. Resultado RTKNAVI sin NTRIP



**Figura 10-3.** Palabra ESPOCH sin NTRIP.

Realizado por: (Santiago Velasco, 2021)

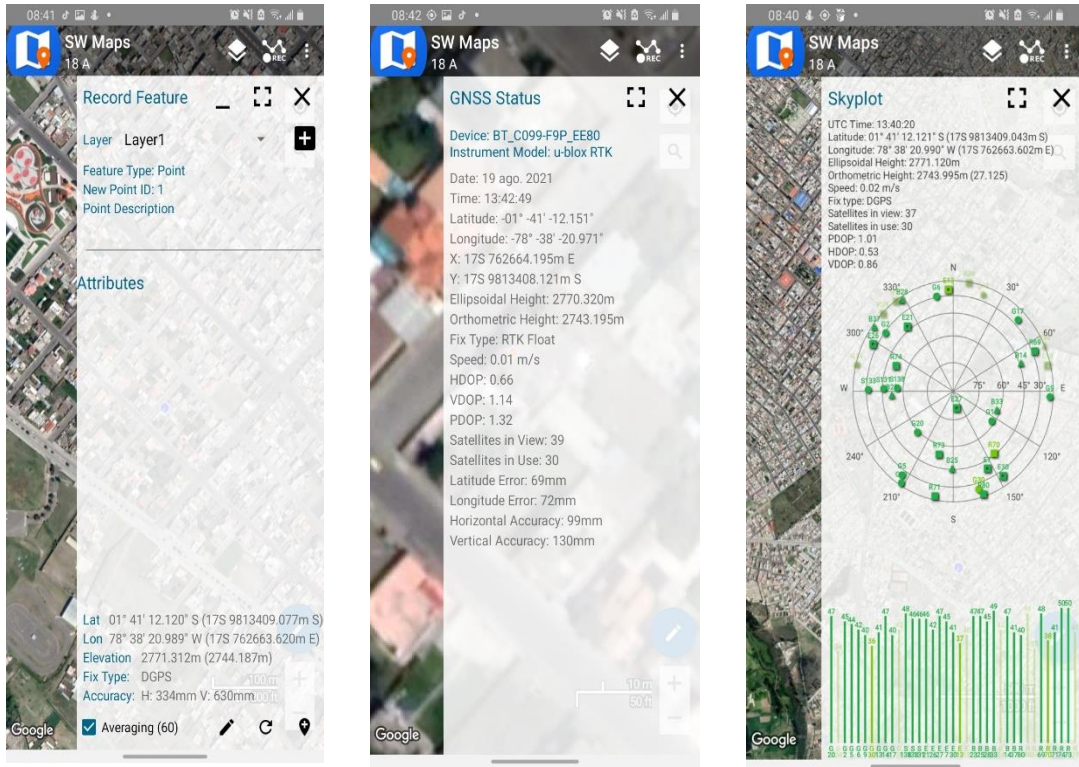
En el caso de la figura 10-3 se visualiza la trayectoria sin NTRIP alcanzando en un 89.4% una solución mediante DGNS. Con el fin de verificar los resultados de ambos resultados se evalúa los puntos en la trayectoria en la posición inicial:



**Figura 11-3.** Punto inicial de la trayectoria con NTRIP.

Realizado por: (Santiago Velasco, 2021)





**Figura 12-3.** Punto inicial de la trayectoria sin NTRIP.

**Realizado por:** (Santiago Velasco, 2021)

La precisión obtenida con la trayectoria realizada con el receptor de bajo costo C099-F9P:

**Tabla 6-3.** Conexión sin NTRIP y con NTRIP trayectoria “ESPOCH”.

Equipo	Hora	Corrección	Coordenadas UTM en X	Coordenadas UTM en Y	Altura Ortométrica	Error Vertic al	Error Horizont al
SIN NTRIP	16:49:23	DGPS	762663.620m	98133409.077m	2744.187m	0.334m	0.630m
NTRIP	16:46:02	Rtk fijo	762664.204m	9813408.412m	2742.295m	0.015m	0.023m

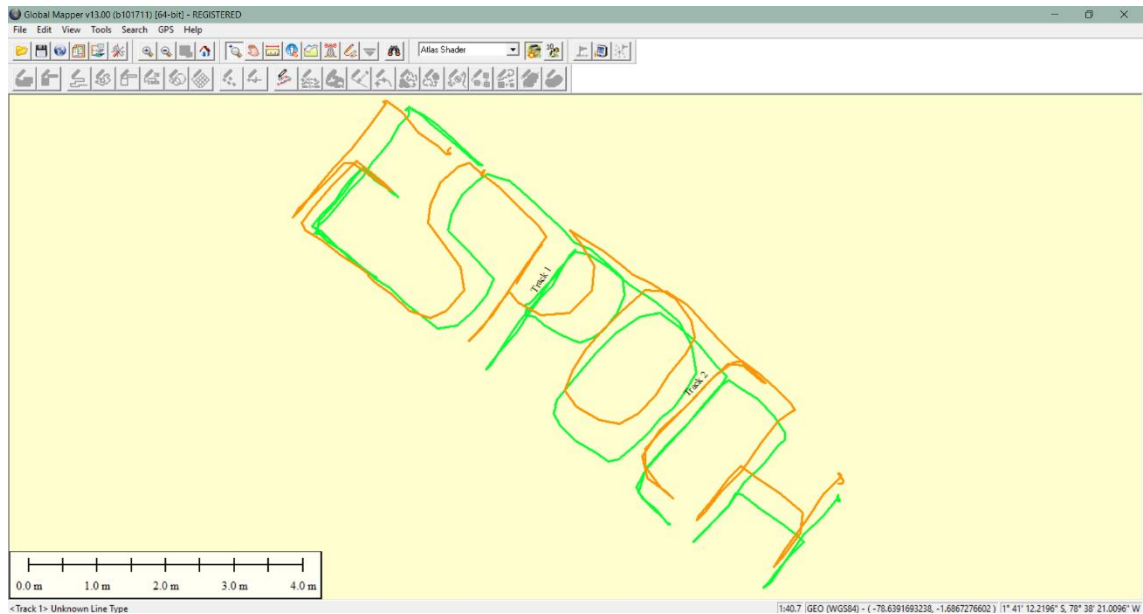
**Realizado por:** (Santiago Velasco, 2021)

**Tabla 7-3.** Diferencias de posicionamiento con NTRIP y sin NTRIP.

Equipo	$\Delta X$	$\Delta Y$	$\Delta Z$	$\Delta H$	$\Delta V$
Tarjeta con NTRIP vs sin NTRIP	-0.584m	0.665m	1.892m	0.319m	0.607m

**Realizado por:** (Santiago Velasco, 2021)

En la figura 13-3 se observa las diferencias en las trayectorias mediante el software GIS Global Mapper



**Figura 13-3.** Diferencias entre el trayecto con NTRIP y sin NTRIP con Global Mapper.

**Realizado por:** (Santiago Velasco, 2021)

La diferencia que existe con los puntos de precisión de NTRIP vs sin NTRIP es relativamente buena, con una diferencia de 58.4cm en latitud, 66.5cm en longitud y en altura un error considerable de 1.892m, La precisión es aceptable en latitud y longitud; aunque no para trabajos en donde se requiera una muy alta precisión debido a los estándares que maneja u-blox.

Adicionalmente se realizaron pruebas estáticas con un intervalo de 30 minutos (Revisar ANEXO G)

### 3.3. Escenario 3

#### 3.3.1. *Análisis de resultados pruebas en movimiento en la ESPOCH.*

Se realizaron dos trayectorias dentro de la institución, la primera en un vehículo en movimiento y la segunda en el parque del estudiante.

##### 3.3.1.1 *Trayectoria 1 - vehículo.*

Se empezó a grabar la trayectoria dentro de un vehículo en donde se mantuvo una velocidad constante de 5 a 10Km/h durante todo el trayecto.


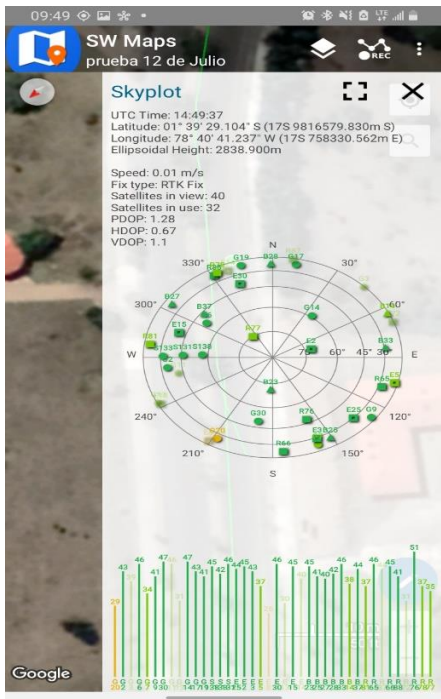


**Figura 14-3.** Prueba en movimiento en un vehículo.

Realizado por: (Santiago Velasco, 2021)

La primera trayectoria se realizó a las 14:49:37 el 12 de Julio de 2021

**Tabla 8-3.** Pruebas en movimiento con NTRIP y sin NTRIP

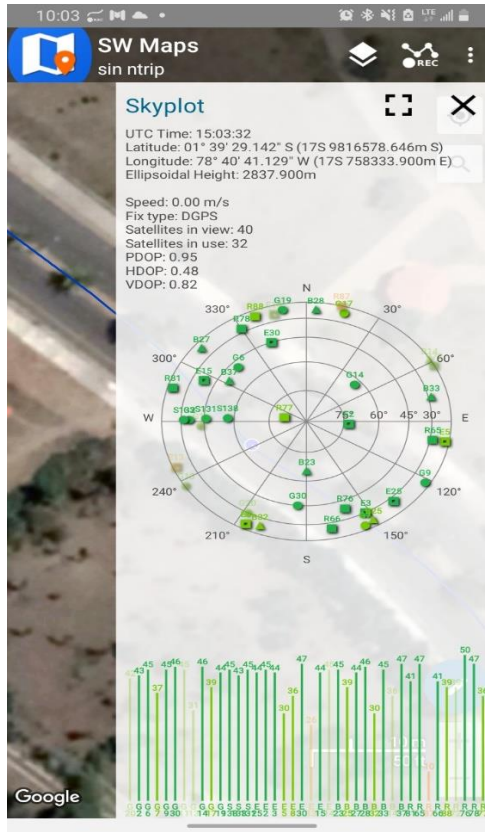
Trayectoria realizada	Constelaciones utilizadas	Estado
<p style="text-align: center;">Trayectoria 1 con NTRIP</p> 	<p style="text-align: center;">GPS+GLONASS+Galileo+Beidou</p> 	<p>RTK Fijo con NTRIP</p>



### Trayectoria 1 sin NTRIP



### GPS+GLONASS+Galileo+Beidou

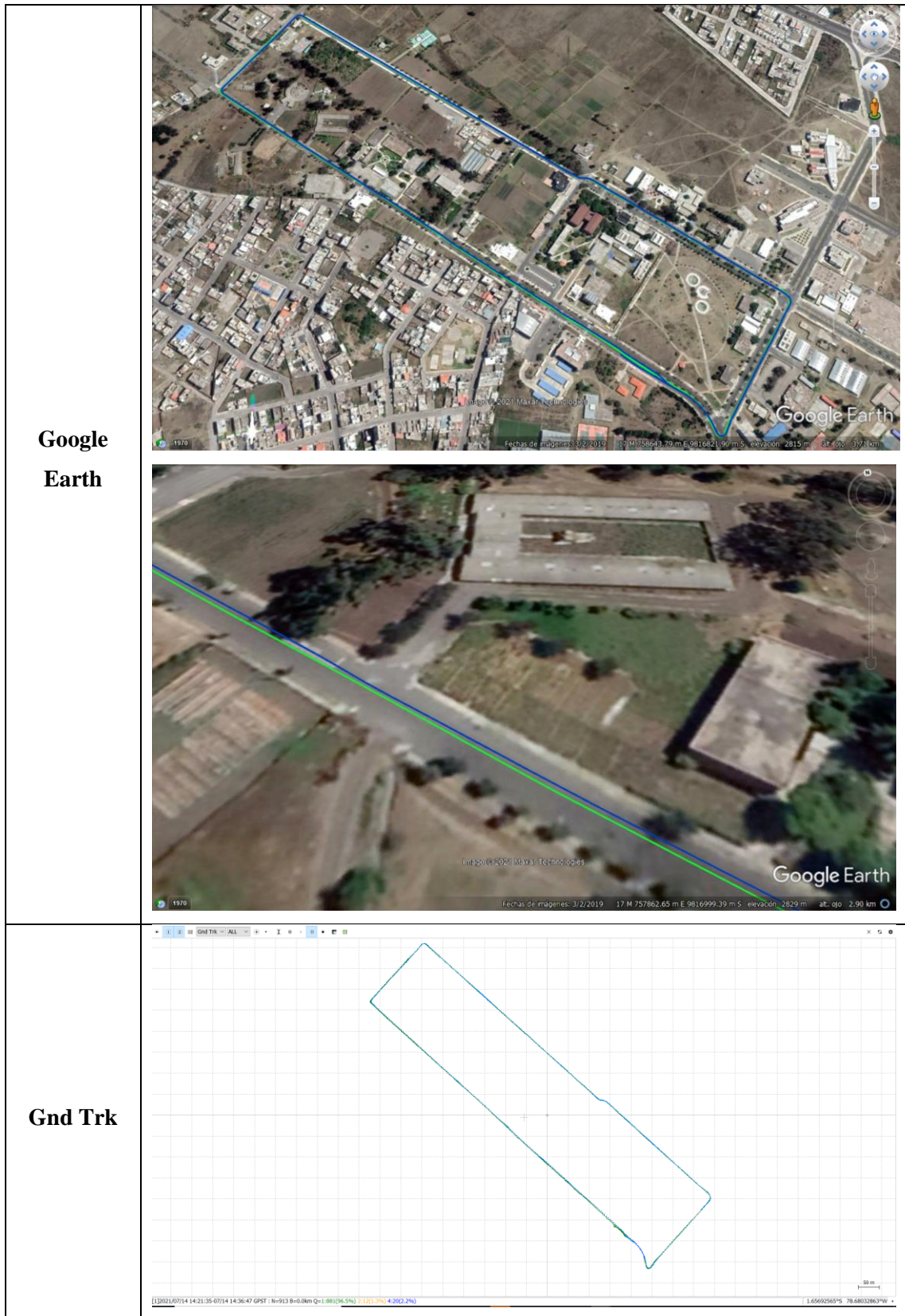


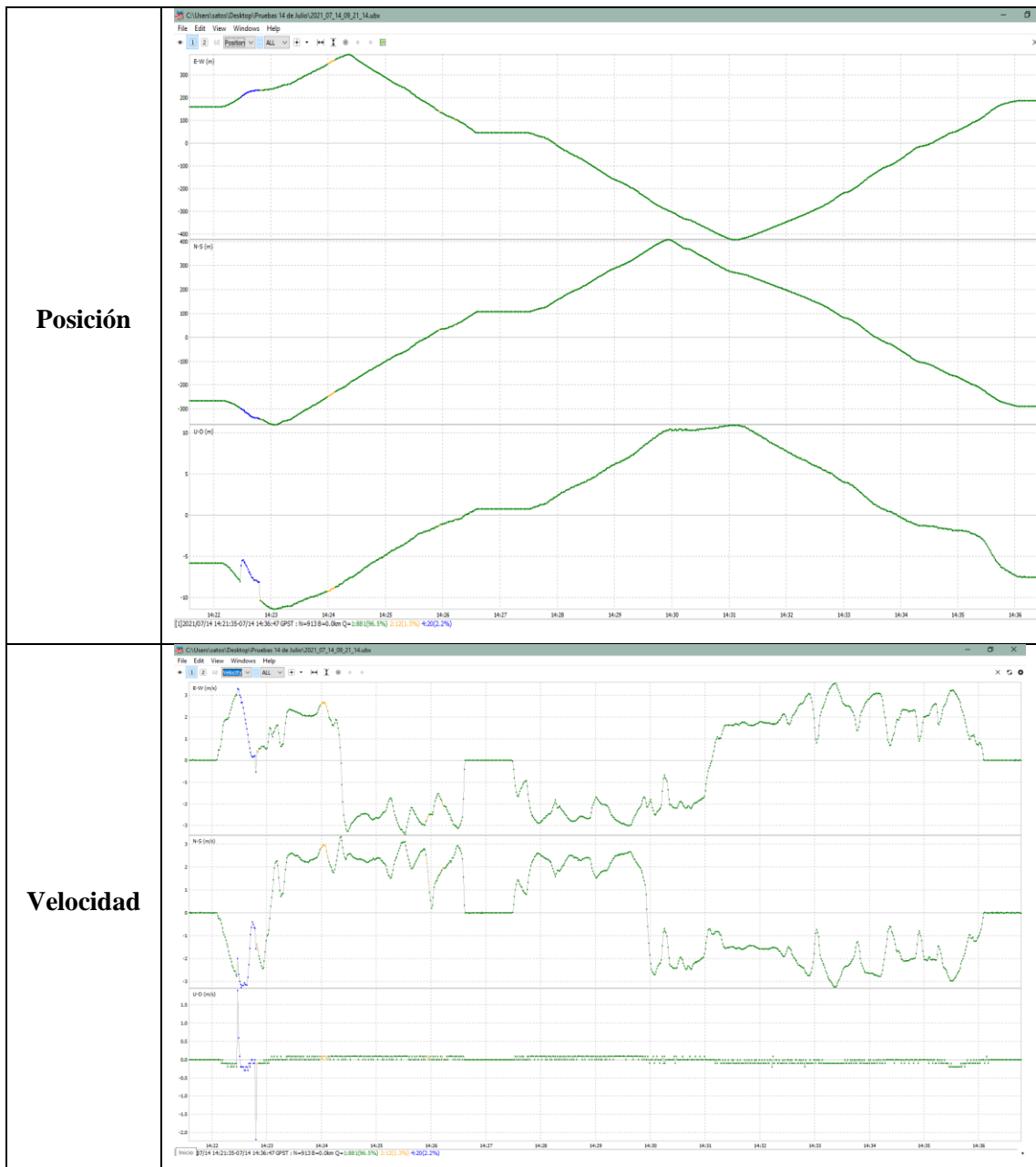
DGNSS  
sin  
NTRIP

Realizado por: (Santiago Velasco, 2021)



**Tabla 9-3.** Visualización de datos con RTKLib trayectoria 1 con NTRIP y sin NTRIP





Realizado por: (Santiago Velasco, 2021)

En la tabla 9-3 se reflejan los resultados obtenidos de la trayectoria realizada en la ESPOCH en donde se puede evidenciar que el 96.5% del trayecto se tuvo correcciones en tiempo real “RTK fijo” realizando así las respectivas correcciones de la fase portadora de las señales, mediante la conexión NTRIP con la estación ubicada en la ciudad de Ambato ABEC3. Se tuvo soluciones de tipo RTK Flotante el 1.3% de la trayectoria de 14:25 a 14:26 debido a que en un trayecto determinado dejó de tener correcciones de la estación base y finalmente que se tuvo una pérdida de datos móviles, por lo tanto el estado de conexión se degrada en un 2.2% a DGPS debido a falta de conexión a internet.

Las diferencias en cuanto a precisión de la solución con NTRIP y sin NTRIP es de 1.05m.



### 3.3.1.2. Trayectoria 2

Para la trayectoria 2 se tomó en cuenta un día despejado, con condiciones ideales a las 14:h:30:36 en donde se realizaron las siguientes pruebas en el parque del estudiante:

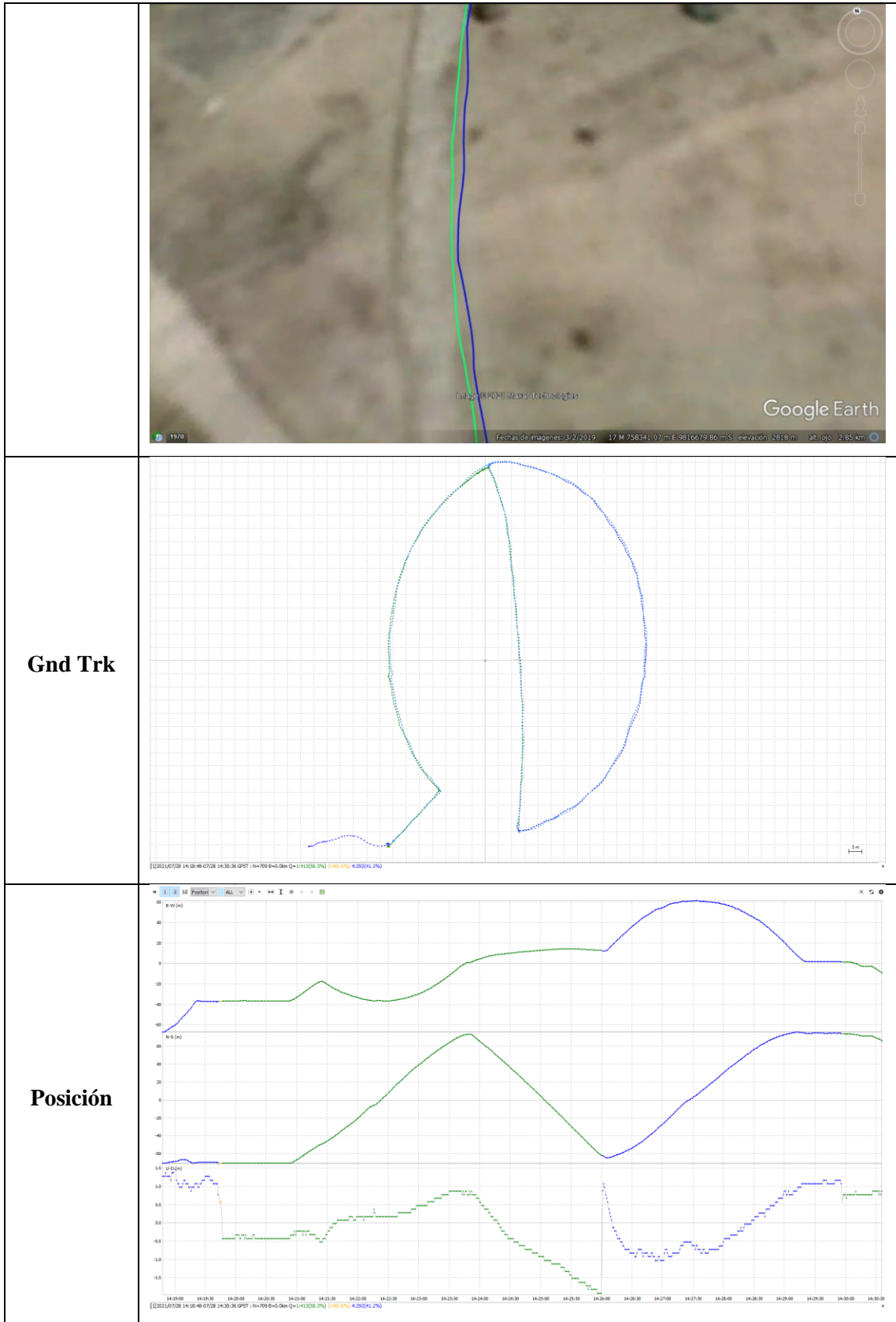


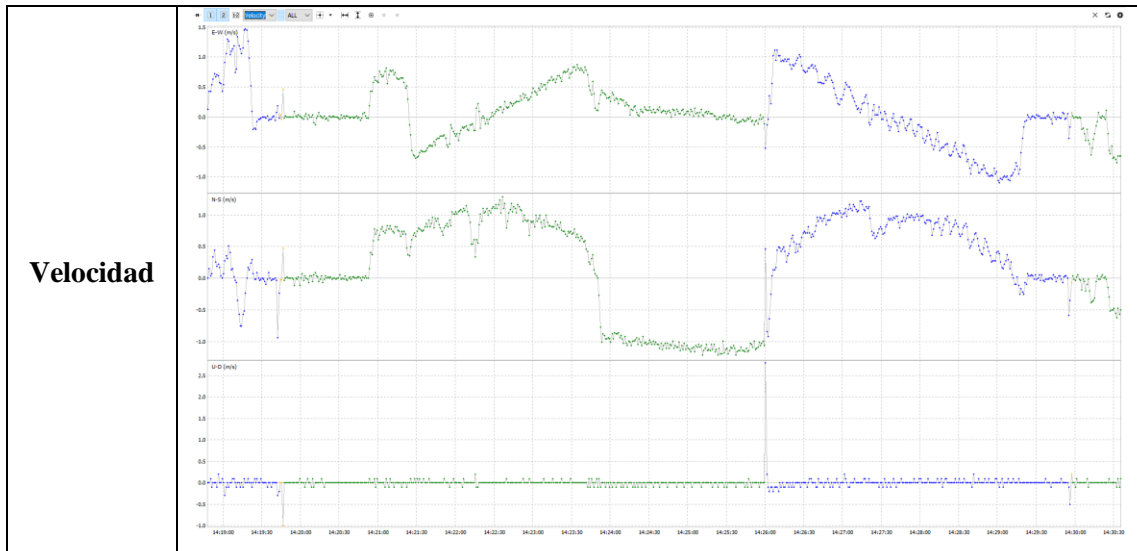
**Figura 15-3.** Prueba en movimiento trayectoria 2 parque del estudiante.

Realizado por: (Santiago Velasco, 2021)

**Tabla 10-3.** Tabla de resultados con NTRIP y sin NTRIP







**Realizado por:** (Santiago Velasco, 2021)

Como se observa en los resultados en la tabla 10-3 la precisión obtenida con multi-constelación y con las correcciones por NTRIP es muy buena debido a que logra corregir las ambigüedades de fase portadora. Los trayectos por los caminos del parque del estudiante, resultan precisos al visualizarlos mediante Google Earth, se observa una trayectoria continua.

Los resultados a diferencia con DGPS únicamente, tiene más variaciones en el trayecto, por lo que no se visualiza continua la trayectoria a diferencia de las figuras con NTRIP, debido a que no se está recibiendo correcciones de la estación base ABEC3 mediante NTRIP.

### 3.3.1.3. Puntos de precisión utilizados para una orto fotogrametría.

Coordenadas punto 1 FIE para ortofotogrametría.



**Figura 16-3.** Punto de precisión FIE 1

**Realizado por:** (Santiago Velasco, 2021)

**Tabla 11-3.** Punto Cancha FIE

Equipo	Hora	Corrección	Coordenadas UTM en X	Coordenadas UTM en Y	Altura Ortométrica	Error Horizontal	Error Vertical
Spectra SP60	10:56:02	RTK Fijo	758503.999m	9816784.471m	2814.226m	0.014m	0.027m
C099-F9P-	11:07:48	RTK Fijo	758504.008m	9816784.577m	2814.069m	0.011m	0.018m

Realizado por: (Santiago Velasco, 2021)

**Tabla 12-3:** Diferencias entre los equipos.

Equipo	$\Delta X$	$\Delta Y$	$\Delta Z$	$\Delta H$	$\Delta V$
Spectra SP60 vs C099-F9P	-0.009m	-0.106m	0.157m	0.003m	0.009m

Realizado por: (Santiago Velasco, 2021)

Coordenadas punto 2 FIE para orto fotogrametría.



**Figura 17-3.** Punto de precisión FIE 2

Realizado por: (Santiago Velasco, 2021)

**Tabla 13-3.** Punto 2 alcantarilla cercana a la FIE.

Equipo	Hora	Corrección	Coordenadas UTM en X	Coordenadas UTM en Y	Altura Ortométrica	Error Horizontal	Error Vertical
Spectra SP60	11:45:28	RTK Fijo	758619.181m	9816755.011m	2812.021m	0.016m	0.022m
C099-F9P-	11:42:30	RTK Fijo	758619.163m	9816755.068m	2811.890m	0.008m	0.014m

Realizado por: (Santiago Velasco, 2021)

**Tabla 14-3.** Diferencias entre los puntos del Spectra vs los de la tarjeta de bajo costo.

Equipo	$\Delta X$	$\Delta Y$	$\Delta Z$	$\Delta H$	$\Delta V$
Spectra SP60 vs C099-F9P	0.018m	-0.057m	0.131m	0.008m	0.008m

Realizado por: (Santiago Velasco, 2021)



Los puntos de precisión que se toman alrededor de un área se pueden utilizar para trabajos topográficos en donde mediante los puntos de control se obtienen coordenadas precisas de un área determinada, las cuales se pueden utilizar para georreferenciar un terreno, un área en específico, obtener volúmenes de objetos, curvas de nivel, entre otros. Por lo que contar con una buena precisión es fundamental para este tipo de trabajos.

### 3.4. Aplicaciones:

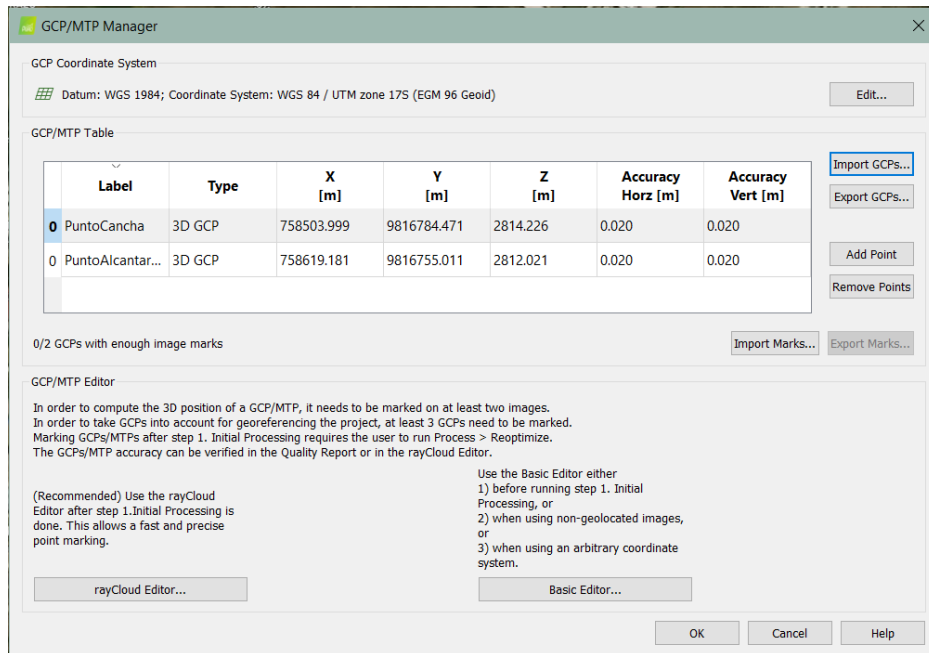
Desarrollando un entorno real y mediante los puntos obtenidos en el escenario 3 se puede realizar la aerofotogrametría de la Facultad de Informática y Electrónica de la ESPOCH mediante un dron DJI Phantom 4 que se utiliza para la toma aérea de fotografías, en donde mediante un plan de vuelo se selecciona el área de interés en donde el dron automáticamente irá tomando fotografías aéreas del área de interés, que en este caso es la facultad, para posteriormente procesar los datos obtenidos mediante el software de procesamiento Pix4D que mediante un procesamiento de cada una de las imágenes georeferenciadas, es capaz de digitalizar un modelo de terreno en 3D mediante el modelado de una nube densa de puntos obtenida a partir del solapamiento de cada una de las imágenes procesadas con el programa. Dado a que en cada fotografía que se toma, las coordenadas y el posicionamiento que brinda el dron es únicamente de GPS, por lo que la precisión se degrada de 5 a 10m debido a que únicamente utiliza esa constelación de satélites para el posicionamiento. A diferencia de la tarjeta de aplicación en donde se ha demostrado que puede trakear múltiples constelaciones de GNSS, se obtienen errores aproximados de 20mm, lo cual resulta un posicionamiento adecuado para este tipo de aplicaciones en el mercado. Una vez obtenidas las coordenadas precisas mediante la tarjeta de aplicación de bajo costo, se las agrega en el programa a través de los puntos de control, en donde cada una de las imágenes procesadas junto con sus coordenadas, toman como referencia los puntos de control y corrigen los errores de GPS con respecto al punto obtenido con multi-constelación, lo cual nos da un resultado real de las coordenadas precisas en cada uno de los puntos de la ortofotografía que se genera:

Activada	Imagen	Grupo	Latitud [WGS84]	Longitud [WGS84]	Altitud [WGS84]	Precisión [WGS84]	Precisión [WGS84]	Omega [WGS84]	Phi [WGS84]	Kappa [WGS84]
<input checked="" type="checkbox"/>	DJI_0019.JPG	group1	-1.05685000	-76.87523366	2916.332	5.000	10.000	3.00198	-0.09988	-88.86721
<input checked="" type="checkbox"/>	DJI_0020.JPG	group1	-1.05688103	-76.87550300	2916.432	5.000	10.000	3.00951	-0.09979	-85.26721
<input checked="" type="checkbox"/>	DJI_0021.JPG	group1	-1.05688472	-76.87533100	2916.432	5.000	10.000	3.00000	0.00000	-85.96725
<input checked="" type="checkbox"/>	DJI_0022.JPG	group1	-1.05682744	-76.87516581	2915.532	5.000	10.000	3.00029	0.10000	89.83275
<input checked="" type="checkbox"/>	DJI_0023.JPG	group1	-1.05689156	-76.87549667	2915.832	5.000	10.000	-0.00581	0.09985	89.33277

Figura 18-3. Precisión de las imágenes únicamente con GPS

**Realizado por:** (Santiago Velasco, 2021)

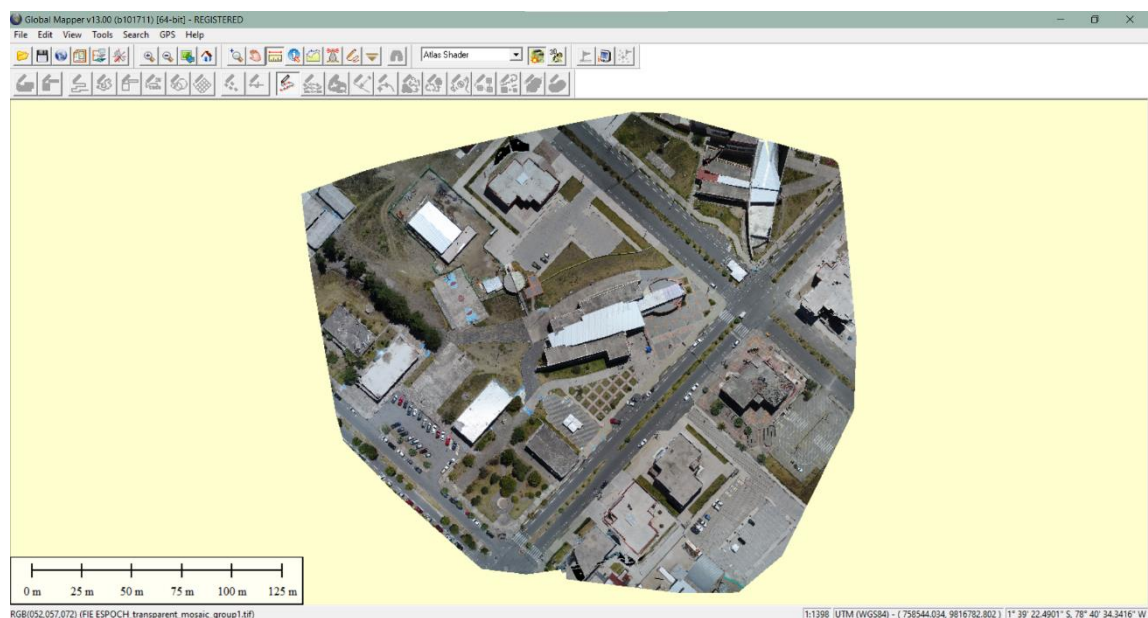
En la figura 19-3 se observa la precisión lograda con las constelaciones de GPS captadas por el Dron, lo cual para trabajos topográficos no es aceptable tener errores de más de 5 o 10 metros, por lo que se hace uso de los puntos de control, tomados con la tarjeta de aplicación de bajo costo teniendo así los siguientes resultados:



**Figura 19-3.** Precisión de las imágenes con multiconstelación con la tarjeta de bajo costo

**Realizado por:** (Santiago Velasco, 2021)

Después del postproceso con el punto de control se obtiene la siguiente ortomosaico el cual contiene las coordenadas corregidas y es de alta precisión, que se puede visualizar en programas de GIS como: Google Earth, ArGIS, Global Mapper, entre otros.

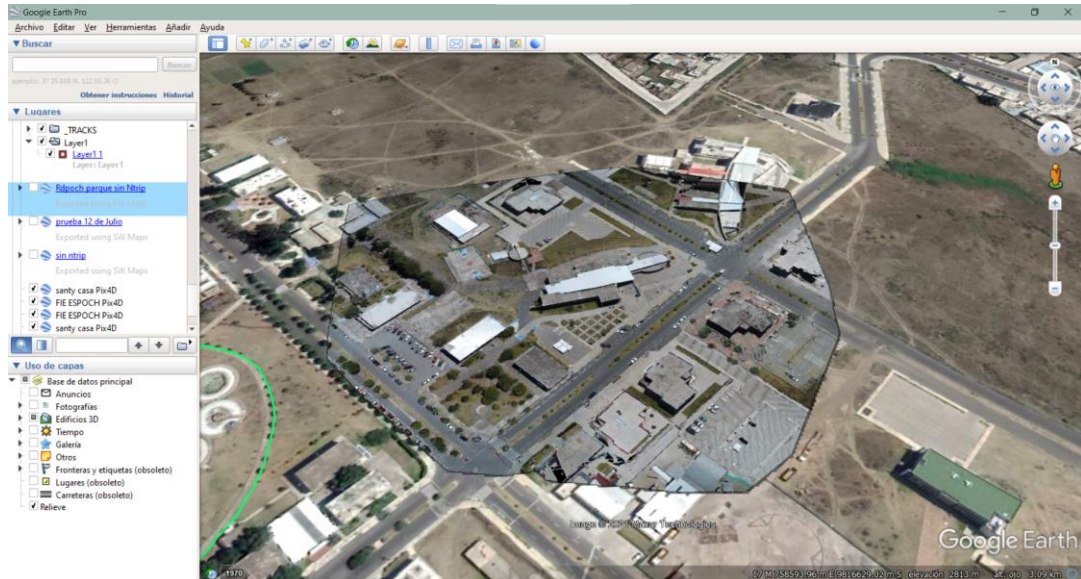




**Figura 20-3.** Visualización de datos mediante Global Mapper.

**Realizado por:** (Santiago Velasco, 2021)

Por lo que mediante esta aplicación se demuestra los usos que puede tener la tarjeta de aplicación de bajo costo en la industria, ya que debido a su alta precisión y con una correcta configuración del equipo se pueden llegar a tener resultados óptimos para el campo de aplicación que se lo utilice.



**Figura 21-3.** Ortofoto con coordenadas precisas de la FIE-ESPOCH.

**Realizado por:** (Santiago Velasco, 2021)

Ver ANEXO E para el procesamiento con el programa.

## CONCLUSIONES

Las técnicas de corrección en tiempo real con Real Time Kinematics (RTK) son diversas en el mercado actual, por lo que conocer el principio de operación de cada una de estas resultó fundamental para entender el funcionamiento en aplicaciones que demandan un servicio de posicionamiento en tiempo real, ya sea mediante DGPS, NTRIP, RTK o PPP, por medio de la revisión bibliográfica se indagó los principios y las precisiones que pueden llegar a alcanzar cada una de estas técnicas de posicionamiento. En donde en base a las condiciones y a los servicios que presta actualmente el IGM, se seleccionó la técnica de corrección en tiempo real mediante NTRIP. Con el fin de aplicarlo a entornos reales, en donde además de tener un posicionamiento preciso se cuente con la fiabilidad de los datos para tener un posicionamiento en el orden de los centímetros.

Para lograr un posicionamiento en tiempo real RTK con multi-constelación, fue necesario indagar los principios de operación de la tarjeta de bajo costo C099-F9P utilizada en este estudio la cual

además de ser multi-constelación es multi-frecuencia, debido a la antena ANN MB-00 y el chip ZED-F9P que se utiliza. La tarjeta es capaz de trackear y utilizar los datos crudos de las señales GNSS recibidas de las constelaciones de satélites: GPS, Galileo, BeiDou y GLONASS al mismo tiempo y asignar a cada una de ellas un canal independiente en donde se manejan los tiempos de señal de cada una de las constelaciones, mediante los mensajes UBX-RAWX y UBX-SFBRX. Una vez obtenidos los datos crudos de los satélites trackeados, el módulo de procesamiento Zed-F9P de la tarjeta, es capaz de utilizar la mejor señal de cada una de las constelaciones en base a los residuos de pseudorange y a la calidad C/N0 recibida, para posteriormente utilizar estas señales mediante la corrección de mensajes a través del estándar de correcciones DGNSS RTCM 10403.3 en donde los mensajes recibidos por la estación base, se envían directamente a la tarjeta mediante un estado de representación del enlace OSR en el formato RTCM 3.0. Una vez recibidos los datos, la tarjeta es capaz de utilizar los mismos para corregir y mitigar los errores en su posicionamiento logrado así precisiones centimétricas.

Al implementar la técnica en tiempo real RTK mediante NTRIP con la tarjeta de bajo costo, se evaluó en 3 distintos escenarios en donde se pudo evidenciar mediante puntos de precisión y pruebas en movimiento, la precisión alcanzada en tiempo real por la tarjeta llega de 1 a 3 centímetros con multiconstelación, además de que se verificó el posicionamiento obtenido con la tarjeta en relación al equipo de alta precisión Sprecra SP60, en donde las diferencias con este equipo llegan a estar en el orden de los milímetros y centímetros en los diferentes escenarios en los que se puso a prueba la precisión de la tarjeta y el equipo de precisión Spectra, corroborando la fiabilidad del posicionamiento preciso de la tarjeta, teniendo en cuenta que la tarjeta tiene un costo total de 450\$ y el equipo Spectra de alrededor de 5000\$.

Al poner a prueba la tarjeta de aplicación de bajo costo con multiconstelación vs las precisiones obtenidas únicamente con GPS, las diferencias son claras, por lo que si las condiciones son idóneas con respecto a la captación de las señales de GNSS un posicionamiento en relación a la combinación de múltiples constelaciones de GNSS disponible, resulta idóneo utilizar el método de posicionamiento RTK en multi.constelación debido a su alta continuidad en sus señales así como las posibilidades de mejorar su posicionamiento en el orden de los centímetros.

## **RECOMENDACIONES:**

Al momento de indagar sobre el funcionamiento de la tarjeta de aplicación, es necesario que el usuario actualice la tarjeta de aplicación al software, más reciente en el cual se mejoran aspectos importantes de la configuración, permitiendo así modificar parámetros importantes como lo son, la altura ortométrica, la activación y desactivación de constelaciones de GNSS y frecuencias, con el fin de que se saque el máximo provecho de la tarjeta y lograr un posicionamiento preciso en la misma.

El conocer el funcionamiento de la tarjeta es fundamental, ya que de esta manera el usuario, puede entender cómo es que se logra la fiabilidad de los datos de las constelaciones recibidas de la tarjeta, así como entender cómo la tarjeta utiliza los datos de correcciones proporcionados por la estación base, para en base a las señales recibidas aplicar las correcciones necesarias con los mensajes que se generan a través de las tramas recibidas de las constelaciones, que cabe mencionar que para cada una de las constelaciones se cuentan con tramas y canales independientes para la obtención de los datos.

Es importante que el usuario de la tarjeta de aplicación sepa conocer todos los parámetros de configuración para que en caso de suceder un fallo, sepa detectarlo mediante los mensajes de salida de la tarjeta, es por ello que se debe analizar a detalle los documentos proporcionados por la empresa u-blox correspondientes al manual de integración ZED-F9P, y la descripción de la interfaz ZED-F9P, en donde se explica a detalle cada uno de los mensajes soportados de la tarjeta así como los protocolos que se manejan en la comunicación para un uso óptimo y poder lograr la compatibilidad de mensajes con la estación base.

Los parámetros a tomar en cuenta al momento de realizar las pruebas estáticas y en movimiento, es de que la antena ANN-MB00 esté debidamente centrada, con su plano de tierra, además se conozca el offset y la altura a detalle, debido a que se manejan altas precisiones, cualquier mínimo movimiento detecta la tarjeta, y representa un error en el posicionamiento, por lo que tomar en cuenta estos parámetros, nos da la fiabilidad de que la toma de datos está siendo correctamente realizada.

Tener en cuenta que, para un funcionamiento continuo de la tarjeta de aplicación, se debe implementar un módulo de batería externa, el cual nos proporcione la alimentación necesaria para que el módulo no tenga fallos o discontinuidades en los datos crudos recibidos de cada una de las señales de GNSS.

## BIBLIOGRAFÍA

**Alcalá, Universidad de. 2012.** Teoría de la señal de GPS. *Teoría de la señal y comunicaciones*. [En línea] 2012. [Citado el: 8 de Junio de 2021.] <http://agamenon.tsc.uah.es/Asignaturas/it/rd/apuntes/tutorialgps.pdf>.

**Aleksey Boriskin, Gleb Zyryanov. 2008.** Ashtech. *Algorithms to Calibrate and compensate for GLONASS Biases in GNSS RTK Receivers Working with third part Networks*. [En línea] 2008. [Citado el: 26 de Marzo de 2021.] [http://www.mecinca.net/papers/glonass-biasescompensation-technology-paper\\_1291996544457.pdf](http://www.mecinca.net/papers/glonass-biasescompensation-technology-paper_1291996544457.pdf).

**Álvarez, David Abelasrdo García. 2008.** Sistema GNSS (GLOBAL NAVIGATION SATELLITE SYSTEM). *Arantxa*. [En línea] Enero de 2008. <http://arantxa.ii.uam.es/~jms/pfcsteleco/lecturas/20080125DavidGarcia.pdf>.

**B. Bonet; I. Alcantarilla; D. Flament; C. Rodriguez; N. Zarraoa. 2009.** *The benefits of multi-constellation GNSS*. 2009.

**Benigno, Sonia Vílchez. 2019.** DESCRIPCIÓN Y REPRESENTACIÓN DE LAS SEÑALES GNSS. *UNIVERSIDAD OBERTA DE CATALUÑA*. [En línea] Junio de 2019. <https://1library.co/document/4yrvnd7q-descripcion-y-representacion-de-las-senales-gnss.html>.

**Bernhard Hofmann-Wellenhof, Herbert Lichtenegger, James Collins. 2012.** “The Global Positioning System”. [aut. libro] Ahmed El-Rabbany. 2012, págs. 32-38.

**Cai, Changsheng ; Gao, Yang ; Pan, Lin ; Zhu, Jianjun. 2015.** Harvard. [En línea] Julio de 2015. *Advances in Space Research*, Volumen 56, Número 1, p. 133-143..

**DiBiase, David. 2009.** PennState College of earth and Mineral Sciences. [En línea] 2009. [https://www.e-education.psu.edu/natureofgeoinfo/c5\\_p20.html](https://www.e-education.psu.edu/natureofgeoinfo/c5_p20.html).

**Elliott D. Kaplan; & Christopher J. Hegarty. 2006.** *Understanding GPS-Principles and Applications*. Norwood : ARTECH HOUSE, 2006. 1-58053-894-0.

**Franklin López; Ángel ortega. 2017.** *Análisis e implementación del diferencial de GPS con configuración simple y doble, para mejorar la precisión de un receptor GPS en la ciudad de Riobamba*. Riobamba : s.n., 2017.

**GAUTAM, ANAND. 2012.** *Differential Global Positioning System (DGPS)*. Mumbai : s.n., 2012.

**Gonzales, Pavel Dávalos. 2019.** [En línea] 12 de Junio de 2019. [Citado el: 07 de Mayo de 2021.] [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/467656/Libro\\_Aerofotogrametr\\_a\\_Inteligente\\_AFI.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/467656/Libro_Aerofotogrametr_a_Inteligente_AFI.pdf).

—. **2018.** Aerofotogrametría Inteligente. [En línea] 26 de Febrero de 2018. <https://www.udocz.com/read/60503/aerofotogrametria-inteligente-afi>.

**Gustavo Noguera, Aldo Mangiaterra. 2012.** *PPP-RTK UNA ALTERNATIVA DE POSICIONAMIENTO PRECISO EN TIEMPO REAL EN REGIONES DE ESTACIONES PERMANENTES POCO DENSAS*. Argentina : SIRGAS, 2012.

**Hernández, Francisco Alayón. 2007.** Aplicación del modelo de computación ubicua en el desarrollo de sistemas de información para el transporte público de viajeros por carretera. 2007.

**IGS. 2020.** IGS. [En línea] 1 de Diciembre de 2020. [Citado el: 08 de Julio de 2021.] <https://files.igs.org/pub/data/format/rinex305.pdf>.

**Inc., NovAtel. 2015.** *An Introduction to GNSS: GPS, GLONASS, BeiDou, Galileo and other Global Navigation Satellite Systems*. Segunda. Calgary : NovAtel Inc., 2015. pág. 91. Vol. 2. ISBN: 978-0-9813754-0-3.

**J. Sanz Subirana; & J.M. Juan Zornoza and M; & Hernández-Pajares. 2013.** *GNSS DATA PROCESSING*. s.l. : ESTEC, PO Box 299, 2200 AG Noordwijk, the Netherlands, 2013. 978-92-9221-886-7.

**J. Sanz Subirana; J.M. Juan Zornoza; M. Hernández-Pajares. 2013.** *GNSS DATA PROCESSING*. [aut. libro] J. Sanz Subirana, J.M. Juan Zornoza y M. Hernández-Pajares. *GNSS Data Processing, Vol. I: Fundamentals and Algorithms*. Netherlands : Contactivity bv, Leiden, the Netherlands, 2013.

**Jiayong Yu; Xiaolin Meng; Banfu Yan; Bin Xu; Qian Fan; Yilin Xie. 2019.** ResearchGate. *Global Navigation Satellite System-based positioning*. [En línea] 27 de Septiembre de 2019. [Citado el: 9 de Junio de 2021.] <file:///C:/Users/satos/Downloads/GlobalNavigationSatelliteSystembasedpositioningtechnologyforstructuralhealthmonitoringareview.pdf>. 2016YFC0800207.

**Manandhar, Dinesh. 2021.** Csis. *Center for Spatial Information Science*. [En línea] 21 de Enero de 2021. [Citado el: 09 de 08 de 2021.] <https://home.csis.u-tokyo.ac.jp/~dinesh/>.

**Mónica Zabala, Franklin López, y Ángel Ortega. 2017.** Análisis e implementación de diferencial GPS. [En línea] 20 de Noviembre de 2017.

**Norbertino Suárez Silva, Roberto Pérez, Ricardo Yelich. 2019.** *Red de transporte de datos en formato RTCM, vía protocolo de Internet (Ntrip). Implementación en la región y proyección futura a través de SIRGAS*. 2019.

**Paweł Wielgosz, Tomasz Hadas, Anna Klos, Jacek Paziewski. 2015-2018.** Research on GNSS positioning and applications. *Polish Academy of Sciences*. [En línea] 2015-2018. : <https://doi.org/10.24425/gac.2019.126089>.

**Peter J.G; Teunissen; Oliver Montenbruck. 2017.** *Springer Handbook*. Primera edición. Wessling : Peter J.G. Teunissen, 2017. pág. 600. ISBN: 978-3-319-42926.

**Plazaola, Unai Fernández. 2012.** Universidad de Málaga. [En línea] 2012. [Citado el: 12 de 05 de 2021.] <https://riuma.uma.es/xmlui/bitstream/handle/10630/4632/UFP.pdf?sequence=1>.

**Qinjuan Zhang. 2020.** researchgate. *Test Method of Real-time Kinematic and Its Application in*. [En línea] 2020. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1607/1/012121/pdf>.

**RF, Equipment. 2020.** everythingrf. *PPP*. [En línea] 14 de October de 2020. <https://www.everythingrf.com/community/what-is-ppp-or-precise-point-positioning>.

**Septentrio Corporation. 2019.** septentrio. *Why multi-frequency and multi-constellation matters for GPS/GNSS receivers?* [En línea] 2019. [Citado el: 7 de Junio de 2021.] <https://www.septentrio.com/en/about-GNSS/why-multi-frequency-and-multi-constellation-matters>.

**Sickle, Jan Van. 2015.** *GPS for Land Surveyors*. Boca Raton, FL 33487-2742 : Taylor & Francis Group, LLC, 2015. 978-1-4665-8311-5.

**SOFTWEL. 2016.** SW Maps. [En línea] 2016. [Citado el: 08 de 06 de 2021.] <http://swmaps.softwel.com.np/assets/resources/manual.pdf>.

**Takasu, Tomoji. 2013.** RTKLIB. [En línea] 29 de Abril de 2013. [Citado el: 03 de 06 de 2021.] [http://www.rtklib.com/prog/manual\\_2.4.2.pdf](http://www.rtklib.com/prog/manual_2.4.2.pdf).

**Tokio, Universidad de Estudios Marinos de. 2011.** *GNSS Precise Positioning with RTKLIB*. Tokio : s.n., 2011.

**U-blox. 2019.** *Product Summary NEO/LEO M8T*. 2019.

**u-blox. 2021.** u-blox. [En línea] 12 de Febrero de 2021. [Citado el: 08 de Marzo de 2021.] [https://www.u-blox.com/sites/default/files/ZED-F9P\\_IntegrationManual\\_UBX-18010802.pdf](https://www.u-blox.com/sites/default/files/ZED-F9P_IntegrationManual_UBX-18010802.pdf).

**U-blox. 2019.** u-blox. [En línea] Enero de 2019. [Citado el: 6 de Junio de 2021.] [www.u-blox.com/en/product/c099-f9p-application-board](http://www.u-blox.com/en/product/c099-f9p-application-board).

**u-blox. 2021.** u-blox Data sheet. [En línea] 26 de 01 de 2021. [Citado el: 02 de 06 de 2021.] [https://www.u-blox.com/sites/default/files/ZED-F9P-02B\\_DataSheet\\_UBX-21023276.pdf](https://www.u-blox.com/sites/default/files/ZED-F9P-02B_DataSheet_UBX-21023276.pdf).

**Villacrés, Óscar Fernando Silva. 2014.** *Implementación de la tecnología Ntrip en dispositivos móviles navegadores, mediante una aplicación, para obtener coordenadas GPS con mejor precisión y en tiempo real.* Quito : s.n., 2014.

**Wang, Liang, y otros. 2016.** NCBI. [En línea] 16 de Diciembre de 2016. [Citado el: 24 de 06 de 2021.] <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5191179/>.

**Williams, C. 2019.** Digital Innovation and Transformation. [En línea] 12 de Noviembre de 2019. [Citado el: 07 de Mayo de 2021.] [https://digital.hbs.edu/platform-digit/submission/farm-to-data-table-john-deere-and-data-in-precision-agriculture/#\\_ftnref1](https://digital.hbs.edu/platform-digit/submission/farm-to-data-table-john-deere-and-data-in-precision-agriculture/#_ftnref1).

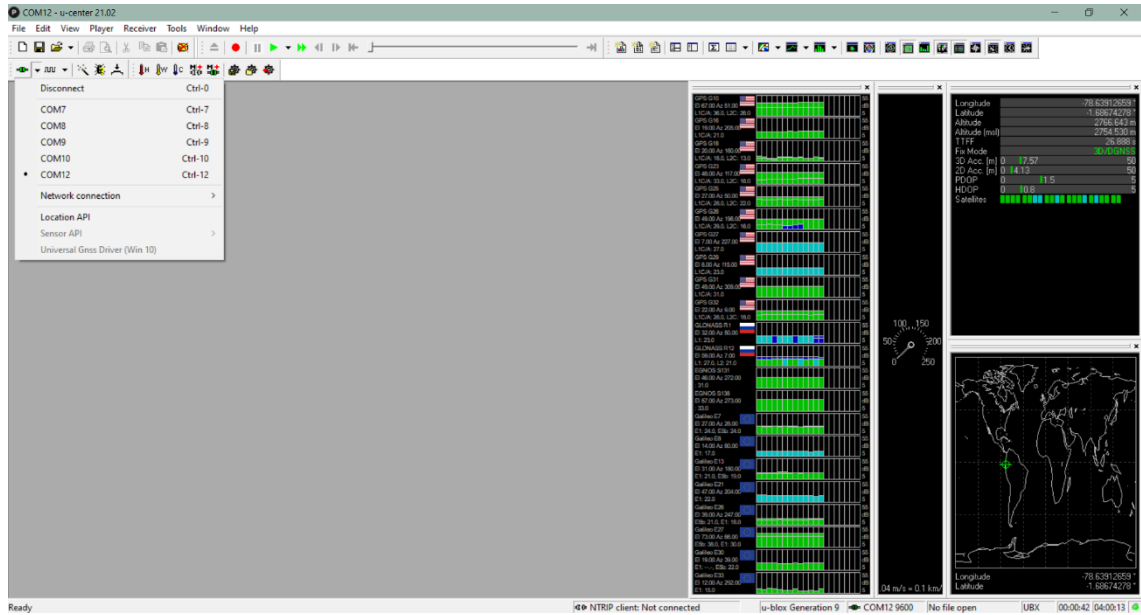
**Xingxing Li; Xiadong Ren; Xiaohong Zhang; Mathias Fritsche. 2015.** Researchgate. *Precise positioning with current multi-constellation Global Navigation Satellite Systems: GPS, GLONASS, Galileo and BeiDou.* [En línea] Febrero de 2015. [Citado el: 6 de Junio de 2021.] [https://www.researchgate.net/publication/272096344\\_Precise\\_positioning\\_with\\_current\\_multi-constellation\\_Global\\_Navigation\\_Satellite\\_Systems\\_GPS\\_GLONASS\\_Galileo\\_and\\_BeiDou](https://www.researchgate.net/publication/272096344_Precise_positioning_with_current_multi-constellation_Global_Navigation_Satellite_Systems_GPS_GLONASS_Galileo_and_BeiDou).

**Zabala, Mónica. 2018.** *Implementación del caster experimental para la distribución de medidas de GPS en tiempo real a través de NTRIP.* Riobamba, Chimborazo, Ecuador : s.n., 2018.

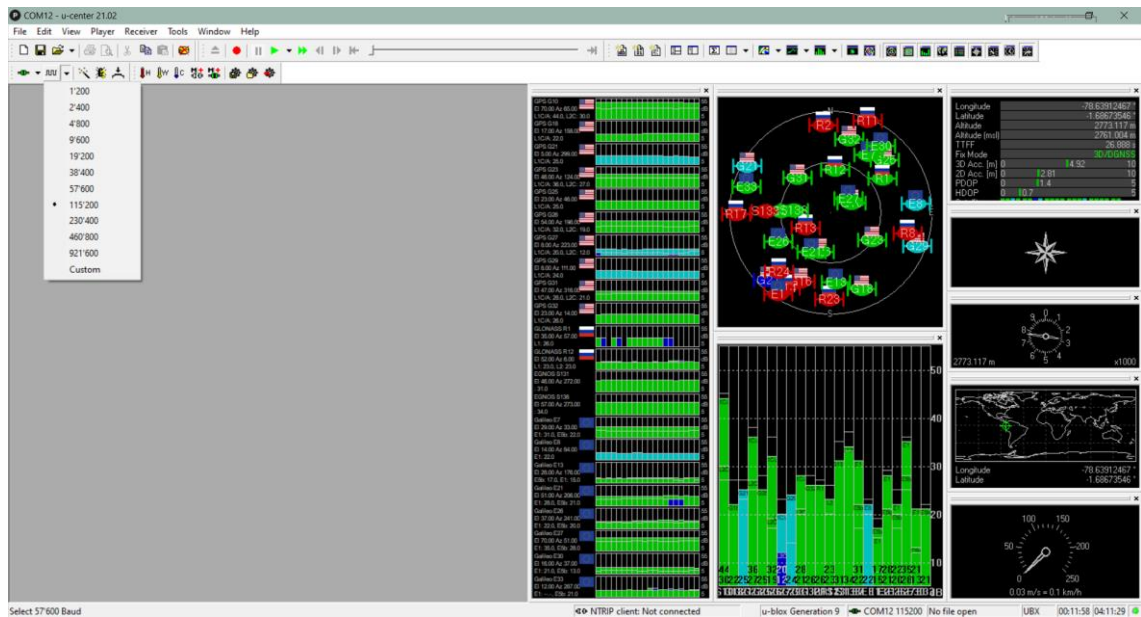
# ANEXOS

## ANEXO A: Configuración de la tarjeta C099-F9P

1. Se procede a abrir el programa u-center 21.02 y se conecta al puerto correspondiente del dispositivo en serie USB en este caso el COM 12.



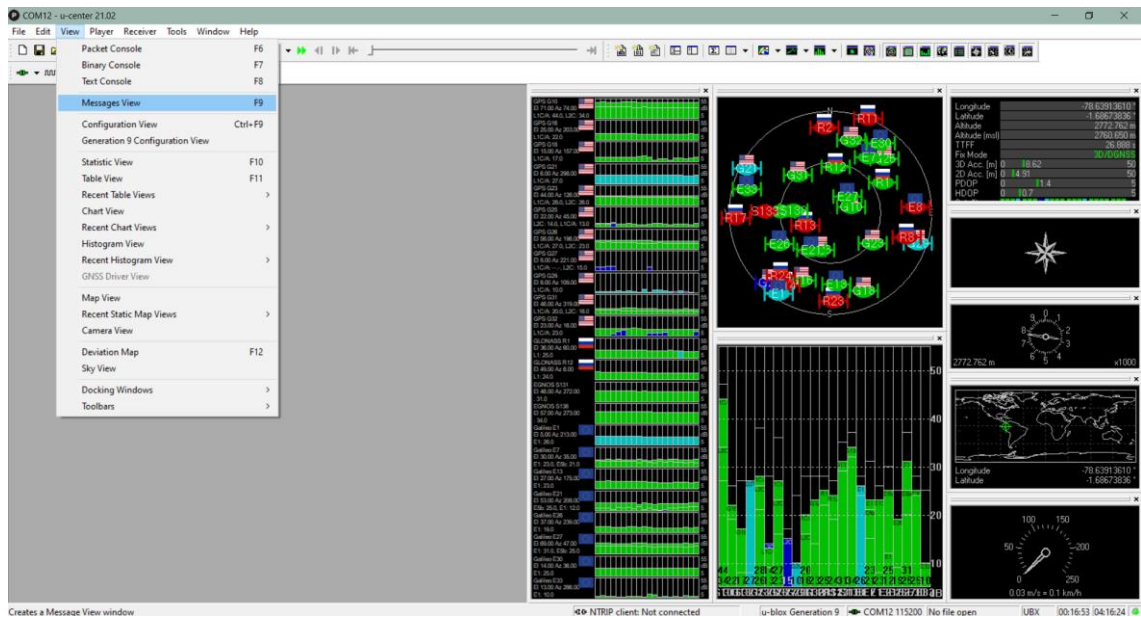
2. Una vez realizada la comunicación con el puerto se podrá verificar que en la parte inferior se conecta con una luz en ambar verde, eso nos indica que se están recibiendo datos del puerto y ya podremos visualizar las señales



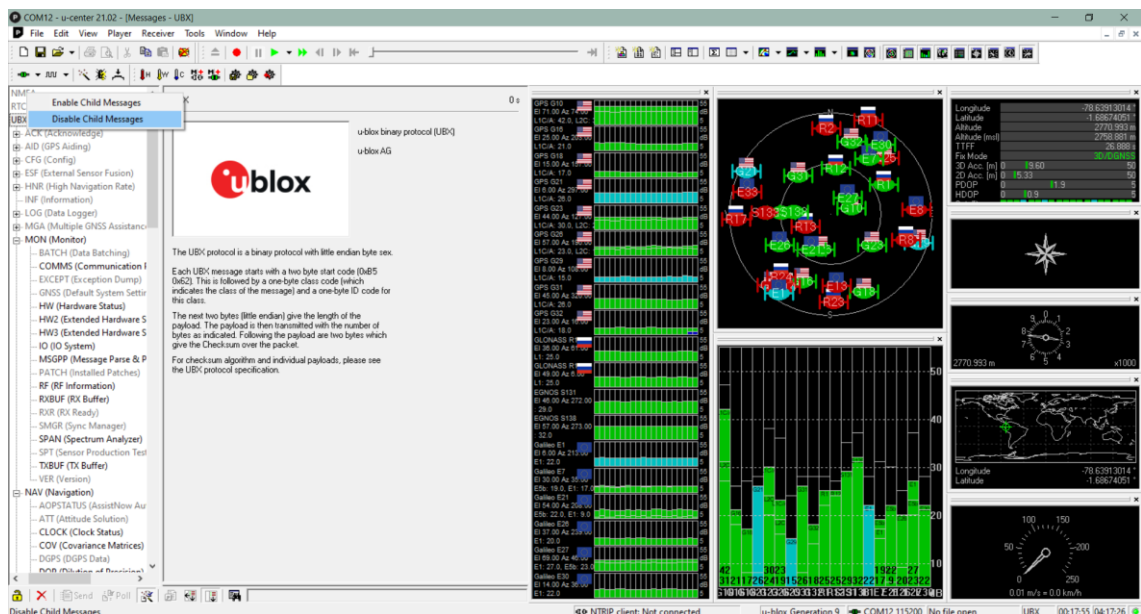


3. Se debe modificar la velocidad en baudios a 115200 que es la velocidad recomendada por el fabricante.

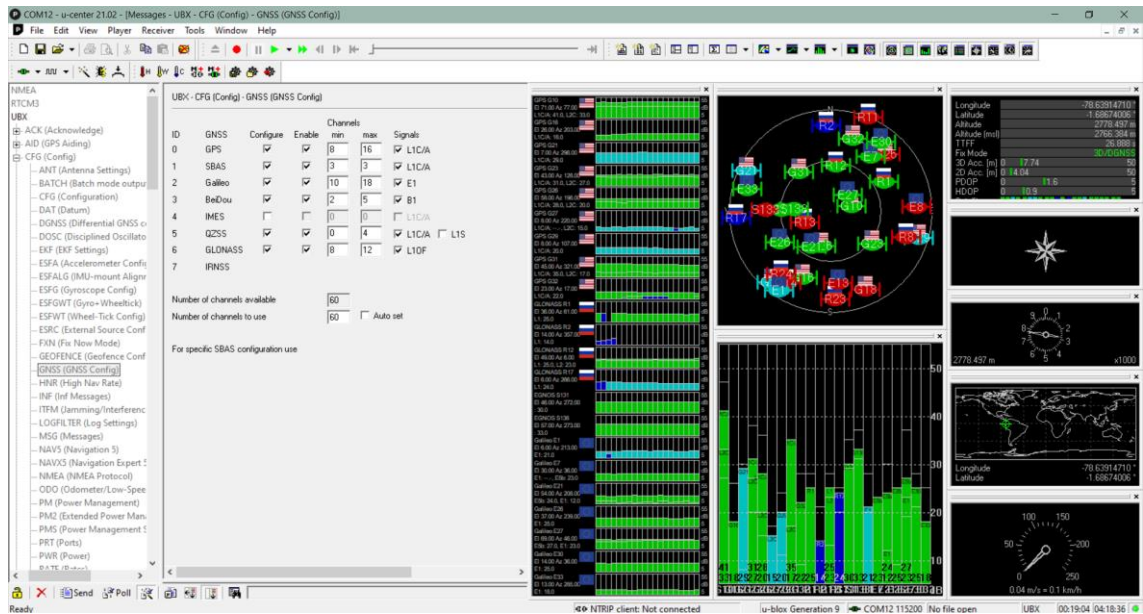
4. Para la obtención de los datos RAW se procede a realizar las siguientes configuraciones:



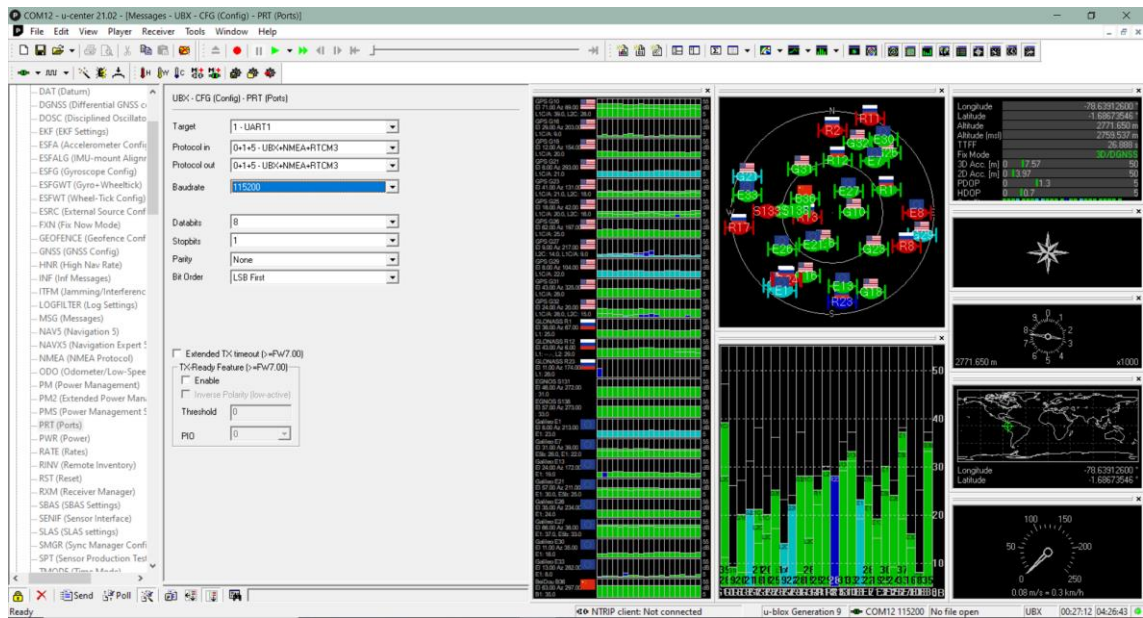
5. Se abre la lista de mensajes de la tarjeta, y se procede a deshabilitar los mensajes NMEA mediante un clic derecho en los mensajes.



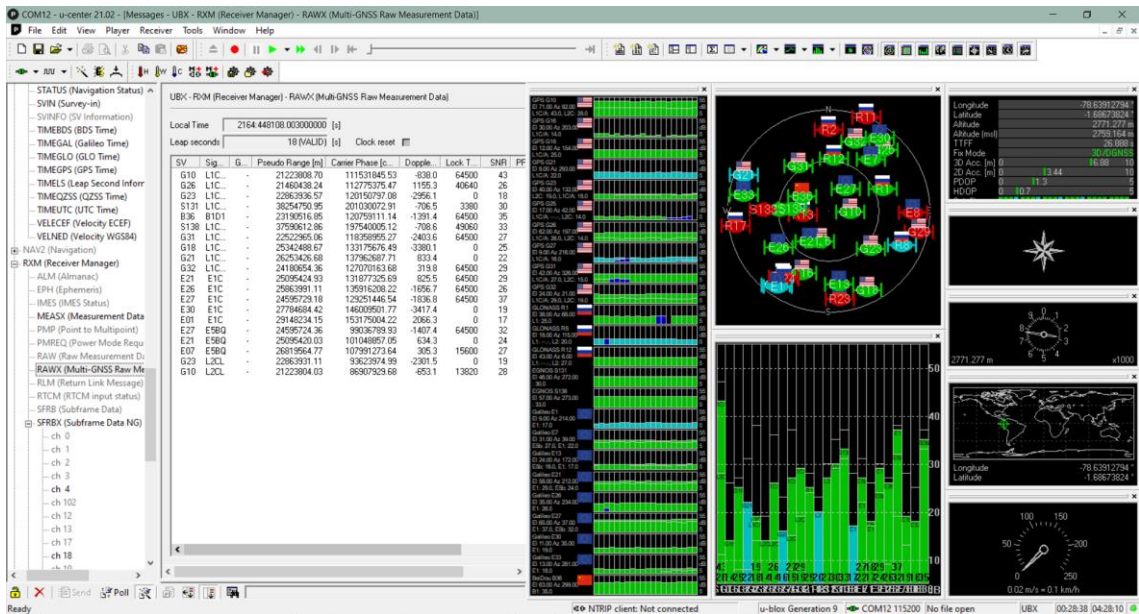
6. Se debe tener en cuenta que los mensajes UBX deben estar habilitados, posteriormente en los mensajes UBX en la pestaña CFG correspondiente a la configuración de los mensajes se habilitan las constelaciones y las señales que se quiere recibir.



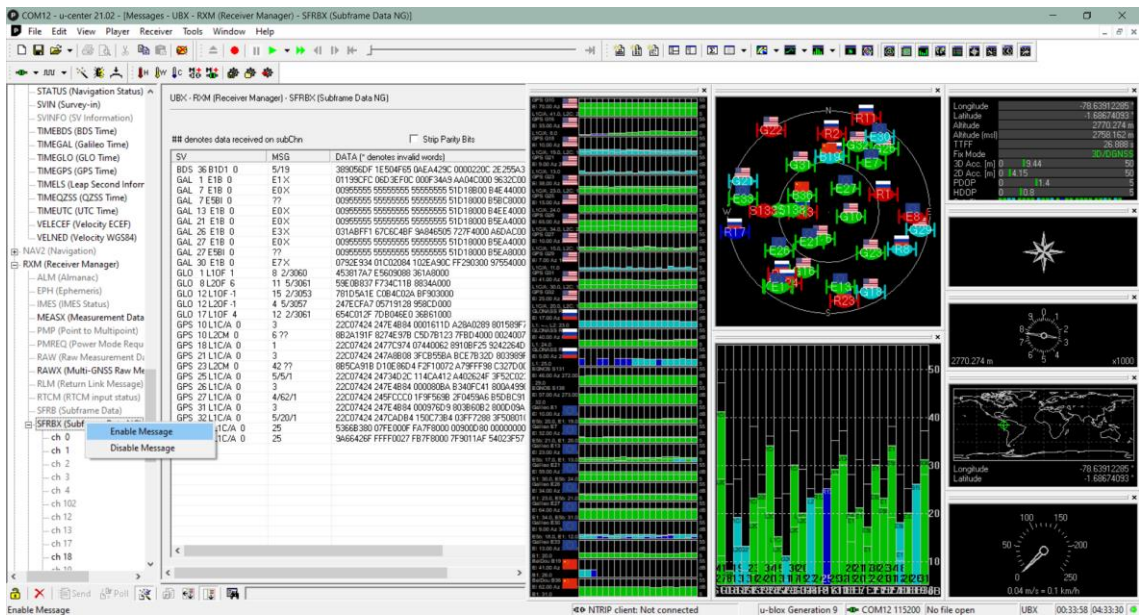
7. Para la configuración del puerto se seleccionan los mensajes que se quieren recibir por los puertos asignados de la tarjeta, que para este caso es el UART-1, con una velocidad de baudios de 115200.



8. Para la obtención de los datos crudos se debe tomar en cuenta que los mensajes dentro de RXM (Receiver manager): RAWX y SFBRX deben estar habilitados.



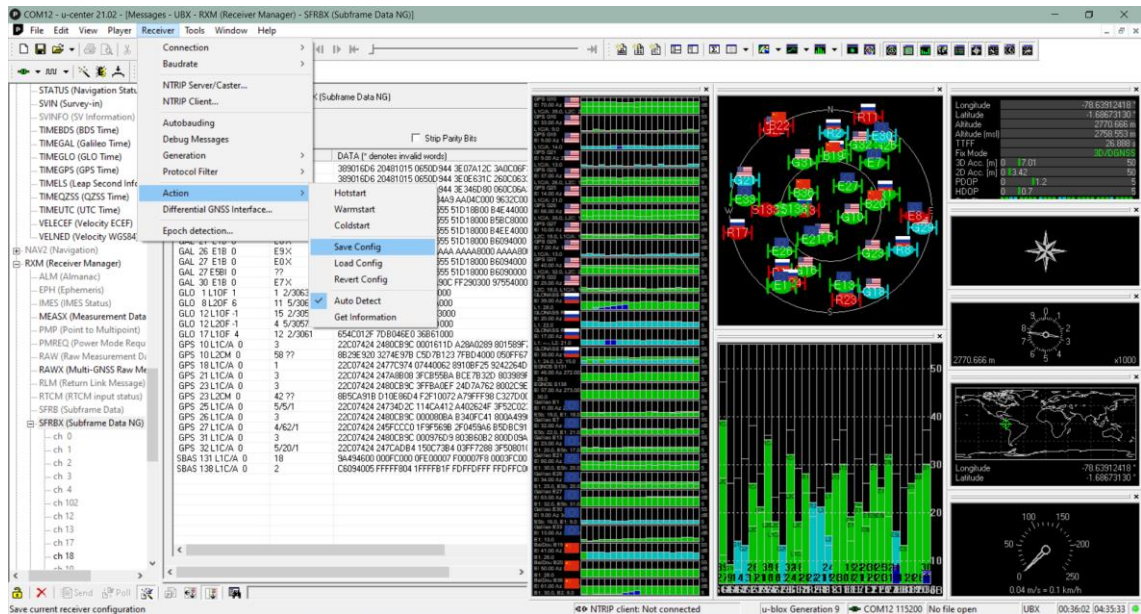
Esto permite registrar los datos raw de cada uno de los satélites visibles tales como: Pseudorange, fase de portadora, el efecto Doppler y la SNR(C/No).



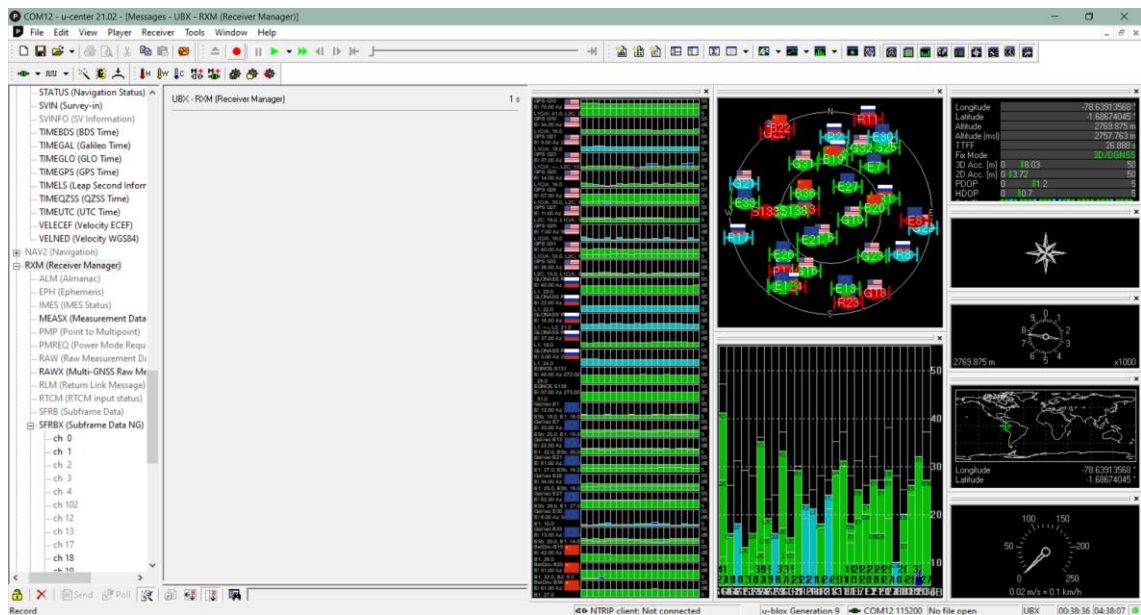
9. Se selecciona SFRBX, lo cual permite registrar los datos de navegación de cada uno de los satélites en vista.

10. Para que las configuraciones se debe guardar la información en la memoria EPROM:

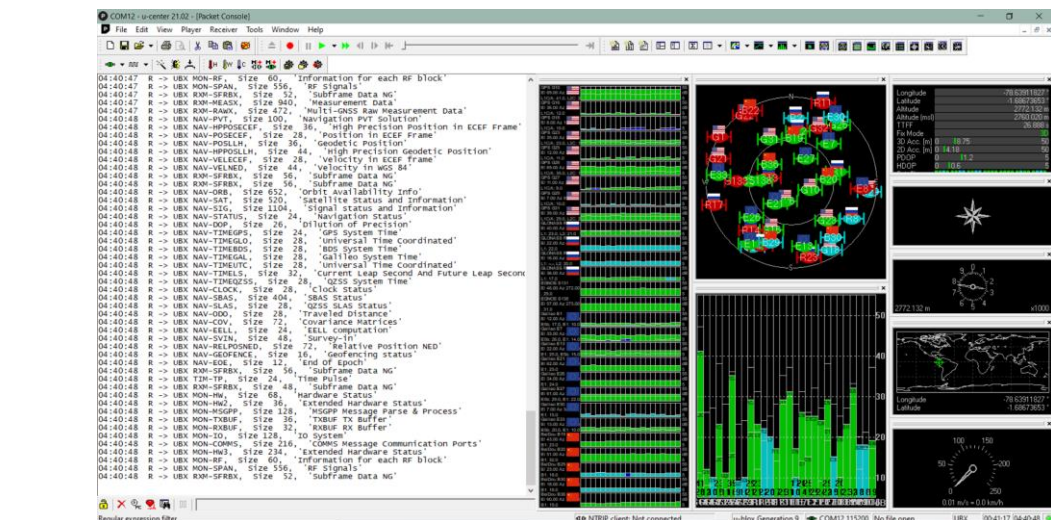




11. Para finalizar se procede a grabar los datos en el círculo rojo:

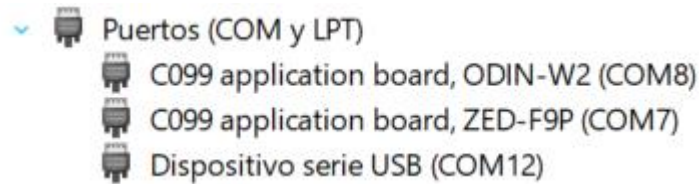


12. En la ventana de paquetes podemos observar los datos generados de la tarjeta:

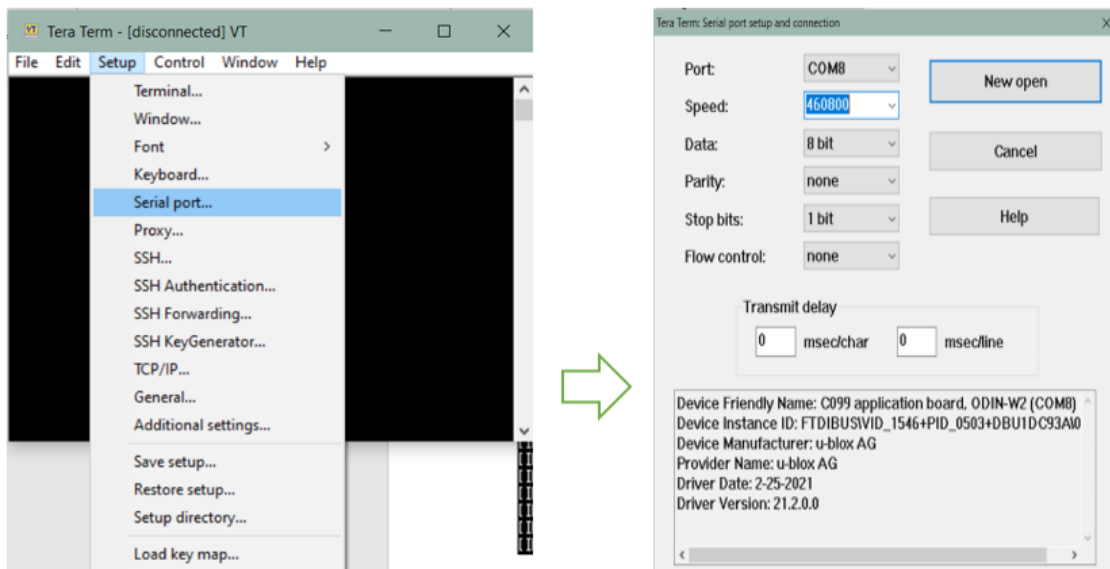


## ANEXO B: Configuración Bluetooth de la tarjeta

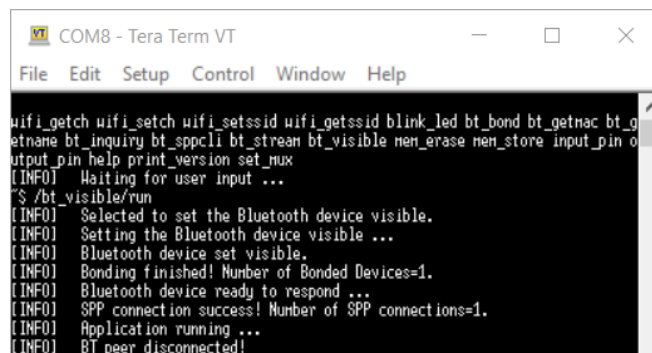
1. Para la conexión con Bluetooth con la tarjeta es necesario conectarse con el módulo ODIN mediante USB, por lo que es necesario identificar el puerto de ODIN mediante el administrador de dispositivos de Windows.



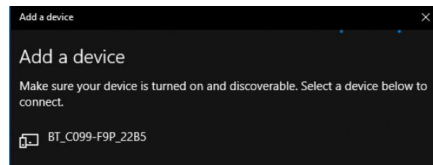
2. Una vez identificado el puerto que en este caso es el COM8 mediante el programa Tera Term se realiza la conexión serial mediante la siguiente ventana: Setup ⇒ Serial port ⇒ la velocidad de baudios es 460800



3. Una vez conectado al puerto de la tarjeta al presionar enter debemos instertar el comando: **/bt\_visible/run** para habilitar el bluetooth de la tarjeta.



4. Después de estar en modo visible la tarjeta, desde la computadora le emparejamos:

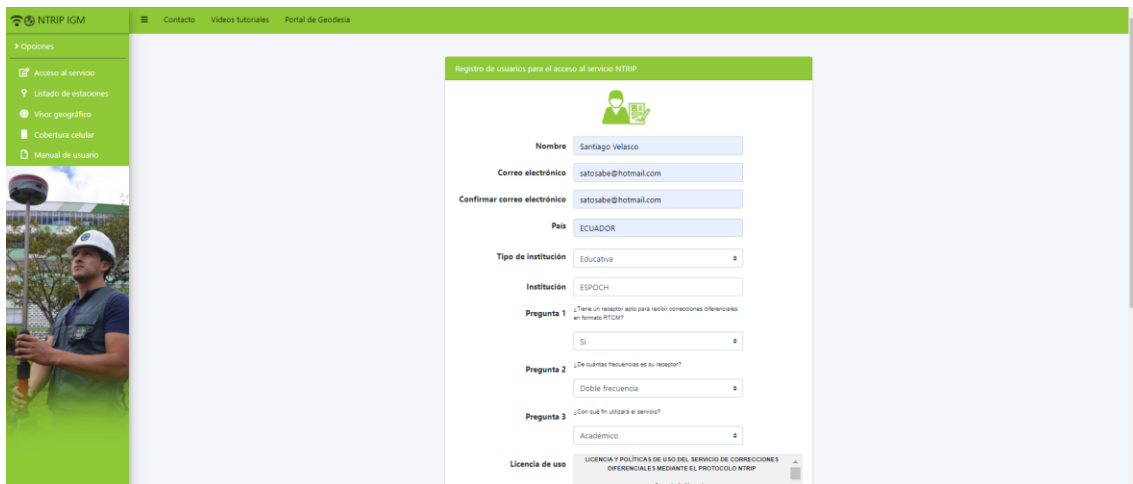


5. Finalmente para almacenar la configuración en la memoria interna, se pone el siguiente comando: `/mem_store/run bt 1`, de esta manera si reseteamos la tarjeta el modo visible de bluetooth se activará automáticamente

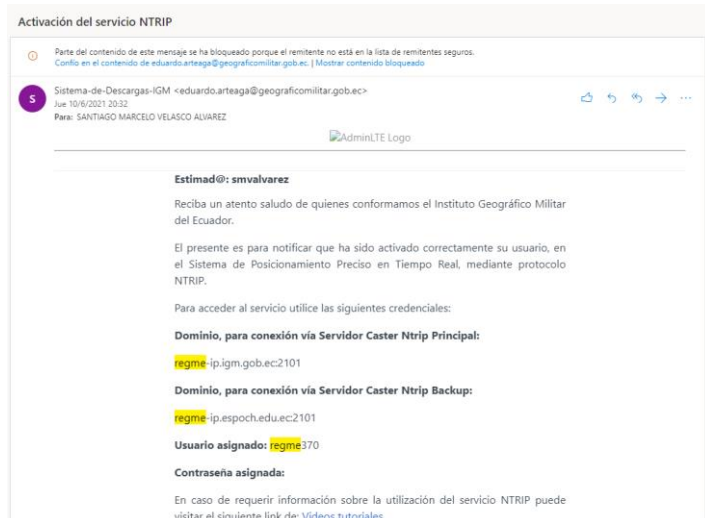
```
[BOOT] u-blox AG - www.u-blox.com
[BOOT] C099-F9P started!
[BOOT] Mbed FW version=v.2.0.0
[INIT] I2C clock speed=400000 Hz.
[INIT] UART1 baud rate=460800 bit/s.
[INFO] For help please type: /help/run
[INIT] BT Tx Power=14
[INIT] BT Name=BT_C099-F9P_EE80
[INFO] Waiting for user input ...
"$ /mem_store/run bt 1
```

## ANEXO C: Credenciales NTRIP-IGM

1. Para poder acceder a las estaciones base de la REGME se necesita pedir acceso mediante la creación de credenciales por el geoportal mediante el siguiente link: <http://www.geoportaligm.gob.ec/ntrip/public/register>



2. Una vez llenado los campos correspondientes al uso de los servicios de NTRIP, se acepta la licencia de uso, y se le da clic al botón registrar. Inmediatamente nos llegará el correo electrónico con las credenciales.

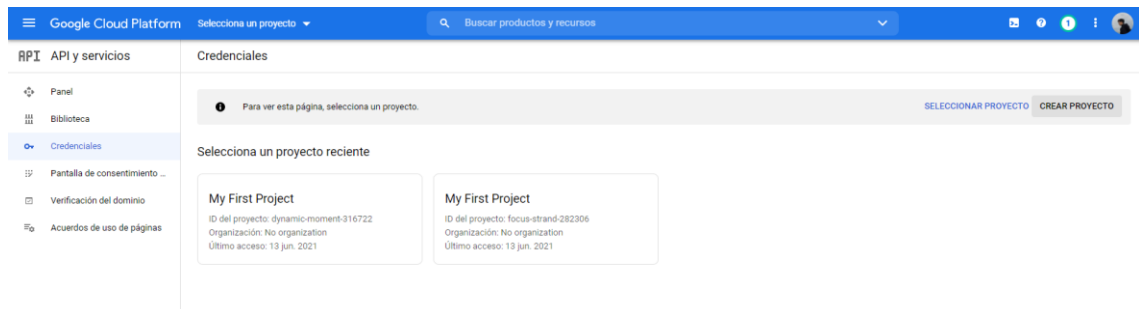


3. Con esas credenciales ya podemos acceder al servicio de NTRIP del Ecuador.

## ANEXO D: Creación de una API para Google Static Maps

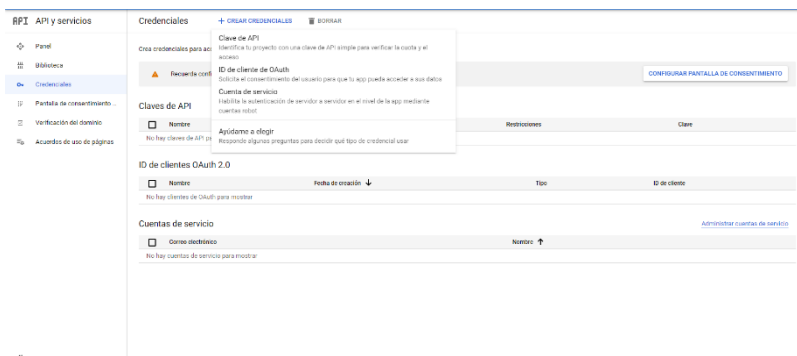
Dado a que u-center ya no da soporte mediante Google Earth para visualizar la posición en tiempo real, es necesario crear una API de Static Maps de Google mediante los siguientes pasos:

1. Con la cuenta de Google se logea en Google Cloud Platform
2. Se va a la página **API y servicios > Credenciales**.

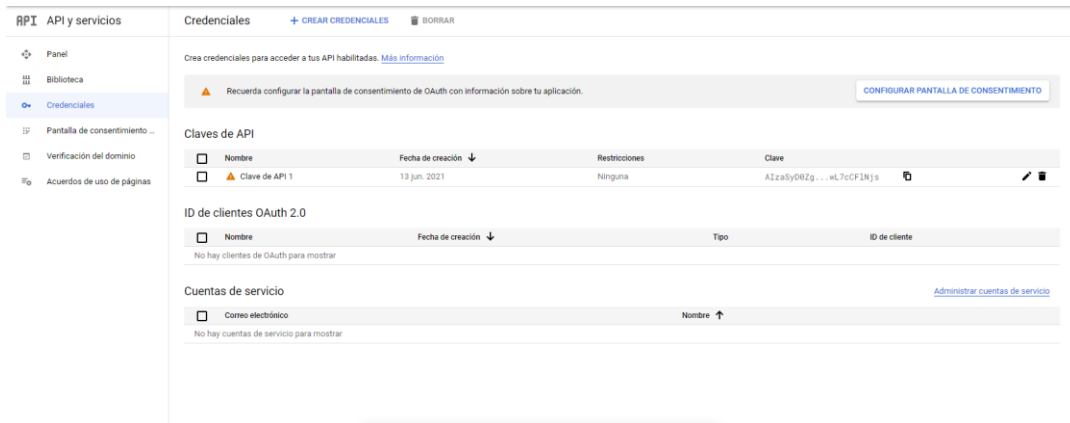


3. En la página **Credenciales**, haz clic en **Crear proyecto > Crear credenciales > Clave de API**.

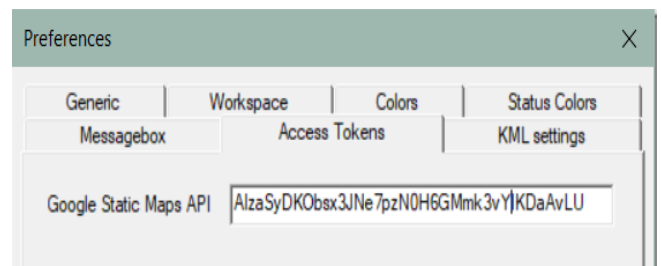
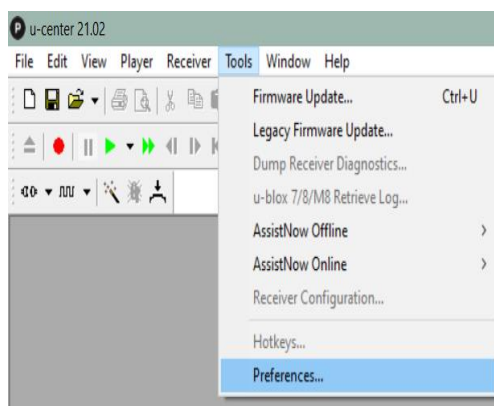
Posteriormente, se mostrará la clave de API que se acaba de crear, esa clave API la copiamos y la ponemos dentro del u-center.



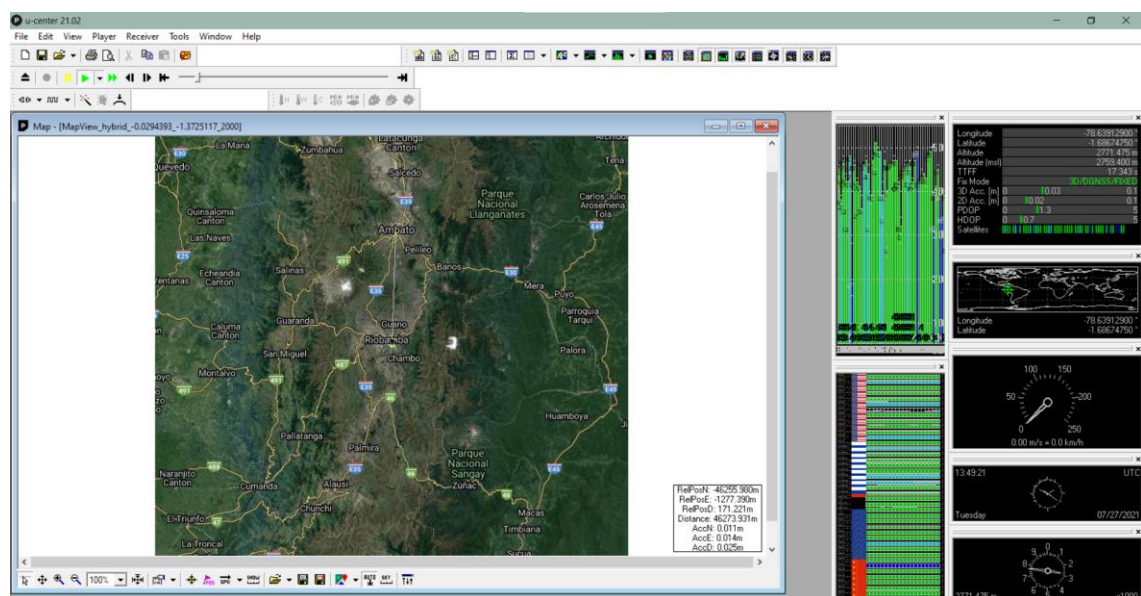




Dentro del u-center nos dirigimos a Tools > **Preferences** >



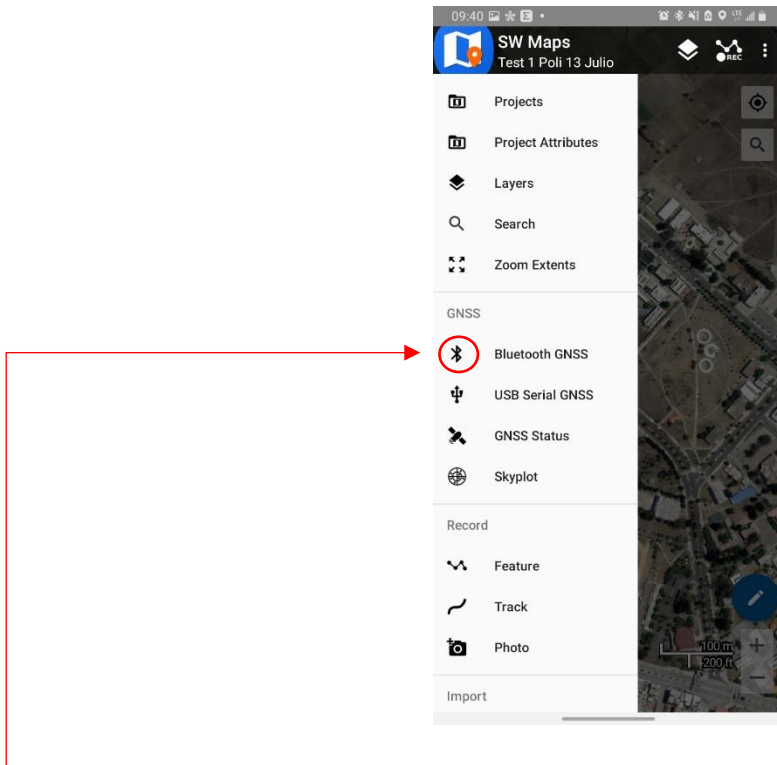
Y le aplicamos, ya con ello seremos capaces de visualizar en el mapa el posicionamiento en tiempo real.



## ANEXO E: Configuración Bluetooth con la tarjeta a SW Maps.

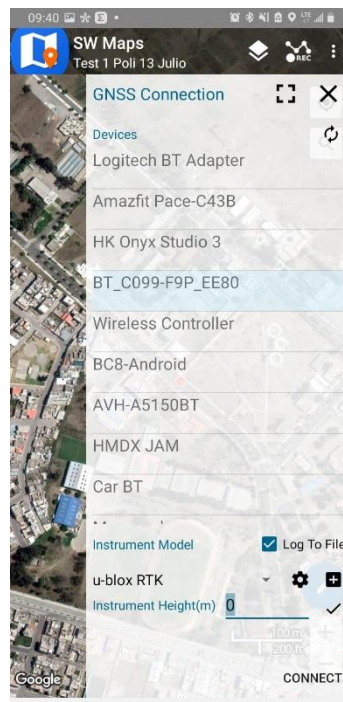
1. Para conectarse mediante bluetooth con la tarjeta se realizan los siguientes pasos:



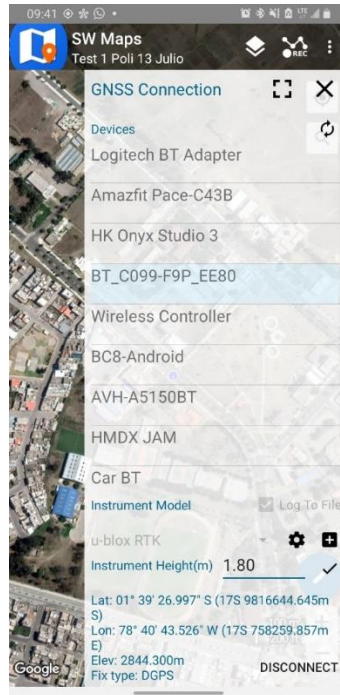


2. Se selecciona Bluetooth GNSS.

3. Como paso siguiente, se selecciona la tarjeta de aplicación (previamente vinculada con el dispositivo) y en el apartado de Instrument Model seleccionamos : u-blox RTK.



4. Posteriormente indicamos la altura de nuestro equipo (m) en Instrument Height y nos conectamos con la tarjeta.



**ANEXO F:** Tomas de puntos con C099-F9P y Spectra SP60 y Mobile Mapper.



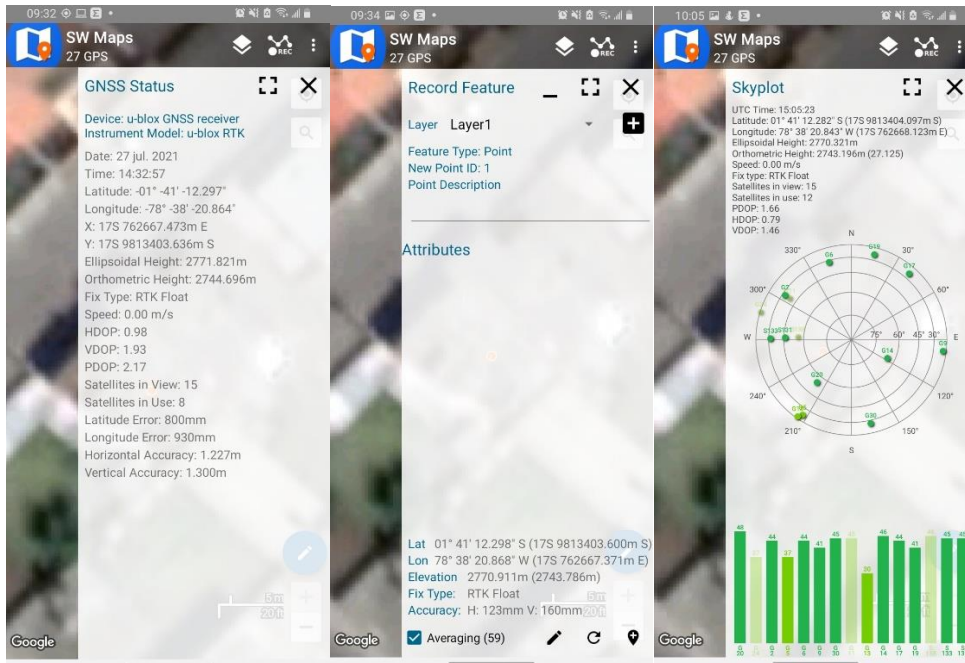
**Mejor de los casos:**



**Multiconstelación:**

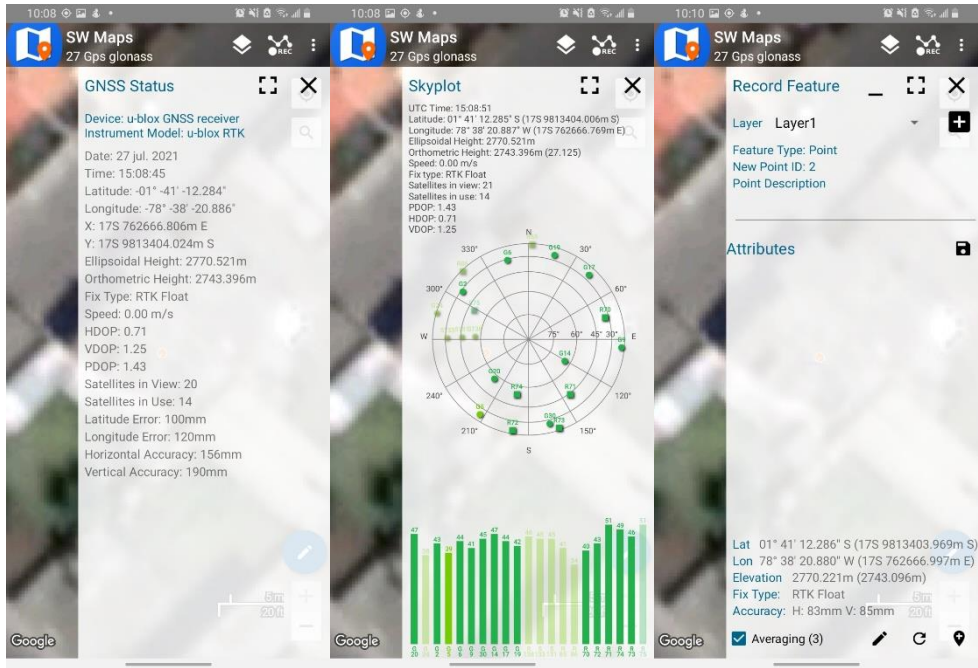


**GPS:**

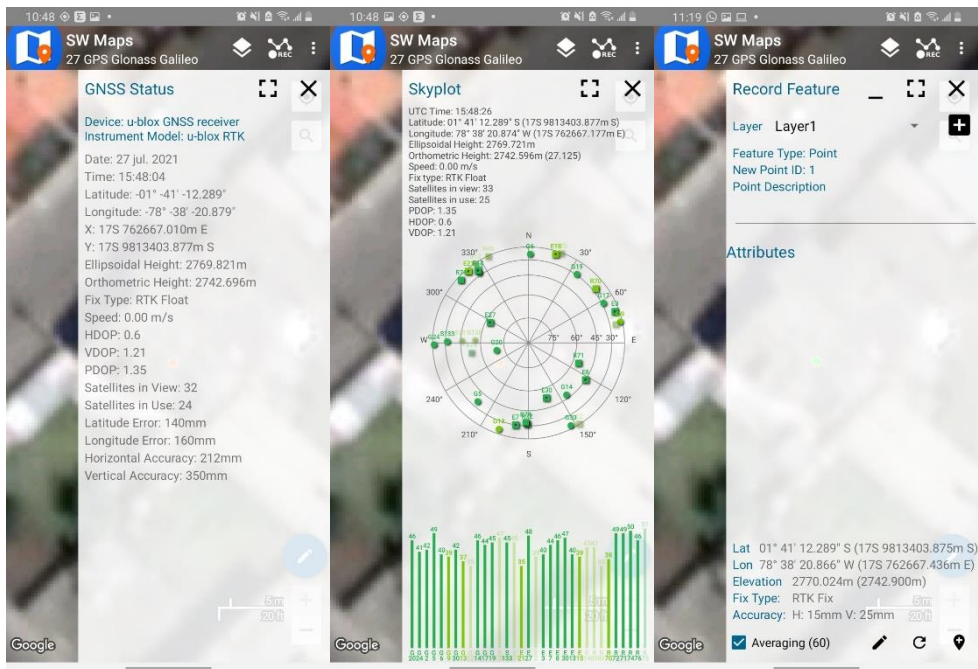


**GPS+GLONASS:**

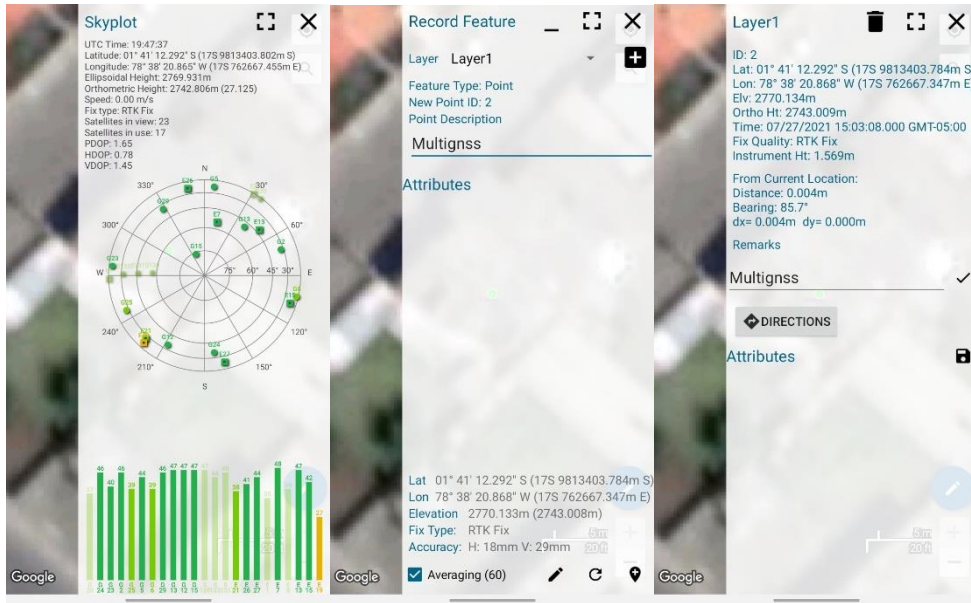




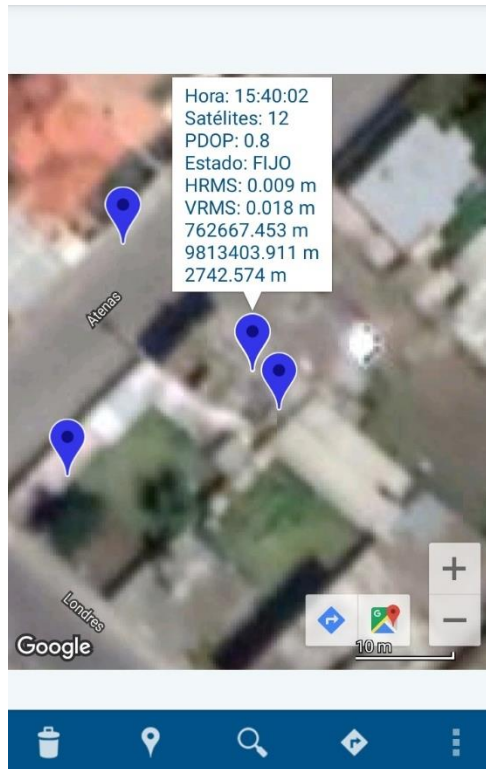
**GPS+GLONASS+Galileo:**



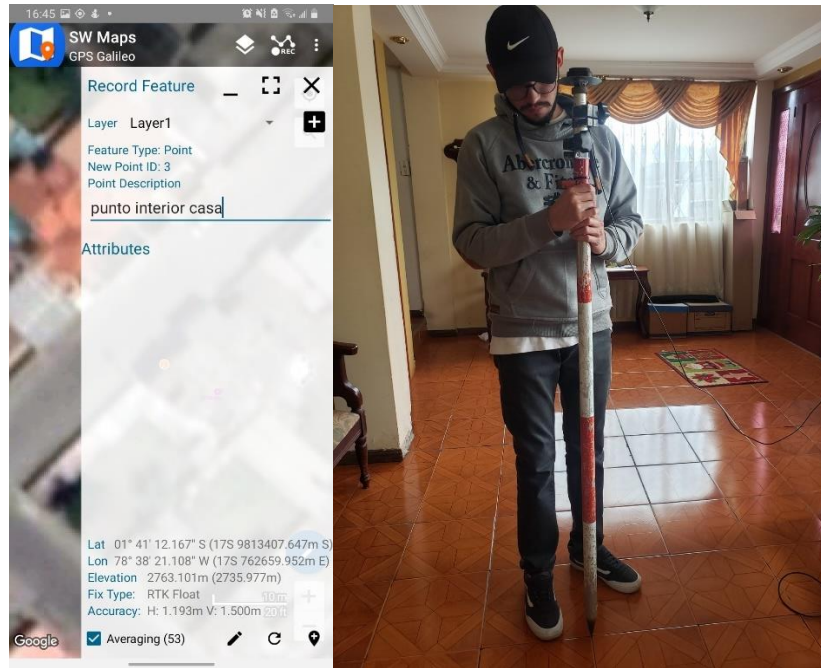
**GPS+GLONASS+Galileo+BeiDou:**



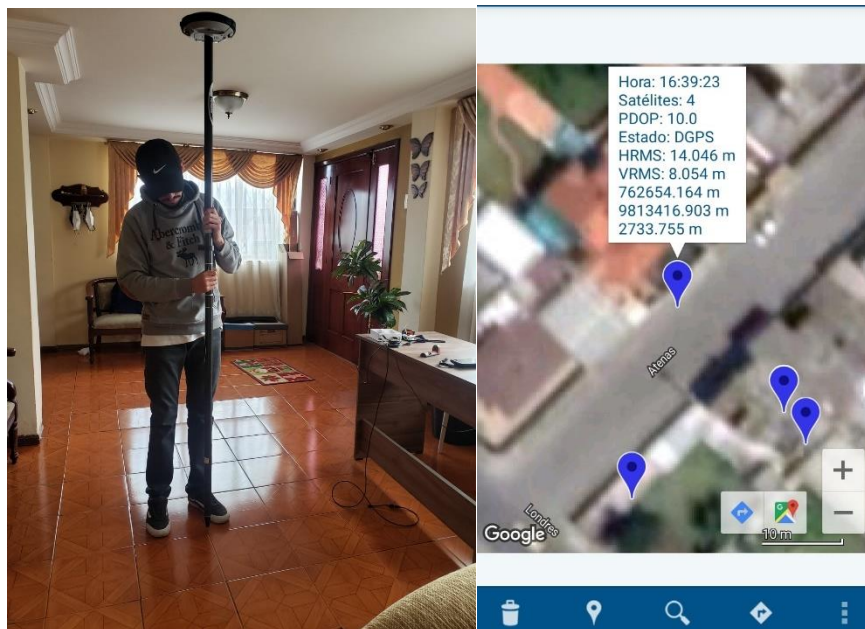
**Mejor de los casos Spectra Sp60:**



**Peor de los casos C099-F9P:**



**Peor de los casos Spectra:**

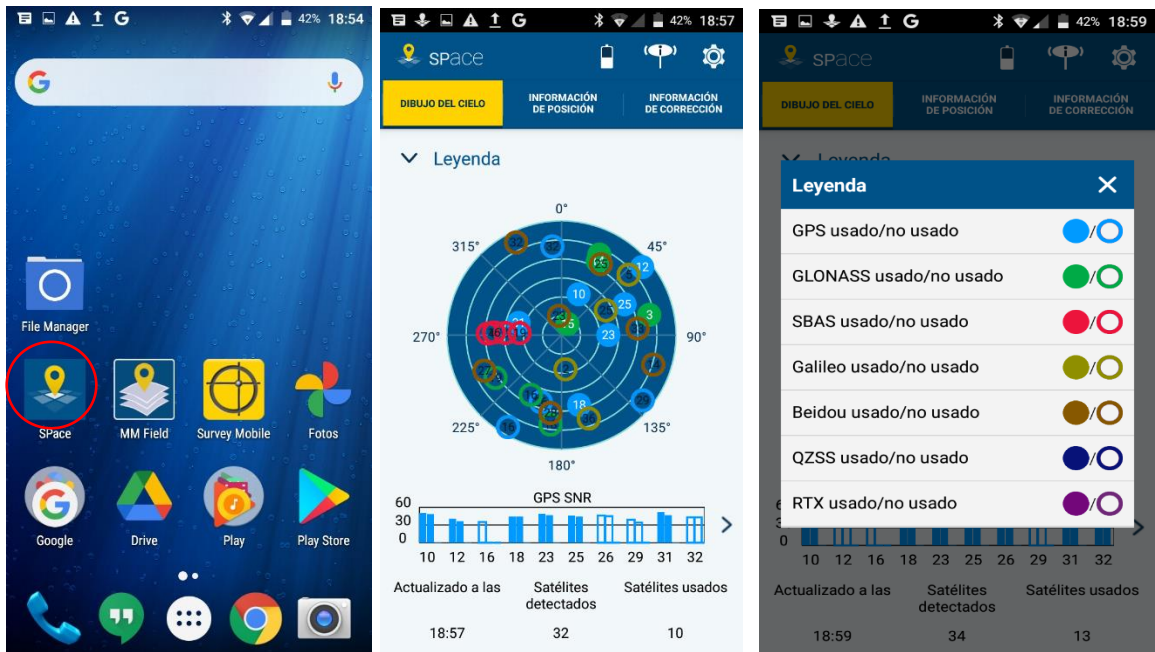


**ANEXO G:** Toma de puntos de precisión con Spectra SP60 y la tarjeta C099-F9P.

Para la toma de puntos estáticos con el dispositivo Spectra SP60 y con la tarjeta de aplicación, se realizan los siguientes pasos:

1. Para el dispositivo SPECTRA SP60 una vez enlazado con Bluetooth, se procede a abrir la aplicación SPace del Mobile Mapper 50:

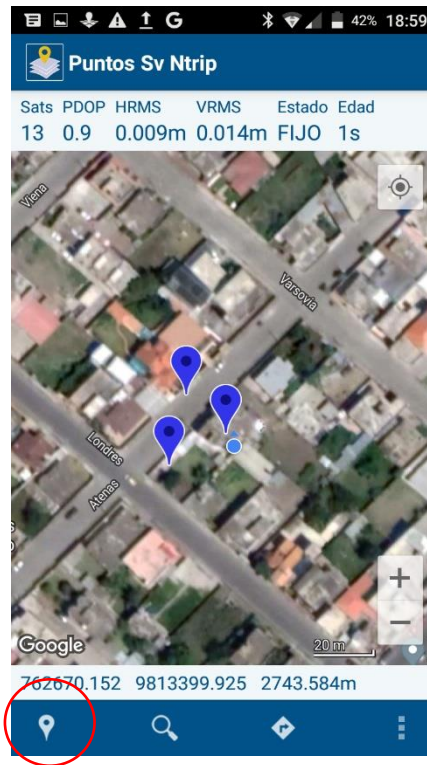
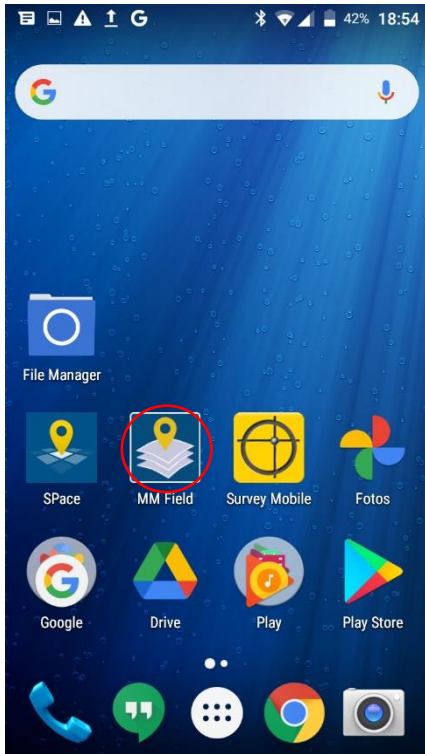




Se procede a verificar en la pestaña de Información de Corrección que esté debidamente conectada a la estación mediante NTRIP, a la estación base ABEC3:

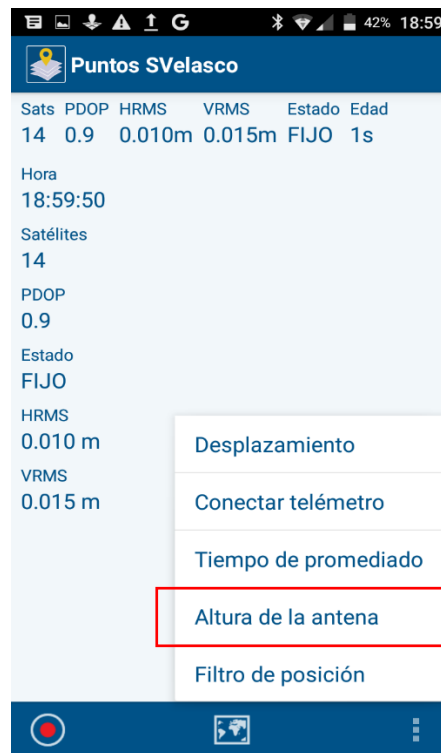
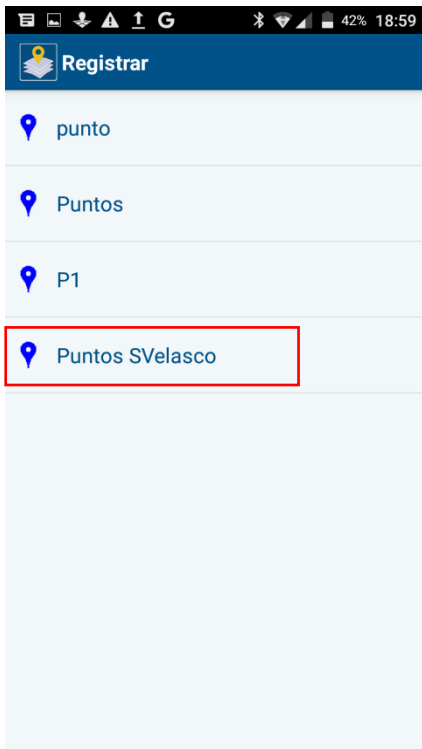


Una vez que los parámetros están correctos se procede a realizar la toma de puntos, mediante la aplicación MM Field del equipo Mobile Mapper 50. Para grabar los puntos se da click en el ícono de la posición de la esquina inferior izquierda de la imagen:

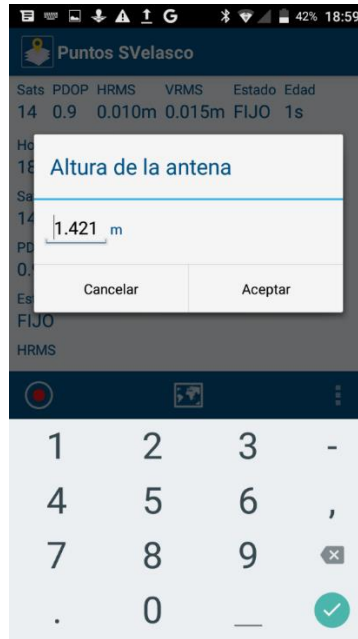


Se debe tener en cuenta que en la aplicación MMField se está tomando la altura con respecto al geoide EGM96, por lo que la altura difiere de la aplicación SPace.

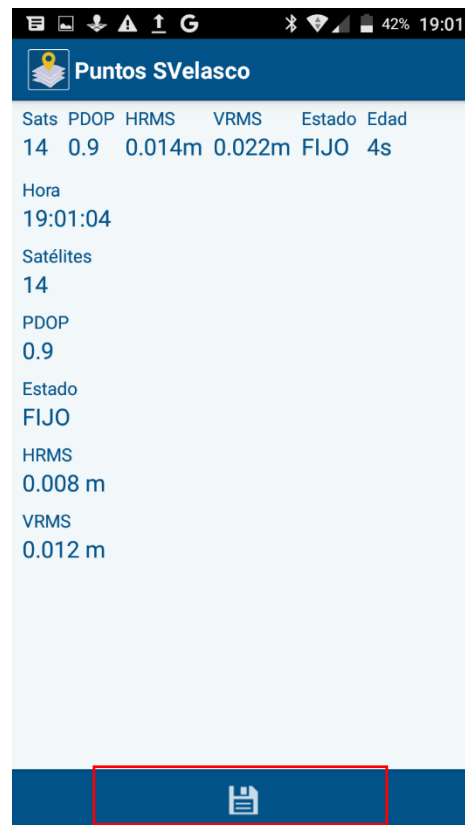
Se procede a registrar los puntos en la capa: Puntos SVelasco, teniendo en cuenta que antes de grabar los datos, se debe introducir la altura de la antena:



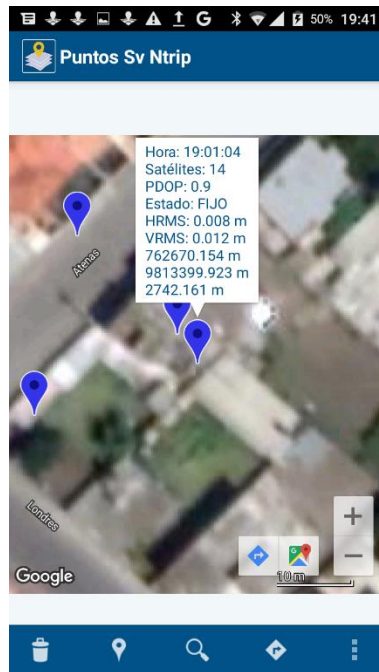




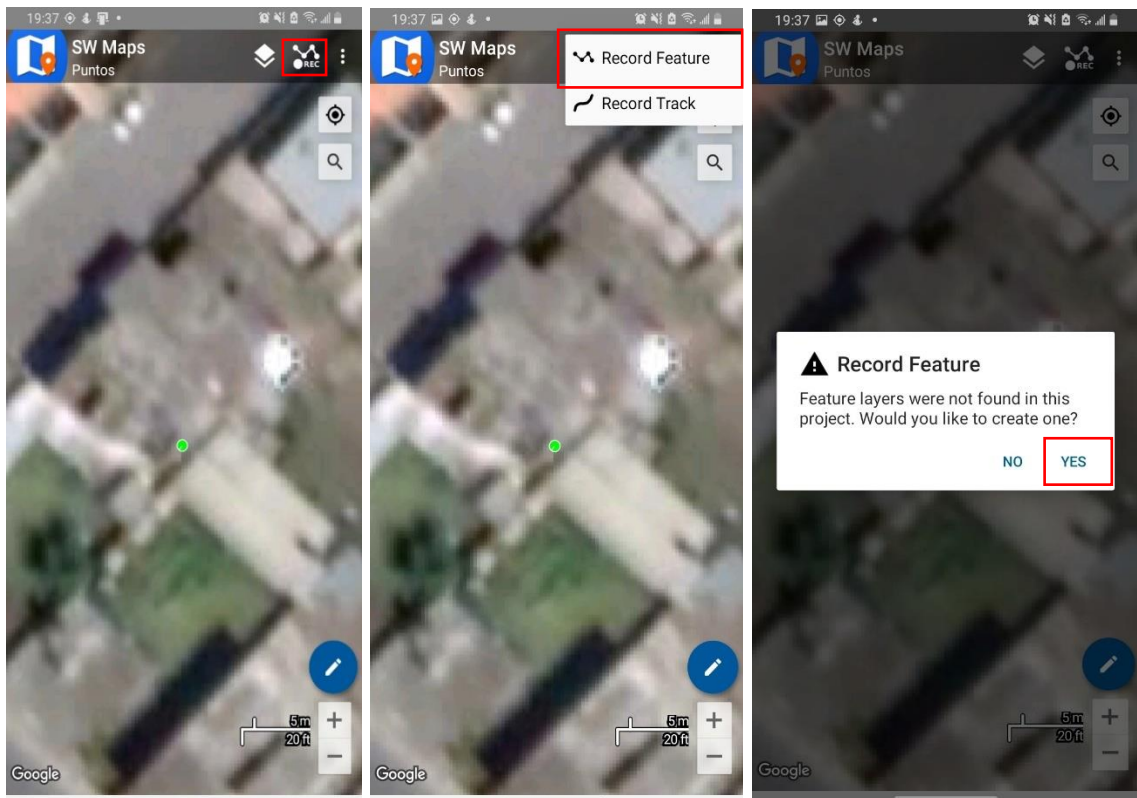
Una vez ingresada la altura de la antena, se procede a grabar el punto con un tiempo de promediado de 60 segundos:



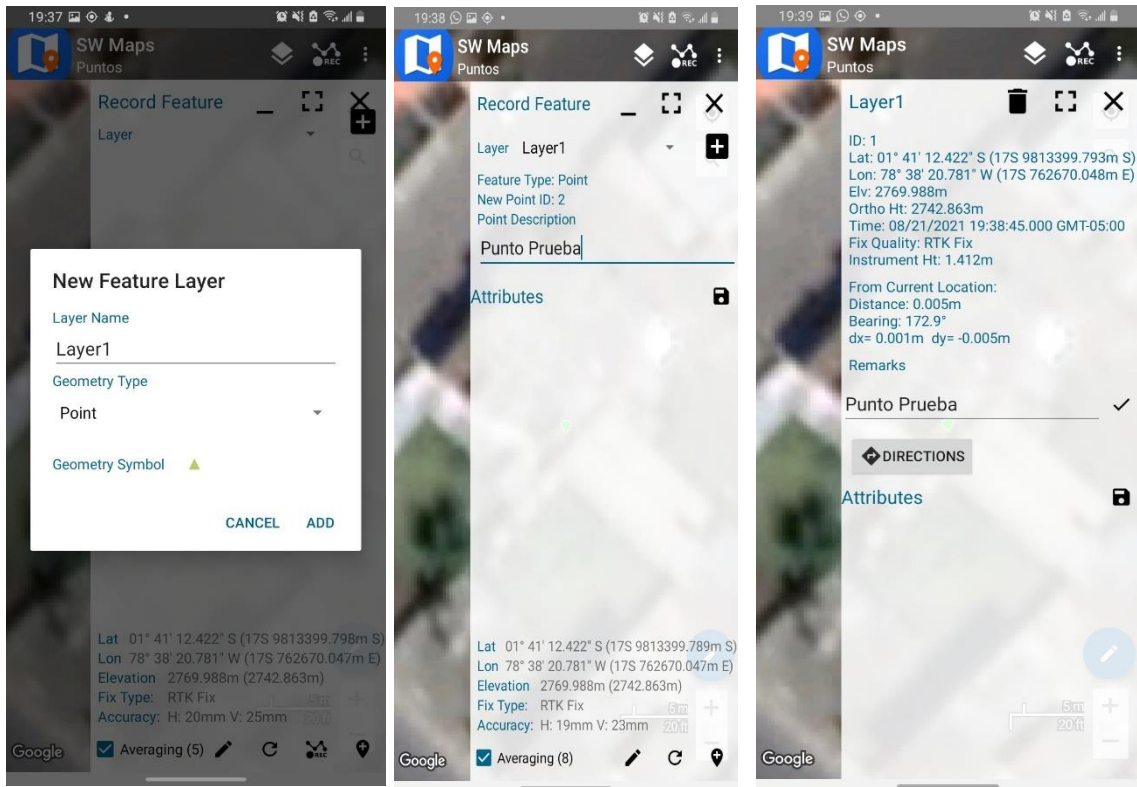
Finalmente guardamos los resultados.



2. Para grabar los puntos mediante SW-Maps, se procede a abrir la aplicación ⇒ conectarse mediante Bluetooth a la tarjeta de aplicación y posteriormente a NTRIP como previamente se explicó. En la esquina superior derecha damos clic a REC ⇒ Record Feature ⇒ aceptamos que se cree una capa:



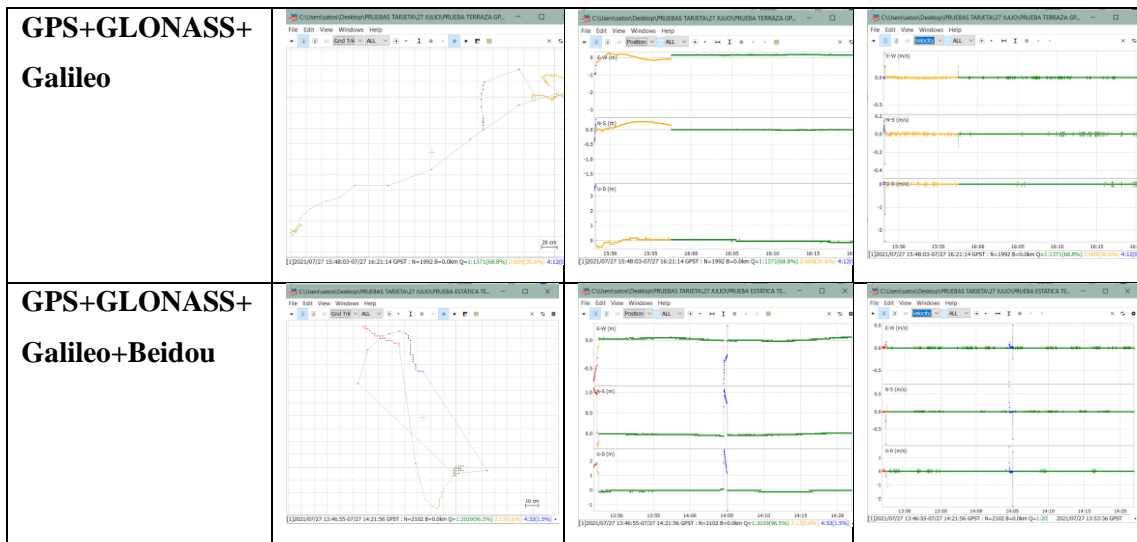
Posteriormente ponemos el nombre de la capa y seleccionamos el símbolo del punto, se empezará a promediar los datos en un intervalo de 60 segundos:



## ANEXO H: Pruebas estáticas con la tarjeta de aplicación.

En el presente anexo se detallan las pruebas estáticas realizadas con cada una de las constelaciones de GNSS soportadas por la tarjeta de aplicación, con un intervalo de 30 minutos en la terraza del domicilio del escenario 1.





**ANEXO I:** Pruebas realizadas de un punto de precisión en el parque del estudiante de la ESPOCH

En estas pruebas se detallan los puntos obtenidos con multiconstelación y con la combinación de los diferentes sistemas GNSS con la tarjeta de aplicación C099-F9P. Comparando los resultados se utiliza el equipo de precisión Spectra SP60.



Equipo	Hora	Corrección	Coordenadas UTM en X	Coordenada UTM en Y	Altura Ortométrica	Error Horizontal	Error Vertical
Spectra SP60	10:00:25	RTK Fijo	758365.738 m	9816633.844 m	2811.781m	0.009m	0.016m
GPS	10:17:26	RTK Flotante	758365.851 m	9816633.847 m	2812.078m	0.075m	0.095m
GPS+Galileo	10:21:36	RTK Flotante	758366.060 m	9816633.788 m	2812.075m	0.078	0.1mm



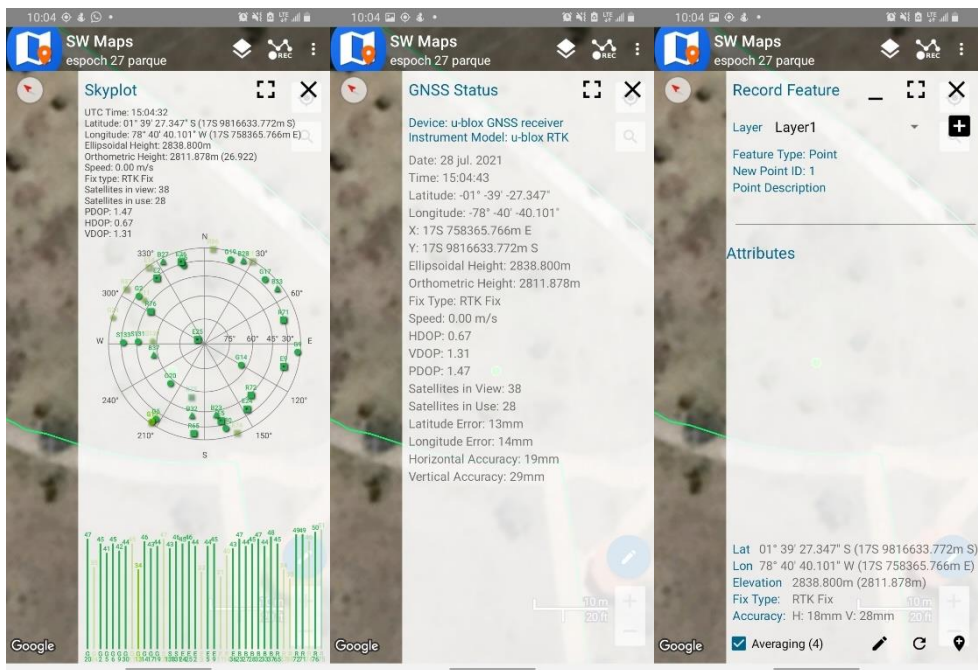
GPS+Galileo+Beidou	10:26:02	RTK flotante	758366.120m	9816633.599m	2811.981m	0.069m	0.097m
Multi-GNSS	10:05:51	RTK fijo	758365.766m	9816633.781m	2811.878m	0.016m	0.025m

Realizado por: Santiago Velasco

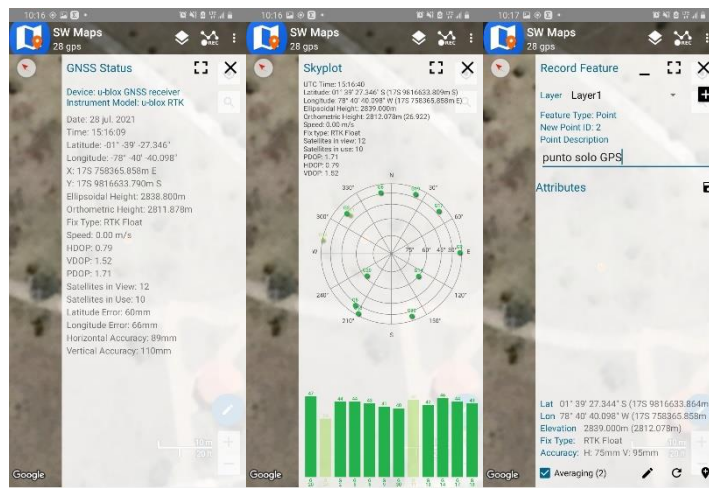
Equipo	$\Delta X$	$\Delta Y$	$\Delta Z$	$\Delta H$	$\Delta V$
Spectra SP60 vs GPS	-0.113m	-0.003m	-0.297m	-0.066m	-0.079m
Spectra SP60 vs GPS+Galileo	-0.322m	0.056m	-0.294m	-0.069m	-0.084m
Spectra SP60 vs GPS+Galileo+Beidou	-0.382m	0.245m	-0.2m	-0.06m	-0.081m
Spectra SP60 vs Multi-GNSS	-0.028m	0.063m	-0.097m	-0.007m	-0.009m

Realizado por: Santiago Velasco.

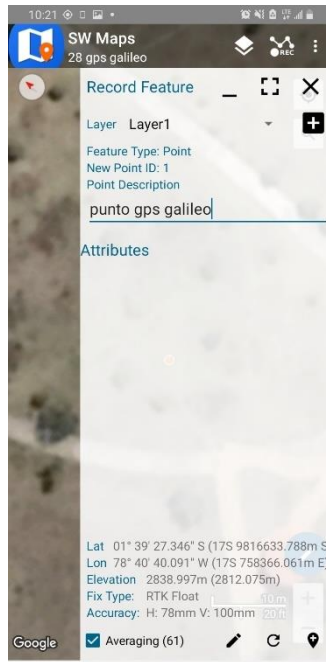
**MultiGNSS:**



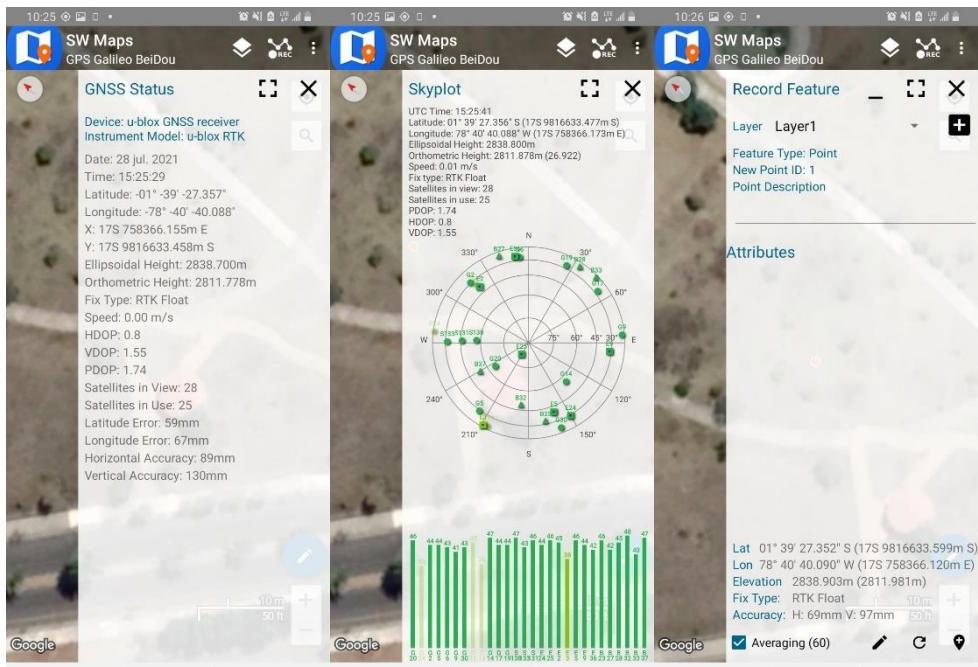
**GPS:**



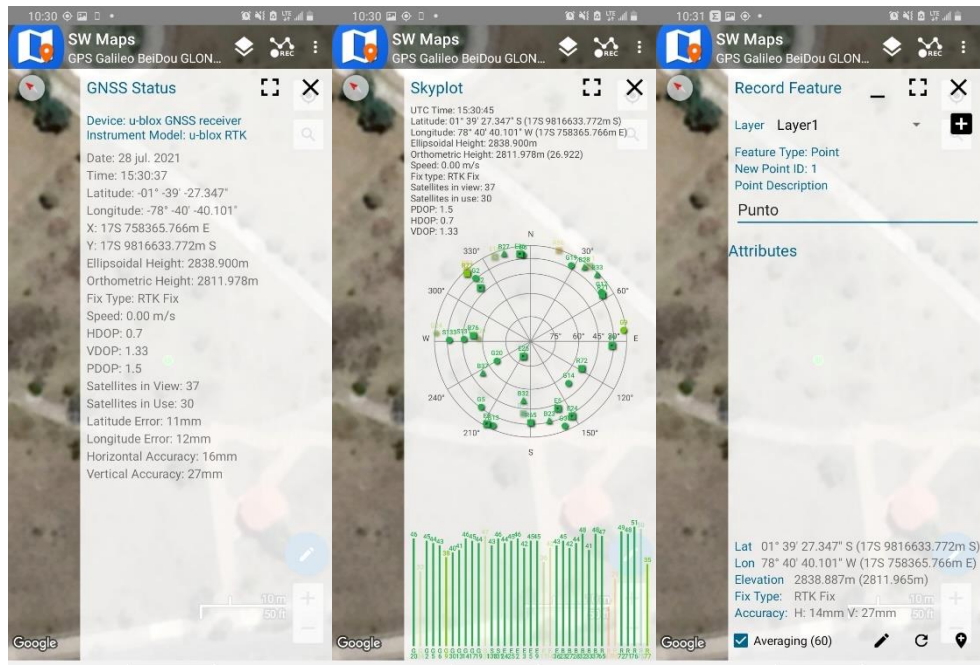
**GPS+GALILEO:**



**GPS+Galileo+BeiDou**



**GPS+Galileo+Beidou+GLONASS**

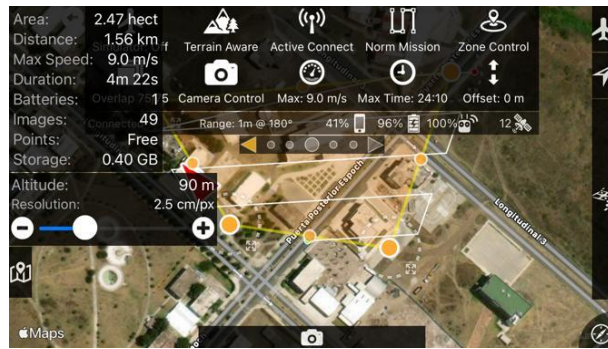


## ANEXO J: Procesamiento de imágenes con Pix4D.

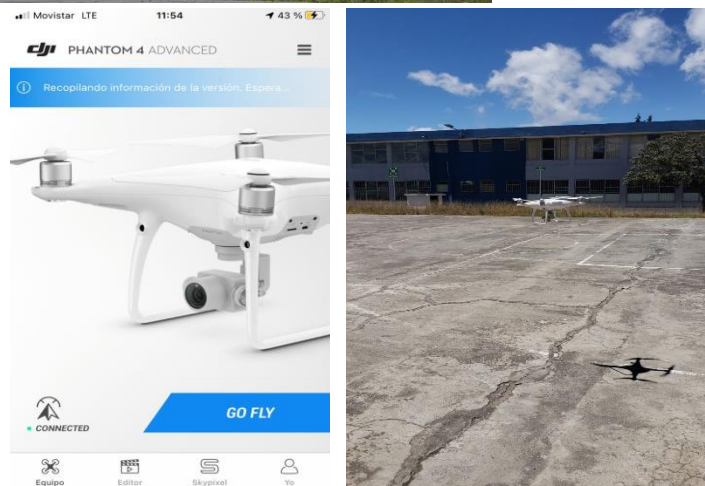
Para realizar la aerofotogrametría con el dron se realizan los siguientes pasos:

1. Una vez tomados los GCP (Ground Control Point) con el equipo de bajo costo C099-F9P, se procede a realizar el vuelo mediante el Dron.
2. Con la aplicación Map Pilot se realiza el plan de vuelo sobre la zona de interés, que en este caso es la FIE de la ESPOCH siempre excediendo un poco de los límites del terreno, con el fin de que el dron capture toda el área de interés, teniendo un área total de vuelo es de 2.47 hectáreas, se toman 49 fotografías para el post-procesamiento con Pix4D con una resolución de 2.5cm por cada pixel, cabe recalcar que el dron con el que se realizó la fotogrametría es un Phantom 4 Pro con resolución 4k:



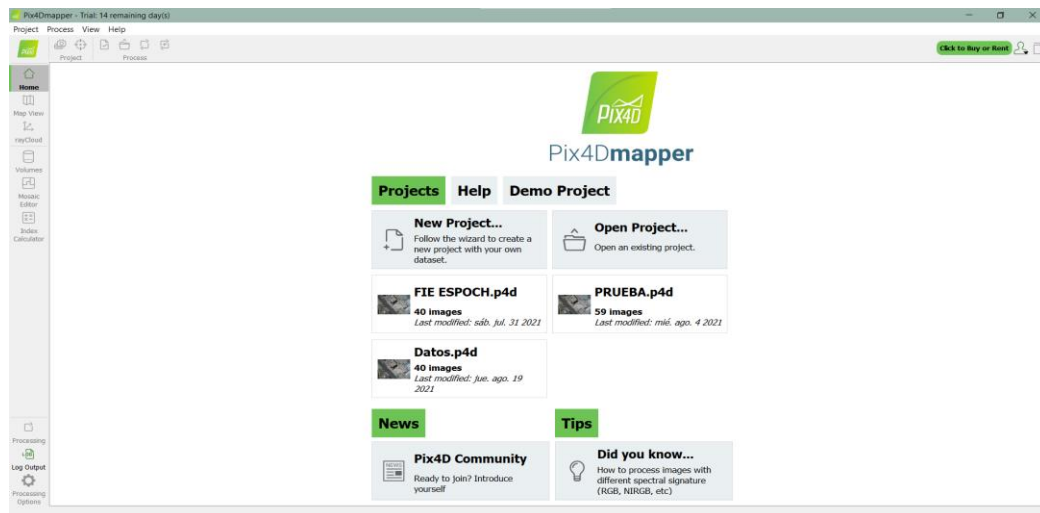


Una vez planificado el vuelo se procede a abrir la aplicación del dron DJI GO 4, y se da al botón de GO FLY

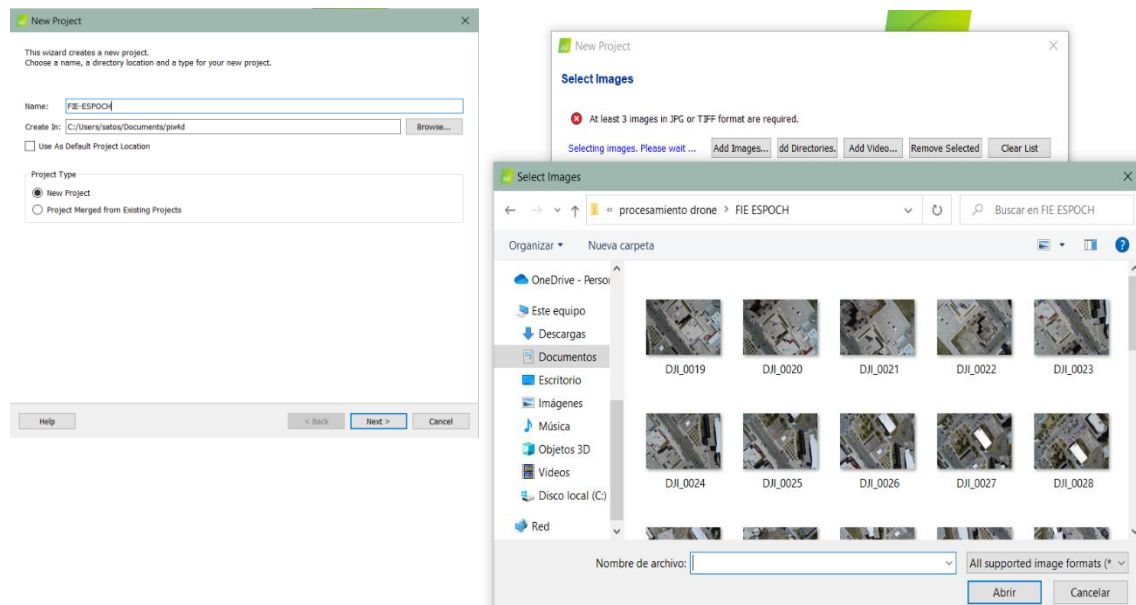


Una vez recolectadas todas las imágenes del vuelo, que en total fueron 49, se procesa mediante el software Pix4D, cabe mencionar que es un software pagado, sin embargo, ofrecen 15 días de prueba gratuitos con todas las herramientas disponibles del programa, que se puede acceder desde su página web: <https://www.pix4d.com/es/pruebelo-gratis>.

Ya una vez logeado en el programa mediante el usuario y contraseña registrados el momento de la prueba gratuita, se presenta la siguiente pantalla, en donde seleccionaremos un nuevo proyecto:



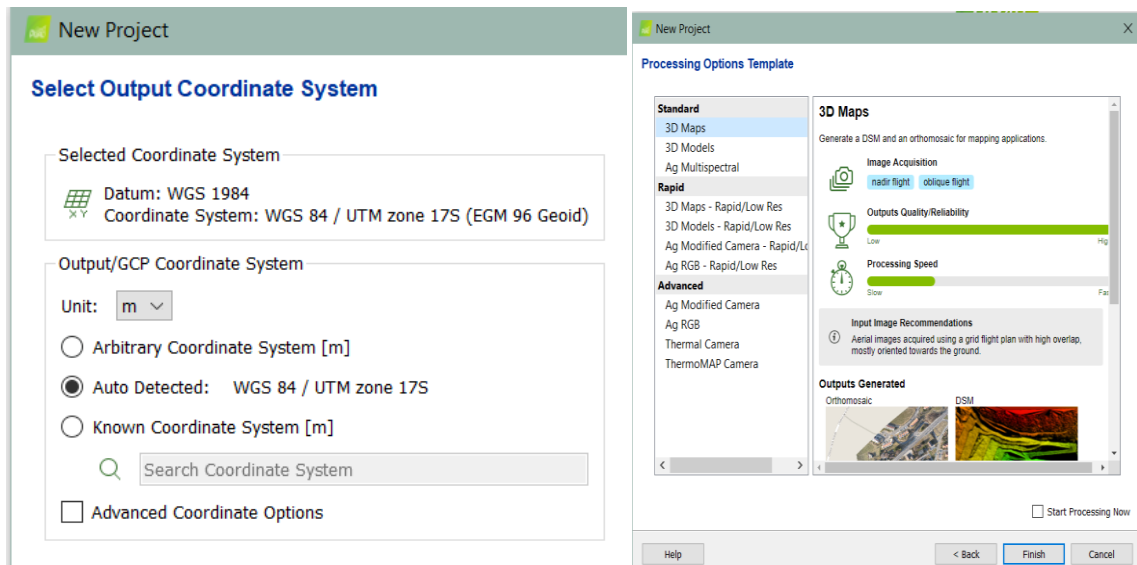
Se procede a dar nombre al proyecto, y posteriormente nos pedirá cargar las fotos tomadas con el dron, seleccionamos todas las fotografías y las cargamos.



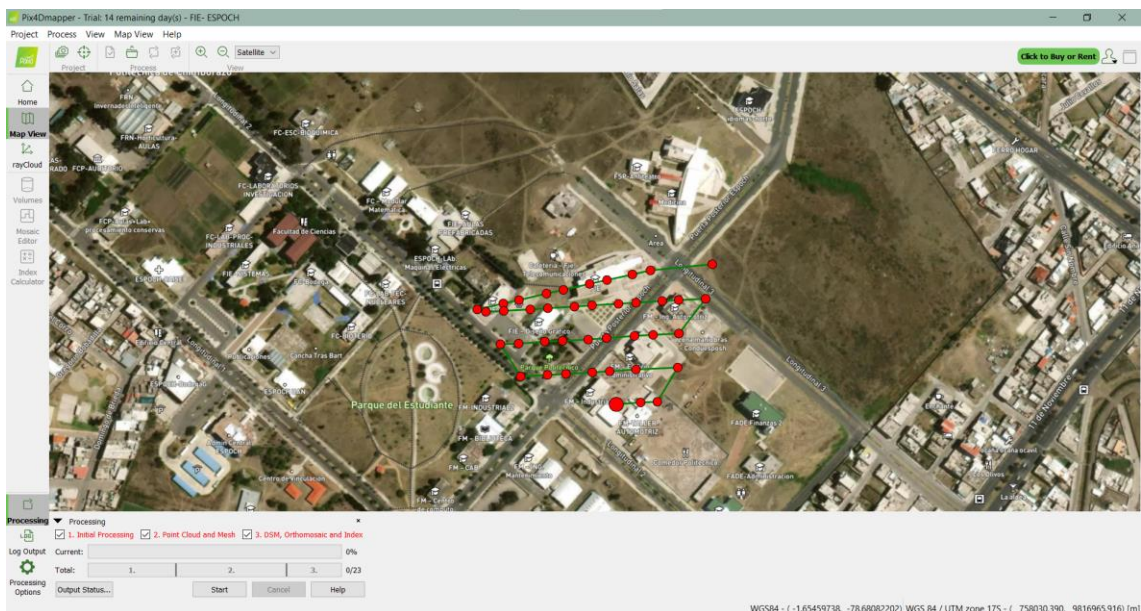
El software automáticamente reconoce: las coordenadas de cada fotografía, la precisión aproximada de cada una de las imágenes, el sistema de coordenadas junto con el geoido.



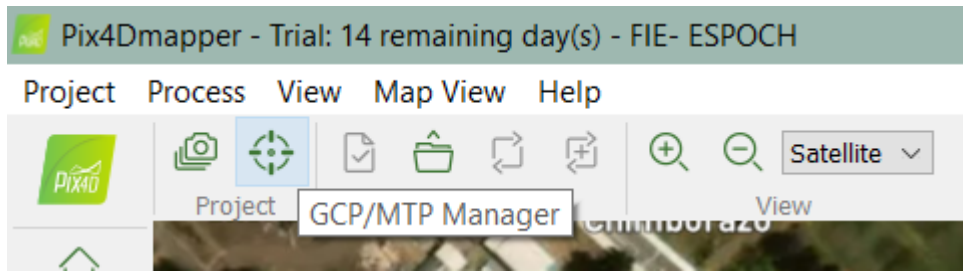
Reconoce el automáticamente el sistema de coordenadas WGS84 UTM 17S con el modelo de Geoide EGM96 ⇒ Seleccionamos en las opciones de procesamiento los mapas en 3D y damos click a finish.



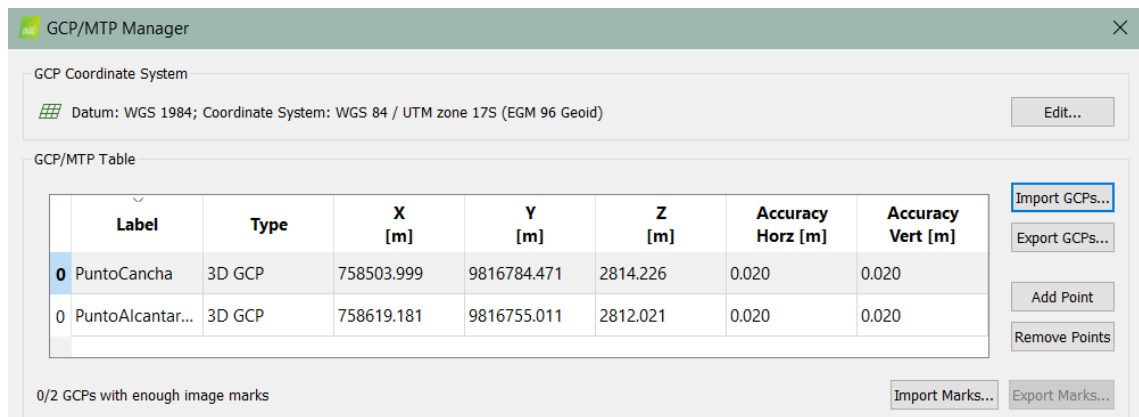
El programa reconocerá el plan del vuelo del dron, en base a las coordenadas de las fotografías tomadas.



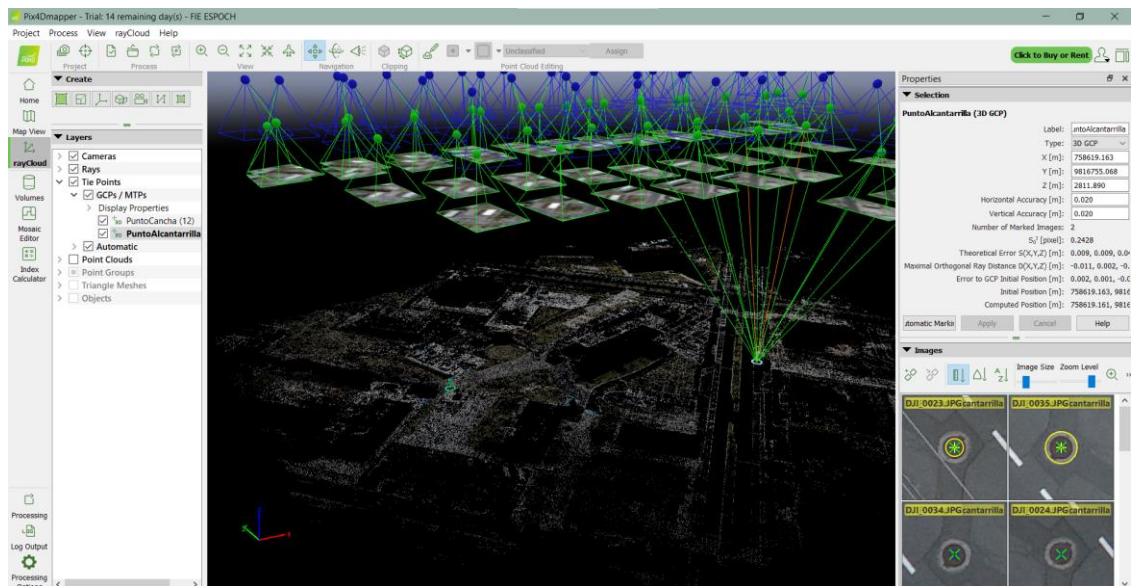
Con el fin de tener una precisión alta con respecto a la precisión obtenida en GPS del dron se agregan los GCP para que las fotografías se corrijan en base a las posiciones precisas de la tarjeta de bajo costo

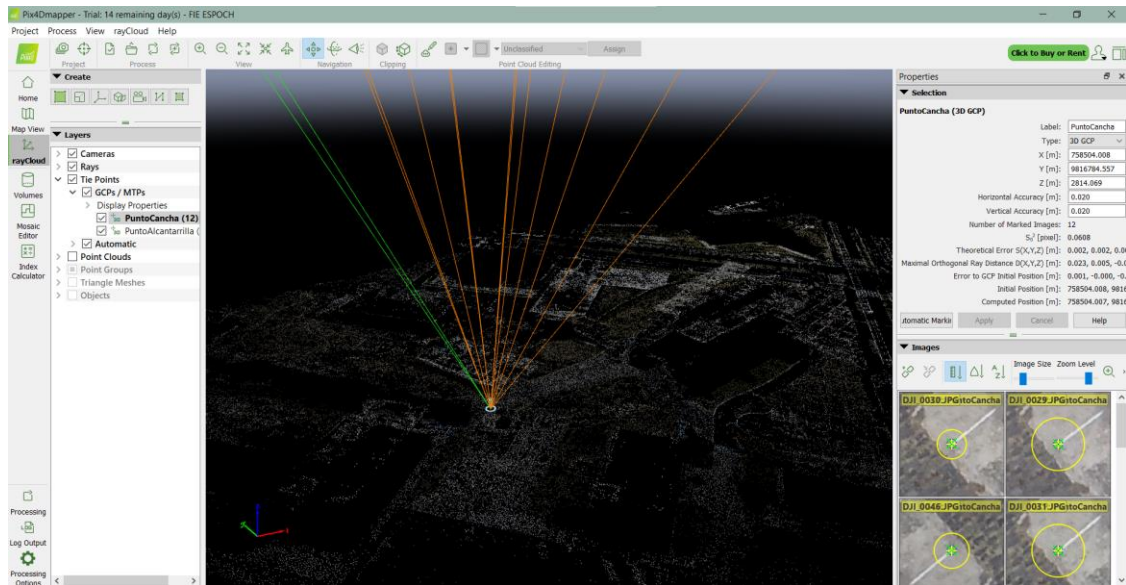


El programa nos pedirá que ingresemos las coordenadas en X, Y, Z de los puntos precisos, o a su vez ingresar los puntos de control mediante un archivo de Excel delimitado por comas.

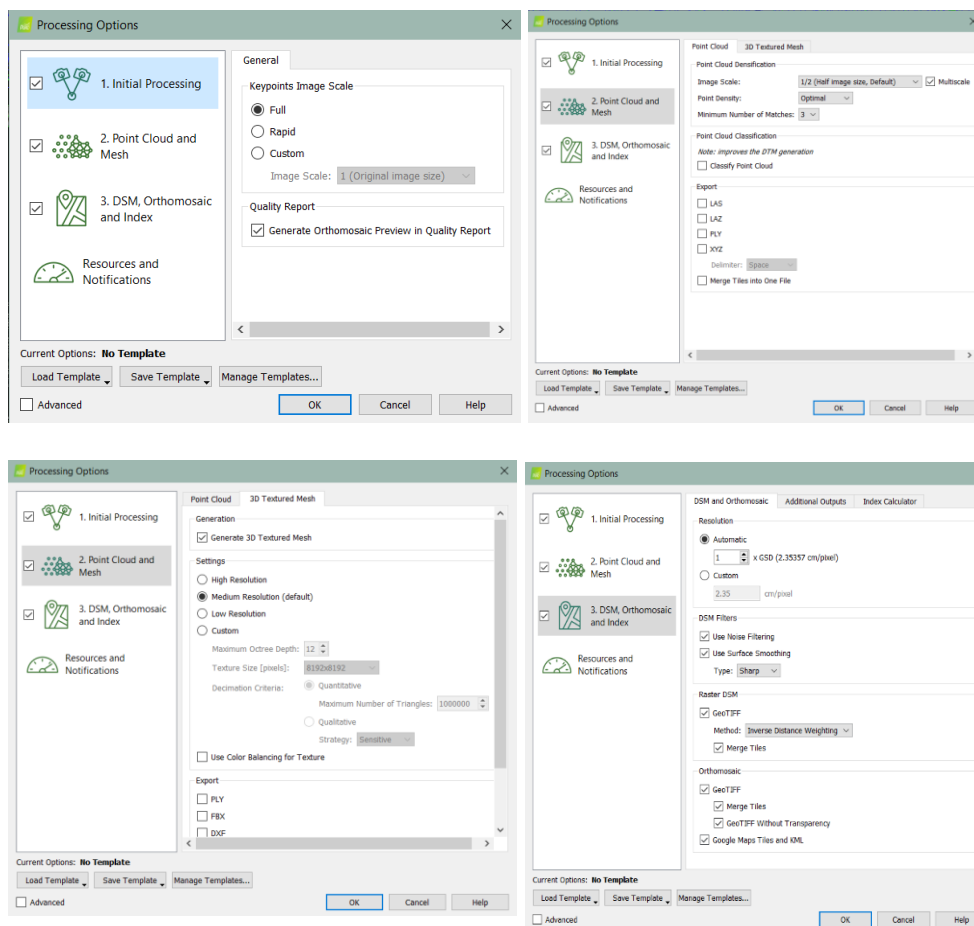


El siguiente paso es fundamental para corregir las fotografías, con los puntos precisos que se tomaron en la esquina de la cancha de la FIE y un punto en la alcantarilla de alado de la facultad, se ubica en cada fotografía el punto de control 1 y 2 para realizar el procesamiento





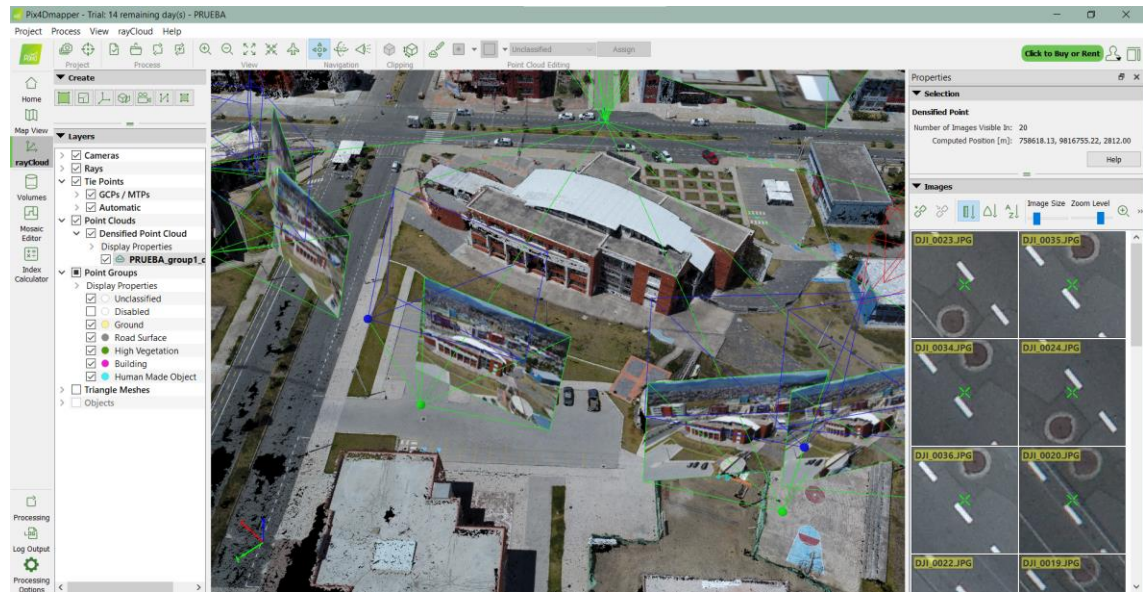
Posterior a ello, se procede a realizar las siguientes configuraciones cada una de las etapas del procesamiento:



Se finaliza las configuraciones y se da a Iniciar procesamiento.



Después de haber finalizado el procesamiento de los datos se obtiene un modelo en 3D con la nube densa de puntos de cada fotografía, y se generan los archivos TIFF que corresponde a la ortofotogrametría del terreno con un informe de calidad:



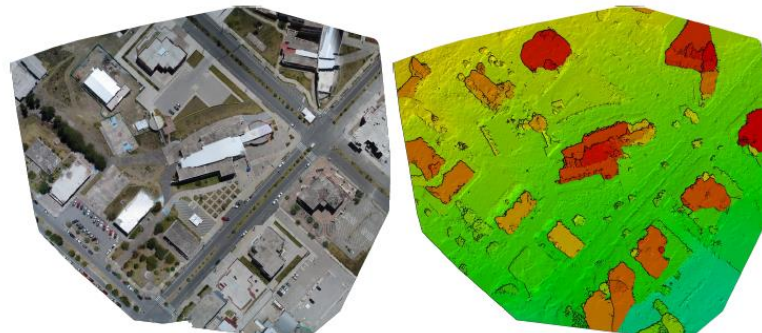
### Summary

Project	FIE ESPOCH
Processed	2021-07-31 16:03:09
Camera Model Name(s)	FC6310_8_8_5472x3648 (RGB)
Average Ground Sampling Distance (GSD)	2.35 cm / 0.93 in
Area Covered	0.053 km <sup>2</sup> / 5.3362 ha / 0.02 sq. mi. / 13.1928 acres
Time for Initial Processing (without report)	10m:40s

### Quality Check

Images	median of 40550 keypoints per image	✓
Dataset	40 out of 40 images calibrated (100%), all images enabled	✓
Camera Optimization	2.92% relative difference between initial and optimized internal camera parameters	✓
Matching	median of 18892.5 matches per calibrated image	✓
Georeferencing	yes, 2 GCPs (2 3D), mean RMS error = 0.007 m	✓

### Preview





**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE  
CHIMBORAZO**

**DIRECCIÓN DE BIBLIOTECAS Y  
RECURSOS DEL APRENDIZAJE**



**REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA**

**Fecha de entrega:** 29/09/2021

<b>INFORMACIÓN DEL AUTOR:</b>
<b>Nombres – Apellidos:</b> Santiago Marcelo Velasco Álvarez.
<b>INFORMACIÓN INSTITUCIONAL</b>
<b>Facultad:</b> Facultad de Informática y Electrónica.
<b>Carrera:</b> Ingeniería en Electrónica Telecomunicaciones y Redes
<b>Título a optar:</b> Ingeniero en Electrónica Telecomunicaciones y Redes
<b>f. Analista de Biblioteca responsable:</b>
Ing. Rafael Inty Salto Hidalgo.
 <small>El código QR corresponde a:</small> <b>RAFAEL INTY SALTO</b>
1845-DBRA-UTP-2021