

eman ta zabal zazu



universidad
del país vasco

euskal herriko
unibertsitatea

Facultad de Informatika
Informática Fakultatea

TITULACIÓN: Ingeniería Técnica en Informática de Sistemas

**Estudio de la Mejora de la Precisión en los
Receptores GPS**

Alumno/a: D./Dña. Iñigo De La Fuente Patiño

Director/a: D./Dña. Luis Gardeazabal Monton

Proyecto Fin de Carrera, julio de 2012

Palabras clave

GNSS , GPS, DGPS, Precisión, RTK, Sistema autónomo, NTRIP

Resumen

El presente proyecto analiza la tecnología utilizada por los sistemas GNSS, su funcionamiento y composición. Estudia varios sistemas GPS comerciales sus características y protocolos utilizados y diferentes programas, para el análisis, gestión y visualización de los datos asociados.

El proyecto se centra en estudiar posibles métodos que mejoran la precisión de posicionamiento obtenida por los receptores GPS y propone, después de las correspondientes pruebas, dos métodos basados en DGPS con los que se han obtenido precisiones de unos pocos centímetros.

ÍNDICE

1.- Introducción.....	1
2.- Análisis de la funcionalidad del proyecto.....	3
3.-Documento de objetivos del proyecto (DOP).....	5
3.1.-Descripción del proyecto.....	5
3.1.1.-Problemas a resolver.....	5
3.1.2.-Elección de la tecnología.....	5
3.1.3.- Descripción de la tecnología.....	5
3.2.-Objetivos del proyecto.....	6
3.3.-Actividades de cada fase.....	6
3.4.-Diagrama de GANTT.....	7
4.-Sistema global de navegación por satélite (GNSS).....	9
4.1.-Introducción.....	9
4.2.-Sistema de posicionamiento Global (GPS).....	9
4.2.1.-Definición.....	9
4.2.2.-Funcionamiento del sistema.....	11
4.2.3.-Fuentes de error.....	13
5.-Sistema de coordenadas.....	15
5.1.-Coordenadas geográficas.....	15
5.2.-Coordenadas UTM.....	16
5.3.-Conversiones entre coordenadas.....	16
5.4.-Sistema de coordenadas WSG84.....	16
6.-Dispositivos GPS.....	19
6.1.-Características y Especificaciones técnicas.....	19
6.2.- Protocolos utilizados.....	20
6.2.1.-Protocolo NMEA.....	20
6.2.2.-Protocolo UBX.....	22
6.3.-Configuración del módulo LEA 6S.....	23
7.-Análisis de los datos del GPS.....	25
7.1.-Herramienta para el análisis de los datos (U-CENTER).....	25
7.1.1.- Características más importantes de u-center.....	25
8.-Google Earth.....	27
8.1.-Definición.....	27
8.2.-Error de Google Earth.....	27
9.-Desarrollo de las primeras pruebas.....	29
9.1.-Preparaciones previas.....	29
9.2.-Desarrollo de la primera prueba.....	30
9.3.-Desarrollo de la segunda prueba.....	31
9.4.-Conclusiones.....	35
10.-Sistema de correcciones diferenciales.....	37
10.1.-Sistemas SBAS: WAAS, EGNOS, MSAS.....	37
10.2.-Sistemas DGPS con estación base.....	38
10.3.-Sistemas RTK (REAL TIME KINEMATIK).....	39
10.4.-Formato de las correcciones.....	41

10.4.1.-Protocolo RTCM SC104.....	41
10.5.-NTRIP (NETWORK TRANSPORT OF RTCM DATA OVER IP).....	43
10.6.-Líneas de acción.....	45
11.-Sistemas propuestos y componentes.....	47
11.1.-RTKLIB.....	47
11.2.-EVK 6T.....	48
11.2.1.-LEA 6T.....	49
12.-Sistema RTK.....	51
12.1.-Configuración del sistema.....	51
12.2.-Prueba del sistema RTK.....	54
13.-Sistema autónomo de correcciones.....	61
13.1.-Configuración del sistema.....	61
13.2.-Prueba del sistema autónomo.....	63
14.-Conclusiones finales.....	71
15.-Problemas encontrados.....	73
16.-Aplicaciones futuras.....	75
17.-Bibliografía.....	77
Anexos	79

1.-Introducción

En la actualidad los Sistemas GPS están presentes en nuestras vidas, ya sea en los vehículos o en los móviles. Aunque generalmente las precisiones que se obtienen con estos sistemas son bajas y las posiciones obtenidas difieren de la posición real en la que verdaderamente nos encontramos. Si queremos obtener precisiones altas debemos invertir un cierto dinero en sistemas GPS más complejos.

En este proyecto se pretende mejorar las precisiones en las medidas utilizando bases estacionarias sin necesidad de invertir excesivo dinero en un GPS de mejor calidad. Utilizando los denominados sistemas DGPS.

Un sistema DGPS es un sistema que proporciona a los receptores de GPS correcciones sobre los parámetros que éste va a utilizar para calcular su posición. El fundamento radica en el hecho de que los errores producidos por el sistema GPS afectan por igual (o de forma muy similar) a los receptores situados próximos entre sí. Por lo cual, si calculamos el error en un punto seremos capaces de corregir las medidas de otros GPS próximos a este.

2.-Análisis de antecedentes

En la actualidad existen infinidad de fabricantes de sistemas GPS en el mercado. Aunque muchos tienen la posibilidad de usar el modo diferencial, la realidad es que no se utiliza. Los sistemas que utilizan correcciones diferenciales, tienen integrados métodos diferentes para recibir las correcciones, aunque el más habitual será que los recojan de ciertos satélites, aunque este método no suponga mucha mejora en la precisión.

Durante los últimos años, en la facultad de informática de San Sebastián, se han intentado mejorar las precisiones de los módulos GPS creando sistemas propios, aunque la mayoría de estos sistemas a veces mejoran el error y otras lo hacen más grande. Por ello, en este proyecto buscaremos una técnica con la que aumentar la precisión de forma segura y estable.

3.-Documento de objetivos del proyecto

3.1-Descripción del proyecto

3.1.1-Problemas a resolver

En la actualidad existen varias técnicas para aumentar la precisión de los GPS. En el presente proyecto se explicarán las principales técnicas utilizadas para este fin. Además de utilizar alguna que se adapte a nuestro entorno.

El objetivo de este proyecto es analizar el comportamiento de los GPS y hacer un estudio sobre su precisión para después buscar diferentes técnicas capaces de aumentar la precisión de los GPS lo máximo posible y analizar los datos resultantes de las pruebas. Además se mostrarán las maneras más fáciles de utilizar las técnicas.

Principalmente se utilizarán 2 técnicas. Una utilizando una estación base como referencia para la corrección del error y la otra utilizando nuestra propia estación base. En la primera existe la dependencia de una estación base cercana que nos envíe las correcciones, mientras que en la segunda podríamos decir que se basa en la creación de un sistema de correcciones GPS autónomo.

3.1.2- Elección de la tecnología

Para el desarrollo de este proyecto, hemos utilizado varios receptores GPS y un ordenador para la captura y análisis de los datos. También necesitaremos utilizar los datos provenientes de una antena pública situada en las proximidades, que nos proporcionará, a través de una conexión a un servidor, datos para realizar correcciones. En el proyecto se utilizarán varios programas para el análisis, captura y presentación de los datos, así como algunos para el diseño de sistemas de corrección.

3.1.3-Descripción de la tecnología

A continuación se presenta una breve introducción de las tecnologías que utilizaremos.

RECEPTORES GPS

Un dispositivo GPS proporciona la localización de un punto sobre la superficie terrestre. Para ello, utilizan una constelación de satélites y una serie de bases terrestres para que mediante unas técnicas, que se explicarán más detalladamente a lo largo del proyecto, conseguir determinar la posición de un punto con una cierta precisión. De los múltiples fabricantes de módulos GPS existentes, nosotros utilizaremos solo módulos GPS de la marca u-blox. Existen muchas diferencias económicas entre los diferentes módulos GPS, según la precisión deseada, para precisiones de metros los precios rondan los 300 euros, mientras que para precisiones de milímetros los precios superan los 18000 euros.

SOFTWARE

En este proyecto utilizaremos diferentes programas, tanto para el análisis de los datos, como para el diseño y corrección de sistemas. Los primeros son programas que presentan los datos de los GPS con gráficas y pantallas de información y proporcionan una ayuda a la hora de visualizarlos. Los segundos son programas que aplican algoritmos de corrección y permiten aumentar la precisión de los dispositivos GPS con los que vamos a trabajar.

3.2-Objetivos del proyecto

Como ya hemos descrito, el principal objetivo del proyecto es analizar los datos de los dispositivos GPS para determinar como de precisos son estos y utilizar una técnica, que no suponga un desembolso grande de capital, que mejore las precisiones de éstos y conseguir así un sistema de posicionamiento más preciso.

Para ello, primero hemos estudiado las diferentes técnicas de corrección que se utilizan en la actualidad y determinar cuál es la más favorable para nuestro caso. Lo más interesante para nosotros es crear un sistema de correcciones propio, que no dependa de ningún elemento externo y que a su vez proporcione una precisión alta.

3.3-Actividades de cada fase

El presente proyecto se ha estructurado de 5 fases diferentes.

FASE 1: Recopilación de información y puesta al día en la tecnología.

El principal objetivo de esta fase fue entender que son los sistemas GPS, cual es la manera que tienen los dispositivos GPS para determinar la posición de un objeto y el estudio de todos los aspectos que se necesitan para comprender su funcionamiento. También se estudiaron a fondo las características de los dispositivos GPS que íbamos a utilizar en nuestro proyecto y su utilización.

FASE 2: Pruebas con los dispositivos y análisis de los resultados.

En esta fase se realizaron pruebas de los dispositivos GPS a utilizar. Estas pruebas tenían como objetivo determinar la precisión. Para esta fase se utilizaron programas para la visualización y el análisis de los datos. También se estudió la configuración óptima de los dispositivos para el uso que nosotros íbamos a darles.

FASE 3: Búsqueda de técnicas para mejorar la precisión

Una vez probados los GPS y entendido su funcionamiento, esta fase sirvió para la búsqueda y presentación de las técnicas que existen para mejorar la precisión en sistemas GPS. Durante esta fase se decidió los métodos que se iban a seguir para aplicar las técnicas y se busco la manera de llevarlas a cabo.

FASE 4: Desarrollo de los sistemas propuestos.

El tiempo invertido en esta fase se dedicó a creación de los 2 sistemas que vamos a presentar. También se probó su correcto funcionamiento.

FASE 5: Pruebas de los sistemas.

En esta fase se realizaron múltiples pruebas con los 2 sistemas. Los datos fueron analizados minuciosamente para determinar las mejoras en la precisión. Después se realizó un estudio sobre la viabilidad de utilizar estos sistemas en nuestro entorno.

FASE 6: Redacción de la documentación.

Esta última fase se utilizó para la redacción del presente documento.

3.4.-Diagrama de GANTT

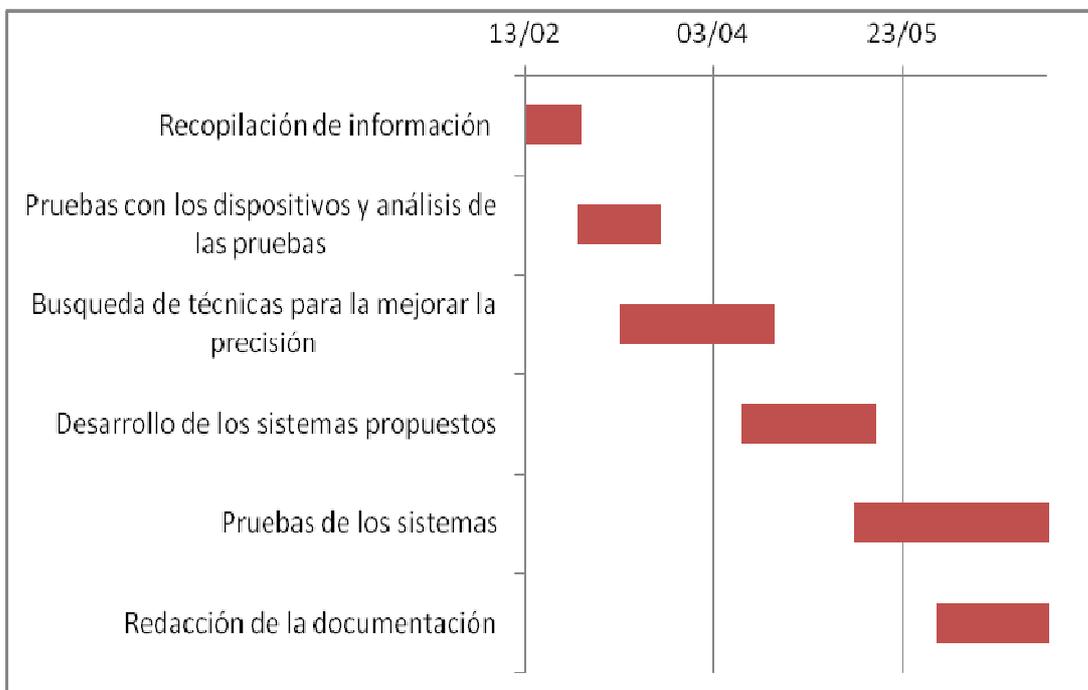


DIAGRAMA DE GANTT (Año 2012)

4.- SISTEMA GLOBAL DE NAVEGACIÓN POR SATÉLITE (GNSS)

4.1-Introducción

GNSS (*Global Navigation Satellite System*), se refiere al conjunto de tecnologías de sistemas de navegación por satélite que proveen de posicionamiento geoespacial con cobertura global de manera autónoma.

Los orígenes del GNSS se sitúan en los años 70 con el desarrollo del sistema militar estadounidense GPS (*Global Positioning System*), destinado al guiado de misiles, localización de objetivos, tropas etc. A través de una red de satélites, un receptor de GNSS es capaz de determinar su posición en cuatro dimensiones (longitud, latitud, altitud, y tiempo), lo que ha dado lugar a multitud de aplicaciones civiles y militares.

Hasta hace poco, el único sistema GNSS era el GPS, en la actualidad distintos países están desarrollando sus propios sistemas a través de acuerdos internacionales como por ejemplo los sistemas GLONASS (Rusia) o GALILEO (Europa).

Los sistemas de posicionamiento global por satélite permiten una gran cantidad de aplicaciones siendo la más destacada la **NAVEGACIÓN**.

4.2-Sistema de posicionamiento global (GPS)

4.2.1-Definición

El Sistema de Posicionamiento Global (GPS) es un sistema de localización, diseñado por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos con fines militares para proporcionar estimaciones precisas de posición, velocidad y tiempo. Este sistema está operativo desde 1995 y permite determinar en todo el mundo la posición de un objeto.

Está compuesto por una red de 24 satélites que se encuentran aproximadamente a una altitud de 20.200 km e sobre la superficie terrestre y cuyas orbitas abarcan toda la superficie terrestre. Esta red de satélites se utiliza junto con una red de ordenadores y estaciones para determinar por triangulación, la altitud, longitud y latitud de cualquier objeto en la superficie terrestre.

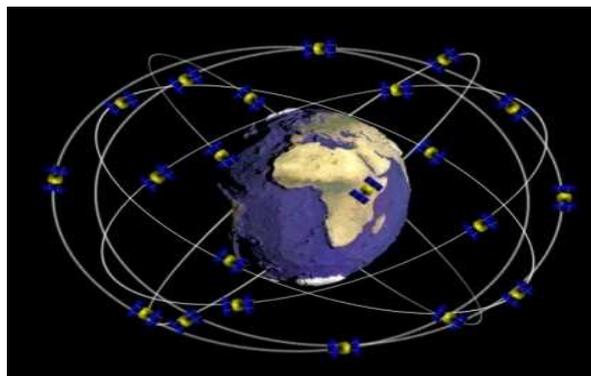


Imagen 1: Muestra la red de los 24 satélites con sus orbitas

Los Satélites GPS transmiten dos señales de radio de baja potencia, que se designan como L1 y L2. Los receptores GPS baja calidad, como los que se manejan en el proyecto, utilizan solamente la señal "L1" cuya frecuencia es de 1575.42 MHz en la banda de UHF. La otra onda se denomina "L2", con una frecuencia de 1277.60 MHz, es mucho más precisa que la anterior, se usa sólo en receptores GPS de mucha precisión. Las señales GPS son capaces de atravesar nubes, cristal y plástico pero no son capaces de atravesar la mayoría de objetos sólidos como son edificios y montañas. La señal GPS tiene tres diferentes bits de información, un código pseudoaleatorio, un dato efemérico y un dato de almanaque:

-El código pseudoaleatorio, es simplemente un número que identifica el satélite GPS que está transmitiendo la información. Se puede ver este número en los mensajes NMEA (véase capítulo 6) que nos envía el receptor, puesto que este identifica que satélite GPS está recibiendo.

-El dato de efeméride es constantemente transmitido por cada satélite GPS, contiene información importante sobre el estado del satélite GPS. Además manda el día y la hora. Está parte de la señal es esencial para la determinación de la posición GPS

-El dato de almanaque le dice al receptor GPS donde debería estar el satélite GPS en cada momento a lo largo del día. Cada satélite GPS transmite el dato de almanaque mostrando la información orbital para ese satélite y para cualquier otro satélite del sistema GPS

Para finalizar, diremos que el sistema GPS se descompone en tres segmentos básicos:

Segmento espacial: formado por la constelación de los 24 satélites.

Segmento de control: consta de cinco estaciones monitoras encargadas de mantener en órbita los satélites y supervisar su correcto funcionamiento, tres antenas terrestres que envían a los satélites las señales que deben transmitir y una estación de supervisión de todas las operaciones.

Segmento usuario: formado por las antenas y los receptores pasivos situados en tierra. Los receptores, a partir de los mensajes que provienen de cada satélite visible, calculan distancias y proporcionan una estimación de posición y tiempo.

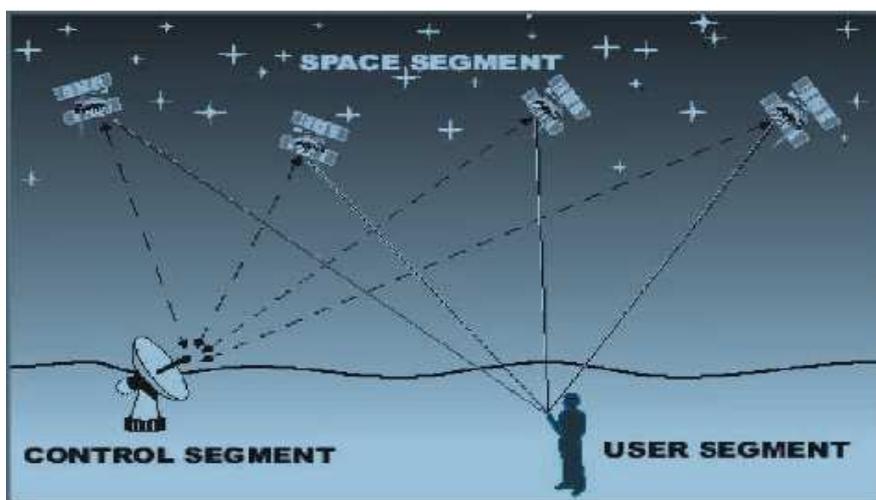


Imagen 2: Muestra un dibujo con cada uno de los segmentos.

4.2.2-Funcionamiento del sistema

El sistema GPS tiene por objetivo calcular la posición de un punto cualquiera en un espacio de coordenadas (x, y, z), esto es su posición en 3d.

La distancia entre el usuario (receptor GPS) y un satélite se mide multiplicando el tiempo de vuelo de la señal emitida desde el satélite por su velocidad de propagación (300.000 km/h). Para medir el tiempo de vuelo de la señal de radio es necesario que los relojes de los satélites y de los receptores estén sincronizados, pues deben generar simultáneamente el mismo código a la misma hora. Este proceso de sincronización tiene como objetivo hallar la distancia del receptor al satélite en cuestión y se explica más detalladamente en el capítulo 10.

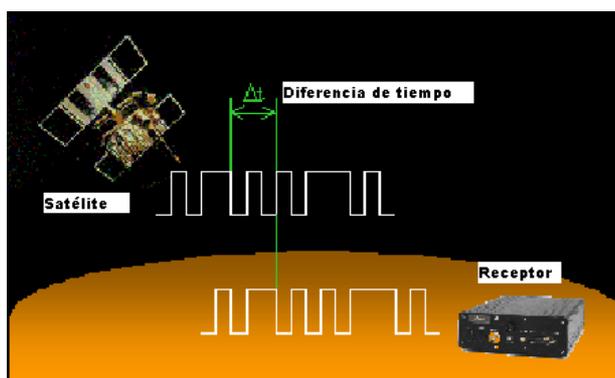


Imagen 3: Muestra la sincronización entre los receptores y los satélites

Ahora bien, mientras los relojes de los satélites son muy precisos, los de los receptores generalmente son osciladores de cuarzo de bajo coste y por tanto más imprecisos. Las distancias con errores debidos al sincronismo se denominan pseudodistancias. **Las pseudodistancias son la principal fuente de imprecisión** de los sistemas GPS pero además hay más factores que los hacen imprecisos.

Supongamos que obtenemos la distancia a un primer satélite. Sabiendo la distancia que tenemos hasta un satélite determinado, no podemos, por lo tanto, estar en cualquier punto del universo sino que esto limita nuestra posición a la superficie de una esfera que tiene como centro dicho satélite y cuyo radio es el de la pseudodistancia.

Paso 1: Triangulación desde los Satélites

Estamos en algún punto de esta esfera

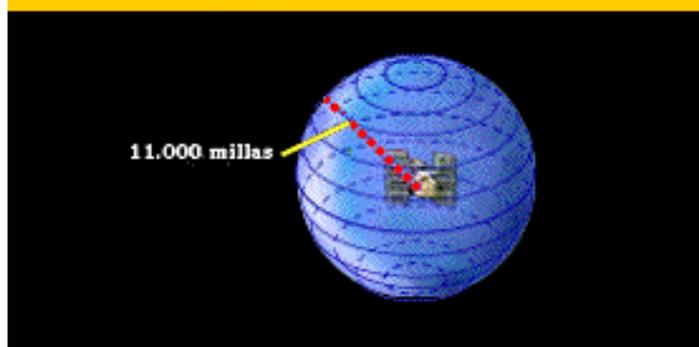


Imagen 4: Muestra la adquisición con 1 satélites

A continuación, medimos nuestra distancia a un segundo satélite, con ello sabemos que además de estar en algún punto de la primera esfera, correspondiente al primer satélite, también estamos sobre la esfera creada por el segundo satélite. En otras palabras, estamos en algún lugar de la circunferencia que resulta de la intersección de las dos esferas.

Paso 1: Triangulación desde los Satélites

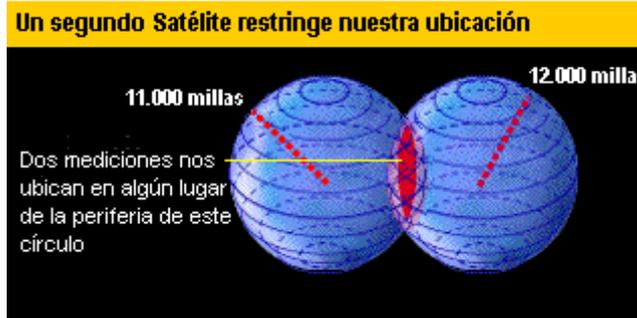


Imagen 5: Muestra la adquisición con 2 satélites

Ahora medimos nuestra distancia a un tercer satélite, con ello limitamos nuestra posición a los dos puntos en los cuales la esfera del tercer satélite corta la circunferencia que resulta de la intersección de las dos primeras esferas.

Paso 1: Triangulación desde los Satélites



Imagen 6: Muestra la adquisición con 3 satélites

Por lo tanto, midiendo nuestra distancia a tres satélites limitamos nuestro posicionamiento a solo dos puntos posibles.

Para decidir cuál de ellos es nuestra posición verdadera, efectuaremos una nueva medición a un cuarto satélite. Además esta cuarta medición se utiliza para determinar la altura y de ese modo determinar la posición 3d en un espacio de coordenadas (x,y,z). Pero normalmente uno de los dos puntos posibles resulta ser muy improbable por su ubicación demasiado lejana de la superficie terrestre y puede ser descartado.

4.2.3-Fuentes de error

A continuación se describen las fuentes de error que, en la actualidad, afectan de forma significativa a las medidas realizadas con el GPS:

- **Perturbación ionosférica.** La ionosfera está formada por una capa de partículas cargadas eléctricamente. Estas partículas modifican las velocidades de las ondas que las atraviesen. Como consecuencia de esto, la velocidad no es una constante y da lugar a errores en el cálculo de la posición.
- **Fenómenos meteorológicos.** En la troposfera, cuna de los fenómenos meteorológicos, el vapor de agua afecta a las señales electromagnéticas disminuyendo su velocidad. Los errores generados son similares en magnitud a los causados por la ionosfera, pero su corrección es prácticamente imposible.
- **Imprecisión en los relojes.** Los relojes atómicos de los satélites presentan ligeras desviaciones a pesar de su cuidadoso ajuste y control; lo mismo sucede con los relojes de los receptores. Esta es la principal fuente de error de los receptores GPS, aunque existen múltiples maneras para aplicar correcciones y conseguir disminuir este error.
- **Interferencias eléctricas imprevistas.** Las interferencias eléctricas pueden ocasionar correlaciones erróneas de los códigos pseudo-aleatorios o un redondeo inadecuado en el cálculo de una órbita. Si el error es grande resulta fácil detectarlo, pero no sucede lo mismo cuando las desviaciones son pequeñas y causan errores de hasta un metro.
- **Error multisenda.** Las señales transmitidas desde los satélites pueden sufrir reflexiones antes de alcanzar el receptor. Los receptores modernos emplean técnicas avanzadas de proceso de señal y antenas de diseño especial para minimizar este error, que resulta muy difícil de modelar al ser dependiente del entorno donde se ubique la antena GPS. Por eso para tener buena precisión es muy importante no tener elementos en el entorno que puedan privar al receptor GPS de una buena visión de la constelación.
- **Interferencia "Disponibilidad Selectiva (S/A)".** Es una fuente de error introducida deliberadamente por el estamento militar con el objetivo de impedir que el sistema fuese utilizado con fines no pacíficos por enemigos. El Departamento de Defensa Estadounidense, encargado de su mantenimiento y precisión, optó por degradar intencionadamente la señal que emiten los satélites de la constelación GPS, afectando a usuarios civiles que accedieran a la tecnología de manera comercial a partir de ese momento. Aunque los EE.UU. reiteraron en el 2005 que la señal no sería degradada de nuevo, el error nominal en el cálculo de la posición de los receptores GPS, que como se ha señalado puede aumentar hasta los 100 metros, puede darse de nuevo cuando el Departamento de Defensa de este país lo estime oportuno, volviendo a activar la señal SA.
- **Topología receptor-satélites.** Los receptores deben considerar la geometría receptor-satélites visibles utilizada en el cálculo de distancias, ya que una determinada configuración espacial puede aumentar o disminuir la precisión de las medidas. Esta geometría receptor-satélites se llama DOP y se explicara en el anexo 20. Los receptores más avanzados utilizan un

factor multiplicativo que modifica el error de medición de la distancia (*dilución de la precisión geométrica o GDOP*)

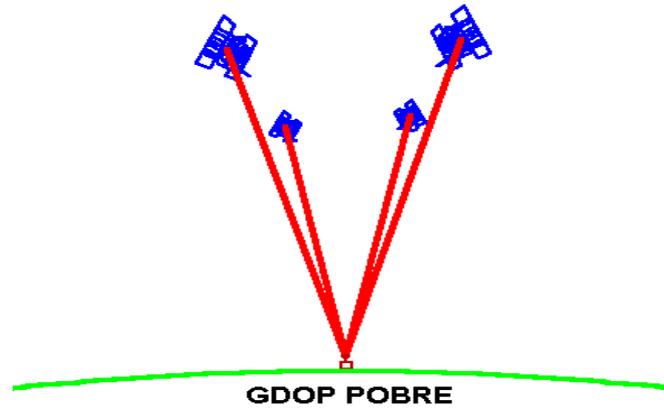


Imagen 7: Muestra una mala geometría para la adquisición de las señales de los satélites

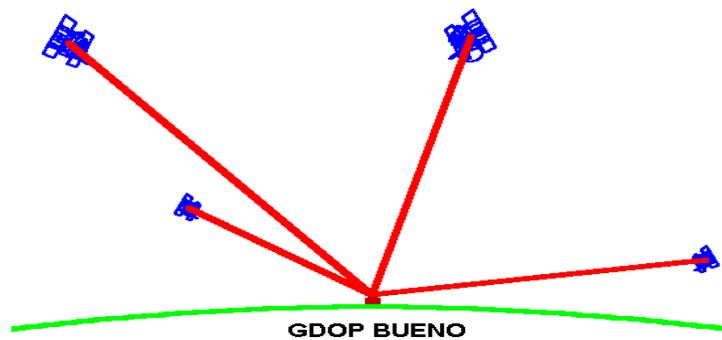


Imagen 8: Muestra una buena geometría para la adquisición de las señales de los satélites

Las fuentes de error pueden agruparse según que dependan o no de la geometría de los satélites. El error debido a la Disponibilidad Selectiva y los derivados de la imprecisión de los relojes son independientes de la geometría de los satélites, mientras que los retrasos ionosféricos, troposféricos y los errores multisenda dependen fuertemente de la topología. Los errores procedentes de las distintas fuentes se acumulan en un valor de incertidumbre que va asociado a cada medida de posición GPS.

5.-Sistema de coordenadas

Los sistemas de coordenadas determinan inequívocamente un punto sobre la superficie del planeta. Existen diferentes sistemas de coordenadas. Generalmente en el análisis de datos utilizaremos las coordenadas geográficas ya que son las más usadas por los dispositivos GPS.

5.1-Coordenadas geográficas

El sistema de coordenadas geográficas se utiliza para identificar la posición de cualquier punto sobre cualquier superficie esférica. Utiliza dos coordenadas angulares del sistema de coordenadas esféricas que está alineado con el eje de rotación de la tierra. Estas coordenadas reciben el nombre de latitud y longitud.

Latitud: mide el ángulo entre cualquier punto y el ecuador (de -90° a 90°). Las líneas de latitud se llaman paralelos. En algunos formatos el signo nos indica si esta al norte (+) o al sur (-) pero en otros además del ángulo hace falta indicar si se encuentra al norte o al sur del ecuador con una letra, poniendo después del ángulo una N si esta al norte del ecuador y una S si se encuentra al sur. Un grado de latitud equivale a 111,319 kilómetros.

Longitud: mide el ángulo entre cualquier punto y el Meridiano de Greenwich (de -180° a 180°). Las líneas de longitud se llaman meridianos. En algunos formatos, el signo nos indica si esta al este (+) o al oeste (-) pero en otros formatos además del ángulo hace falta indicar si se encuentra al este o al oeste del Meridiano de Greenwich con una letra, poniendo después del ángulo una E si esta al este y una O si se encuentra al oeste. Un grado de longitud equivale a 111,131 kilómetros.

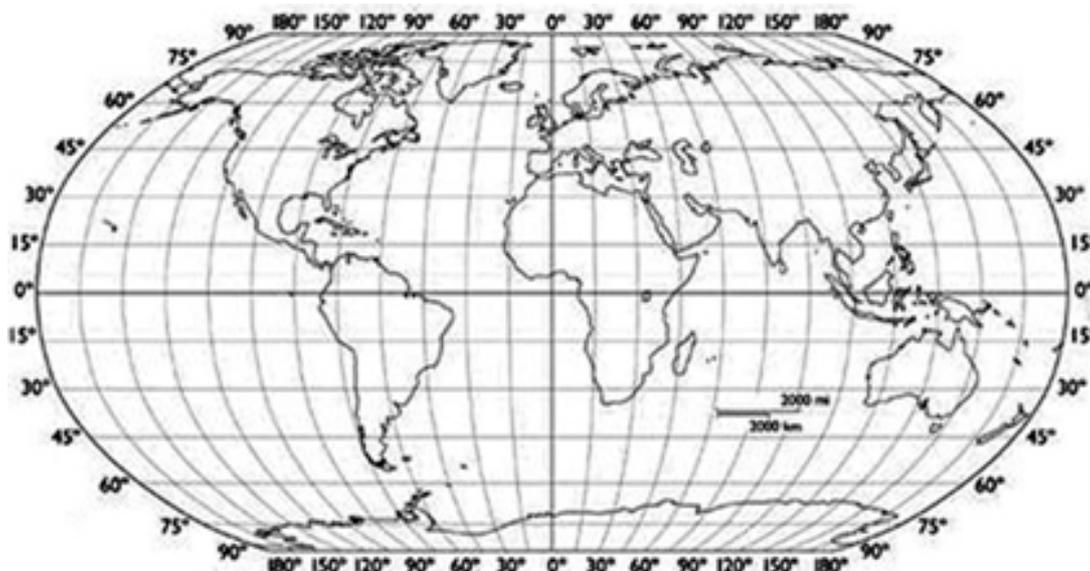


Imagen 9: Muestra un mapa con el sistema de coordenadas geográficas.
La línea horizontal ecuador línea vertical meridiano de Greenwich.

Para determinar un punto sobre la superficie de la tierra en 2d, hace falta dar los dos valores: latitud y longitud. Tanto la latitud como la longitud pueden ser expresadas en diferentes formatos: grados decimales, grados y minutos y por último en grados, minutos y segundos. Los dispositivos GPS utilizan generalmente el formato de grados y minutos. La desventaja es que los mapas no suelen utilizar este formato y es más común que usen el de grados decimales.

En el formato de grados y minutos los 2 primeros dígitos corresponden a los grados los 2 siguientes a los minutos y el resto las fracciones de minuto en forma decimal. En el formato grados, minutos y segundos los grados se indican con el símbolo °, los minutos con el símbolo ‘ y los segundos con ‘‘.

EJEMPLO DE LOS FORMATOS:

GRADOS DECIMALES: latitud=43,30740483 longitud= -2.0109725

GRADOS:MINUTOS : latitud=4318,44429 longitud=-200.65891

GRADOS:MINUTOS:SEGUNDOS : latitud=43° 18’ 26.78’’ longitud=-2° 0’ 39,87’’

5.2-Coordenadas UTM (*Universal Transverse Mercato*)

Aunque las coordenadas UTM no las vamos a utilizar en el proyecto, aquí se da una breve explicación sobre ellas.

Las coordenadas en el sistema UTM se expresan en metros únicamente al nivel del mar. La tierra queda dividida en 60 zonas denominadas HUSOS, así se limita la posición. En concreto se limita a un huso de 6 grados de longitud. Los HUSOS se numeran correlativamente del 1 al 60.

5.3-Conversiones entre coordenadas

El siguiente enlace <http://www.asturnatura.com/sinflac/calculadora-conversiones-coordenadas.php> contiene una calculadora para la conversión de coordenadas. Se pueden convertir tanto de coordenadas geográficas a UTM como entre los diferentes formatos de coordenadas geográficas.

5.4-Sistema de coordenadas WGS84 (*World Geodetic System 84*)

El WGS84, es un sistema de coordenadas cartográficas mundial que permite localizar cualquier punto de la Tierra por medio de tres unidades dadas: latitud, longitud y altura. Es en el que se basa el Sistema de Posicionamiento Global (GPS).

Consiste en un patrón matemático de tres dimensiones (3d) que representa la tierra por medio de un elipsoide, un cuerpo geométrico más regular que la Tierra, que se denomina WGS 84.

La latitud y la longitud se expresan en grados, minutos y segundos, la altura se expresa en metros.

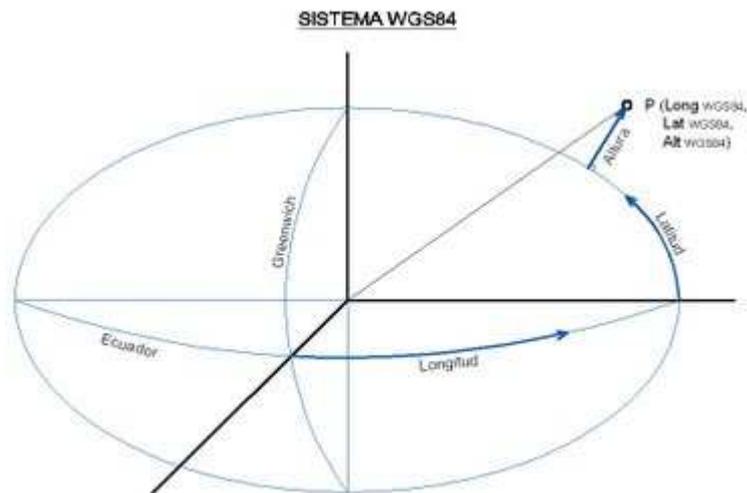


Imagen 10: Muestra un ejemplo del sistema WSG84

6.-Dispositivos GPS

6.1- Características y especificaciones técnicas

En las siguientes líneas, se pretende describir las principales características del dispositivo GPS con el que se han realizado las primeras pruebas de toma de medidas.

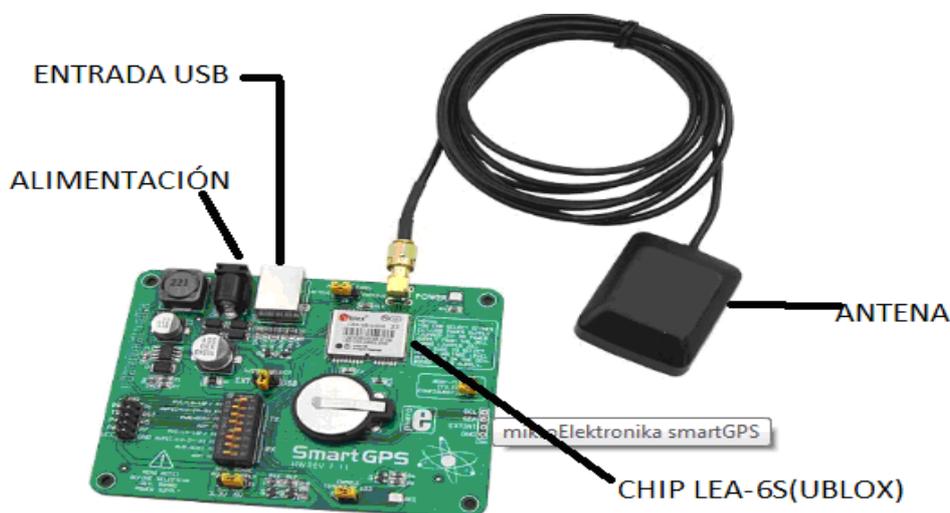


Imagen 11: Muestra el dispositivo SmartGPS LEA 6S

SmartGPS es una placa de desarrollo para chips u-blox. Viene con antena GPS activa. Lleva el modelo LEA 6S. Este dispositivo tiene un precio económico y es capaz de procesar solo las señales L1 de los satélites GPS y GALILEO, además puede adquirir simultáneamente la señal de hasta 16 satélites, mientras realiza la búsqueda de otros nuevos.



Imagen 12: Muestra el chip de u-blox.

Este módulo dispone de un puerto USB para la transmisión rápida de datos y una mayor flexibilidad. Lleva una memoria EPROM FLASH que proporciona capacidad para almacenar configuraciones específicas y permite futuras actualizaciones. Los LEA 6S no están diseñados para la aviación y no deben ser utilizados en productos que podrían, de alguna manera, tener un impacto negativo en la seguridad o la salud del usuario o que pudiera causar daño a los bienes ya que la precisión de estos no es muy alta. Según el manual, este dispositivo se pueden alcanzar precisiones de ± 2 metros.

Highlights

- Time To First Fix (TTFF): < 1 sec
- Acquisition and tracking sensitivity: -160dBm
- Receives GPS and GALILEO signals
- A-GPS: Supports u-blox AssistNow® Online and Offline
- High immunity to jamming
- UART serial port, USB, DDC (I2C® compatible)

Features

	50 channel engine	KickStart	SuperSense	Thickness	Voltage Range	FW Update / FLASH	UART	USB	SPI	DDC	AssistNow Online	AssistNow Offline	Timing	Raw Data	CFG Pin	DR	Reset Input	Antenna Supply	Antenna Supervisor
LEA-5H	✓	✓	✓	3.0mm	2.7-3.6V	✓	1	1		✓	✓	✓					✓	✓	✓
LEA-5S	✓	✓	✓	3.0mm	2.7-3.6V		1	1		✓	✓	✓			1		✓	✓	✓
LEA-5A	✓		✓	3.0mm	2.7-3.6V		1	1		✓	✓	✓			1		✓	✓	✓

Table 1: Features of the LEA-5 Series of Modules

Imagen 13: Muestra las características más importantes del módulo

6.2-Protocolos utilizados

Este modulo utiliza los protocolos:

- NMEA: Utilizado para mostrar las soluciones.
- UBX: Utilizado para mostrar información sobre el dispositivo GPS y hacer cambios en la configuración del dispositivo.
- RTCM: Utilizado para correcciones (se explicará en el capítulo 10).

6.2.1-Protocolo NMEA

Este protocolo se utilizó por primera vez en marzo de 1983 y es usado para la comunicación entre dispositivos de uso marino para transmitir datos. Fue creado por *National Marine Electronics Association* (NMEA), que es una asociación sin ánimo de lucro de fabricantes y distribuidores de equipos periféricos marinos. Los datos se transmiten a través de la interfaz RS-232.

Los dispositivos que generalmente utilizan un protocolo NMEA son:

- GPS
- Compás magnético
- Radares
- Ecosonda, profundidad
- Sensores de velocidad, magnéticos, dopler o mecánicos

La última versión NMEA 0183 es de 2001 y es la que manejamos en el proyecto.

NMEA 0183

En este protocolo los datos se transmiten a través de sentencias con caracteres ASCII. Cada sentencia comienza con el carácter "\$" y termina con <CR><LF> (CR: *Carriage Return*, LF: *Line Feed*). Los primeros dos caracteres después de "\$" son los que identifican el dispositivo, y los siguientes tres caracteres son el identificador del tipo de mensaje que se está enviando. Los datos están delimitados por comas, que actúan como marcas. Opcionalmente se puede añadir una suma de verificación para el control de errores. A continuación se describirán los mensajes más importantes para nuestro estudio:

GGA

Este mensaje es el más importante de todos ya que además de la hora, nos proporciona la posición en la que nos encontramos.

```
$GPGGA,hhmmss.ss,lll.ll,a,yyyy.yy,a,x,xx,x.x,x.x,M,x.x,M,x.x,xxxx*hh
```

GGA = Datos del Sistema Global de Posicionamiento

1. = Hora
2. = Latitud
3. = N o S
4. = Longitud
5. = E u O
6. = Indicador de la Calidad de la señal de GPS (0=no Válido; 1=Fijo de GPS; 2=Fijo de GPS(DGPS))
7. = Número de Satélites en uso
8. = Dilución Horizontal de la Posición(DOP)
9. = Altura de la Antena Sobre/Bajo Nivel del Mar Intermedio (geoide)
10. = Metros (Unidad de usada para la altura)
11. = Separación Geoidal (Diferencia entre elipsoide terrestre WGS-84 y nivel del mar)
12. = Metros(Unidad de la separación geoidal)
13. = Intervalo en Segundos desde la última actualización de una Estación de Referencia dif.
14. = Estación de Referencia ID#.
15. = Suma de Verificación(Opcional)

GSA

En este mensaje lo más importante que encontramos es información acerca del modo de funcionamiento del receptor, así como información sobre la situación geográfica de los satélites utilizados.

```
$GPGSA, A,3,19,28,14,18,27,22,31,39,,,,,1.7,1.0,1.3
```

GSA = Modo de operación del receptor GPS, satélites empleados para navegación y valores DOP.

- 1 = Modo: M = Manual, Forzado a Operar en 2D o 3D, A = Automático 3D/2D
- 2 = Modo: 1 = Fijo no Disponible, 2 = 2D, 3 = 3D
- 3-14= ID de SV(satélite) usado en el Fijo de Posición (nulo para campos no usados)
- 15 = PDOP

- 16 = HDOP
- 17 = VDOP

GSV

Este mensaje detalla cierta información por cada satélite que tiene el receptor GPS a la vista

\$GPGSV,4,1,13,02,02,213,,03,-3,000,,11,00,121,,14,13,172,05

GSV = Número de satélites a la vista, números de PRN, elevación, azimut & valores SNR.

- 1 = Número total de mensajes de este tipo en este ciclo
- 2 = Número de mensajes
- 3 = Número total de SV en vista
- 4 = Número de SV PRN(Numero del satélite)
- 5 = Elevación en grados, 90 como máximo
- 6 = Azimut, grados del norte verdadero, de 000 a 359
- 7 = SNR, 00-99 dB (nulo cuando no hay *track*)
- 8-11 = Información sobre segundo SV, igual que campos 4-7
- 12-15 = Información sobre tercer SV, igual que campos 4-7
- 16-19 = Información sobre cuarto SV, igual que campos 4-7.

Cada mensaje GSV solo puede mostrar la información de cuatro satélites.

Además de estos hay muchos más mensajes NMEA 0183 que nos proporcionan más información.

6.2.2-Protocolo UBX

El protocolo binario UBX es propiedad de u-blox. El protocolo recibe el nombre de protocolo binario UBX o simplemente el protocolo UBX.

El acrónimo "UBX" también se refiere a los chips que produce la empresa u-blox para los receptores GPS. El protocolo UBX es la convención de comunicación utilizada por estos chips. El término "binario" se aplica al nombre para describir el formato de los mensajes, que es binario en lugar de basado en texto. Los mensajes "UBX" se utilizan generalmente para cambios en la configuración de los chips de u-blox.

Características del protocolo UBX

Los estándares de la industria para sistemas GPS los establece la *National Marine Electronics Association* (NMEA). El protocolo UBX sigue el estándar del protocolo NMEA 0183 explicado anteriormente.

Funciones del protocolo UBX

Los mensajes del protocolo "UBX operan a través de una conexión asíncrona siguiendo el estándar RS-232. Los mensajes se clasifican en diferentes categorías, tales como: configuración, sincronización, monitor Informativo y navegación. Los mensajes enviados al chip son comandos (ordenes) o consultas (peticiones).

6.3-Configuración del módulo LEA-6S

Los ajustes de configuración se envían al dispositivo mediante mensajes de configuración UBX, estos mensajes se pueden guardar en la memoria FLASH. En este caso, los ajustes se realizarán en el momento en el que se encienda el GPS sin necesidad de configurarlo cada vez que lo iniciemos.

7.-Análisis de datos del GPS

7.1-Herramienta para el análisis de los datos (U-CENTER)

La herramienta que utilizamos para analizar los datos procedentes de nuestro dispositivo GPS es u-center. U- center está desarrollada por u-blox y es una herramienta para la visualización de los datos proporcionados por receptores GPS. Puede descargarse gratuitamente desde la página Web de u-blox.

Esta herramienta tiene 3 funciones básicas:

- Llevar a cabo pruebas de rendimiento y análisis de los datos de los receptores GPS.
- Configuración de los receptores GPS mediante interfaz gráfica.
- Descargar las actualizaciones de firmware de los receptores GPS.

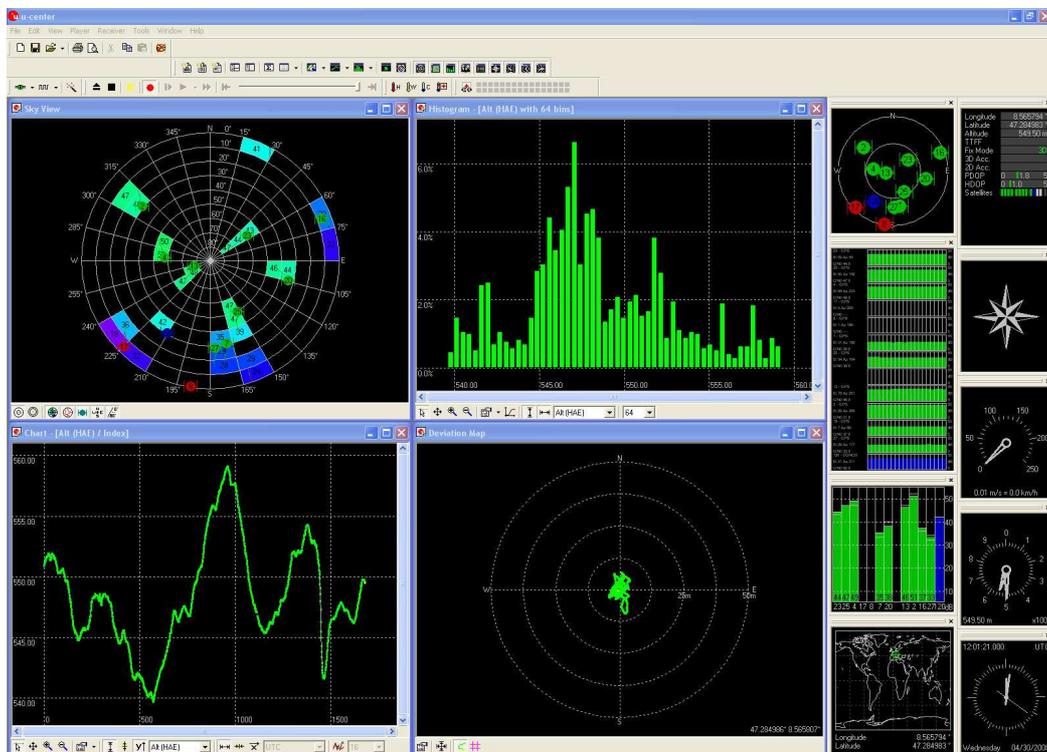


Imagen 14: Muestra el u-center en funcionamiento

7.1.1-Características más importantes de u-center

- U-center tiene la opción de mostrar en una tabla, actualizada en tiempo real, con toda la información recogida durante el funcionamiento del receptor GPS. Todos los aspectos del GPS (posición, velocidad, tiempo, localización por satélite, etc.) pueden ser monitorizados y registrados en diversas pruebas o escenarios para la evaluación de un receptor GPS. U-center permite el análisis de los datos recogidos con el fin de analizar los problemas de rendimiento tales como la precisión, la posición de la prueba de carretera y la trayectoria, el seguimiento por satélite, el tiempo para el primer punto de referencia, etc. Todos los datos

procesados se pueden capturar en formato ASCII y pasarlos a hojas de cálculo para la creación de estadísticas.

- Permite al usuario ver los datos de diferentes formas por medio de gran cantidad de interfaces gráficas o ventanas. Por ejemplo: constelación de satélites, brújula, reloj, altímetro, velocímetro, GPS y vistas de satélite de la información.
- Permite la exportación de archivos de datos a Google Earth, Google Maps, etc
- Permite la grabación de pruebas o rutas para su posterior reproducción y análisis. Los archivos generados, llamados *logs*, guardan la información que el receptor GPS nos da durante un periodo de tiempo, es decir, guardan todos los datos de la posición que nos ha dado el receptor en un periodo.
- Permite la configuración de los diferentes parámetros de los receptores por medio de una interfaz gráfica
- Permite visualizar una ruta o probar la calidad de un GPS en un mapa introducido por el usuario y previamente calibrado.
- Permite georeferenciar un mapa, foto o imagen, sobre la que se puede mostrar la ruta del GPS.

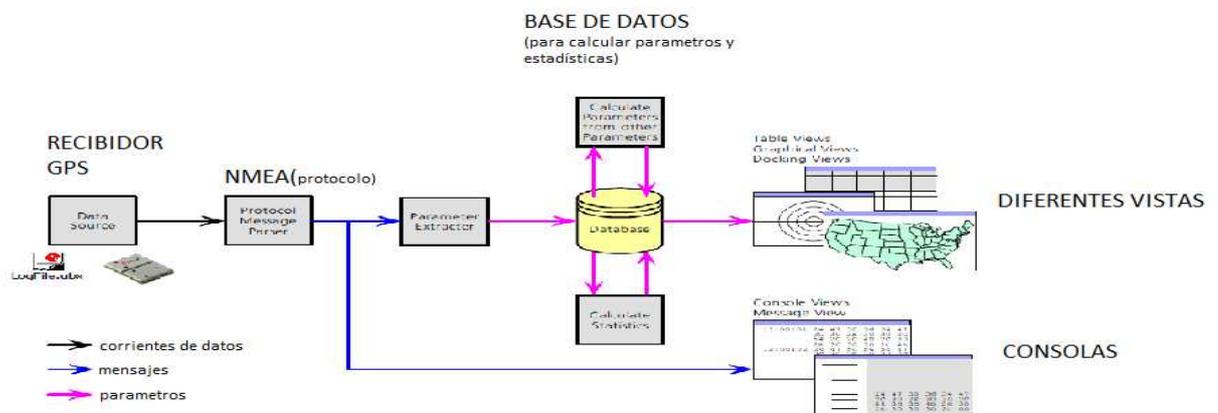


Imagen 15: Muestra el esquema de utilización de u-center.

8.-Google Earth

8.1-Definición

A lo largo de este proyecto se realizarán pruebas con receptores GPS. En la mayoría de las pruebas utilizaremos u-center para guardar en un archivo la ruta que nos dan los GPS durante un determinado tiempo (archivo *logs*). Estos archivos o rutas se mostrarán en Google Earth. Google Earth permite visualizar imágenes en 3D del planeta, combinando imágenes de satélite, mapas y el motor de búsqueda de Google que permite ver imágenes a escala de un lugar específico del planeta.

Hace falta añadir que Google Earth cuenta con un cierto error en la posición, que intentaremos explicar en el siguiente punto. Sabiendo de este error de posicionamiento u *offset*, la posición en la que Google Earth nos dice que nos encontramos no es la exacta. Aunque este *offset* no es importante para nosotros ya que lo importante es que la dispersión entre los puntos no sea muy grande. Es decir que si estamos probando un GPS en estático durante una hora, y este GPS nos da la solución de su posición cada segundo, lo importante sería que entre dos segundos consecutivos la distancia entre las 2 posiciones no sea muy grande y así sucesivamente. Con esto si a lo largo de una hora tenemos 3600 puntos de soluciones, nos interesaría que la distancia entre los 2 puntos más alejados no fuera muy grande.

8.2.-Error de Google Earth

En este punto intentáramos explicar el supuesto error de Google Earth en sus mapas. Para ello hemos visitado la WEB de la Red de Estaciones de Referencia GNSS de Euskadi(<http://www.gps2.euskadi.net/>) para obtener las coordenadas exactas de la estación base de Igeldo que se encuentra en las proximidades de la universidad, y así tener un punto de referencia para intentar observar el error.

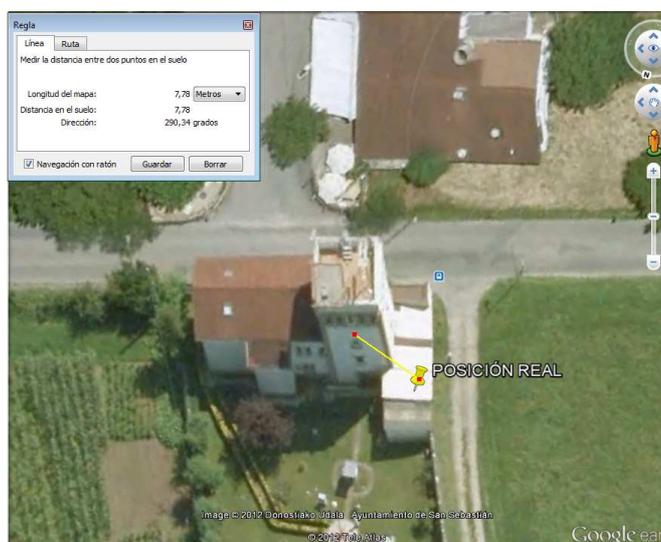


Imagen 16: Muestra una aproximación al error de Google Earth

Como apreciamos en la imagen, la marca amarilla corresponde a las coordenadas que nos ha dado la WEB y, como se aprecia, hay error en la imagen, ya que las coordenadas reales no coinciden exactamente con el observatorio. La posición que nos da la WEB corresponde a las coordenadas exactas donde se encuentra la antena, que se ubica en la azotea del observatorio. Podemos decir que Google Earth tiene un ligero error en la posición, además del error que tiene Google Earth, también hay que añadirle el error de la perspectiva de la foto, al no estar está tomada completamente en vertical al observatorio. En la imagen 17 se muestra una estimación del posible error.

9. Desarrollo de las primeras pruebas

9.1-Preparaciones previas

Previamente a esta prueba, hemos presentado tanto el receptor GPS con el que vamos a realizar las pruebas, como el programa con el que vamos a analizar los datos para medir cual es la precisión del GPS.

Con las siguientes pruebas realizadas, pretendemos analizar los datos, que nos devuelve el GPS y con ellas hacer una estimación aproximada de la precisión de este, para después intentar encontrar un modo de mejorarla.

Lo primero que tenemos que hacer es conectar el receptor GPS al ordenador mediante el cable USB que viene con el dispositivo. Después debemos abrir el u-center y seleccionar el puerto COM donde se encuentra conectado nuestro receptor. Para saber en qué puerto está conectado nuestro receptor, podemos consultar: Panel de control->Sistema->Hardware->Administrador de Dispositivos y mirarlo ahí.

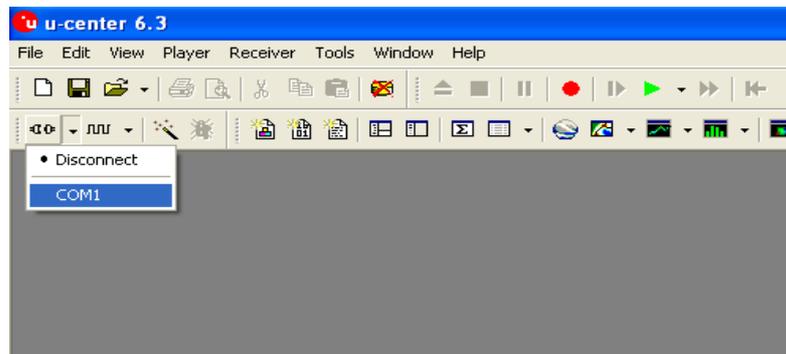


Imagen 17: Muestra la selección del puerto en el u-center

Una vez seleccionado el puerto correspondiente a nuestro receptor, el u-center empezará a captar las señales de los satélites y así podrá determinar la posición. Para indicarnos que la conexión está bien realizada el símbolo de los cables que se ve en la imagen 18 se pone de color verde.

Antes de comenzar a hacer las pruebas es conveniente realizar ciertos cambios en la configuración del receptor GPS.

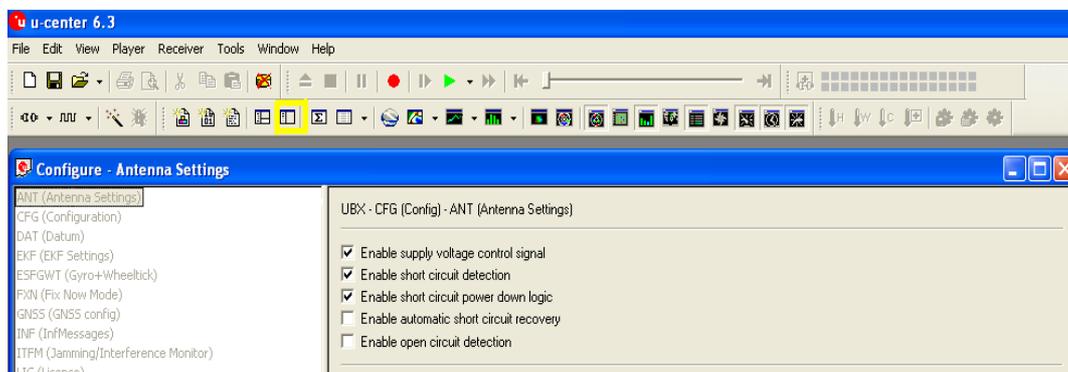


Imagen 18: Muestra el botón y la pantalla de configuración

Son muchos los parámetros que se pueden ajustar en la configuración del módulo GPS: parámetros de la antena, tipos de mensaje de salida, protocolos a utilizar, filtros...

Los cambios realizados en la configuración del módulo se explican sobre la marcha.

Es conveniente recordar que los cambios en la configuración se realizan mediante mensajes UBX, así que después de haber hecho los cambios oportunos en cada una de las pestañas, hace falta enviar la configuración al receptor como se muestra en la siguiente figura.

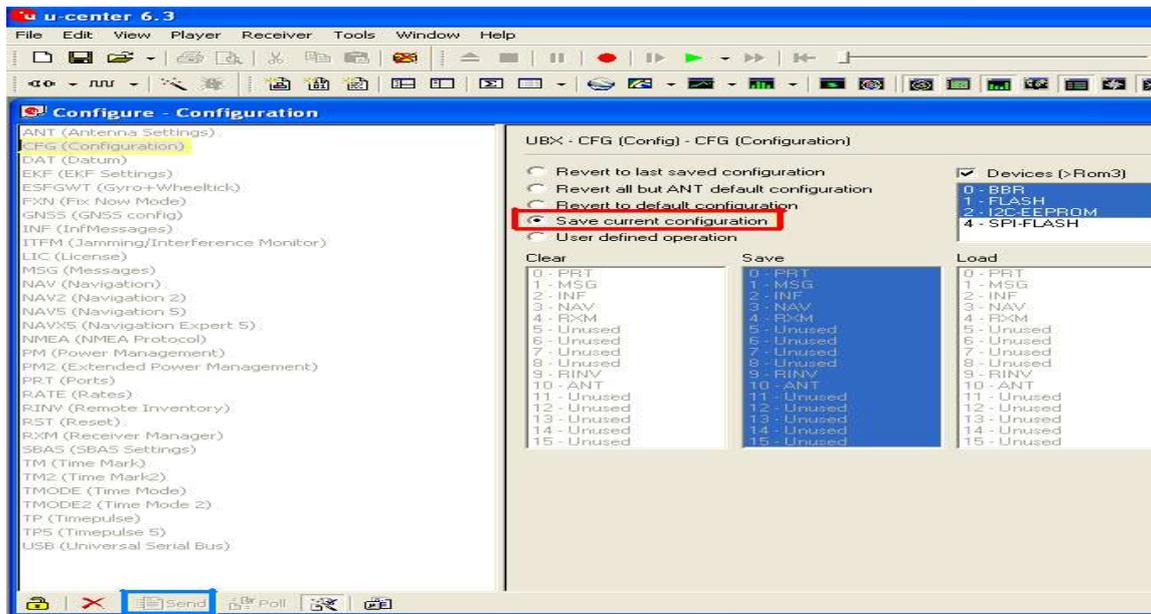


Imagen 19: Muestra la pestaña de CFG donde debemos enviar los mensajes para guardar la configuración 1º(amarillo)pestaña CFG, 2º (rojo) elegir opción,3º(azul) pulsar botón SEND en azul

9.2-Desarrollo de la primera prueba.

Durante los primeros días y a modo de prueba, conecté el receptor GPS LEA-6S en la ventana del laboratorio donde me encontraba trabajando en el presente proyecto. De antemano, pensaba que la calidad del GPS iba a verse mermada puesto que el GPS permanecía pegado a la fachada de la facultad y eso aumenta las reflexiones en las señales de los satélites y mala adquisición de estas.

Para esta prueba no aplicamos ningún cambio en la configuración del GPS, simplemente coloqué el GPS dos horas en la ventana y mediante el u-center generar un archivo *log* de los datos para posteriormente poder analizarlos.

Resultados y conclusiones de la primera prueba

Como esperábamos de antemano, los resultados de la prueba fueron muy insatisfactorios debido principalmente a mala visión de la constelación de los satélites.

El receptor GPS permaneció funcionando aproximadamente 2 horas en la ventana del despacho. Debido a estos resultados insatisfactorios, no vi la necesidad de analizar los datos meticulosamente.

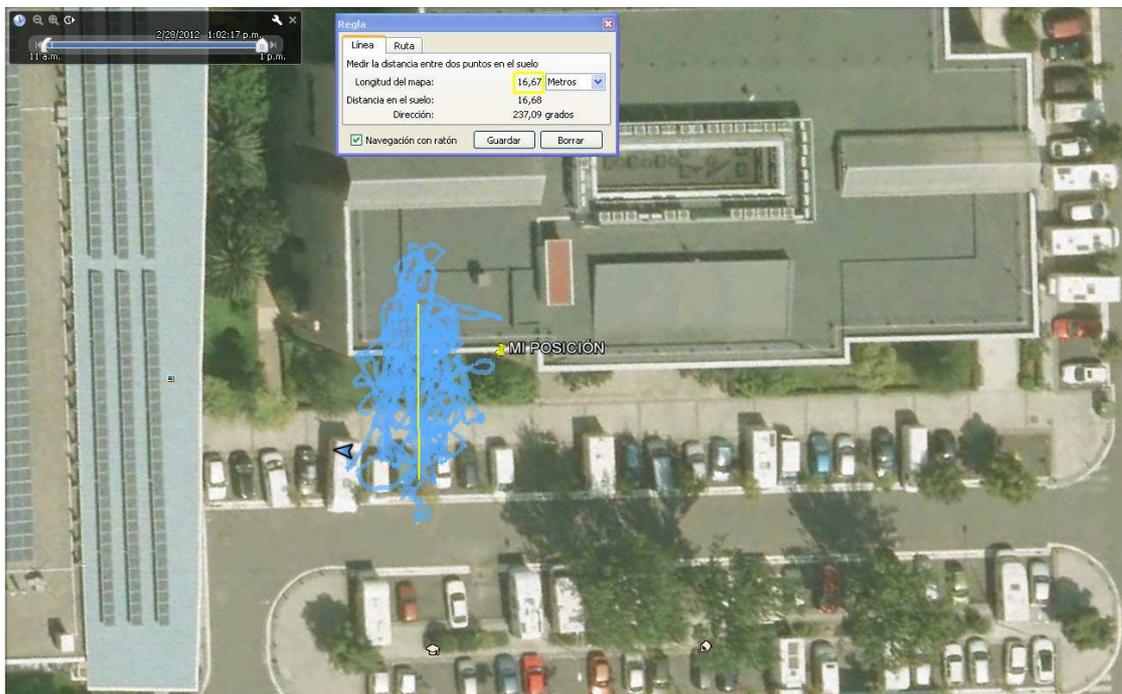


Imagen 20: Muestra mediante Google Earth el recorrido del GPS en la prueba.

Como se puede apreciar en la imagen, el camino o recorrido marcado en azul está formado por la totalidad de los puntos proporcionados por el GPS durante las 2 horas. El GPS genera cada segundo un mensaje con su posición, así que el camino indicado por la línea azul, en este caso, estará formado aproximadamente por 7200 puntos (3600 cada hora). En la imagen también apreciamos como la línea amarilla se utiliza para dar una medida orientativa del error entre diferentes tomas de medidas entre esas 2 horas.

Como conclusión esta primera prueba da más de 16 metros de error, debido mayoritariamente a la mala visión que ha tenido el satélite durante las mediciones.

9.3-Desarrollo de la segunda prueba

En esta segunda prueba, nos dispusimos a probar con 2 dispositivos GPS del tipo LEA-6S. Para esta prueba los GPS fueron colocados en la azotea de la facultad para que tuviesen buena visión de la constelación. Además también se pretende probar que los dos dispositivos utilicen los mismos satélites para la toma de medidas.

Para ello colocamos los GPS juntos en la azotea, y nos dispusimos a probarlos aproximadamente durante 1 hora. Para esta prueba realizamos 2 pequeños cambios en la configuración. El primero de ellos fue cambiar el modo de navegación de *automotive* a *stationary*, con esto se consigue que el dispositivo sepa previamente que se está utilizando de forma estática, es decir, que no se va a mover. El segundo cambio fue activar las correcciones

diferenciales que nos proporciona el sistema SBAS, y que tienen como objetivo incrementar la precisión. Las correcciones diferenciales se explicarán a fondo en el capítulo siguiente.

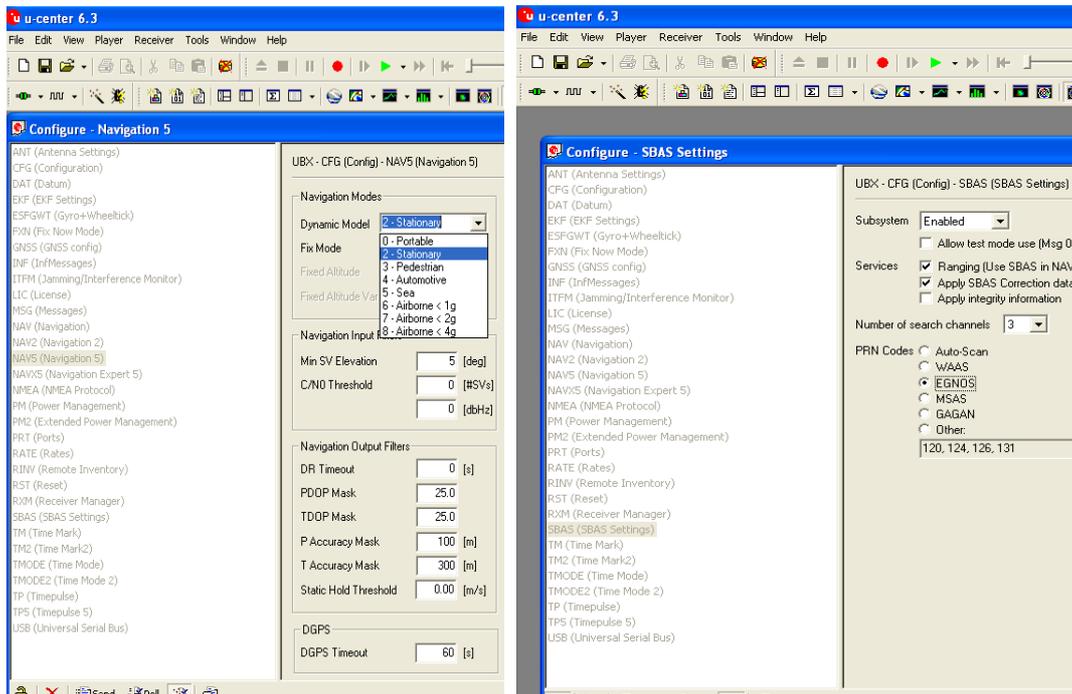


Imagen 21: Muestra los cambios en la configuración.

Resultados y conclusiones de la segunda prueba

Los resultados de esta segunda prueba fueron mucho mejores debido mayoritariamente a la buena visión de la constelación de los satélites y a la utilización de correcciones diferenciales mediante los sistemas SBAS.

Los dos receptores GPS permanecieron aproximadamente una hora colocados en el mismo punto sobre el tejado y los dos adquirieron los mismos satélites para realizar los cálculos.

Primero se muestra el recorrido marcado por cada uno de los GPS utilizando Google Earth.

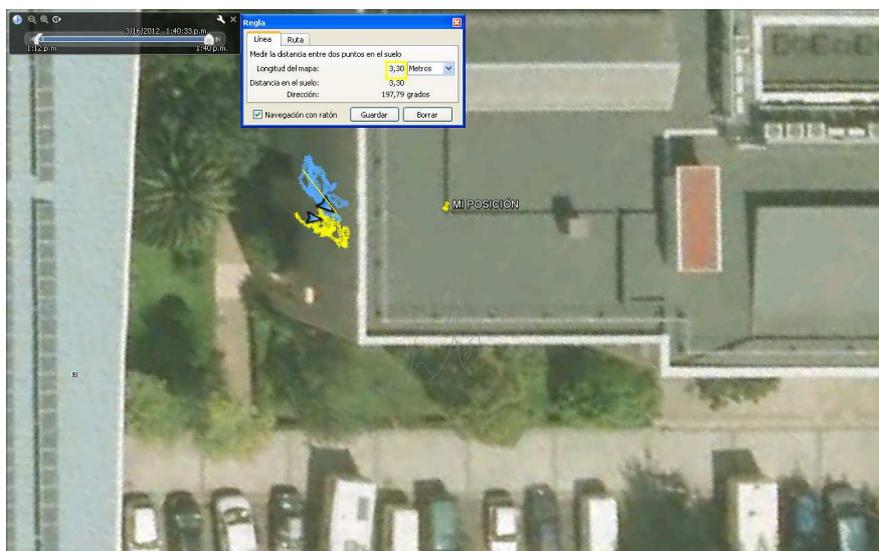


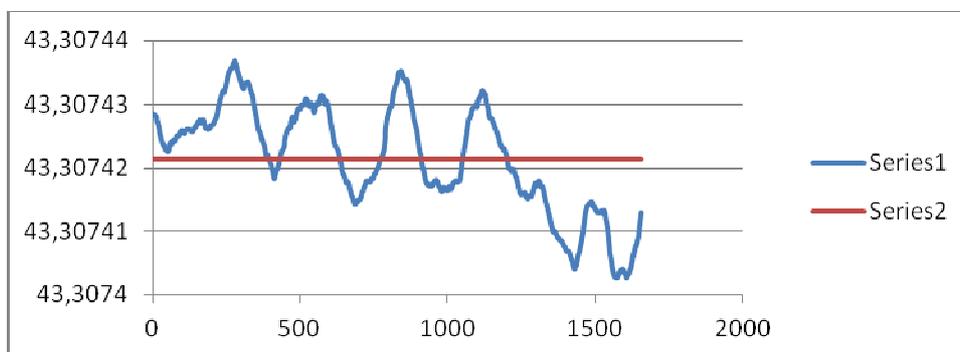
Imagen 22: Muestra mediante Google Earth el recorrido de los GPS en la prueba.

Como se puede apreciar en la Imagen 22, el camino o recorrido marcado por la línea azul corresponde al GPS1 y el recorrido marcado por la línea amarilla al GPS2. Se puede apreciar que el error de posicionamiento es mucho menor que en la prueba anterior, ya que el primer GPS (azul) entre todos los puntos que nos ha dado en una hora, la máxima distancia entre dos de esos puntos es de 3,30 metros aproximadamente.

Al ser la segunda prueba más satisfactoria me dispuse a recopilar todos los datos en Excell para así poder analizarlos de forma más minuciosa y poder mostrar mediante gráficos como varían las medidas que da el GPS. En esta prueba solo me he basado en la posición en 2d, es decir, latitud y longitud sin contar la altura. Para importar los datos a Excell, se puede tomar directamente el archivo que genera u-center con los mensajes NMEA. De esta manera podremos ordenar los datos según nuestras necesidades y utilizar operaciones para generar gráficos y otros elementos de utilidad.

Mediante Excell calculamos la media en latitud y longitud de todos los puntos que nos devuelven los módulos GPS (1 cada segundo) y tomamos esa media como la posición real en la que se encuentra el GPS. Esa media se muestra en el gráfico de la imagen 24 y 25 comparándola con la dispersión de cada punto de posición dado por cada uno de los GPS (GPS1 y GPS2) para así comprobar además si las medidas mejoran con el tiempo y tienden a estabilizarse. A continuación se muestran 2 gráficos para cada GPS, uno para la latitud y otro para la longitud.

LATITUD



LONGITUD

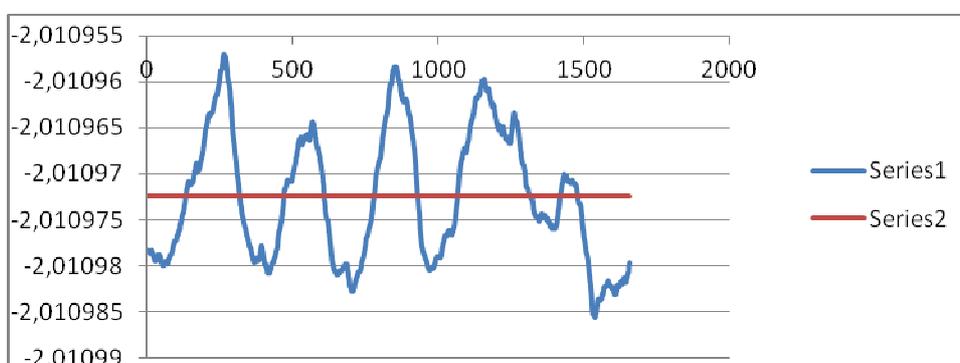


Imagen 23: Muestra la dispersión de latitud y longitud respecto a la media en el GPS1

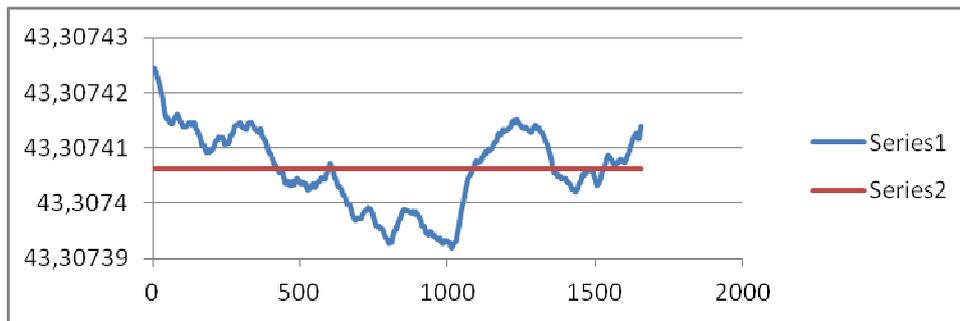
-En los gráficos el eje de las X representa el tiempo en segundos totales.

-El eje de las Y representa la latitud/longitud en grados decimales.

- La línea azul se corresponde con la ruta del GPS.

-La línea roja se corresponde con la media de esos puntos que nosotros la tomaremos como la posición real.

LATITUD



LONGITUD

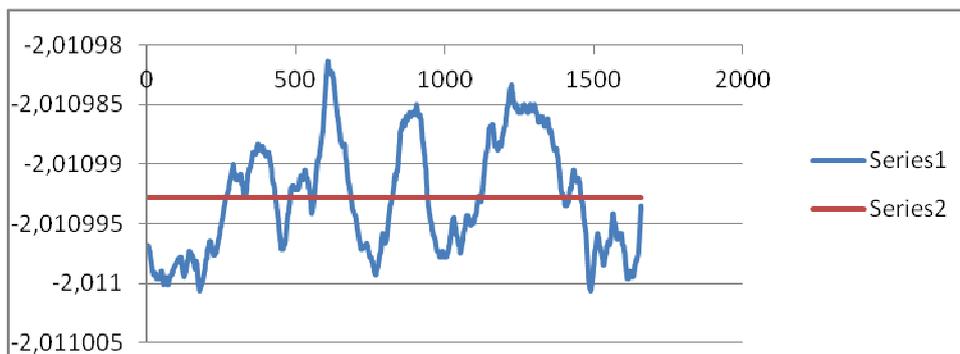


Imagen 24: Muestra la dispersión de latitud y longitud respecto a la media en el GPS2.

Como se puede apreciar no hay ninguna mejoría en ninguno de los dos casos ya que parece ser que la línea que representa la ruta no tiende a estabilizarse con la línea que representa la media. El error del GPS no se estabiliza en el tiempo en el que lo hemos probado y la dispersión se mantiene igual al principio que al final, tanto en latitud como en longitud.

Parece ser que mientras el error en latitud es diferente en los 2 GPS el error en longitud sigue un patrón similar en los dos GPS a partir del segundo 1000.

A continuación, calculamos el error medio de dispersión de los puntos respecto a la posición real. Para calcularlo, primero se obtiene la distancia de cada punto de posición con la media para después calcular la media de todas esas distancias. Para calcular las distancias utilizamos la siguiente fórmula:

$$\text{DISTANCIA} = 1000 * (\cos(\sin(\text{lat1}) * \sin(\text{lat2}) + \cos(\text{lat1}) * \cos(\text{lat2}) * \cos(\text{lon1} - \text{lon2})) * 6371)$$

Para utilizar esta fórmula, hay que convertir previamente los datos de latitud y longitud a radianes. La fórmula primero calcula la distancia del círculo máximo entre dos puntos, es decir, la distancia más corta sobre la superficie de la Tierra para llegar de un punto a otro. Después la

multiplica por 6371 que es el radio de la tierra en kilómetros para darnos la distancia entre los dos puntos. Por último se multiplican los kilómetros por 1000 para tener el resultado en metros.

El error medio en el GPS1 es de 1,23 metros y el error máximo, que es el punto más alejado de esa media, es de 2,26 metros.

En el GPS2, el error medio es de 1,26 metros aproximadamente y el error máximo es de 2 metros.

9.4-Conclusiones

De las pruebas realizadas podemos concluir por un lado que la precisión del GPS depende de múltiples factores. Por otro lado, se puede indicar que la precisión del GPS estudiado, utilizando correcciones diferenciales de los satélites SBAS, es de aproximadamente ± 2 metros basándonos en la segunda prueba ya que la primera no tenía validez. Esta precisión es válida para muchas aplicaciones, pero existen aplicaciones que requieren de la necesidad de una precisión mucho mayor.

En la actualidad existen dos tipos fundamentales de módulos GPS precisos. Los primeros son los más económicos y no suelen sobrepasar los 500\$, estos son GPS portátiles que solo trabajan con la frecuencia L1 de los satélites y pueden llegar a tener precisiones de ± 1 metro aplicándoles correcciones diferenciales. Los segundos incorporan antenas GPS de doble frecuencia que suelen utilizarse como bases. La doble frecuencia en los GPS hace que sus medidas sobre la posición tengan precisiones mucho más altas, estos se pueden conseguir desde 18000\$ en adelante y con ellos se consiguen precisiones milimétricas.

Por tanto, si queremos conseguir mayor precisión tenemos 2 opciones:

- La primera es usar una antena GPS de doble frecuencia.
- La segunda es utilizar alguna técnica de corrección de errores que aumente la precisión.

Dada la naturaleza de nuestro proyecto elegiremos la segunda opción.

10. Sistemas de correcciones diferenciales

Como hemos comentado al principio de este proyecto, cada satélite emite un código pseudo-aleatorio único. Los receptores GPS tienen ese mismo código programado. El módulo GPS compara la señal propia con la señal recibida y desplaza la propia con intención de alinearla. Cuando se han alineado correctamente por medio de ese desplazamiento se obtiene la pseudodistancia. A partir de esta pseudodistancia y por medio de la triangulación (véase capítulo 4) se consigue determinar la posición. Hay múltiples factores que pueden influenciar en la solución obtenida y añadir errores (véase capítulo 1). Muchos de estos factores tienen que ver con la posición del receptor y otros con procesos atmosféricos. Para poder eliminar o reducir estos errores se utiliza un segundo GPS llamado **estación base** que se coloca sobre una posición fija. Esta estación base también se ve influida por esos errores, pero como se sabe su posición real se pueden realizar ciertas correcciones. Si tenemos un segundo GPS en las proximidades, que está utilizando los mismos satélites, al mismo tiempo, que la estación base, éste podrá aplicar las mismas correcciones que la estación base para corregir su posición. Los receptores GPS generalmente cuentan con software para recibir y aplicar estas correcciones en tiempo real. El resultado de utilizar este método se denomina corrección-diferencial o DGPS.

Hay diferentes maneras de aplicar y recibir las correcciones diferenciales:

Las correcciones se pueden aplicar a los receptores de 2 maneras: mandarlas directamente a los receptores GPS y que estos se encarguen de aplicarlas (tiempo real) o también se puede utilizar un PC que realiza las correcciones después de haber tomado las mediciones (postprocesado).

Las correcciones se pueden recibir de estaciones base y también de ciertos satélites (SBAS). Las correcciones pueden recibirse de 3 maneras:

- Mediante señales de satélites (solo SBAS).
- Mediante un enlace de radio.
- Descargadas mediante Internet (NTRIP).

La estación base que utilizamos en el proyecto proporciona sus correcciones a través de internet (NTRIP), por lo que utilizaremos este medio para recibir nuestras correcciones.

10.1-Sistemas SBAS: WAAS, EGNOS, MSAS SBAS

SBAS lo componen una larga red de estaciones y satélites que se utilizan para realizar correcciones. Las estaciones terrestres calculan su error de posición y lo envían hacia una estación central para que esta calcule las correcciones y las envíe a los satélites SBAS para que puedan ser usadas por los usuarios.

Existen 5 sistemas públicos de este tipo y cada uno da cobertura a una parte del mundo:

- WASS (Norte América)
- EGNOS (Europa)
- MSAS (Asia)

- SDCM (Norte de Rusia)
- GAGAN (India)

También existen sistemas privados como OmniSTAR en los que hay que abonar una suscripción para su utilización. Muchos de los receptores GPS a la venta (como por ejemplo el que se utiliza en este proyecto) tienen la posibilidad de utilizar estos sistemas, sin necesidad de postprocesado, para mejorar la precisión de sus medidas. La desventaja de estos sistemas es que se necesita una buena visión de estos satélites para una buena recepción de sus mensajes de corrección. En la configuración del receptor GPS podemos elegir de qué sistema queremos recibir las correcciones aunque generalmente el GPS utiliza los satélites SBAS más cercanos para realizar las correcciones. Hace falta añadir que las precisiones que conseguimos mediante esta técnica no son tan buenas como las conseguidas con una estación base cercana.

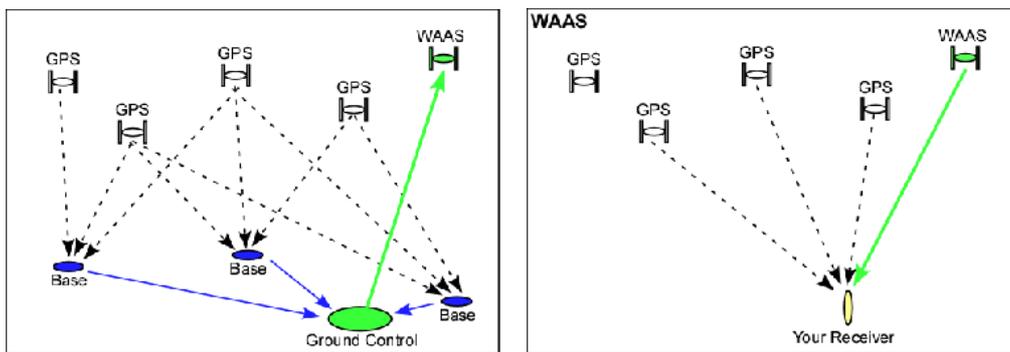


Imagen 25: Muestra el Sistema SBAS.

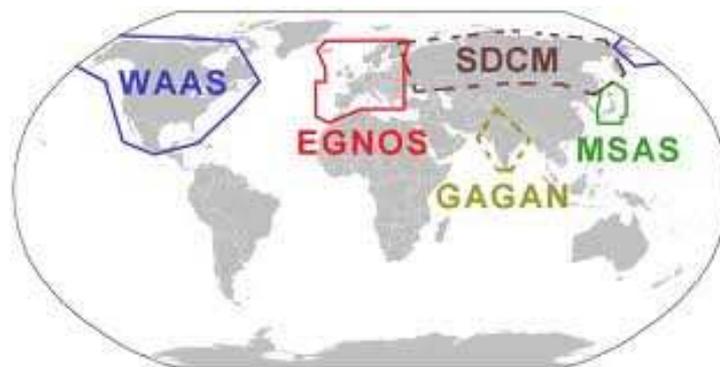


Imagen 26: Muestra la red mundial de satélites SBAS públicos.

10.2-Sistemas DGPS con estación base

Otro sistema para recibir correcciones se basa en estaciones base que transmiten mediante el protocolo RTCM (véase punto 10.4) las correcciones a los receptores GPS que estén cercanos. Cuanta menos distancia halla entre los receptores y las estaciones base, más precisión tendrán los primeros. Algunos GPS de gama-media son capaces de recibir estos mensajes de las estaciones base y calcular su posición en tiempo real, basándose en la distancia con la estación. Con este sistema se pueden conseguir precisiones inferiores al metro, semejante a la de los sistemas SBAS.

Las estaciones base calculan las pseudodistancia como si de un receptor GPS normal se tratase, pero estas conocen su posición exacta, así saben cuánto tiempo tiene que tardar en llegar la señal. En base a esto, mediante software, la estación base estima el error que se produce en estas pseudodistancias. Si los receptores GPS están cercanos a la base, estos deberían tener los mismos errores en sus pseudodistancias y podrían aplicar las correcciones que les envían las bases. Estas correcciones pueden ser recibidas mediante radio o desde Internet mediante servidores NTRIP. Estos servidores se explicarán más adelante.

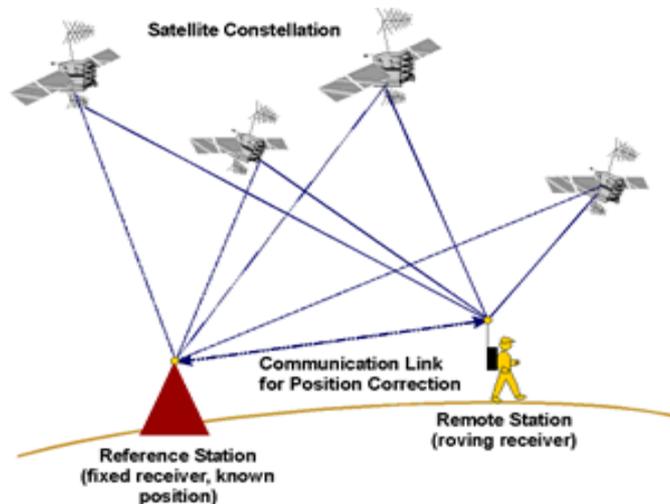


Imagen 27: Muestra esquema de funcionamiento DGPS

10.3.-Sistemas RTK (REAL TIME KINEMATIC)

Para mediciones en las que se necesite una precisión alta (de centímetros o milímetros) se utilizan los sistemas RTK. Estos sistemas se basan en el método de las estaciones base que anteriormente hemos explicado. En estos sistemas la distancia entre la estación base y los receptores es muy importante y debe de ser inferior a 40 km. El error medido en la estación base se utiliza para las correcciones en los receptores. Lo que verdaderamente hace que estos sistemas sean los más precisos son que las estaciones base tienen antenas de mucha calidad que utilizan la portadora de fase de la señales L1/L2 que es 1000 veces más rápida que las propias señales para calcular así su posición con una precisión de milímetros.

Para utilizar RTK necesitamos que los receptores GPS dispongan de software para aplicar las correcciones diferenciales, esto es lo que hace que no se utiliza de manera muy extendida aunque cada vez son más las aplicaciones en las que se usan este tipo de sistemas y se prevé que cada vez se usen más en el futuro.

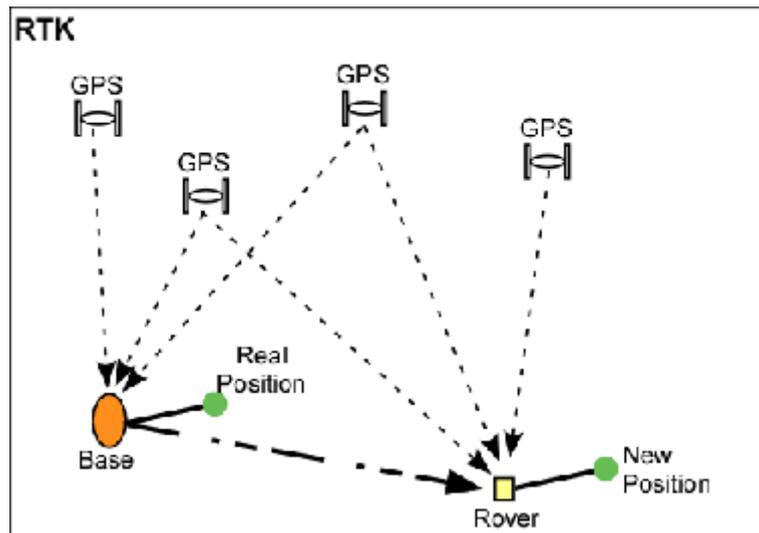


Imagen 28: Muestra esquema de funcionamiento del Sistema RTK

	WAAS	Sub-meter	Decimeter	Centimeter- RTK
Price Range	\$100- \$500	\$500-\$2500	\$2500- \$7500	\$15,000- \$50,000
Source of Differential Signal	WAAS	Coast Guard, OmniStar VBS, StarFire I, local differential services	OmniStar HP*, StarFire II*, (requires dual-channel receiver)	Real-time kinematic systems require a base station within 6-10 miles
Accuracy	1-3 meters	1-3 feet	3-12 inches	< 1-2 inches
Advantage	Low cost, small handheld unit	Better accuracy	Best accuracy without using RTK	Highest accuracy, repeatability
Uses	Mapping, yield monitor	Mapping, yield monitor, VRT, limited guidance	Guidance (probably not row-crop), VRT	Precision guidance, elevation mapping, survey-grade mapping

Tabla 1: Muestra una tabla comparando las técnicas de correcciones diferenciales

Como se aprecia en la tabla 1, los sistemas de correcciones diferenciales SBAS, que son los que hemos usado en las pruebas anteriores, son los menos precisos, pudiendo llegar a alcanzar una precisión de unos pocos metros. Por otro lado los sistemas RTK son los más precisos pudiendo llegar a obtener, con ellos, precisiones de 1 o 2 centímetros. Los equipos RTK tienen antenas precisas y su precio es muy elevado.

10.4-Formato de las correcciones.

El formato de las correcciones diferenciales está definido por la “Radio Technical Commission for Maritime Service” (RTCM).

10.4.1-Protocolo RTCM-SC104

El protocolo RTCM-SC104 fue creado por la RTCM (*Radio Technical Commission for Maritime Services*) y se ha convertido en el estándar para la transmisión a través de radio o Internet de las correcciones diferenciales entre la estación de referencia y los receptores GPS. El protocolo RTCM-SC104 transmite los datos de las correcciones en binario y permite a cualquier receptor GPS móvil, con el software adecuado instalado, recibir, comprender y aplicar las correcciones a sus datos.

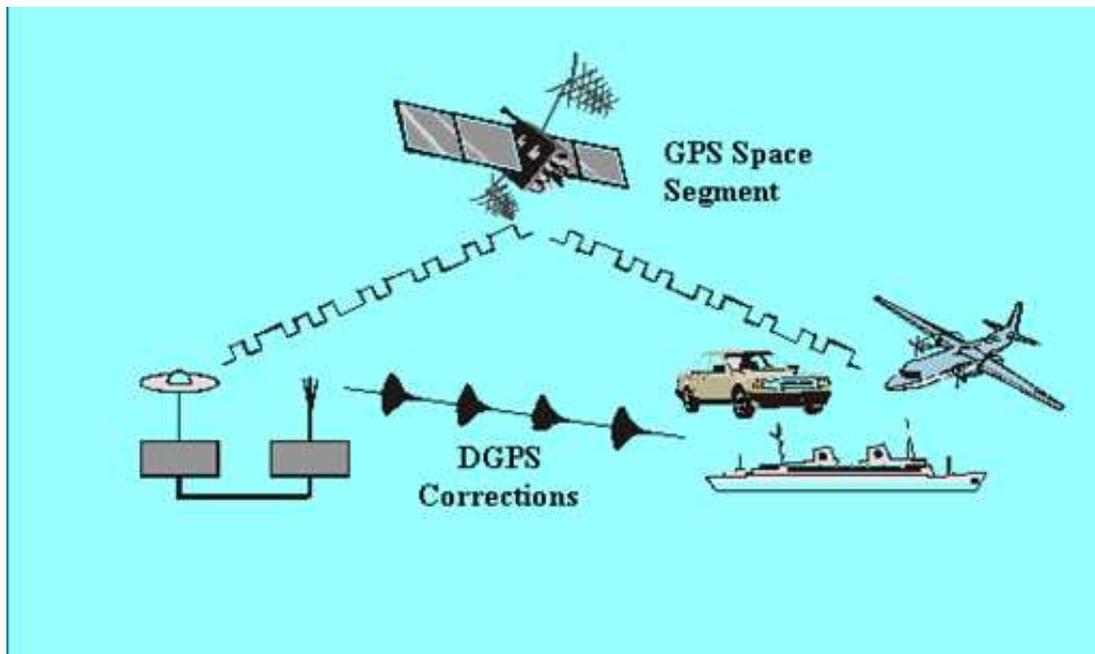


Imagen 29: Muestra como se aplican las correcciones RTCM.

Existen varias versiones del RTCM 2.0, 2.1, 2.2, 2.3, 3.0 pero en la actualidad casi todos usan la 3.0 que es compatible con GALILEO.

Sintaxis de los mensajes RTCM

Cada mensaje, comienza con una cabecera, seguido por cero o más líneas que contienen los datos específicos para ese mensaje, seguido por una línea centinela que contiene un solo punto. El formato general es una línea que comienza con una letra mayúscula, seguido de un tabulador, después los campos del mensaje separados por tabuladores y termina con un salto de línea.

```
H <message type> <reference station id> <modified z_count> <sequence no>  
<message length> <station health> [T <useful length>]
```

```
H 9 268 249.6 1 5 0  
S 13 0 3 249.6 -26.120 0.068  
S 2 0 73 249.6 1.220 -0.080  
S 8 0 22 249.6 23.760 0.030
```

Ejemplo de la cabecera de un mensaje RTCM

Mensajes RTCM más importantes

Mensaje tipo 1: Contiene datos de todos los satélites a la vista. Los datos proporcionan las correcciones de las pseudodistancias a todos los satélites a la vista desde la estación base de referencia en un instante determinado. Estos mensajes se envían a los usuarios para que estos los corrijan.

```
S 7 0 199 331.8 -12.160 0.288
```

Ejemplo de un mensaje de tipo 1

Mensaje tipo 3: parámetros de estaciones de referencia y la posición de la estación de referencia.

Mensaje tipo 5: Informa sobre el estado de la constelación de satélites o la información sobre los satélites que están a la vista.

Mensaje tipo 7: Almanagues.

Mensaje 9: Contiene correcciones de sólo un subconjunto de los satélites a la vista.

10.5.-NTRIP (Network Transport of RTCM data over IP)

Ntrip (*Network Transport of RTCM data over IP*) es un protocolo utilizado para el transporte de correcciones RTK por Internet. Normalmente un cliente se conecta a un servidor por el que le llegan los datos de correcciones en formato RTCM. Es una alternativa al uso de la radio para recibir las correcciones. Generalmente no importa la manera en la que los datos de corrección lleguen al receptor GPS, siempre que, lo hagan en el orden correcto.

En nuestro caso, utilizaremos este sistema para conseguir nuestras correcciones diferenciales. Estos son los componentes de un sistema NTRIP:

-NTRIPclient (cliente): Este componente es el que se encarga de iniciar la conexión con el *Caster* para recibir las correcciones. Debe de estar instalado junto con el receptor GPS al que vamos a aplicar las correcciones.

-NTRIPserver (servidor): Este componente es el encargado de realizar la conexión con el *Caster* para poder subir las correcciones en formato RTCM, estas correcciones podrán ser usadas por los receptores GPS para mejorar su precisión. Debe de estar instalado en la estación base donde se calculan las correcciones.

-NTRIPcaster (*Caster*): Este componente actúa como intermediario entre los otros dos. Escucha las peticiones que hacen los clientes y se encarga de servirlos con los datos.

Hay dos formas o métodos de utilizar este sistema:

-El primero, utiliza un único *Caster* que se encarga de gestionar las series de datos. Cada estación base se conecta al *Caster* para subir sus datos encapsulados mediante paquetes TCP/IP, después los clientes se conectan también al *Caster* para descargar los datos. Necesitamos un NTRIPserver que se conecte a un *Caster* para subir los datos y un NTRIPclient que se conecte al *Caster* para descargarlos.

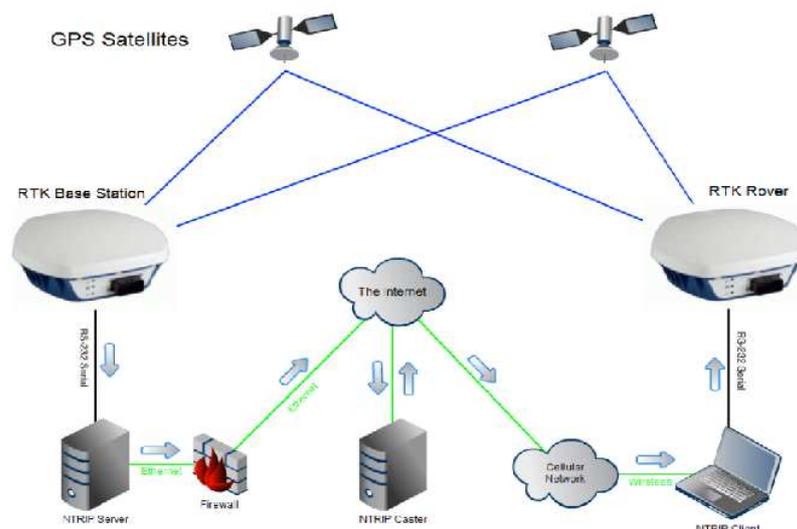


Imagen 30: Muestra el funcionamiento de NTRIP con Server,caster y cliente

-Esta forma de utilizar el sistema es ideal para los casos en los que tengamos una sola una serie de datos y pocos clientes que los soliciten. Lo único que tenemos que hacer es subir los datos

que queramos al *Caster* para después descargarlos con los clientes. Lo único que necesitamos tener es:

- Un ordenador con algún puerto serie/USB (para conectar el dispositivo GPS).
- Conexión a internet.
- Una dirección IP estática, puesto que la necesitan los clientes para conectarse.

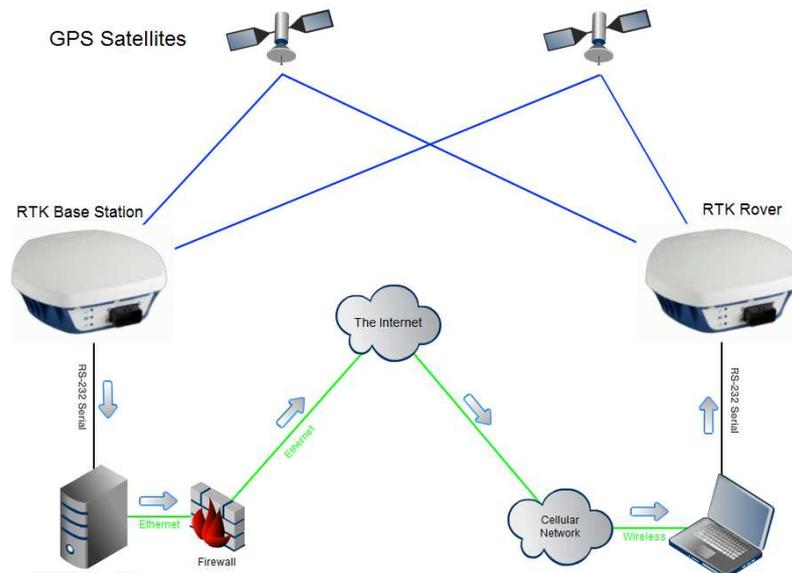


Imagen 31: Muestra el funcionamiento de NTRIP con solo caster y cliente.

Dado que en nuestro proyecto no vamos a tener conexión de muchos clientes, decidimos utilizar el segundo método que es más sencillo. Para esto, descargamos el programa *NTRIPcaster* de la página WEB (www.lefebure.com). Con este programa se consigue, de forma sencilla, subir datos de un dispositivo GPS y compartirlos con los clientes.

Para que los clientes puedan acceder a los datos estos deben introducir:

- Dirección IP de la máquina donde esté instalado el *Caster*.
- Puerto de conexión (5000 con nuestro programa).
- Punto de montaje, es el nombre del conjunto de datos que queramos descargar (nuestro programa permite crear el punto de montaje con el nombre que queramos)
- Usuario y contraseña (también la crearemos desde nuestro programa)

10.6.-Líneas de acción

De todos los sistemas de correcciones diferenciales explicados anteriormente, el que más nos interesa es RTK puesto que con él se consiguen precisiones de centímetros. Una estación RTK tiene un precio muy elevado debido principalmente a la calidad de la antena. A partir de este momento, tras una larga búsqueda en Internet, dimos con un programa llamado RTKLIB, que explicaremos más adelante, que permite utilizar de forma fácil múltiples técnicas para las correcciones diferenciales, entre ellas RTK.

Ahora solo nos faltaba encontrar una estación base que nos permitiese conseguir correcciones diferenciales. Para ello visitamos el SERVIDOR WEB DE LA RED DE ESTACIONES DE REFERENCIA GNSS DE EUSKADI en el siguiente enlace (<http://www.gps2.euskadi.net/>). La red de estaciones de referencia GNSS de Euskadi es una red que se extiende por todo el territorio del País Vasco y proporciona servicios de corrección tanto en tiempo real con obtención de datos de estaciones o en post proceso mediante archivos RINEX.

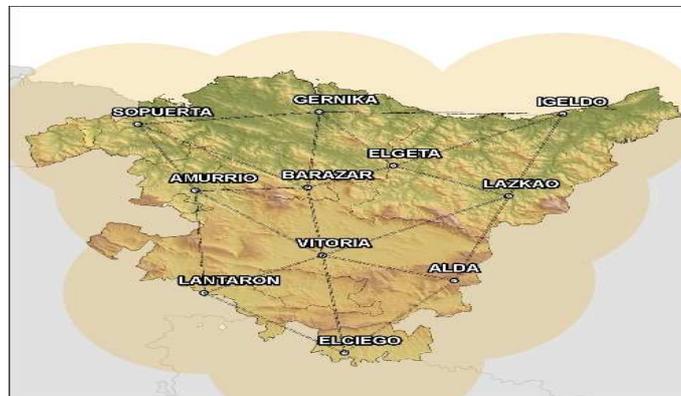


Imagen 32: Muestra la distribución de la red de estaciones GNSS de Euskadi

Hay que indicar que antes de utilizar los servicios hay que darse de alta en la WEB rellorando un formulario de alta, después de este proceso recibiremos un nombre de usuario y contraseña que nos servirá como forma de identificación. De todas las estaciones la más cercana a la Facultad de Informática, que es donde nos encontramos, es la de Igeldo. Esta estación de Igeldo posee un receptor AT504 LEIS de doble frecuencia de la marca LYCOS, que se encuentra en la azotea del observatorio, de ella es de donde obtendremos los datos para nuestras correcciones diferenciales.



Imagen 33: Muestra una foto del observatorio y otro de la antena AT504 LEIS.

11.-Sistemas propuestos y componentes.

Como ya hemos comentado, el principal objetivo del proyecto es conseguir una precisión lo más alta posible con un GPS económico y lo vamos a intentar cumplir utilizando RTKLIB y una estación base con una antena de alta calidad. La estación base utilizada ha sido explicada en el punto anterior y el protocolo para acceder a las correcciones será NTRIP.

Además de este objetivo, también queremos probar si con 2 dispositivos de bajo coste podríamos montar nosotros un sistema propio de correcciones diferenciales. Para conseguir montar el sistema necesitaríamos que uno de los dispositivos GPS actúe como estación base e indicarle nosotros el punto donde se encuentra con la máxima precisión posible, y que el software se encargue de hallar el error y crear las correcciones. Este dispositivo podría mandar las correcciones al otro dispositivo móvil y probar si la precisión de éste aumenta. El verdadero problema de esta técnica es que el dispositivo que utilicemos como estación base no tendrá una precisión alta por lo que habrá cierta incertidumbre sobre si valdrá la pena aplicar esas correcciones en el otro dispositivo.

11.1-RTKLIB

RTKLIB es un programa gratuito, de código abierto, que se utiliza como plataforma para crear aplicaciones RTK-GPS. Las librerías que contiene utilizan funciones fundamentales de navegación y algoritmos de posicionamiento utilizando las portadoras de fase de las señales para las aplicaciones con RTK. RTKLIB soporta gran cantidad de protocolos y modos de comunicación entre los dispositivos (NTRIP, NMEA, UBX, RTCM....). Normalmente, si queremos utilizar RTK, necesitamos que los receptores GPS que vamos a utilizar tengan software para aplicar las correcciones diferenciales. RTKLIB proporciona este software de forma independiente, es decir, que aunque nuestro receptor GPS no lo tenga, podemos hacer que estas correcciones se apliquen en tiempo-real en el PC donde tengamos instalado RTKLIB. Para ello, los receptores GPS que utilicemos tienen que tener la opción de **datos en bruto (RAW DATA)**. Esta opción significa que los GPS son capaces de enviar la información en bruto de las señales que les llegan de los satélites. En otras palabras, significa que los receptores GPS no den la posición ya calculada por ellos si no que den los parámetros necesarios para calcularla con un software. Los receptores que cuentan con esta opción, incrementan ligeramente su precio ya que necesitan relojes más precisos para poder sacar los datos en bruto a la velocidad oportuna. Para más información sobre RTKLIB consultar anexo 19.

De las múltiples aplicaciones con las que cuenta RTKLIB, una de las más interesantes, desde nuestro punto de vista, es que permite gestionar nuestra propia estación base y por tanto, crear nuestro propio sistema de correcciones diferenciales. Ello nos permitirá probar si con 2 dispositivos de bajo coste podríamos generar correcciones y conseguir mejorar la precisión.

Dado que vamos a utilizar RTKLIB para nuestro proyecto nos vimos en la necesidad de adquirir algún dispositivo GPS que contase con la opción de salida de datos en bruto comentada. Decidimos que lo correcto sería adquirir dos dispositivos iguales para probar uno como estación base y el otro como el dispositivo de campo o *rover*. Dado que nuestro anterior

GPS era de la marca u-blox y nos dio buenos resultados, decidimos que los 2 nuevos dispositivos iban a ser de esta misma marca. Finalmente nuestra elección fue adquirir 2 kits EVK-6T que se describen en el siguiente apartado. El coste de cada uno de esos kits es de 300 euros, un precio ligeramente superior a los GPS normales de gama-media.

11.2-EVK-6T

El kit EVK 6-T viene con una interfaz USB integrada que proporciona la alimentación y una alta velocidad de transferencia de datos. Esto elimina la necesidad de una fuente de alimentación externa. Estos kits son compactos y su interfaz, fácil de usar, los hacen ideales para su uso en laboratorios, vehículos y lugares al aire libre. Además, se pueden utilizar con una PDA o un PC portátil conectándolos mediante el cable USB de forma fácil.

El kit viene en un pequeño maletín que incluye:

- Módulo GPS
- Cable USB
- Antena GPS activa (5 metros)
- CD con drivers, herramientas y documentación
- Una batería (separada)
- Adaptador digital MMCX

El módulo GPS viene en una carcasa metálica de aproximadamente 10cm de largo y 6 de ancho. El chip que incorporan estos GPS es el LEA 6T cuyas características describimos a continuación.



Imagen 34: Muestra el kit EVK-6T

11.2.1-LEA-6T

Este chip es similar al utilizado anteriormente (LEA-6S) aunque tiene ciertas características que lo diferencia. La más importante de todas es que tiene un reloj más preciso que el anterior, de este modo la sincronización inicial la puede hacer más precisa por lo que obtiene un error menor en sus pseudodistancias calculadas. Además, este reloj permite la salida de los **datos en bruto (RAW DATA)** a una frecuencia de hasta 5Hz, esta es la verdadera razón por la que hemos decidido adquirir este módulo. Esta opción, nos permite dar salida a los datos en bruto del GPS, los programas como RTKLIB pueden utilizar esta información para aplicar correcciones y conseguir crear sistemas RTK.

- Precision Timing:
 - 2 timepulse outputs (up to 10 MHz)
 - Output timepulse with at least one satellite in view
 - Stationary mode for GPS timing operation
 - Time mark of external event inputs
- Raw data
- Onboard non-volatile memory for configuration storage
- UART, USB and DDC (I2C compliant) interfaces
- Onboard RTC Crystal for faster warm and hot starts

Imagen 35: Muestra las principales características del chip



Imagen 36: Muestra el módulo GPS con el chip LEA 6T

12.-Sistema RTK

Como hemos comentado, la primera prueba realizada consiste en intentar construir un sistema RTK.

Para ello necesitamos:

- Receptor GPS con opción de salida de **datos en bruto**. (EVK-6T)
- Datos de una estación base cercana para conectarse a ella y recibir sus correcciones. (Estación base de Igeldo)
- Programa que realice las conexiones y aplique las correcciones. (RTKLIB)

Con estos 3 elementos estamos preparados para crear nuestro sistema RTK. A continuación se explican pasos en la configuración para crear el sistema propuesto.

12.1.-Configuración del Sistema

Configuración del dispositivo GPS

Para configurar el GPS en el RTKLIB, más concretamente en el RTKNAVI, debemos seleccionar la pestaña que se refiere a *inputs (entradas)* en el menú principal del *RTKNAVI*. En la pantalla de entradas nos interesa la primera en la que se puede leer *rover* (dispositivo de campo).

Lo primero que debemos seleccionar es el modo en el que le van a llegar los datos (*Type*) y después el tipo de datos que le van a llegar (*Format*). En el cuadro de *Type* seleccionamos serial, ya que los datos los recibirá desde un puerto serie COM de nuestro PC, y en el cuadro de *Format* seleccionamos u-blox ya que los datos en bruto tienen un formato diferente dependiendo de quién sea el fabricante del dispositivo, en nuestro caso u-blox.

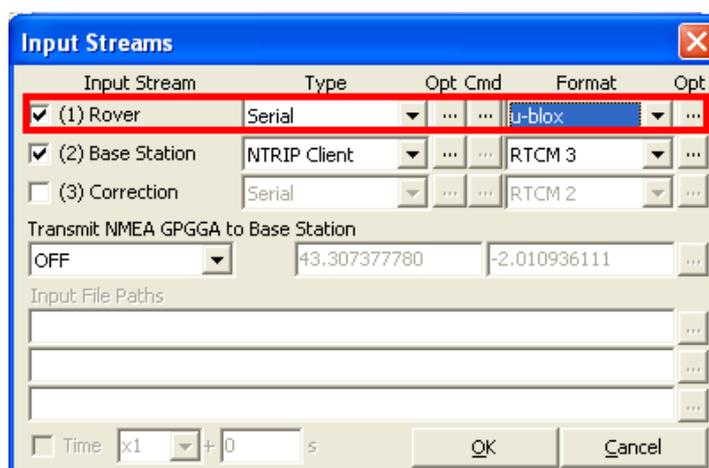


Imagen 37: Muestra la configuración del dispositivo GPS en RTKNAVI

En el cuadro de opciones (*Opt* en la imagen) seleccionamos los datos de conexión del puerto: número del puerto, *Bitrate* (velocidad en baudios), tamaño del byte, etc. En este punto se ha dejado todo por defecto.

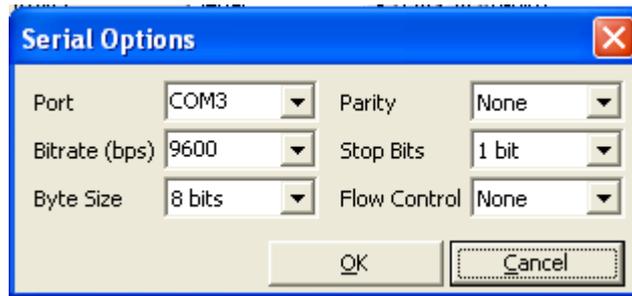


Imagen 38: Muestra la pantalla opciones

Por último hay que configurar el GPS para que en su salida nos proporcione los **datos en bruto** ya que por defecto el GPS envía mensajes NMEA con la posición.

La configuración de la salida de los datos en bruto se puede hacer de 2 maneras:

- Mediante la interfaz gráfica que permite usar U-center.
- Mediante el propio RTKLIB, ya que éste permite mandar mensajes de configuración UBX (véase capítulo 6.3) al dispositivo al iniciarse éste.

Los pasos a seguir para la segunda opción son: pulsamos sobre el botón *Cmd*, que se muestra en la imagen 37, entre los dos cuadros de texto (*Type y Format*). Una vez pulsado aparece la siguiente pantalla en la que introduciremos los mensajes de configuración UBX correspondiente para conseguir sacar el RAW DATA. Estos mensajes UBX se describen en el manual de U-BLOX.

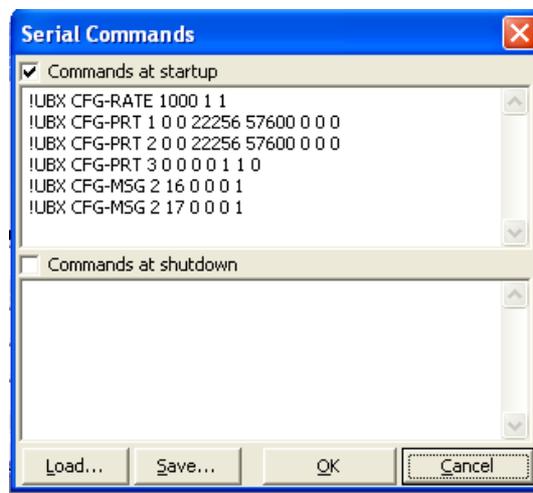


Imagen 39: Muestra la pantalla Cmd para introducir mensajes UBX.

A continuación se presenta una breve explicación de los utilizados:

!UBX CFG-RATE 1000 1 1

Este mensaje configura la frecuencia con la que se realizan las mediciones. El primer parámetro indica el periodo en milisegundos. Con el valor 1000 ms (1 segundo) estamos seleccionando que la frecuencia de salida de los datos sea de 1Hz. El segundo parámetro es la tasa de navegación o número de ciclos que se utilizan para una medida, este valor será siempre 1. El último parámetro configura la hora que toma como referencia (0: UTC TIME.1: GPS TIME), en nuestro caso será 1.

!UBX CFG-PRT 1 0 0 22256 57600 0 0 0

!UBX CFG-PRT 2 0 0 22256 57600 0 0 0

Estos dos mensajes son la configuración predeterminada de los puertos UART 1 y 2.

!UBX CFG-PRT 3 0 0 0 1 1 0

Este mensaje configura el puerto USB para que envíe solamente mensajes de tipo UBX o RAW DATA y no los NMEA.

!UBX CFG-MSG 2 16 0 0 0 1

!UBX CFG-MSG 2 17 0 0 0 1

Se utilizan para activar los mensajes que queremos que nos de el puerto USB.

Una vez puestos estos mensajes ya tendremos nuestro dispositivo GPS listo

Configuración de la estación base

En la pantalla de *inputs* (entradas) en la segunda fila, debajo del *rover* (ver en la imagen 36), ya explicado en el punto anterior, podemos leer *Base Station* (Estación base), debemos de configurar la estación base que es de donde se van a generar las correcciones.

Lo primero que tenemos que hacer es seleccionar el modo en el que le van a llegar los datos (*Type*) y el formato (*Format*). En *Type* seleccionamos *NTRIPClient* y en *Format* *RTCM3*. NTRIP es el sistema por el que las estaciones base suben los datos a un servidor para que después puedan recogerse desde Internet (véase capítulo 10.5). Una vez seleccionada la fuente y el tipo de datos, queda introducir los datos de conexión de la estación base. Para ello, seleccionamos el botón *Opciones* (*Opt*), que se encuentra entre los dos cuadros de texto (*Type* y *Format*), y accederemos a la pantalla mostrada a continuación



Imagen 40: Muestra la pantalla donde se introducen los datos de conexión de la estación base

Estos datos nos los ha suministrado la estación base de Igeldo, una vez nos hemos dado de alta. La dirección IP y el número de puerto seleccionan el servidor al que queremos conectarnos y el *mountPoint* selecciona el tipo de datos que queremos descargar. Además, hace falta introducir el usuario y contraseña que nos han asignado. Con esto la estación base quedaría correctamente configurada.

Puesta en marcha del sistema

Una vez tenemos el dispositivo GPS y la estación base bien configuradas, solo queda poner en marcha RTKNAVI. Puede ser aconsejable modificar la salida de datos (véase manual) además de ciertas opciones.

Ahora explicaremos las opciones más importantes.

- (1) Modo *Static*. Seleccionamos esta opción dado que, para esta prueba, el GPS se mantendrá estáticamente en un punto.
- (2) Frecuencias: L1 y L2. Puesto que la estación base utiliza las 2.
- (3) FIX AND HOLD. Mantiene las correcciones que hace en un punto.
- (4) La posición de la antena hay que marcarla como RTCM ANTENA POSITION ya que la antena se encarga de mandar su posición con la mayor precisión posible.

Una vez cambiadas estas opciones pulsamos el botón de START para comenzar con las pruebas.

12.2-Prueba del sistema

Colocamos los dos módulos GPS LEA-6T en la azotea de la facultad, uno junto al otro, como se aprecia en la imagen.



Imagen 41: Muestra los dos GPS.

Al de la derecha de la imagen lo llamaremos GPS1 y al de la izquierda GPS2.

La separación entre las dos antenas es de 6,1 centímetros. En esta prueba se pretende probar el sistema RTK. Para ello, dejamos conectado el Sistema RTK, anteriormente descrito, durante 6 horas aproximadamente grabando la ruta. El GPS que utilizamos para esta prueba es el de la derecha de la imagen (GPS1), un LEA-6T. Esta prueba la realizamos en estático, es decir que el GPS permaneciera en la misma posición durante la toma de medidas.

Resultados

Lo primero de todo, tal y como hemos hecho en las anteriores pruebas, es mostrar la ruta del GPS mediante Google Earth. El dispositivo GPS estuvo conectado durante 6 horas aproximadamente, si sabemos que cada segundo el GPS nos da la posición en esas 6 horas tendremos 21600 puntos de posición, el conjunto de esos puntos forma la ruta que es lo que mostramos.



Imagen 42: Muestra la ruta del GPS. Funcionando con la técnica RTK

Hace falta recordar que la posición exacta no coincide por el error que tiene Google Earth, la línea amarilla muestra una aproximación a lo que sería la posición real, aunque a nosotros nos interesa la dispersión de los puntos azules que forman la ruta.

Como podemos observar en las imágenes con el sistema RTK, el área de dispersión de los puntos es considerablemente más pequeña que en las pruebas anteriores. El área de dispersión del módulo GPS sin RTK, en la prueba anterior, era de aproximadamente 4 metros, mientras que en esta prueba es de 9 centímetros, si no consideramos el tiempo de estabilización. Si prestamos atención a la imagen 42, se puede apreciar como la posición tarda en estabilizarse en el punto, esto se aprecia mejor mediante los gráficos que mostramos a continuación.

Como en las demás pruebas, hemos pasado los datos de las rutas a Excell para poder generar gráficos y poder cotejar mejor las medidas. A continuación se muestran 3 gráficos. El primero corresponde a la latitud, el segundo a la longitud y el tercero a la altura.

Recordar que consideramos que la posición real es la media de todos los puntos.

Para los gráficos:

-El eje Y representa los grados en el caso de latitud, longitud y los metros en el caso de la altura. Para los grados, si sabemos que un grado de latitud equivale a 111,319 kilómetros, una

cientésima de grado, equivale aproximadamente a 1,11 metros. Es decir que en el eje de la Y, entre las líneas punteadas de la primera gráfica hay aproximadamente 1,11 metros. En el caso de la longitud la distancia entre las líneas punteadas de la gráfica es aproximadamente de 0,83 metros.

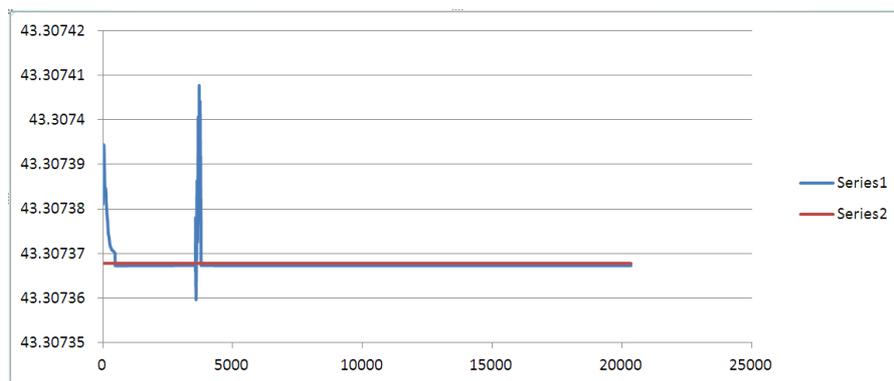
-El eje X representa tiempo en segundos totales.

-La línea azul (Series 1) corresponde a la ruta de los puntos de cada GPS.

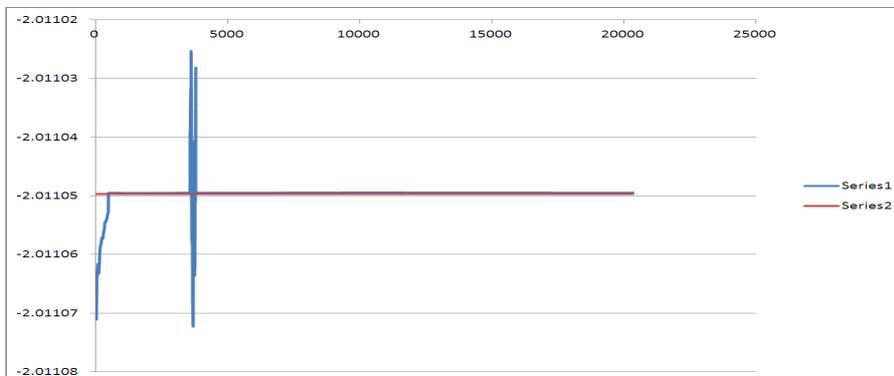
-La línea roja (series 2) corresponde a la media, la cual tomaremos como el valor real

GPS (CON RTK)

LATITUD



LONGITUD



ALTURA

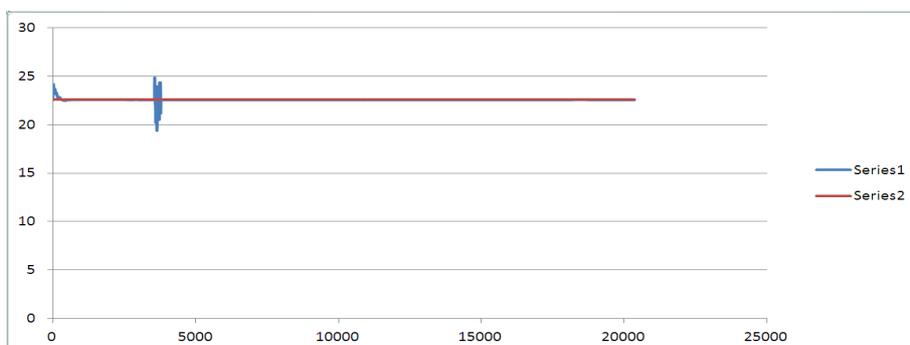


Imagen 43: Muestra las 3 gráficas(latitud,longitud y altura) del GPS con RTK

Estudio de los resultados

Como se puede ver en la imagen 45, en las tres gráficas, el GPS con el sistema RTK tarda un tiempo en estabilizarse de unos 1000 segundos (16 minutos), después de este tiempo se mantiene muy cerca del valor real. En las anteriores pruebas vimos como la dispersión de los puntos no tendía a estabilizarse con la media. En este caso parece que después de unos 16 minutos la dispersión de los puntos es pequeña. También se puede apreciar que en hacia el segundo 4000 hay una desviación en todas las gráficas, esto puede deberse a una pérdida de conexión con la estación base.

A continuación mediante Excell hallamos el error medio de dispersión de los puntos respecto a la posición real en metros, tal y como hemos hecho en anteriores pruebas.

El error medio de dispersión es de 0,12 metros (12 centímetros) y el error máximo (punto más alejado del real) es de 4.49 metros. Generalmente en las pruebas se suele esperar un tiempo antes de la toma de medida, si los errores los calculamos después de que hayan estado 4 horas en funcionamiento (a partir del segundo 14000) el error medio de dispersión es de 0,007 metros (7 milímetros) y el error máximo de 0,09 metros (9 centímetros).

Conclusiones

Los resultados de esta prueba han sido muy satisfactorios, ya que con el Sistema RTK se ha conseguido una precisión centimétrica próxima a las que se consiguen con antenas caras, pero utilizando la técnica RTK con un GPS económico y una estación base.

En las siguientes pantallas se muestra la ruta del GPS utilizando RTKPLOT. RTKPLOT es un instrumento de RTKLIB que permite el seguimiento de rutas, además permite calibrar una fotografía y mostrar la ruta en diferentes escalas para que se puedan apreciar las mejoras en la precisión:



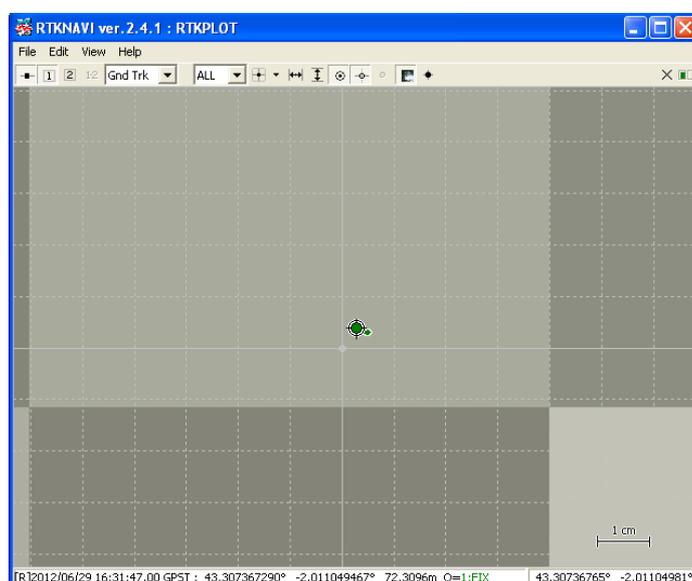
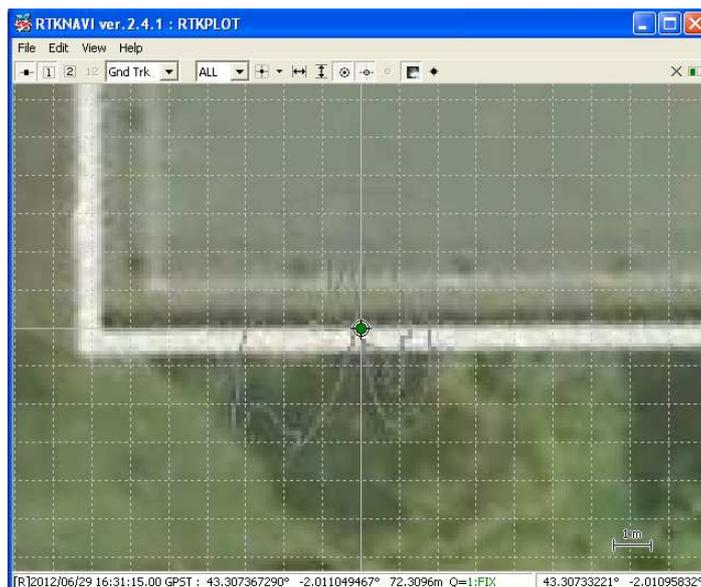


Imagen 44: Muestra la ruta del GPS con RTKPLOT en diferentes escalas(10 metros,1 metro, 1 centímetro)

Estas imágenes han sido capturadas en las últimas medidas de la prueba, por ello solo muestran los puntos correspondientes a la última hora. Como se aprecia, cada una de las imágenes está dividida en cuadrados. La escala corresponde con la medida de los lados de cada uno de los cuadrados. En la única imagen que se puede apreciar dispersión es en la imagen de escala de un centímetro.

Con la técnica RTK, se pueden alcanzar precisiones de unos pocos centímetros, mucho mejores que las que se alcanzan solo con un GPS utilizando SBAS. Lo interesante es que con RTKLIB se puede aplicar esta técnica a receptores GPS económicos como el nuestro y conseguir precisiones que solamente podríamos conseguir con antenas caras. Recordar que estos buenos resultados también son posibles gracias a la cercanía de la antena de la que recibimos las correcciones. Esta antena se encuentra a unos 2 kilómetros según nos muestra RTKLIB.

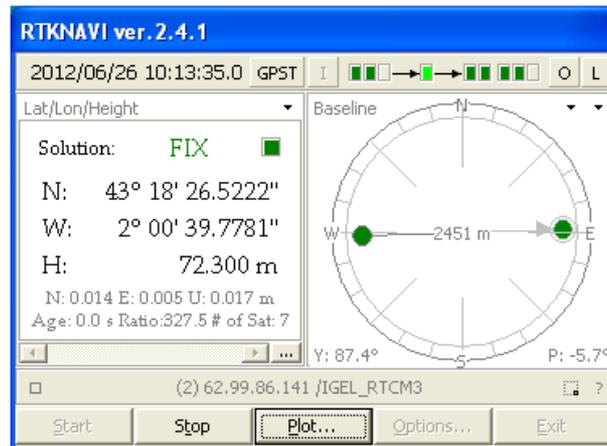


Imagen 45: Muestra RTKNAVI funcionando. A la derecha de la imagen se muestra con una recta la distancia entre la estación y el GPS.

Quedaría aclarar que para hacer una medida real de la calidad del sistema sería más conveniente dejarlo conectado durante al menos 10 horas con el cielo despejado, y a partir de ese tiempo, realizar las mediciones para probar su verdadera calidad.

Para finalizar, realizamos la misma prueba con el otro LEA-6T (GPS2). A partir de ahora, en las siguientes pruebas consideraremos que la posición real de los 2 GPS es la media de las dos pruebas realizadas. Se ha calculado la distancia en metros entre los resultados de los 2 GPS y es de 0,57 centímetros, mientras que la distancia real era aproximadamente de 6,1 centímetros.

13.-Sistema autónomo de correcciones.

Como hemos explicado, el objetivo de esta prueba es ver si creando nuestro propio sistema autónomo de correcciones se consigue mejorar la precisión del GPS. Para ello vamos a utilizar dos GPS del tipo LEA 6T, uno de ellos lo utilizamos como base y el otro como dispositivo de campo o *rover*.

13.1.-Configuración del sistema

Preparación del sistema

Para la preparación del sistema hemos utilizado RTKLIB además de un programa que permite crear un *NTRIPcaster*. En el sistema vamos a utilizar dos dispositivos LEA-6T iguales: uno como estación base y el otro como dispositivo de campo o *rover*.

Hay dos modos de conectar la estación base a RTKLIB:

-Se puede conectar al RTKLIB como si de otro módulo se tratase. De este modo tendríamos los 2 GPS (estación base y dispositivo de campo) conectados en el mismo ordenador. Este sistema es válido para las pruebas pero en una aplicación real la estación base estará separada del dispositivo de campo(*rover*).

-Se puede conectar mediante el *NTRIPcaster*. De este modo podremos tener la estación base conectada a un ordenador para subir los datos y poder utilizar el dispositivo de campo en otro ordenador para descargarlos por separado. Esta técnica simula mejor una situación real.

Esta prueba la hemos realizado utilizando el programa *NTRIPcaster* como si de una aplicación real se tratase, aunque que las dos antenas solo están separadas 6 centímetros una de la otra.

Configuración del dispositivo GPS

El dispositivo que utilizemos como dispositivo de campo, lo conectaremos con RTKLIB de la manera que lo conectábamos en la prueba anterior(también con el RAW DATA).

Configuración de la estación base

Para el dispositivo que vamos a utilizar como estación base, lo primero que debemos hacer es configurarlo para que emita los datos en bruto(RAW DATA) por su salida, ya que RTKLIB solo podrá obtener correcciones con este flujo de datos. Después debemos conectarlo utilizando el programa *NTRIPcaster*. Este programa nos permite crear un punto de montaje además de un usuario y una contraseña, para después conectar un dispositivo GPS y subir los datos a ese punto, finalmente descargaremos estos datos con RTKLIB.

En el RTKLIB, en la configuración de la estación base, debemos de indicar el modo en el que recibe los datos (*type*) y el formato (*Format*). El *Type* será NTRIPclient como antes, pero el *Format* será U-blox, ya que esta vez los datos que reciba de nuestro receptor serán de tipo RAW DATA.

Una vez seleccionada la fuente y el tipo de datos, introducimos los datos de conexión de la estación base. Para ello, pulsamos en el botón Opciones (*Opt*) que se encuentra entre los dos cuadros de texto (*type* y *format*).

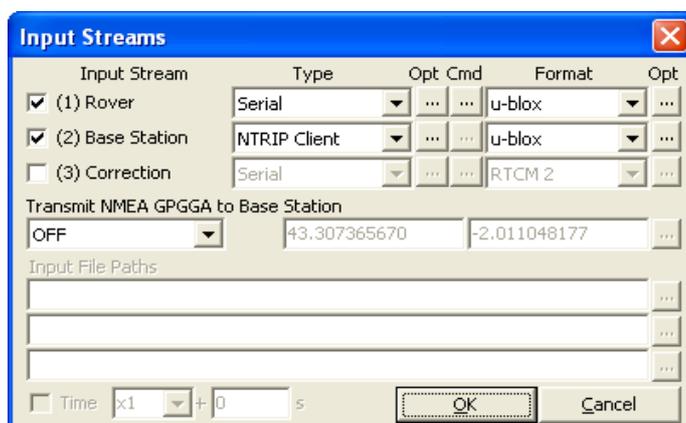


Imagen 46: Muestra la pantalla principal de RTKNAVI

En esta pantalla introducimos los datos que hemos puesto en el programa *NTRIPcaster*. La dirección IP debe ser la de nuestro ordenador y el puerto que utiliza el programa *NTRIPcaster* es el 5000. Tanto el punto de montaje, como el usuario y la contraseña deberemos de haberlo creado nosotros por lo tanto introduciremos los datos que hayamos elegido.

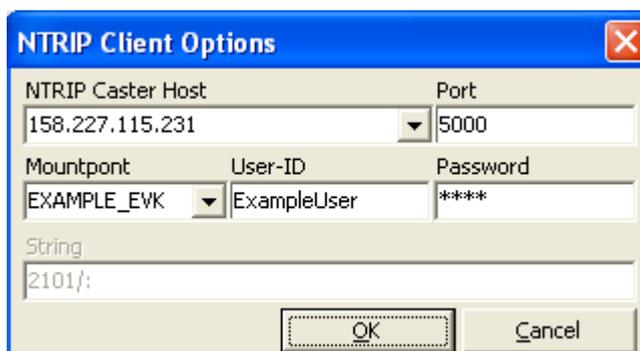


Imagen 47: Muestra la configuración de NTRIP para nuestro sistema autónomo

Puesta en marcha del sistema

Una vez tengamos el dispositivo GPS y la estación base configuradas, solo queda poner en marcha RTKNAVI y cambiar ciertas opciones antes de lanzarlo:

- (1) Modo *Static*. Ya que para la toma de medidas no vamos a mover el *rover*.
- (2) Frecuencias: solo L1 .Ya que la estación base y el dispositivo de campo solo utilizan la L1
- (3) FIX AND HOLD. Consiste en mantener las correcciones que hace en cada punto.
- (4)Esta parte es muy importante ya que aquí vamos a introducir la posición de la antena con la máxima precisión posible, esta posición se utiliza para generar los datos de las correcciones. Para ello hemos tomado la media de la posición que nos ha dado el dispositivo GPS en la prueba anterior con RTK, que ya de por si era muy precisa. Así que en este caso utilizaremos como estación base el módulo que en la prueba anterior utilizábamos como *rover* (GPS1) puesto que es del que sabemos la posición con precisión.

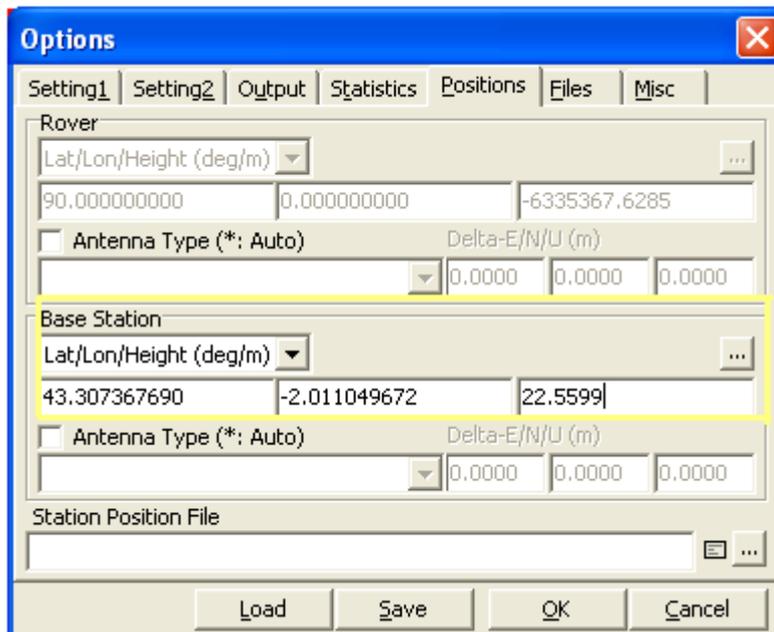


Imagen 48: Muestra la pantalla donde introducimos la posición de la base.

13.2-Prueba del sistema autónomo

A continuación, se probará el sistema de correcciones. Para ello dejamos conectado el sistema durante 6 horas grabando la ruta. El GPS utilizado como estación base es el que aparece a la derecha de la Imagen 40 (GPS1) y el que utilizamos como *rover* es el que aparece a la izquierda (GPS2). La separación real entre los dos GPS es de 6,1 centímetros. Esta prueba la realizamos con el GPS estático, es decir permanecera en la misma posición durante la toma de medidas.

Resultados

Lo primero de todo, es mostrar la ruta del GPS mediante Google Earth. Los dispositivos GPS estuvieron conectados durante 6 horas aproximadamente, por lo que tendremos aproximadamente 21600 puntos de posición. El conjunto de esos puntos forma la ruta que es mostramos en la Imagen 51.

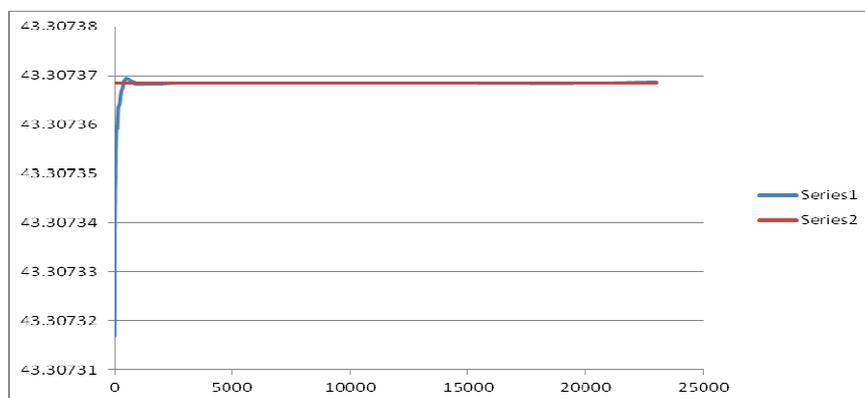


Imagen 49: Muestra la ruta del GPS.

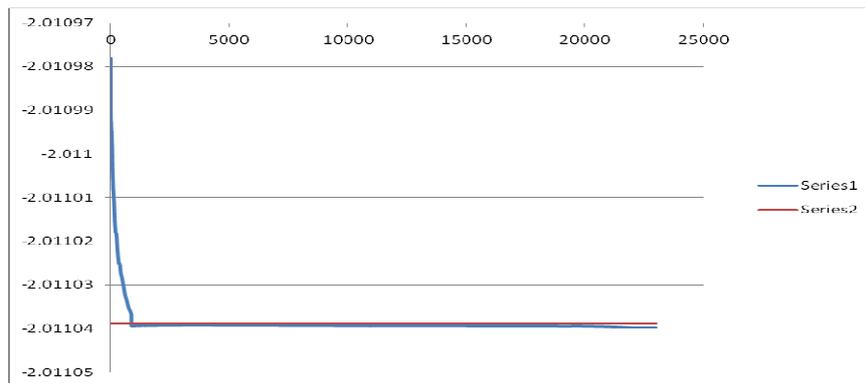
Como podemos observar en la imagen, la ruta del GPS sigue una línea de unos 6 metros hasta que se estabiliza, con el sistema anterior (RTK) el recorrido que realizaba hasta estabilizarse era menor. También se puede ver que la posición final no es la misma que en la otra prueba, pero esto es normal puesto que el receptor GPS (GPS2) que utilizamos como *rover* no es el mismo y no se encuentra en la misma posición que el anterior, aunque sí muy cerca.

Como en las demás pruebas, hemos pasado los datos de las rutas a Excell para generar gráficos. A continuación se muestran 3 gráficos. El primero corresponde a la latitud, el segundo a la longitud y el tercero a la altura.

LATITUD



LONGITUD



ALTURA

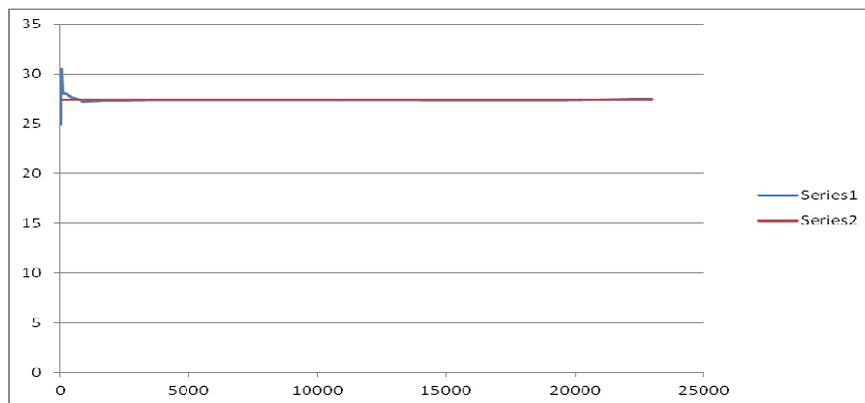


Imagen 50: Muestra las 3 gráficas (latitud, longitud y altura) del GPS con el sistema autónomo

Como se puede apreciar en las gráficas, estas tardan en estabilizarse unos 1000 segundos (16 minutos) igual que en el caso anterior, solo que en este caso los primeros puntos aparecen mucho más alejados de la media. En el caso de la longitud, se puede apreciar como al final los puntos sufren una ligera dispersión respecto a la media. También hace falta indicar que en el caso de la altura hay un error puesto que la media ha dado 27 metros y en las demás pruebas la altura era de 22.

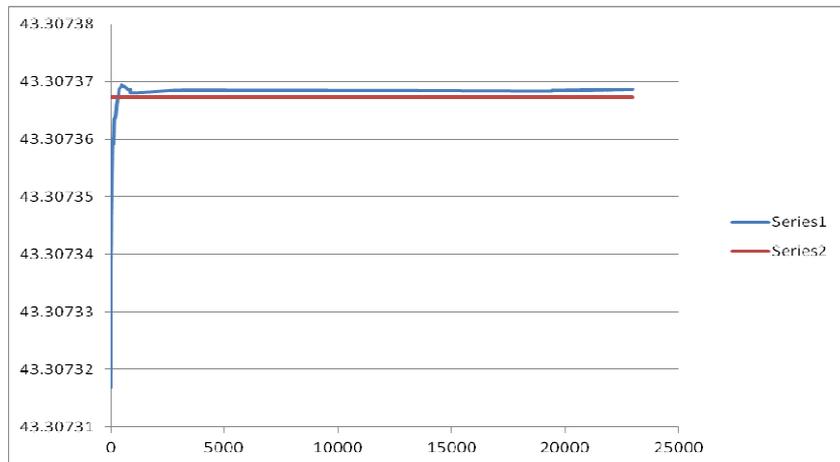
Estudio de los resultados

Con estas medidas, hallamos el error medio de dispersión de los puntos respecto a la posición real en metros, tal y como hemos hecho en las anteriores pruebas.

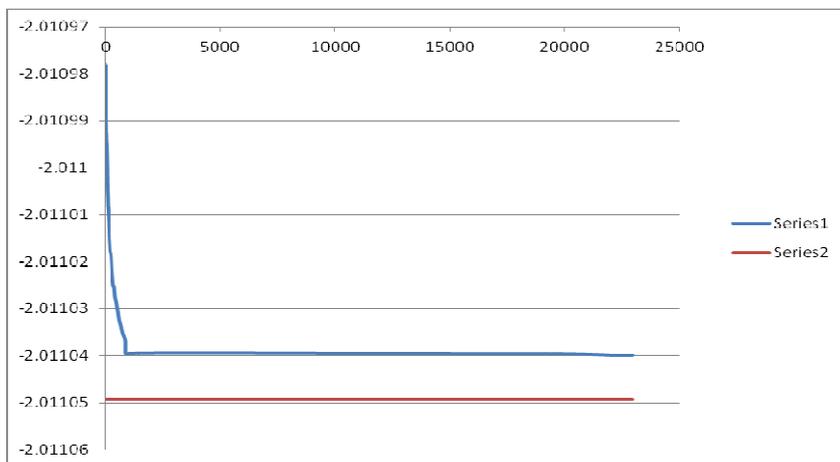
El error medio de dispersión es de 0,05 metros (5 centímetros) y el error máximo (punto más alejado del real) es de 7.55 metros. Como en la anterior prueba vamos a hallar los errores tras 4 horas en funcionamiento. A partir del segundo 14400, el error medio de dispersión es de 0,012 metros (1,2 centímetro) y el error máximo de 0,13 metros (13 centímetros).

Ahora mostraremos las mismas gráficas, aunque en este caso la media (línea roja), será la media de posición de la prueba anterior con el sistema (RTK), ya que la precisión se presupone que es mayor. De esta forma veremos cómo es de precisa la posición alcanzada por nuestro sistema autónomo.

LATITUD



LONGITUD



ALTURA

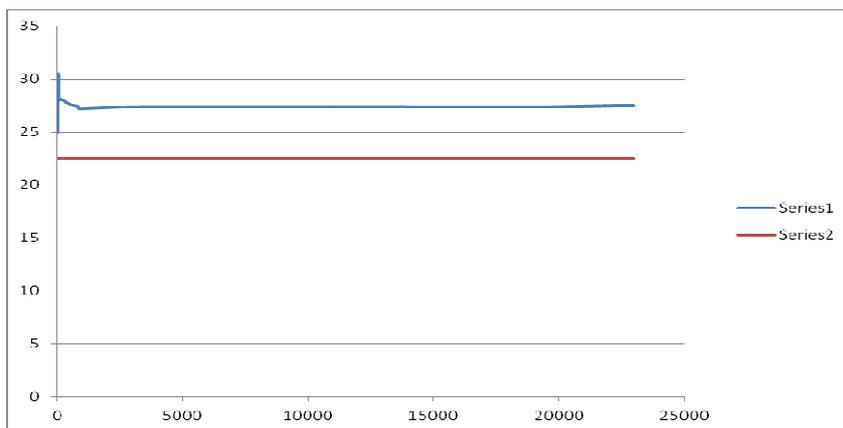


Imagen 50: Muestra las 3 gráficas(latitud,longitud y altura) comparando la ruta del sistema autónomo con la posición devuelta por el RTK (con el mismo GPS) en la anterior prueba.

Como se aprecia en los gráficos, mientras que la latitud se mantiene muy cerca del punto real, la longitud está desplazada respecto a la posición real. Como hemos comentado antes en la altura también se ha cometido mucho error.

Conclusiones

Parece ser que la precisión que se alcanza con este sistema, menos en la altura, es similar a la conseguida con el sistema RTK en cuanto a estabilidad de los puntos.

El error de posición de nuestro sistema de correcciones es de 0,87 metros respecto a la posición real que tomamos (la del sistema RTK). Suponemos que este error es alto porque al tardar el sistema tiempo en estabilizarse, los primeros puntos están muy desplazados, y estos puntos también cuentan para hacer la media.

Realizamos una segunda prueba dejando el sistema de correcciones autónomo durante 12 horas conectado, para después realizar la media de los puntos de las 2 últimas horas. Con esto el sistema ha tenido tiempo suficiente para estabilizarse. Los resultados fueron muy satisfactorios, ya que la media de estas 2 últimas horas está separada solamente 0,3 centímetros (3 milímetros) de la media que se consiguió con el sistema RTK.

A continuación se muestra en la imagen la distancia de separación de las bases que obtenemos con RTKLIB.

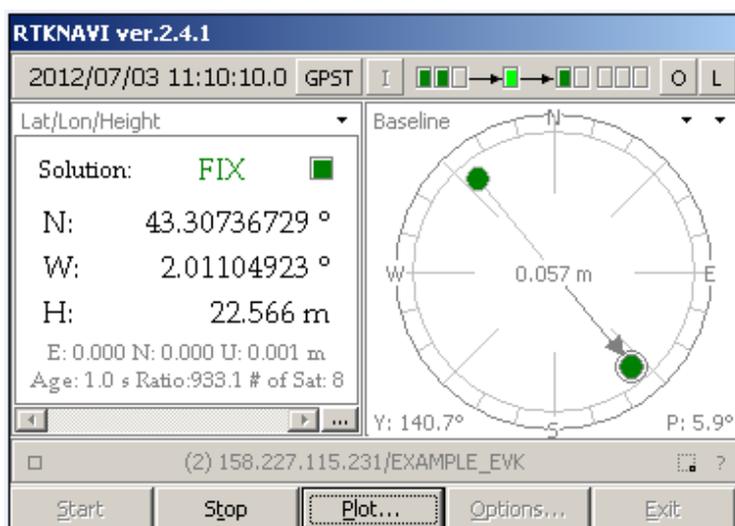


Imagen 51: Muestra RTKNAVI funcionando. A la derecha de la imagen se muestra con una recta la distancia entre los 2 GPS.

Como se observa en la imagen, la distancia que obtenemos es de 0,057 metros (5,7 centímetros). Esta distancia obtenida, es muy próxima a la distancia real entre los 2 GPS (6,1 centímetros).

Por lo tanto, a falta de más comprobaciones, diremos que el sistema de correcciones necesita un tiempo previo de estabilización de al menos 7 horas para que la media de sus puntos sea próxima a la correcta, mientras que los sistemas RTK consiguen estabilizarse más rápido.

A continuación, mostraremos el punto utilizando RTKPLOTT como hemos hecho en la prueba anterior.

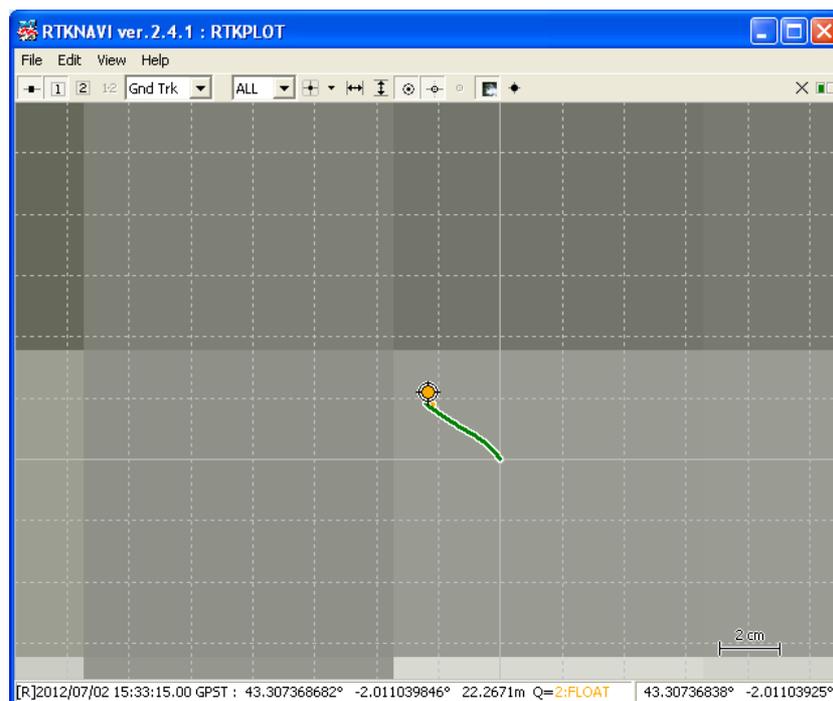
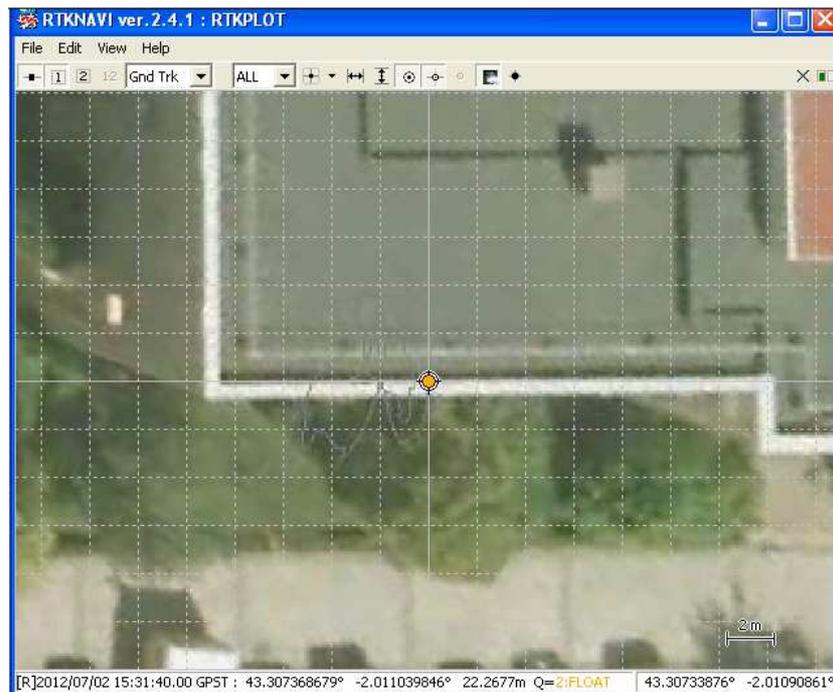


Imagen 52: Muestra la ruta del GPS con RTK PLOT en diferentes escalas.

Como se puede apreciar en la segunda imagen, a escala 2 centímetros, el GPS sufre una ligera desviación, esto es porque no lo hemos tenido el tiempo suficiente para que se estabilice y obtengamos su posición con precisión. El punto que sigue la ruta en la imagen permanecerá en amarillo mientras el sistema no se estabilice, cuando lo haga el icono se volverá verde como el de la siguiente imagen.

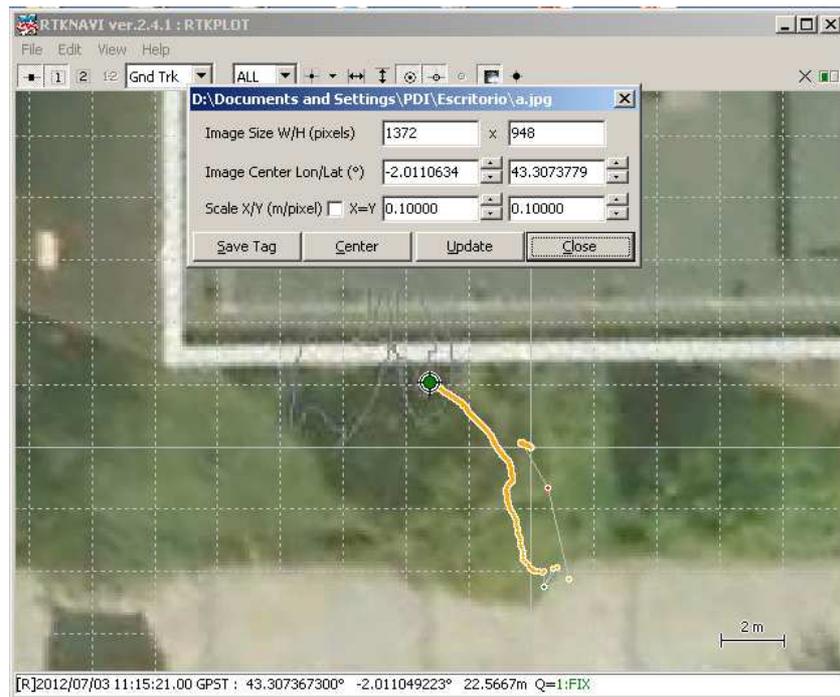


Imagen 53: Muestra la ruta del GPS con RTKPLOT .

Para finalizar diremos que este sistema ha dado mejores resultados que los esperados. También hay que indicar que, para ello, debemos dejar tiempo para la estabilización del dispositivo. Además, el día de realización de la prueba, el cielo lucía despejado y esto es un factor importante a la hora de tomar las medidas.

14.-Conclusiones finales del proyecto

La principal utilidad de los receptores GPS hoy en día es la navegación, generalmente para estas aplicaciones no se necesitan GPS con mucha precisión, ya que aunque estos tengan una precisión de un metro se puede seguir la ruta marcada sin dificultades. Sin embargo, existen aplicaciones que necesitan precisiones más altas como por ejemplo aplicaciones de guiado automático, en las que receptores GPS que introducen errores de metros no es suficiente.

Para estas aplicaciones, se puede utilizar la técnica RTK tal y como se ha descrito en este proyecto. El único inconveniente es que esta técnica necesita de una estación base cercana para recibir los datos de las correcciones. La distancia que mantengamos con la estación base y la calidad de la antena de la estación, son factores que influirán en la precisión final de nuestro sistema. Esto puede ser un problema en lugares en los que las estaciones bases están alejadas muchos kilómetros o carecen de ellas. Como solución a este problema propongo que si un colectivo grande quiere conseguir más precisiones con sus dispositivos GPS, podrían llegar a un acuerdo para comprar una antena de buena calidad e instalarla en un lugar que cubra el área donde se encuentren. De este modo podrían usar las mismas bases para conseguir buenas precisiones.

También existe la posibilidad de crear nuestro propio sistema de correcciones tal y como hemos explicado. Para ello, necesitamos de dos GPS de gama media. Pero como hemos visto, las precisiones no son tan altas como las que se consiguen con el sistema RTK, además el tiempo de estabilización es mayor y uno de los beneficios de este sistema es la autonomía, ya que en este caso no dependemos de la estación base si no que nosotros somos la propia estación base. Por el contra, hace falta saber el punto donde nos encontramos de la manera más precisa posible.

Hoy en día las aplicaciones utilizando la técnica RTK se están extendiendo más. Cada vez existen más estaciones que proporcionan datos fiables de correcciones diferenciales. En un futuro es previsible la formación de redes de estaciones RTK. Con estas redes se podrían cubrir superficies extensas (países enteros) y con ello conseguir servicios RTK de forma sencilla desde cualquier punto.

El principal objetivo del proyecto, conseguir mejorar la precisión de un GPS, se ha conseguido satisfactoriamente. De las dos técnicas usadas, la más precisa es RTK ya que esta utiliza las correcciones de una antena de alta calidad, pudiéndose conseguir precisiones de unos pocos centímetros con poco tiempo de estabilización.

Aunque el sistema de correcciones autónomo ha arrojado muy buenos resultados, queda probarlo separando la base del rover varios kilómetros, para ver si se mantiene la precisión conseguida en la prueba.

15.-Problemas encontrados

A lo largo de este proyecto nos hemos encontrado con problemas de diversa índole.

El principal problema se encontró en el momento de realizar las pruebas, ya que estas dependen de muchos factores que no se pueden controlar como por ejemplo el clima. Los receptores GPS funcionan con la adquisición de señales de los satélites, un clima nublado es un factor que altera de forma negativa los resultados de las pruebas y dado el clima de esta zona, no nos fue fácil acordar un día en el que el cielo estuviera suficientemente despejado. Además la estación base que utilizamos para las correcciones tiene periodos de inactividad, es decir, que por problemas que nosotros desconocemos, a veces fue imposible conectarnos y recibir sus datos. Todos estos factores hicieron difícil encontrar el momento idóneo para realizar las pruebas.

El determinar la precisión de un punto también es un problema, ya que la mayoría de herramientas que utilizamos para mostrar las rutas son imprecisas y acumulan errores en las posiciones. Por lo tanto es difícil definir correctamente las coordenadas reales de un punto.

También nos encontramos problemas a la hora de utilizar el programa RTKLIB, aunque es la piedra angular del proyecto, el manual que viene con éste descuida la explicación profunda de muchos aspectos. Además, la falta de depuración de los errores en el programa también ha dado lugar a múltiples cuelgues del sistema durante las pruebas.

Por último, en los últimos compases, cuando intentamos probar nuestro sistema en movimiento, nos dimos cuenta que la conexión con los servidores NTRIP se perdía continuamente, debido a que la conexión wi-fi que cubre la universidad no es lo suficientemente amplia. Para ello intentamos realizar el sistema con módulos de radiofrecuencia en vez de con los servidores NTRIP.

16.-Aplicaciones futuras

Los dos sistemas presentados en el proyecto, son dos formas de conseguir mayor precisión en la posición calculada con un GPS.

El primer sistema crea una dependencia, ya que hace falta contar con los servicios de una estación base. Este sistema podría utilizarse en la facultad donde me encuentro realizando el proyecto y con él, se conseguiría reducir el error de los GPS a unos pocos centímetros.

En la facultad se llevan a cabo proyectos con sistemas robóticos, UAVS (Vehículo aéreo no tripulado) y otros sistemas como sillas de ruedas utilizadas para ayudar a personas de movilidad reducida. Estos proyectos en la mayoría de las ocasiones presentan la necesidad de un sistema de guiado, aquí es donde entra en acción los sistemas GPS. En muchos de ellos se necesita una precisión alta como en el ejemplo de los UAVS o de las sillas de ruedas. Con los sistemas propuestos se podría solventar esa necesidad ya que con ellos hemos conseguido una precisión centimétrica, que ayudaría a su correcto posicionamiento y guiado. Además en las cercanías gozamos de una antena pública de alta calidad cuyos servicios son gratuitos y podremos utilizarlos para nuestro fin. Con ello por ejemplo podríamos conseguir que un helicóptero no tripulado aterrizase en un punto con mucha precisión o también que una silla de ruedas circulase por una acera sin salirse de esta.

Otra aplicación que nos hubiera gustado realizar, y que no hemos realizado por falta de tiempo principalmente, es la construcción de nuestro propio sistema de correcciones de manera autónoma con un microcontrolador. Consistiría en programar RTKLIB para introducirlo embebido en un microcontrolador, así nos quitaríamos la necesidad de tenerlo conectado a un PC. Por otra parte necesitaríamos conectar otro dispositivo GPS a un ordenador para la estación base, para ello se necesitaría saber de forma precisa la posición donde lo posicionamos y a partir de ahí configurarlo para que suba los datos de las correcciones a un servidor y poder descargarlos cuando deseemos con nuestro microcontrolador. Con esto se crearía un sistema completamente autónomo para utilización de los integrantes de la facultad, ya que su radio de acción sería de unos pocos kilómetros.

17.-Bibliografía

Manuales:

- Manual de usuario del módulo GPS LEA 6S
- Manual de usuario del módulo GPS LES 6T
- Manual de usuario del programa U-center
- Manual de usuario del programa RTKLIB
- Manuales sobre Excell

Trabajos:

- SISTEMA DE CORRECCIÓN DE ERRORES EN GPS (UPV)
- SISTEMA DE POSICIONAMIENTO GLOBAL (GPS): DESCRIPCIÓN, ANÁLISIS DE ERRORES, APLICACIONES Y FUTURO , A.Pozo-Ruz*, A.Ribeiro, M.C.García-Alegre, L.García, D.Guinea, F.Sandoval (Instituto de Automática Industrial Consejo Superior de Investigaciones Científicas)
- MEJORA DE LA DISPONIBILIDAD NDE SBAS EN NAVEGACIÓN TERRESTRE, José Santa Lozano (Universidad de Murcia)

Páginas web:

- Wikipedia
DGPS: es.wikipedia.org/wiki/Sistema_de_posicionamiento_global
GNSS: http://es.wikipedia.org/wiki/Sistema_global_de_navegaci%C3%B3n_por_sat
....
- Pagina con explicación sobre el funcionamiento de los sistemas GPS:
http://www.asifunciona.com/electronica/af_gps/af_gps_11.htm
- Documento de la empresa de GPS TRIMBLE con información sobre DGPS:
<http://www.esri.com/partners/hardware/why-postprocess.pdf>
- Fuentes de error en el posicionamiento del GPS:
<http://es.scribd.com/doc/36063555/89/FUENTES-DE-ERROR-EN-EL-POSICIONAMIENTO-GPS>
- Estándar NMEA
<http://html.rincondelvago.com/estandar-nmea.html>
- Infraestructura de Datos Espaciales de Guipúzcoa
<http://b5m.gipuzkoa.net>
- Información sobre Correcciones diferenciales
<http://www.alsitel.com/tecnico/gps/correrr.htm>

- Documento informativo sobre RTKLIB
http://gpspp.sakura.ne.jp/paper2005/isgps_2009_rtklib_revA.pdf
- Servidor Web de la Red de Estaciones de Referencia GNSS de Euskadi
<http://www.gps2.euskadi.net/>
- Documento que explica el sistema NTRIP
http://www.mecinca.net/papers/NTRIP_EXP1.pd

Anexos

A.1.-Manual de RTKLIB

RTKLIB es un paquete de código abierto, su principal objetivo es mejorar la posición de las medidas proporcionadas por un sistema GNSS. RTKLIB, consiste en una serie de librerías y aplicaciones. Sus principales características son:

- Soporta los algoritmos de posicionamiento estándar de:
GPS, GLONASS y GALILEO
- Soporta varios modos de posicionamiento con tecnología GNSS tanto en tiempo real como en post-procesamiento
Single-point, DGPS/DGNSS, Kinematic, Static, Moving-baseline
- Soporta gran cantidad de protocolos y formatos de los GNSS
RINEX 2.10, 2.11, 2.12 OBS/NAV/GNAV/HNAV, RINEX 3.00 OBS/NAV, RINEX 3.00 CLK, RTCM v.2.3, RTCM v.3.1, NTRIP 1.0, NMEA 0183, SP3-c, ANTEX 1.3, IONEX 1.0, NGS PCV and EMS 2.0
- Soporta mensajes de diferentes tipos de receptores
NovAtel: OEM4/V, OEM3, OEMStar, Superstar II, Hemisphere: Eclipse, Crescent, u-blox: LEA-4T, LEA-5T, LEA-6T, SkyTraq: S1315F, JAVAD GRIL/GREIS, Furuno GW-10-II/III
- Soporta comunicaciones externas via:
Serial, TCP/IP, NTRIP, local log file (record and playback) and FTP/HTTP
- Proporciona interfaces gráficas y líneas de comandos(consolas) para las siguientes aplicaciones:
 - RTKNAVI, RTKRCV: posición en tiempo real
 - RTKPOST, RNX2RTKP: análisis de postprocesado de datos
 - RTKPLOT: visualización de las soluciones
 - Otras utilidades

De todas estas aplicaciones la más importante es RTKNAVI.

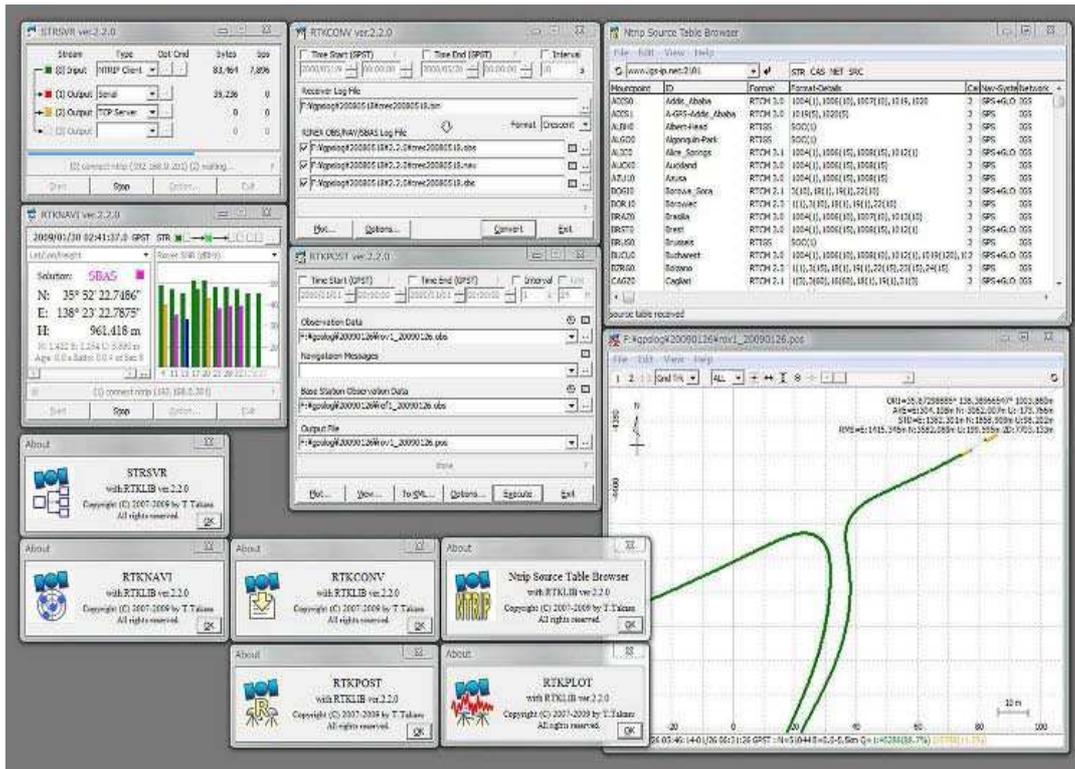


Imagen 53: Muestra RTKLIB con todas sus pantallas y aplicaciones abiertas.

Requisitos del sistema

1. Todas las funciones de las librerías están escritas en ANSI C.
2. La biblioteca utiliza internamente el estándar de *pthread* (hilos POSIX) para Linux / UNIX y el hilo de Win32 para Windows.
3. Las interfaces gráficas de las aplicaciones están escritas con C++.

Instalación

Tendremos que descomprimir el fichero “*rtklib_<ver>.zip*” en un directorio apropiado. Una vez descomprimido, abrimos la carpeta de nombre “*bin*” donde se encuentran los ejecutables de las aplicaciones. Las aplicaciones del RTKLIB nunca utilizan el “Windows *registry*” así que para desinstalarlas solo hará falta borrar la carpeta.

RTKNAVI (Posicionamiento en tiempo real)

RTKNAVI es una aplicación del RTKLIB, que obtiene los datos en bruto de un receptor GNSS y ejecuta su procesamiento en tiempo real. Esto significa que aplica las correcciones recibidas a los datos obtenidos del receptor para que después el usuario decida qué hacer con ellas.

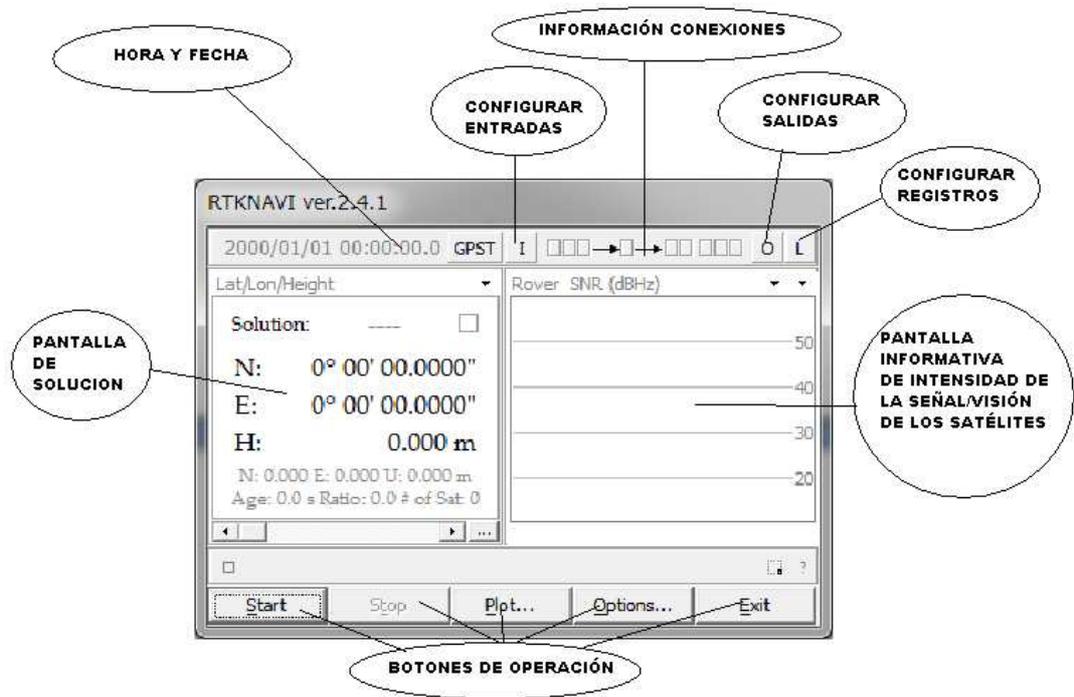


Imagen 54: Muestra la pantalla principal de RTKNAVI.

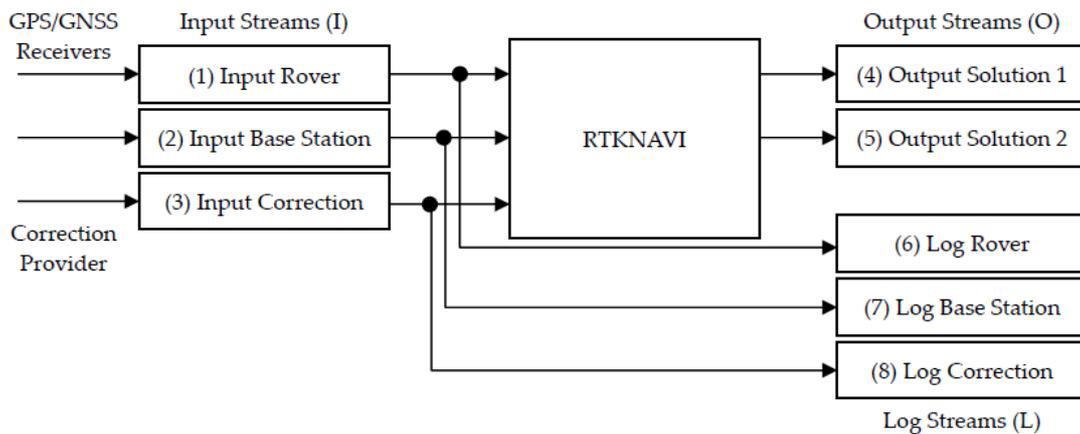


Imagen 55: Muestra el esquema funcionamiento de rtknavi.

Como se aprecia en la imagen 55, hay que seleccionar la fuente y el tipo de datos de las entradas (*Input Streams*) y de las salidas (*Output Streams*).

Entradas

Para seleccionar la pantalla de configuración de entradas hay que pulsar sobre el botón "I" desde la pantalla principal del RTKNAVI

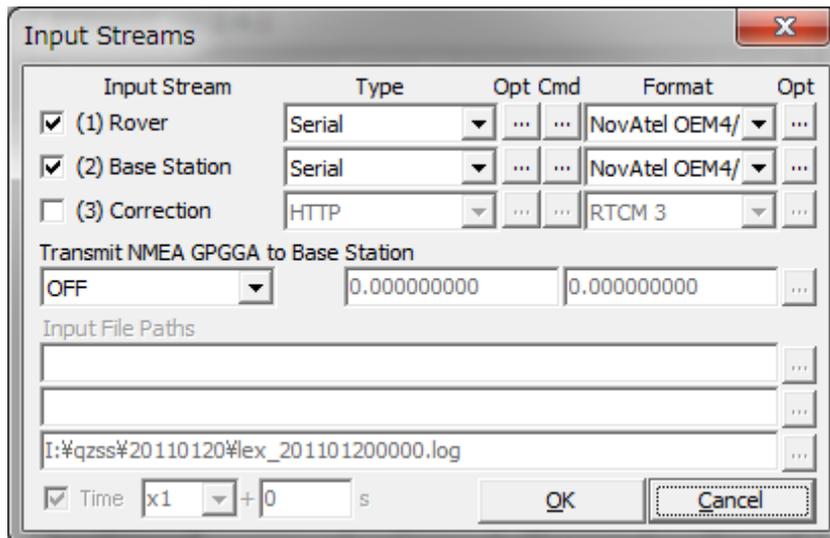


Imagen 56: Muestra la pantalla de configuración de entradas

Como se aprecia en la imagen 56, hay diferentes tipos de entradas.

A continuación se describirán brevemente:

- (1) **Rover**: Es el dispositivo móvil que se utiliza como GPS del cual queremos corregir los datos que nos enviara.
- (2) **Base Station**: Es la estación base de la cual vamos a obtener las correcciones para las medidas del rover.
- (3) **Correction**: Para otro tipo de correcciones.

Como se puede apreciar en la figura, pulsando en “Type” podemos seleccionar la entrada por la cual se introducen los datos. En el cuadro de “Format” podemos seleccionar el formato o tipo de los datos de la entrada. Si seleccionamos los cuadros “Opt” tendremos las opciones tanto del tipo como del formato.

Para los datos de las entradas se puede elegir entre las siguientes opciones:

- (1) **Serial**: Puerto serie (RS232C o USB).
- (2) **TCP Client**: Conexión a servidor TCP y recibe datos a través de esa conexión.
- (3) **TCP Server**: Acepta conexión de un cliente TCP y recibe datos a través de esa conexión.
- (4) **NTRIP Client**: Conexión a servidor NTRIP(caster) y recibe datos a través de esa conexión NTRIP.
- (5) **File**: Recibe los datos a través de un fichero de texto.
- (6) **FTP**: Recibe los datos de un fichero descargado mediante FTP.
- (7) **HTTP**: Recibe los datos de un fichero descargado mediante HTTP.

Para el formato de los datos en el rover se pueden elegir diferentes opciones, dependiendo del tipo de receptor que tengamos, en nuestro caso elegimos siempre u-blox en el cuadro de texto.

Para el formato de los datos de la estación base (*base station*) elegimos siempre **RTCM2**, **RTCM3** o **u-blox**, en el caso de nuestro sistema autónomo.

Salidas

Para seleccionar la pantalla de configuración de entradas hay que pulsar sobre el botón “O” desde la pantalla principal del RTKNAVI



Imagen 57: Muestra la pantalla de configuración de las salidas

Como se aprecia en la imagen 57, podemos configurar dos salidas independientes. En cada una de ellas podemos configurar la salida a la cual queremos importar los datos así como el tipo de formato en el queremos exportarlos.

Para seleccionar donde queremos importar los datos tendremos que pulsar sobre el cuadro “Type” y seleccionar en un desplegable uno de los tipos disponibles (Serial, TCP Client/Server, NTRIP Server, File).

Para seleccionar el formato tenemos las siguientes opciones:

- (1) Lat/Lon/Height: Latitud, longitud y altura.
- (2) X/Y/Z-ECEF: Componentes X/Y/Z en ECEF.
- (3) E/N/U-Baseline: Componentes E/N/U en Baseline.
- (4) NMEA-183: Tipo de mensajes del protocolo NMEA (GPGGA, GPGSV...).

Pantalla principal

Una vez configuradas las entradas y las salidas, volvemos a la ventana principal del RTKNAVI. En ella si pulsamos sobre el botón de opciones en la pantalla principal accederemos a la siguiente pantalla:

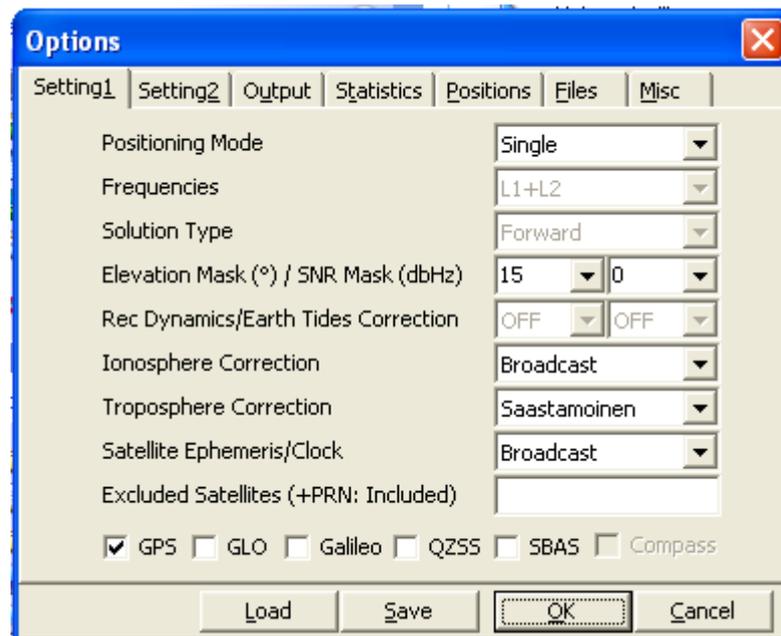


Imagen 58: Muestra la pantalla de opciones

En esta pantalla podremos configurar las opciones o utilizarlas como vienen por defecto.

Una vez configurado, pulsamos el botón de “Start” para que el programa empiece a realizar el pos proceso de los datos y envié los resultados ha donde nosotros le hallamos indicado.

Si todo funciona bien en la pantalla tendría que aparecer una pantalla con información semejante a la mostrada en la imagen 59.

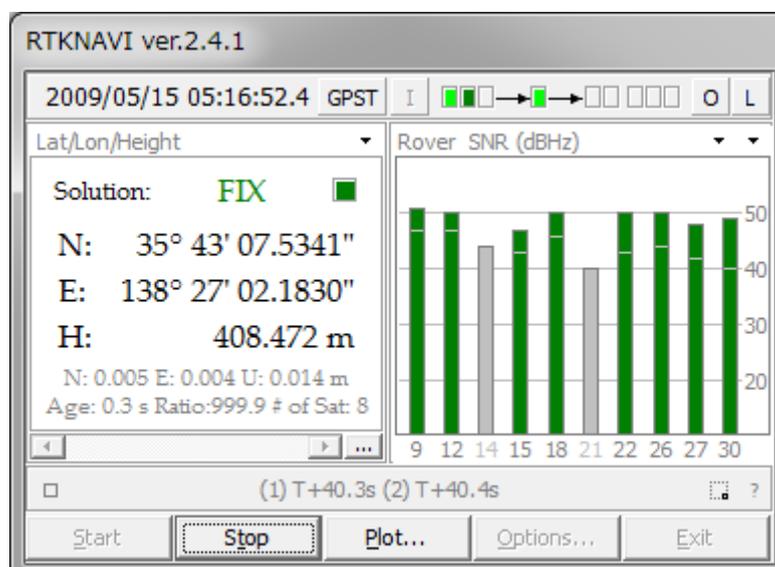


Imagen 59: Muestra RTKNAVI en funcionamiento.

Los cuadrados de la parte superior derecha de la imagen muestran el estado de las conexiones.

A.2.-DOP (*Dilution of Precision*)

El DOP (*Dilution of Precision*) se refiere a los coeficientes adimensionales que cuantifican la contribución de la disposición geométrica relativa de los satélites a la incertidumbre de una posición fija; Es decir, un DOP es una descripción del efecto de la geometría de los satélites que intervienen en la medición sobre el cálculo de las coordenadas. Estos coeficientes varían con el tiempo, al variar la posición de los satélites observados o al cambiar algunos de ellos. Se representa por un escalar que multiplica al error medio cuadrático de la medida en sí, por lo tanto, a mayor valor del DOP menor precisión conseguiremos.

DOP Value	Rating	Description
1	Ideal	This is the highest possible confidence level to be used for applications demanding the highest possible precision at all times.
1-2	Excellent	At this confidence level, positional measurements are considered accurate enough to meet all but the most sensitive applications.
2-5	Good	Represents a level that marks the minimum appropriate for making business decisions. Positional measurements could be used to make reliable in-route navigation suggestions to the user.
5-10	Moderate	Positional measurements could be used for calculations, but the fix quality could still be improved. A more open view of the sky is recommended.
10-20	Fair	Represents a low confidence level. Positional measurements should be discarded or used only to indicate a very rough estimate of the current location.
>20	Poor	At this level, measurements are inaccurate by as much as 300 meters with a 6 meter accurate device (50 DOP × 6 meters) and should be discarded.

DOP (*Dilution of Precision*): Esta imprecisión está derivada de la geometría de los satélites respecto al receptor GPS. Dado que sus órbitas son conocidas (almanaque), existen algoritmos para calcular las diferentes DOP, tanto en tiempo real como con antelación.

GDOP (*Geometric Dilution of Precision*): Constituida por cuatro componentes: tiempo, posición horizontal, posición vertical y posición tridimensional.

PDOP (*Position Dilution of Precision*): Se trata de la imprecisión tridimensional. Es inversamente proporcional al área del polígono delimitado por las intersecciones de las líneas de visión a los satélites con una esfera centrada en el observador. Por lo tanto, las peores posiciones son aquellas con los satélites muy cerca en el cielo, o situados en línea.

HDOP (*Horizontal Dilution of Precision*): Imprecisión en el plano de superficie.

VDOP (*Vertical Dilution of Precision*): Imprecisión en la posición vertical.

TDOP (*Time Dilution of Precision*): Imprecisión en el tiempo.

A.3.-Glosario

1. **Pseudodistancia:** Distancia media entre la antena del receptor GPS y el satélite. Esta distancia debe ser corregida de errores de estado de los osciladores del receptor y del satélite, así como de retardos debidos a la propagación de la señal por la ionosfera y la troposfera.
2. **Almanaque:** Información enviada de forma periódica por los satélites de la constelación, informando sobre ellos mismos y el resto de satélites miembros del sistema, su nivel de salud, etc. Esta información suele variar con poca frecuencia, de año en año.
3. **RINEX:** Se trata de un formato de ficheros de texto orientado a almacenar, de manera estandarizada, medidas proporcionadas por receptores de sistemas de navegación por satélite, como GPS, GLONASS, EGNOS, WAAS o Galileo.
4. **Rover o dispositivo de campo:** Es el dispositivo del cual obtenemos las medidas en nuestras pruebas. Generalmente siempre utilizamos una estación base y un *rover*. La estación base envía las correcciones al *rover* y de este obtenemos los resultados.
5. **Efemérides:** Información enviada por los satélites, dando la posición precisa de los mismos. Esta información cambia frecuentemente, siendo actualizada por las estaciones de seguimiento de la Tierra. Los parámetros orbitales de los satélites se van actualizando a medida que su movimiento se ve alterado por la atracción del Sol y la Luna, la diferencia de gravedad entre distintas zonas de la corteza terrestre, viento solar, etc. Un período de cambio típico sería de 4 horas.