

Posicionamiento

Utiliza matemáticas 2014

Vera Pospelova
Grado en Ingeniería de Computadores

Índice de contenido

1. EVOLUCIÓN DEL POSICIONAMIENTO.....	3
1.1 Introducción.....	3
1.2 Sistema LORAN.....	4
2. GPS: EL SISTEMA DE POSICIONAMIENTO GLOBAL.....	5
2.1 Historia.....	5
2.2 Introducción.....	6
2.3 Principios matemáticos.....	7
3. DGPS: El GPS diferencial.....	9
4. ERRORES EN EL GPS.....	10
5. APLICACIONES.....	10
6. REFERENCIAS DE IMÁGENES.....	11

1. EVOLUCIÓN DEL POSICIONAMIENTO

1.1 Introducción

Cuando en el mundo empezaba la navegación marítima, primeramente se hacía por la costa, dado que no había un sistema capaz de orientarnos cuando perdemos la referencia de la terrestre.

Dice la historia que los fenicios fueron los primeros quienes consiguieron navegar fuera de la zona costera, orientándose por el **Sol** y por la **Estrella Polar**.

La Estrella Polar sólo la vemos si estamos situados en el hemisferio norte del planeta y nos señala el norte del planeta. Con el Sol, la forma de orientarse es por la sombra de un objeto, y mirando hacia donde se mueve la sombra que este produce, que será el este.

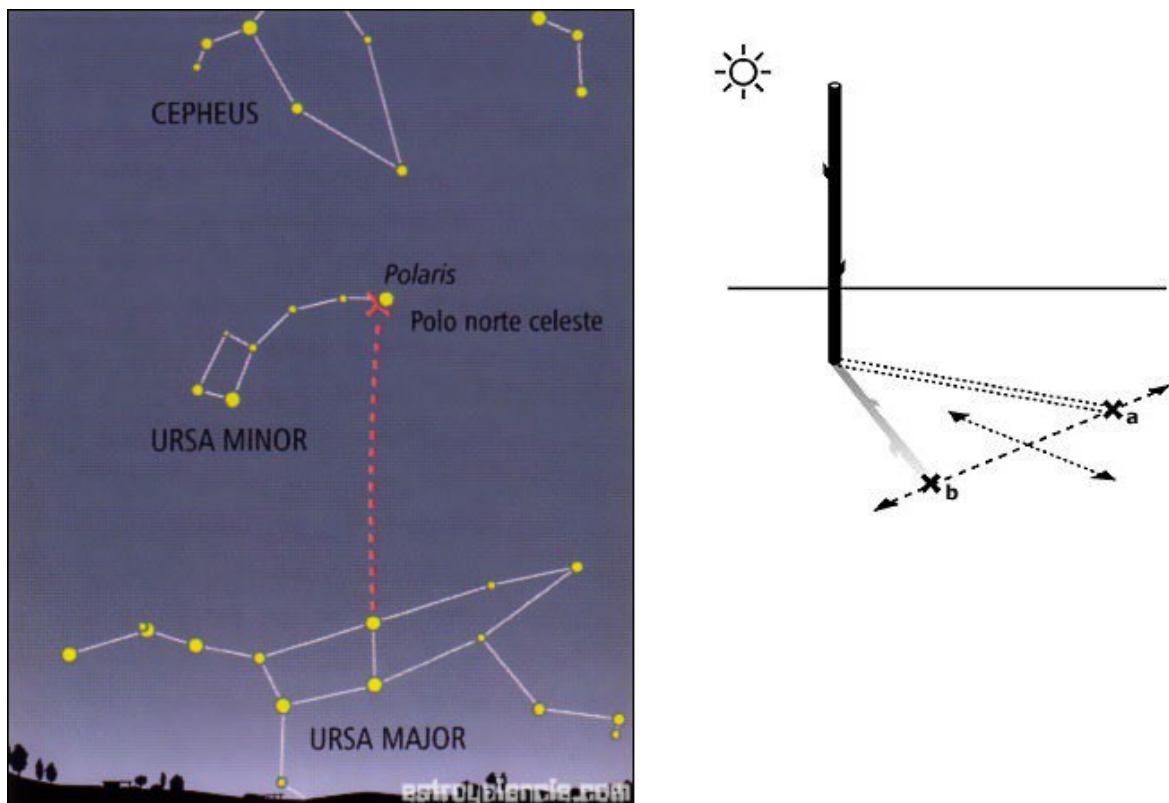


Imagen 1: Orientación mediante Estrella Polar y el Sol.

Más tarde se inventó la **brújula** y el **astrolabio**. La brújula nos señala mediante un imán el norte y el sur magnético de la Tierra por el campo magnético que siguen las líneas de fuerza, mientras que con el astrolabio podemos saber en la latitud que estamos a obteniendo la información de las estrellas y permite también saber la hora.

Hubo otros instrumentos que mejoraron la navegación como el **Cuadrante**, **Ballestilla** y **Sextante**.

Destacaron también los **faros**, que servían como un punto de referencia en la navegación y se empezaron a hacer cartas de navegación.

Gracias a todos estos instrumentos y las combinaciones que se hicieron entre ellos junto la **trigonometría** y las **cartas de navegación**, este fue el comienzo para poder

determinar las distancias y la posición en la que nos encontramos.

1.2 Sistema LORAN

Las siglas **LORAN** vienen de Long Range Navigation, que quiere decir navegación de largo alcance.

El posicionamiento LORAN se basa en que tenemos un grupo entre cuatro y seis estaciones de radio que se encuentran en la costa y que emiten señales de largo alcance. Una de estas estaciones es maestra y las demás son esclavas.

La base de este sistema es calcular la diferencia de tiempo de la señal que recibimos desde la estación maestra y la estaciones esclavas, que son señales emitidas en diferentes frecuencias.

La estación maestra emite primero la señal, y después la emiten las estaciones esclavas. Cuando el receptor recibe la señal de la estación maestra, cuenta el tiempo que pasa hasta que recibe la señal de la estación esclava.

En esta situación, tenemos dos puntos y la diferencia de distancias entre esos dos puntos forman una **hipérbola**, donde las dos estaciones son los focos de la hipérbola. De esta forma sabemos que estamos en alguna posición en la curva de la hipérbola.

La posición del objeto se encuentra cuando se corta la línea de la curva de la hipérbola por dos estaciones LORAN.

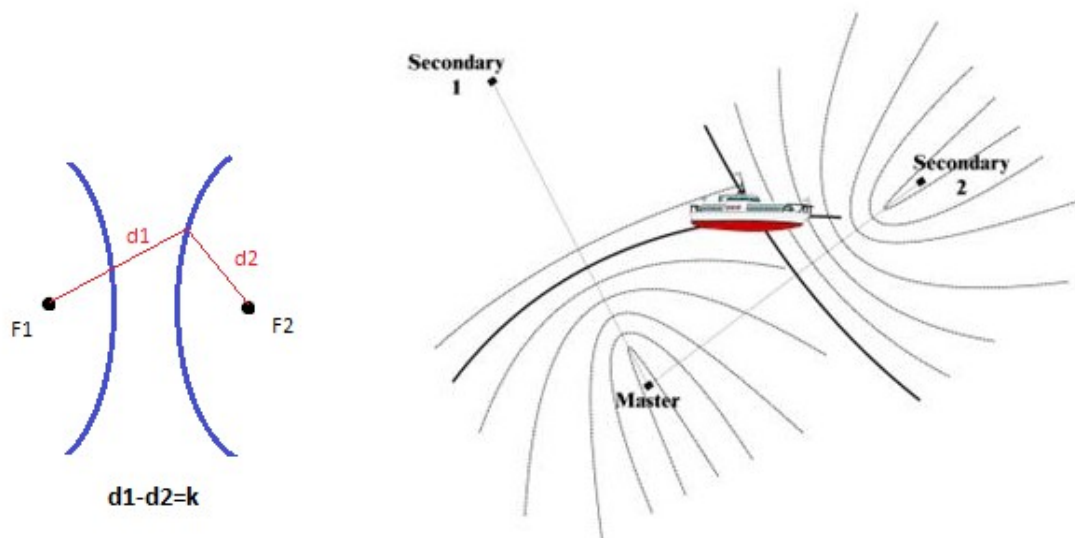


Imagen 2: Sistema de posicionamiento LORAN

Actualmente el sistema de posicionamiento LORAN está siendo reemplazado por el GPS.

2. GPS: EL SISTEMA DE POSICIONAMIENTO GLOBAL

2.1 Historia

Todo comienza en el año 1957, en el que la Unión Soviética lanzó al espacio el primer satélite artificial llamado **Спутник-1** (Sputnik-1). De esta forma se observó que empleando el efecto **Doppler** (cambio de frecuencia de una onda que se produce por el movimiento del emisor de esa onda respecto a su receptor) a sus señales de radio se podría estimar la velocidad relativa al observador. A partir de esa velocidad se puede encontrar la posición relativa conociendo la posición en la que estamos nosotros. Se planteó hacer lo inverso, es decir, encontrar nuestra posición sabiendo la posición del satélite.

A partir de lo anterior, la armada estadounidense lanza un sistema satelital llamado **TRANSIT**, que lo forman 10 satélites en total, y de esta forma poder localizar sus vehículos marítimos y terrestres a partir del efecto Doppler. Las actualizaciones de la posición se realizaban cada 30 minutos.

Posteriormente, al ver las limitaciones que tenía el sistema TRANSIT ya que no se podría utilizar para localizar las aeronaves y el tiempo de actualización de la posición es muy grande, el Departamento de Defensa de los Estados Unidos se propone mejorar este sistema para que la determinación de la posición sea rápida, precisa, y la cobertura sea global y continua. Estas mejoras tienen éxito y se crea así en los años 1970 el sistema **NAVSTAR GPS**, que posteriormente pasa a llamarse sólo **GPS**, que al principio fue usado sólo de forma militar, y posteriormente se ha permitido utilizarlo también de forma civil.

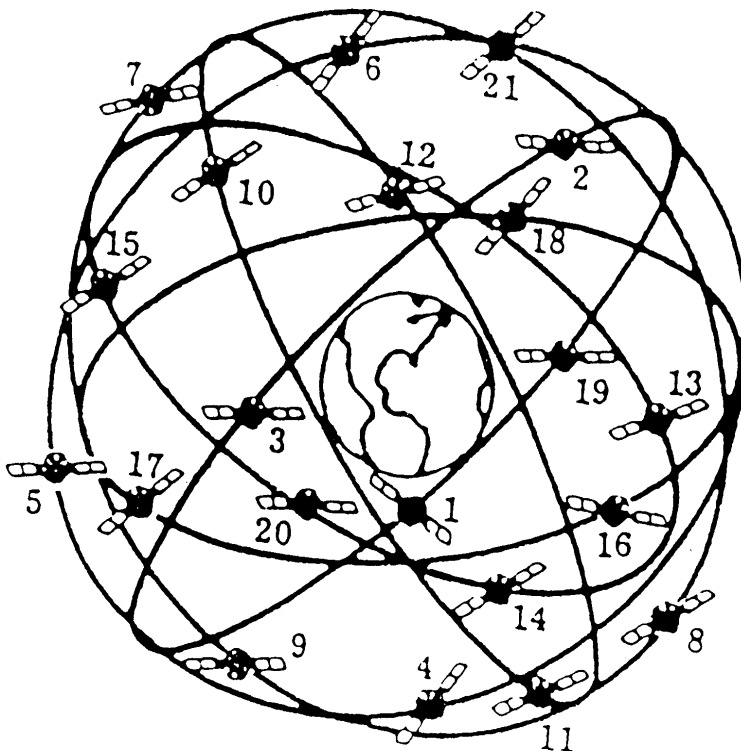


Imagen 3: Satélites NAVSTAR GPS

Destacar también que a partir del año 1995 se pone en funcionamiento el sistema satelital ruso llamado **ГЛОНАСС** (GLONASS), que consta de un total de 31 satélites (24 operativos) orbitando a 19.100 km y con una inclinación de 64,8° cada uno.

A su vez, China también está lanzando su propio sistema satelital, llamado **Beidou**, que a diferencia de GLONASS y NAVSTAR GPS, utiliza satélites en órbita geoestacionaria y calcula las coordenadas en las que estamos con dos satélites y una estación en Tierra.

Por último, la Unión Europea también está desarrollando su propio sistema de localización por satélite llamado **Galileo**.



Imagen 4: Satélites GLONASS

2.2 Introducción

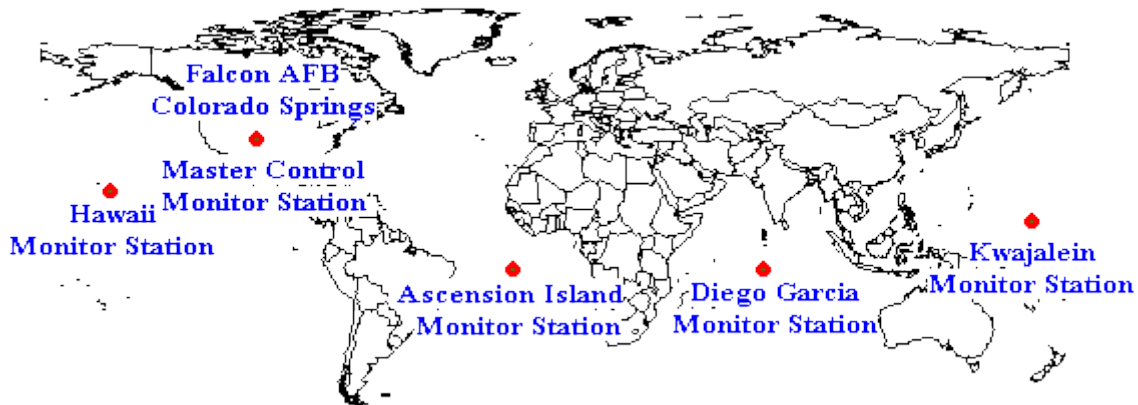
Las siglas **GPS** provienen del inglés Global Positioning System cuya traducción es Sistema de Posicionamiento Global.

Se trata de una red de 24 satélites que orbitan sobre la Tierra a 20.200 km y con una inclinación de 55° sobre el ecuador terrestre, siguiendo unas trayectorias sincronizadas que permiten cubrir toda la superficie terrestre, y además esta distribución permite recibir simultáneamente en casi cualquier punto de la Tierra como mínimo señales de cuatro satélites.

Estos satélites llevan cada uno un ordenador y un reloj atómico y lo que hacen es emitir constantemente una señal con los datos de la posición en la que se encuentran y la hora. Un reloj atómico por su construcción es muy preciso. Si se produce un pequeño fallo en la sincronización del reloj, eso nos supone un error de posición muy grande, y por eso necesitamos estaciones de control terrestres que van siguiendo estos satélites y si es necesario, corrigen la órbita del satélite o el reloj.

Otro elemento son los receptores GPS, que lo que hacen es decodificar la señal que emiten los satélites y con los datos obtenidos (distancia y posición), calculan su propia posición con un posible error de unos 15 metros, que puede ser mayor dependiendo de donde estemos.

Peter H. Dana 5/27/95



Global Positioning System (GPS) Master Control and Monitor Station Network

Imagen 5: Estaciones de control que comprueban si hay error de satélite GPS

2.3 Principios matemáticos

La obtención de distancia de cuatro satélites es suficiente para determinar nuestra posición.

La señal que emite el satélite viaja hacia nosotros con una velocidad de la luz, que sabemos que es $c=300.000 \text{ km/s}$, y multiplicando ese valor por el tiempo que tarda en llegarnos la señal, podemos determinar a qué distancia se encuentra el satélite de nosotros ($s=v*t$).

Aunque con tres satélites podríamos saber la posición en la que estamos, ya que la intersección de tres circunferencias forman un punto, necesitamos medir la distancia de cuatro satélites, para poder resolver de forma matemática las ecuaciones que se plantean. Esto se consigue aplicando **trilateración**, de la siguiente forma:

Recibiendo la señal desde un sólo satélite, la posición en la que nos encontramos puede ser cualquier punto de la superficie de la esfera de radio R_1 .

Recibiendo la señal desde un segundo satélite, conseguimos reducir la zona en la que nos encontramos a la intersección de dos esferas de radios R_1 y R_2 , que forman dos zonas en las que podemos estar.

Recibiendo la señal desde un tercer satélite ahora podemos reducir la posición en la que estamos en un dos puntos.

Recibiendo la señal desde un cuarto satélite, reducimos la solución a un sólo punto en el que estamos.

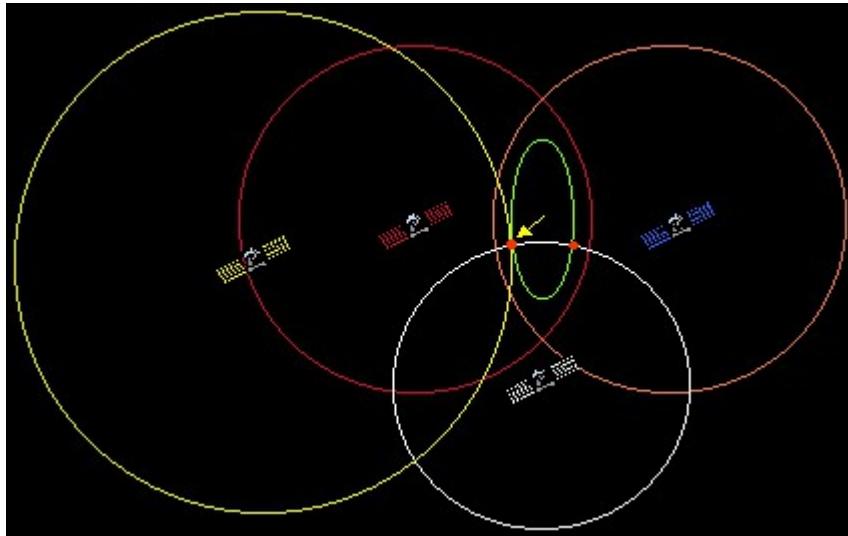


Imagen 6: Trilateración

Matemáticamente, obtendríamos nuestra posición de la siguiente forma:

- Sabemos el tiempo en el que el satélite envió la señal (t_0) y sabemos el tiempo en el que hemos recibido la señal (t_1), por lo que para calcular el tiempo que ha tardado en llegar la señal hacia nosotros, calculamos la diferencia de tiempos:

$$\Delta t = t_1 - t_0$$
- También podemos calcular la distancia a la que se encuentra el satélite de nosotros, multiplicando el tiempo que ha tardado en llegarnos la señal por la velocidad a la que viaja: $r = |r| = c * \Delta t$, donde c es la velocidad de la luz y r es la distancia receptor-satélite. Se define también que $\rho = c * \Delta t$.
- Anteriormente dijimos que puede haber errores en la distancia por un pequeño error del reloj atómico del satélite, por lo que ρ no es una medida de distancia exacta. Teniendo en cuenta el error, ahora el $t_{receptor} = t_{GPS} + t_u$, donde t_u es el pequeño error. Como ρ no es una medida de distancia exacta, se llama **pseudodistancia**.
- El siguiente paso, suponiendo que u es nuestra posición y s es la posición del satélite, podemos saber la distancia de receptor-satélite: $r = |s - u|$.
- Agrupando las ecuaciones de antes, tenemos que: $\rho - ct_u = |s - u|$.

La última ecuación de antes será del mismo tipo para cada uno de los satélites y por su forma se trata de una esfera.

Hemos dicho antes que para obtener la posición en la que estamos, necesitamos cuatro satélites, por lo que:

$$\begin{aligned} \rho_1 - ct_u &= |s_1 - u| \\ \rho_2 - ct_u &= |s_2 - u| \\ \rho_3 - ct_u &= |s_3 - u| \\ \rho_4 - ct_u &= |s_4 - u| \end{aligned}$$

Agrupando, tenemos las siguientes ecuaciones, la cuales si resolvemos obtendremos nuestra posición:

$$\rho_1 = \sqrt{(x_1 - x_u)^2 + (y_1 - y_u)^2 + (z_1 - z_u)^2} + ct_u$$

$$\rho_2 = \sqrt{(x_2 - x_u)^2 + (y_2 - y_u)^2 + (z_2 - z_u)^2} + ct_u$$

$$\rho_3 = \sqrt{(x_3 - x_u)^2 + (y_3 - y_u)^2 + (z_3 - z_u)^2} + ct_u$$

$$\rho_4 = \sqrt{(x_4 - x_u)^2 + (y_4 - y_u)^2 + (z_4 - z_u)^2} + ct_u$$

3. DGPS: El GPS diferencial

El DGPS se diferencia del GPS en que ahora tenemos estaciones terrestres situadas en una posición perfectamente conocida (SBAS), y son las que van a calcular el error de distancia que produce el GPS, enviando esa información a nuestro dispositivo, el cuál aplicará ese error en sus cálculos para conseguir un posicionamiento más preciso.

Pero este sistema tiene una desventaja, y es que para que los datos de error nos sean válidos, la estación y nosotros tenemos que estar cerca.

Esto ocurre ya que si estamos lejos, las señales que llegan a la estación y hacia nosotros pueden tener un error diferente, por lo que la información sobre el error que obtenemos de las estaciones sería menos precisa.

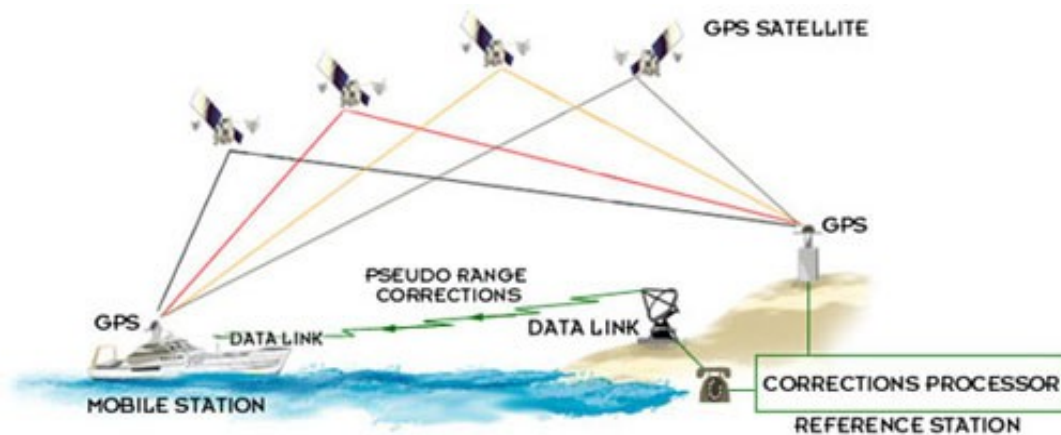


Imagen 7: El GPS diferencial

4. ERRORES EN EL GPS

Los principales errores en el posicionamiento se pueden producir por algunas de las siguientes razones:

- Un pequeño error en el reloj atómico de un satélite puede causar grandes errores de posicionamiento.
- La desviación de la órbita del satélite, es también una causa de error en el posicionamiento.
- La transmisión de ondas a través de las diferentes capas de la atmósfera puede provocar una pérdida de velocidad de estas ondas.
- La calidad de cada receptor hace que la señal nos llegue con más o menos ruido.
- Efecto de multitrayectoria, que se produce cuando la señal choca con obstáculos y se refleja. Esto sucede sobre todo en ciudades, por los edificios.

5. APLICACIONES

La navegación marítima actualmente utiliza el sistema de posicionamiento que funciona por GPS diferencial y se ayuda también de las cartas náuticas, que son integradas en aparatos electrónicos.

La carta náutica es un mapa que nos muestra principalmente qué regiones del océano son navegables, las profundidades de agua en cada lugar, la tierra y sus puertos.

Por otro lado, la navegación aérea, también usa el GPS diferencial, ayudándose de otros aparatos que sirven de ayuda durante el vuelo, por ejemplo el dispositivo DME. Este dispositivo lo que hace es enviar una señal a la estación terrestre y ésta le responde, de esta forma medimos el tiempo que tarda en volver la señal a nuestro dispositivo, y podemos calcular así la distancia.

6. REFERENCIAS DE IMÁGENES

- **Imagen 1:**

Combinación de esta: <http://www.astroyciencia.com/wp-content/uploads/2008/11/orientarse-norte.jpg>

y esta:

<http://www.mallorcaverde.es/imagenes/el-palo.JPG>

- **Imagen 2:**

http://1.bp.blogspot.com/_IPZX1n_gnIM/S1zmbgNkS3I/AAAAAAAAE5M/8EtimL7_ono/s400/image013.jpg y propia.

- **Imagen 3:**

<http://www.transputer.net/tn/65/figure/600/fig01.png>

- **Imagen 4:**

<http://www.navipedia.net/images/8/89/GlonassConstellation.JPG>

- **Imagen 5:**

http://www.windsurfers.com.ar/GPS_Estaciones_de_Control_GPS.gif

- **Imagen 6:**

<http://www.tecnoprojectltda.com/gps4j.jpg>

- **Imagen 7:**

http://1.bp.blogspot.com/_gdQA3A5qnyU/S77I4RNxo6I/AAAAAAAAAEE/wfNAI0XNvDQ/s1600/dgps-accuracy.jpg