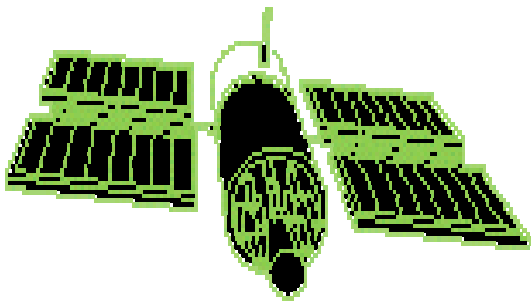
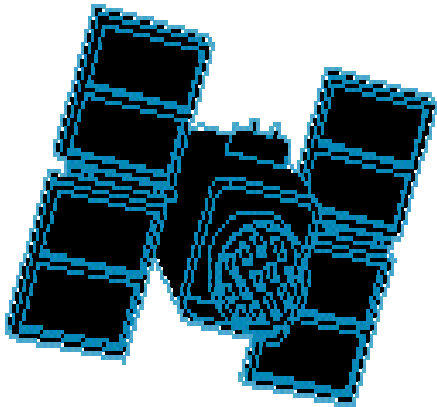


Universidad de Matanzas  
Camilo Cienfuegos  
Facultad de Agronomía  
Departamento Agricultura.

## EL SISTEMA DE POSICIONAMIENTO GLOBAL. ENFOQUES.



Autores: Ing. Isarah L. Romero Peñate.  
Ing. Dania B. Núñez Sosa.  
Ing. Rolando León Aguilar. CSC.

MATANZAS  
2004

## Orígenes del Sistema de posicionamiento Global.

El origen del Sistema de Posicionamiento Global empieza de forma técnica en la navegación (del latín *naves* navío que significa conducir).

El hombre ya manejaba nociones básicas de posicionamiento desde la época prehistórica, basándose en los astros y puntos de referencia que le eran familiares de acuerdo a su percepción. Pero necesitaría desarrollar un sistema de posicionamiento para desplazarse como consecuencia de la necesidad de establecer rutas y de igual forma poder evitar accidentes.

El desarrollo de los sistemas de posicionamiento son varios, entre los que se destaca la brújula y el astrolabio inventados por los Chinos en el año 1000 DIC junto con las cartas de navegación, los instrumentos de navegación basados en la astronomía (la brújula, el sextante y el back staff) y los sistemas de coordenadas realizados en Europa en los siglos XIV y XV.

En los últimos 30 años con el desarrollo de la era espacial. A finales de la década de los setenta (siglo XX) los EEUU lanzan los primeros prototipos de sistemas de satélites NAVSTAR/GPS (*Navigation System with Time and Ranging /Global Positioning System*). Esto a provocado un gran cambio en el sistema de convenciones y posicionamiento ha nivel global.

En el año 1957, la Unión Soviética lanzó al espacio el satélite Sputnik I, el cual era monitoreado mediante la observación del efecto doppler de la señal que este transmitía. Debido a este hecho, se comenzó a pensar que, de igual modo, la posición de un observador podría ser establecida mediante el estudio de la frecuencia doppler de una señal transmitida por un satélite cuya órbita estuviera precisamente determinada. La Marina Estadounidense rápidamente aplicó esta tecnología para proveer a los sistemas de navegación de sus flotas de observaciones de posición actualizadas y precisas. Así surgió el sistema TRANSIT, que quedó operativo en 1964 y hacia 1967 quedó disponible, además, para el uso comercial. Las actualizaciones de posición, en ese entonces, se encontraban disponibles cada 40 minutos y el observador debía permanecer casi estático para poder obtener información adecuada. Posteriormente en esa misma década y gracias al desarrollo de los relojes atómicos, se diseñó una constelación de satélites, portando cada uno de ellos uno de estos relojes y estando todos sincronizados en base a una referencia de tiempo determinada. En 1973, se combinaron los programas de la Marina de EE.UU. y el de la USAF (este último consistente en una técnica de transmisión codificada que proveía data precisa usando una señal modulada con un código de sonidos pseudo-random (PRN = Pseudo-Random Noise)), en lo que se conoció como Navigation Technology Program, posteriormente devenido en el NAVSTAR GPS. Entre 1978 y 1985 se desarrollaron y lanzaron once satélites prototipo experimentales NAVSTAR, a los que siguieron otras generaciones de satélites, hasta completar la constelación actual, a la que se declaró con “capacidad operacional inicial” en Diciembre de 1993 y con “capacidad operacional total” en Abril de 1995.

Actualmente existen 2 sistemas de localización por satélite, GPS (Estados Unidos) y GLONASS (Rusia). Ambos sistemas tienen un común denominador, fueron concebidos inicialmente para fines militares, aunque en la actualidad son utilizados también para usos civiles. Estos dos sistemas proveen actualmente la posición [altitud, longitud, elevación y tiempo exacto] a millones de usuarios alrededor del mundo a través de las señales que emiten sus satélites y el cálculo de coordenadas desde tierra a través de receptores provistos con relojes muy precisos. Otra de las características similares de estos dos sistemas es que ambos emplean cada uno 24 satélites ubicados en una órbita media de alrededor de 20,000 Km. Pero a pesar de ello, ambos sistemas son incompatibles e ínter operables entre sí. Aunque GPS y GLONASS ofrecen sus señales a usuarios civiles, su operación sigue estando bajo el control militar.

La localización por satélite está teniendo un gran auge hoy en día, y el sistema de Estados Unidos, GPS, ha sido el más utilizado en gran medida porque los principales fabricantes de receptores operan exclusivamente con las frecuencias del sistema estadounidense. Hablar de localización por satélite es hablar de GPS, pero hay que tener en cuenta que GPS es tan sólo uno de los sistemas de localización por satélite que existen en la actualidad.

Su uso se ha popularizado en varias áreas gracias a su sencillez en el manejo y confiabilidad en las mediciones.

# SISTEMAS

- Navstar.
- 24 satélites
- 6 orbitas
- orbitan cada 12h
- Altura 20200Km
- Inclinación 55
- Frecuencia(L1=1.5754  
2Ghz L2=1.22766Ghz)

- Clonass
- 24 satélites
- 6 orbitas
- orbitan cada 12h
- Altura 20200Km
- Inclinación 55
- Frecuencia:L1=1.609  
Ghz y L2=1.251Ghz

## GPS.

El GPS (Global Positioning System) o Sistema de Posicionamiento Global es un sistema de posicionamiento terrestre, la posición la calculan los receptores GPS gracias a la información recibida desde satélites en órbita alrededor de la Tierra. Consiste en una red de 24 satélites, que proporciona un servicio de posicionamiento para todo el globo terrestre. Cada uno de estos 24 satélites, situados en una órbita geoestacionaria a unos 20.000 km. de la Tierra y equipados con relojes atómicos, transmiten ininterrumpidamente la hora exacta y su posición en el espacio.

## COMO FUNCIONA UN RECEPTOR GPS.

Los receptores GPS reciben la información precisa de la hora y la posición del satélite. Exactamente, recibe dos tipos de datos, los datos del Almanaque, que consiste en una serie de parámetros generales sobre la ubicación y la operatividad de cada satélite en relación al resto de satélites de la red, esta información puede ser recibida desde cualquier satélite, y una vez el receptor GPS tiene la información del último Almanaque recibido y la hora precisa, sabe donde buscar los satélites en el espacio; la otra serie de datos, también conocida como Efemérides, hace referencia a los datos precisos, únicamente, del satélite que está siendo captado por el receptor GPS, son parámetros orbitales exclusivos de ese satélite y se utilizan para calcular la distancia exacta del receptor al satélite. Cuando el receptor ha captado la señal de, al menos, tres satélites calcula su propia posición en la Tierra mediante la triangulación de la posición de los satélites captados, y nos presentan los datos de Longitud, Latitud y Altitud calculados. Los receptores GPS pueden recibir, y habitualmente lo hacen, la señal de más de tres satélites para calcular su posición. En principio, cuantas más señales recibe, más exacto es el cálculo de esta posición. Teniendo en cuenta que la concepción inicial de este sistema era hacer un uso militar del mismo, debemos señalar que los receptores que podemos encontrar en el mercado son para uso civil, y que éstos quedan sujetos a una degradación de precisión que oscila de los 15 a los 100 metros RMS o 2DRMS en función de las circunstancias geoestratégicas del momento, según la interpretación del Departamento de Defensa de los EE.UU., que es quien gestiona y proporciona este servicio. Esta degradación queda regulada por el Programa de Disponibilidad Selectiva del Departamento de Defensa de los EE.UU. o SA (Selective Availability) y, como hemos indicado antes, introduce un error en la transmisión de la posición para los receptores de uso civil. Esto es, naturalmente, para mantener una ventaja estratégica durante las operaciones militares que lo requieran. De todo esto se deduce que, habitualmente, los receptores GPS tienen un error nominal en el cálculo de la posición de aprox. 15m. RMS que puede aumentar hasta los 100 m.. Esto no es ningún problema, puesto que nuestra posición siempre mantiene un error de valor casi constante, y en cuanto a la orientación, no nos supone ninguna pérdida de fiabilidad, puesto que es un error de dimensiones muy reducidas que, incluso en las condiciones más extremas de falta

de visibilidad, nunca excederá nuestro campo visual. Normalmente, cuando el error en la posición aumenta de los 15m, sólo lo hace de forma temporal, y responde a operaciones de tipo militar o estratégico que coinciden con nuestro uso del receptor. Si la utilización que vamos a dar a nuestro receptor GPS requiere más precisión aún, como trabajos topográficos, levantamientos cartográficos, carreras de orientación, situación de balizas, etc., casi todas las firmas disponen de antenas opcionales con dispositivos DGPS para algunos de sus receptores que corrigen mediante cálculo diferencial este error, disminuyéndolo hasta un margen de 1 a 3 metros RMS.

### Pasos para su funcionamiento

1. Triangulación. La base del GPS es la "triangulación" desde los satélites
2. Distancias. Para "triangular", el receptor de GPS mide distancias utilizando el tiempo de viaje de señales de radio.
3. Tiempo. Para medir el tiempo de viaje de estas señales, el GPS necesita un control muy estricto del tiempo
4. Posición. Además de la distancia, el GPS necesita conocer exactamente donde se encuentran los satélites en el espacio. Orbitas de mucha altura y cuidadoso monitoreo, le permiten hacerlo.
5. Corrección. Finalmente el GPS debe corregir cualquier demora en el tiempo de viaje de la señal que esta pueda sufrir mientras atraviesa la atmósfera.

#### Paso 1: La Triangulación desde los satélites

La idea general detrás del GPS es utilizar los satélites en el espacio como puntos de referencia para ubicaciones aquí en la tierra.

Esto se logra mediante una muy, pero muy exacta, medición de nuestra distancia hacia al menos tres satélites, lo que nos permite "triangular" nuestra posición en cualquier parte de la tierra.

La gran idea, Geométricamente, es:

Supongamos que medimos nuestra distancia al primer satélite y resulta ser de 11.000 millas (20.000 Km)

Sabiendo que estamos a 11.000 millas de 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 de 11.000 millas.

A continuación medimos nuestra distancia a un segundo satélite y descubrimos que estamos a 12.000 millas del mismo.

Esto nos dice que no estamos solamente en la primer esfera, correspondiente al primer satélite, sino también sobre otra esfera que se encuentra a 12.000 millas del segundo satélite. En otras palabras, estamos en algún lugar de la circunferencia que resulta de la intersección de las dos esferas.

Si ahora medimos nuestra distancia a un tercer satélite y descubrimos que estamos a 13.000 millas del mismo, esto limita nuestra posición aún mas, a los dos puntos

en los cuales la esfera de 13.000 millas corta la circunferencia que resulta de la intersección de las dos primeras esferas.

O sea, que midiendo nuestra distancia a tres satélites limitamos nuestro posicionamiento a solo dos puntos posibles.

Para decidir cual de ellos es nuestra posición verdadera, podríamos efectuar una nueva medición a un cuarto satélite. 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 sin necesidad de mediciones posteriores.

Veamos ahora como el sistema mide las distancias a los satélites.

### Triangulación

1. Nuestra posición se calcula en base a la medición de las distancias a los satélites
2. Matemáticamente se necesitan cuatro mediciones de distancia a los satélites para determinar la posición exacta
3. En la práctica se resuelve nuestra posición con solo tres mediciones si podemos descartar respuestas ridículas o utilizamos ciertos trucos.
4. Se requiere de todos modos una cuarta medición por razones técnicas que luego veremos.

### Paso 2: Midiendo las distancias a los satélites

Nuestra posición se calcula a partir de la medición de la distancia hasta por lo menos tres satélites, lo hacemos midiendo el tiempo que tarda una señal emitida por el satélite en llegar hasta nuestro receptor de GPS.

En el caso del GPS estamos midiendo una señal de radio, que sabemos que viaja a la velocidad de la luz, alrededor de 300.000 Km. por segundo.

Nos queda el problema de medir el tiempo de viaje de la señal (Que, obviamente, viene muy rápido)

El problema de la medición de ese tiempo es complicado. Los tiempos son extremadamente cortos. Si el satélite estuviera justo sobre nuestras cabezas, a unos 20.000 Km. de altura, el tiempo total de viaje de la señal hacia nosotros sería de algo mas de 0.06 segundos. Estamos necesitando relojes muy precisos, aún admitiendo que tenemos relojes con la suficiente precisión, ¿cómo medimos el tiempo de viaje de la señal?

Supongamos que nuestro GPS, por un lado, y el satélite, por otro, generan una señal auditiva en el mismo instante exacto. Supongamos también que nosotros, parados al lado de nuestro receptor de GPS, podamos oír ambas señales (Obviamente es imposible "oír" esas señales porque el sonido no se propaga en el vacío).

Oiríamos dos versiones de la señal. Una de ellas inmediatamente, la generada por nuestro receptor GPS y la otra con cierto atraso, la proveniente del satélite, porque tuvo que recorrer alrededor de 20.000 Km. para llegar hasta nosotros. Podemos decir que ambas señales no están sincronizadas.

Si quisiéramos saber cual es la magnitud de la demora de la señal proveniente del satélite podemos retardar la emisión de la señal de nuestro GPS hasta lograr la perfecta sincronización con la señal que viene del satélite.

El tiempo de retardo necesario para sincronizar ambas señales es igual al tiempo de viaje de la señal proveniente del satélite. Supongamos que sea de 0.06 segundos. Conociendo este tiempo, lo multiplicamos por la velocidad de la luz y ya obtenemos la distancia hasta el satélite.

*Tiempo de retardo (0.06 seg.) x Vel. De la luz (300.000 Km. /seg.) = Dist. (18.000 Km.)*

Así es, básicamente, como funciona el GPS.

La señal emitida por nuestro GPS y por el satélite es algo llamado "Código Pseudo Aleatorio" (Pseudo Random Code). La palabra "Aleatorio" significa algo generado por el azar.

Este Código Pseudo Aleatorio es una parte fundamental del GPS. Físicamente solo se trata de una secuencia o código digital muy complicado. O sea una señal que contiene una sucesión muy complicada de pulsos "on" y "off

La señal es tan complicada que casi parece un ruido eléctrico generado por el azar. De allí su denominación de "Pseudo-Aleatorio".

Hay varias y muy buenas razones para tal complejidad. La complejidad del código ayuda a asegurarnos que el receptor de GPS no se sintonice accidentalmente con alguna otra señal. Siendo el modelo tan complejo es altamente improbable que una señal cualquiera pueda tener exactamente la misma secuencia.

Dado que cada uno de los satélites tiene su propio y único Código Pseudo Aleatorio, esta complejidad también garantiza que el receptor no se confunda accidentalmente de satélite. De esa manera, también es posible que todos los satélites transmitan en la misma frecuencia sin interferirse mutuamente. Esto también complica a cualquiera que intente interferir el sistema desde el exterior al mismo. Pero hay otra razón para la complejidad del Código Pseudo Aleatorio, una razón que es crucial para conseguir un sistema GPS económico.

El código permite el uso de la "teoría de la información" para amplificar las señales de GPS. Por esa razón las débiles señales emitidas por los satélites pueden ser captadas por los receptores de GPS sin el uso de grandes antenas.

Cuando comenzamos a explicar el mecanismo de emisión de las señales por el GPS y el satélite, asumimos que ambos comenzaban la emisión de la señal exactamente al mismo tiempo. ¿Pero cómo podemos asegurarnos que todo esté perfectamente sincronizado?

Ya veremos...

### Midiendo la distancia

1. La distancia al satélite se determina midiendo el tiempo que tarda una señal de radio, emitida por el mismo, en alcanzar nuestro receptor de GPS.
2. Para efectuar dicha medición asumimos que ambos, nuestro receptor GPS y el satélite, están generando el mismo Código Pseudo Aleatorio en exactamente el mismo momento.
3. Comparando cuanto retardo existe entre la llegada del Código Pseudo Aleatorio proveniente del satélite y la generación del código de nuestro

receptor de GPS, podemos determinar cuanto tiempo le llevó a dicha señal llegar hasta nosotros.

4. Multiplicamos dicho tiempo de viaje por la velocidad de la luz y obtenemos la distancia al satélite.

### Pasó 3: Control perfecto del tiempo

Si la medición del tiempo de viaje de una señal de radio es clave para el GPS, los relojes que empleamos deben ser exactísimos, dado que si miden con un desvío de un milésimo de segundo, a la velocidad de la luz, ello se traduce en un error de 300 Km.

Por el lado de los satélites, el timing es casi perfecto porque llevan a bordo relojes atómicos de increíble precisión.

¿Pero que pasa con nuestros receptores GPS, aquí en la tierra?

Recordemos que ambos, el satélite y el receptor GPS, deben ser capaces de sincronizar sus Códigos Pseudo Aleatorios para que el sistema funcione.

Si nuestros receptores GPS tuvieran que alojar relojes atómicos (Cuyo costo está por encima de los 50 a 100.000 U\$S) la tecnología resultaría demasiado costosa y nadie podría acceder a ellos.

Por suerte los diseñadores del sistema GPS encontraron una brillante solución que nos permite resolver el problema con relojes mucho menos precisos en nuestros GPS. Esta solución es uno de los elementos clave del sistema GPS y, como beneficio adicional, significa que cada receptor de GPS es en esencia un reloj atómico por su precisión.

El secreto para obtener un timing tan perfecto es efectuar una medición satelital adicional.

Resulta que si tres mediciones perfectas pueden posicionar un punto en un espacio tridimensional, cuatro mediciones imperfectas pueden lograr lo mismo.

Esta idea es fundamental para el funcionamiento del sistema GPS. Una medición adicional remedia el desfase del timing.

Si todo fuera perfecto (es decir que los relojes de nuestros receptores GPS lo fueran), entonces todos los rangos (distancias) a los satélites se intersectarían en un único punto (que indica nuestra posición). Pero con relojes imperfectos, una cuarta medición, efectuada como control cruzado, NO interceptará con los tres primeros.

De esa manera la computadora de nuestro GPS detectará la discrepancia y atribuirá la diferencia a una sincronización imperfecta con la hora universal.

Dado que cualquier discrepancia con la hora universal afectará a las cuatro mediciones, el receptor buscará un factor de corrección único que siendo aplicado a sus mediciones de tiempo hará que los rangos coincidan en un solo punto.

Dicha corrección permitirá al reloj del receptor ajustarse nuevamente a la hora universal y de esa manera tenemos un reloj atómico en la palma de nuestra mano!

Una vez que el receptor de GPS aplica dicha corrección al resto de sus mediciones, obtenemos un posicionamiento preciso.

Una consecuencia de este principio es que cualquier GPS decente debe ser capaz de sintonizar al menos cuatro satélites de manera simultánea. En la práctica, casi todos los GPS en venta actualmente, acceden a más de 6 y hasta a 12 satélites simultáneamente.



Ahora bien, con el Código Pseudo Aleatorio como un pulso confiable para asegurar la medición correcta del tiempo de la señal y la medición adicional como elemento de sincronización con la hora universal, tenemos todo lo necesario para medir nuestra distancia a un satélite en el espacio.

Pero, para que la triangulación funcione necesitamos conocer no sólo la distancia sino que debemos conocer dónde están los satélites con toda exactitud.

#### Obtener un Timing Perfecto

1. Un timing muy preciso es clave para medir la distancia a los satélites
2. Los satélites son exactos porque llevan un reloj atómico a bordo.
3. Los relojes de los receptores GPS no necesitan ser tan exactos porque la medición de un rango a un satélite adicional permite corregir los errores de medición.

#### Pasó 4: Conocer dónde están los satélites en el espacio

Asumiendo que conocemos dónde están los satélites en sus órbitas y de esa manera podemos utilizarlos como puntos de referencia. Todos ellos están flotando a unos 20.000 Km. de altura en el espacio. Un satélite a gran altura se mantiene estable, la altura de 20.000 km es en realidad un gran beneficio para este caso, porque algo que está a esa altura está bien despejado de la atmósfera. Eso significa que orbitará de manera regular y predecible mediante ecuaciones matemáticas sencillas.

La Fuerza Aérea de los EEUU colocó cada satélite de GPS en una órbita muy precisa, de acuerdo al Plan Maestro de GPS.

En tierra, todos los receptores de GPS tienen un almanaque programado en sus computadoras que les informan donde está cada satélite en el espacio, en cada momento, las órbitas básicas son muy exactas pero con el fin de mantenerlas así, los satélites de GPS son monitoreados de manera constante por el Departamento de Defensa, utilizan radares muy precisos para controlar constantemente la exacta altura, posición y velocidad de cada satélite.

Los errores que ellos controlan son los llamados errores de efemérides, o sea evolución orbital de los satélites. Estos errores se generan por influencias gravitacionales del sol y de la luna y por la presión de la radiación solar sobre los satélites, pero que hay que tenerlos en cuenta.

#### Corrigiendo el mensaje

Una vez medido la posición exacta de un satélite, vuelven a enviar dicha información al propio satélite. De esa manera el satélite incluye su nueva posición corregida en la información que transmite a través de sus señales a los GPS. Esto significa que la señal que recibe un receptor de GPS no es solamente un Código Pseudo Aleatorio con fines de timing. También contiene un mensaje de navegación con información sobre la órbita exacta del satélite

Con un timing perfecto y la posición exacta del satélite podríamos pensar que estamos en condiciones de efectuar cálculos perfectos de posicionamiento. Sin embargo debemos resolver otros problemas.

### Posicionamiento de los Satélites

1. Para utilizar los satélites como puntos de referencia debemos conocer exactamente donde están en cada momento.
2. Los satélites de GPS se ubican a tal altura que sus órbitas son muy predecibles.
3. El Departamento de Defensa controla y mide variaciones menores en sus órbitas.
4. La información sobre errores es enviada a los satélites para que estos a su vez retransmitan su posición corregida junto con sus señales de timing.

### Paso 5: Corrigiendo Errores

Para aprovechar al máximo las ventajas del sistema un buen receptor de GPS debe tener en cuenta una amplia variedad de errores posibles.

En primer lugar, una de las presunciones básicas que hemos estado usando a lo largo de este trabajo no es exactamente cierta. Hemos estado afirmando que podemos calcular la distancia a un satélite multiplicando el tiempo de viaje de su señal por la velocidad de la luz. Pero la velocidad de la luz sólo es constante en el vacío.

Una señal de GPS pasa a través de partículas cargadas en su paso por la ionosfera y luego al pasar a través de vapor de agua en la troposfera pierde algo de velocidad, creando el mismo efecto que un error de precisión en los relojes.

Hay un par de maneras de minimizar este tipo de error. Por un lado, podríamos predecir cual sería el error tipo de un día promedio. A esto se lo llama modelación y nos puede ayudar pero, por supuesto, las condiciones atmosféricas raramente se ajustan exactamente el promedio previsto.

Otra manera de manejar los errores inducidos por la atmósfera es comparar la velocidad relativa de dos señales diferentes. Esta medición de doble frecuencia es muy sofisticada y solo es posible en receptores GPS muy avanzados.

Los problemas para la señal de GPS no terminan cuando llega a la tierra. La señal puede rebotar varias veces debido a obstrucciones locales antes de ser captada por nuestro receptor GPS.

Este error es similar al de las señales fantasma que podemos ver en la recepción de televisión. Los buenos receptores GPS utilizan sofisticados sistemas de rechazo para minimizar este problema.

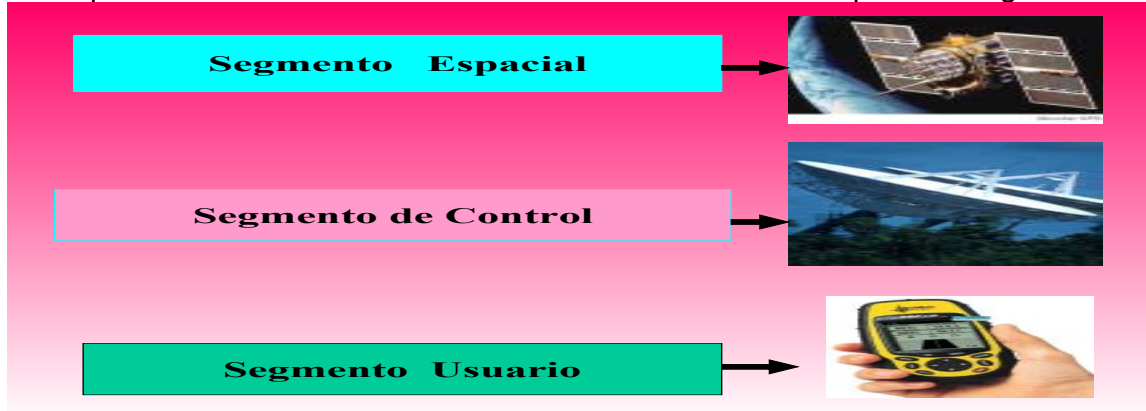
Aún siendo los satélites muy sofisticados no tienen en cuenta minúsculos errores en el sistema.

Los relojes atómicos que utilizan son muy, pero muy, precisos, pero no son perfectos. Pueden ocurrir minúsculas discrepancias que se transforman en errores de medición del tiempo de viaje de las señales.

Y, aunque la posición de los satélites es controlada permanentemente, tampoco pueden ser controlados a cada segundo. De esa manera pequeñas variaciones de posición o de efemérides pueden ocurrir entre los tiempos de monitoreo.

## Características de NAVSTAR GPS

Cualquier sistema satelital como NAVSTAR está constituido por tres segmentos:



### • Segmento espacial

, El segmento espacial NAVSTAR GPS está constituido por una constelación de 24 satélites localizados a 20,200 Km. de la superficie de la tierra. la constelación NAVSTAR GPS y la constelación de satélites GLONASS (Global Navigation Satellite System) del Gobierno Ruso. Estos dos sistemas tanto el ruso como el estadounidense son similares en operación y en características de los satélites. Los satélites son una parte esencial ya que estos son los que emiten constantemente las señales hacia los receptores GPS, cubriendo todo el globo terrestre La constelación final y número total de satélites ha sufrido variaciones con el tiempo. Los primeros satélites GPS tenían una inclinación de  $63^\circ$  con respecto al Ecuador y los planes era colocar 24 satélites en 3 planos orbitales. Debido a cuestiones presupuestarias la constelación se pensó reducir en 18 satélites. Con esta idea, sin embargo, no se proveía la cobertura deseada (Hoffman-Wellenhopf, Lichtenegger y Collins, 1993). La constelación final de satélites GPS se estableció en 21 satélites principales más tres satélites activos de repuesto orbitando la tierra en órbitas casi circulares a una elevación de aproximadamente 20200 km sobre la tierra y con un período de 12 horas sidéreas.

GPS 126 / Garmin

Estos satélites tienen una inclinación de  $55^\circ$  con respecto al Ecuador y están colocados en seis planos equidistantemente y con 4 satélites en cada órbita. La separación de los planos de las órbitas es de  $60^\circ$  en ascensión recta (Seeber, 1993).

### • Segmento de Control

. El segmento de control consiste de cinco estaciones de monitoreo localizadas en Hawai, Kwajalein, Isla Ascensión, Diego García y Colorado Springs; tres estaciones terrenas en Isla Ascensión, Diego García y Kwajalein, y una Estación Maestra de Control (MCS) localizada en la base aérea de Falcon Colorado, la cual mantiene los satélites en posición orbital y su respectiva regulación de tiempo de cada

satélite. Las estaciones de monitoreo rastrean todos los satélites que se encuentran a la vista, acumulando la información monitoreada. Esta información es procesada en la MCS para determinar las órbitas de los satélites y para actualizar cada mensaje de navegación de cada satélite. Una vez actualizada esta información es transmitida a cada satélite desde las estaciones terrenas.

• Segmento del usuario

. El segmento del usuario consiste de receptores GPS que proporcionan casi instantáneamente la posición, altitud, velocidad y tiempo preciso al usuario desde cualquier parte del mundo las 24 horas del día. Estos receptores calculan la posición por medio de señales simultáneas desde tres o más satélites que estén a la vista del receptor GPS. Los receptores varían en precios, tamaños y precisión, desde los más sencillos como los que se usan para la localización de vehículos o los más sofisticados, como los que encuentran en los tableros de los aviones. Los precios de los receptores varían dependiendo de la precisión que estos ofrezcan, varían desde los \$100 dólares los más simples, hasta los 40,000 dic. los más sofisticados. Cuando se requiera comprar algún receptor GPS se recomienda que tenga un número adecuado de canales. Los receptores de un sólo canal buscan su posición por medio de señales emitidas constantemente hacia el espacio buscando las señales de los satélites. Tan pronto como éstos sean localizados, el receptor proporciona cálculos de localización y la precisión es determinada por la rapidez con que el receptor pueda encontrar las señales de los satélites. Existen algunos receptores que cuentan con 5 canales, de los cuales 4 rastrean satélites para tener una constante localización por aquello de que algún canal sea bloqueado. Existen receptores aún más sofisticados que cuentan con 12 canales. Otro factor importante es la re-adquisición rápida de la señal del satélite, que es el tiempo en el que el receptor tarda en adquirir la señal y poder hacer un cálculo rápido de localización. Receptores con estas características es posible encontrarlos a un precio cercano a los \$500 dólares.

Tipos de servicios de NAVSTAR . GPS .

Existen dos niveles de servicio, el primero conocido como Servicio Estándar de Localización (SPS, Standard Positioning Service), que es un servicio de determinación de la posición y tiempo que está disponible a todos los usuarios, las veinticuatro horas del día y sin cargo directo. Intencionalmente la defensa americana introduce un error para que la exactitud de este servicio no sea muy bueno. SPS provee una probabilidad de error predecible de 100 Pts horizontalmente y de 156 Pts verticalmente y con 340 ñaño segundos en tiempo. Por otro lado el Servicio Preciso de Localización (PPS, Precise Positioning Service) es un servicio de determinación de la posición y tiempo con alta precisión utilizado para usos militares y para otros usos del Gobierno de los Estados Unidos. Para usos civiles que no son del Gobierno Federal, ya sea domésticos y extranjeros pueden ser considerados solicitando un permiso especial. Este servicio provee una precisión predecible de 22 Pts horizontalmente y 27.7 Pts verticalmente y 200 ñaño segundos en tiempo. Este servicio no esta disponible a los usuarios civiles, ya que los mensajes están encriptados.

### Técnicas y precisiones

#### Posicionamiento Autónomo.

El posicionamiento autónomo (con un solo receptor) tiene una precisión que oscila entre los 10 y los 30 m. Los receptores autónomos son de bajo costo y muy utilizados en la navegación deportiva.

Corrección diferencial .Técnica que permite obtener las coordenadas de un punto por debajo de los 3 metros en planimetría y menor precisión en altimetría, mejorando ambas de acuerdo al tipo de receptor utilizado. El método se basa en la corrección de todas las posiciones tomadas (calculadas con un receptor fijo en un punto conocido), que luego son aplicadas a un receptor itinerante. Esta técnica es la que usan las cosechadoras con monitores de rendimiento. La corrección diferencial es un método que, por su precisión, tiene escasa utilidad en mediciones altimétricas.

#### Receptores Geodésicos.

Los receptores geodésicos son equipos de alta complejidad, que permiten obtener precisiones que van del rango de los 3 cm. a unos pocos Mm. tanto en planimetría como en altimetría. La distancia a los satélites, a diferencia de los demás métodos, es calculada en función de la fase de la onda portadora que envían los satélites.

### **Tipos de receptores GPS.**

#### Receptor secuencial.

Este tipo de receptor sólo cuenta con un canal. Sigue secuencialmente a los diferentes satélites visibles. El receptor permanece sincronizado con cada uno de los satélites al menos 1 segundo. Durante este tiempo adquiere la señal y calcula el retardo temporal. Extrae el retardo de sólo 4 satélites y a partir de estos calcula la posición. Los satélites que elige son aquellos que tienen mejor SNR. Estos receptores son:

- Los más baratos.
- Los más lentos.
- Su precisión es menor que la de los otros tipos de receptores.
- Suele emplearse en aplicaciones de baja dinámica (barcos, navegación terrestre...)

### Receptor continuo o multicanal.

Los receptores disponen de al menos 4 canales. A cada canal se le asigna el código de 1 satélite para que se sincronice con él y adquiera el retardo con ese satélite. Se miden los retardos simultáneamente. Son más rápidos que los secuenciales a la hora de calcular la posición. Su precisión también es mejor que en el modelo anterior. Están recomendados para aplicaciones de gran dinámica (aeronaves).

### Receptor con canales multiplexados.

Tenemos 1 único canal físico (hardware). Tenemos 4 o más bucles de seguimiento (software). De este modo se deben muestrear todos los satélites visibles en un tiempo inferior a 20 ms, pues así podremos obtener la información recibida de todos los satélites visibles).

La complejidad software es mayor y necesitamos un microprocesador más potente. Pero tiene la ventaja respecto al receptor continuo de que al emplear 1 sólo canal físico será menos sensible a las posibles variaciones de canal que en el caso de los receptores continuos (los canales no pueden ser exactamente iguales, unos tendrán un retardo distinto al resto...).

### Diferencia con los métodos tradicionales.

- No tiene requerimientos de visual entre la estación base y el receptor itinerante. Hasta el advenimiento del GPS, la intervisibilidad era un gran factor limitante en cualquier práctica de medición.
- Permite realizar mediciones dinámicas ( por ej. con un vehículo en movimiento).
- Cada punto relevado es una medición independiente, por lo tanto no existe arrastre de errores.
- El GPS puede utilizarse prácticamente bajo cualquier condición climática
- La posibilidad de ubicar fácil y precisamente en un mismo sistema de puntos de la superficie terrestre no intervisible y aun sumamente alejados entre si , sin la necesidad de recorrer la distancia que los separa ,permitiendo entrelazar lugares
- Obtener en forma directa y con exactitud las coordenadas geográficas de un punto.
- En los trabajos topográficos y geodésicos con GPS no requiere de intervisibilidad entre vértices ni considerar previamente la magnitud de los ángulos de un polígono.

Todo esto produce un dramático impacto en la productividad, eficiencia y precisión. GPS es en este momento la forma más veloz, económica y precisa, que existe de medir. Todas las técnicas de medición con GPS son con posicionamiento relativo, es decir que requieren de dos receptores. Un receptor (la estación base) queda fija en un punto. El otro receptor (itinerante) es posesionado unos pocos segundos en cada uno de los puntos cuyas coordenadas se quieren determinar. El método de medición GPS nos permite reducir el tiempo de relevamiento prácticamente al tiempo que se demora en trasladar el receptor de un punto a otro.

### **VENTAJAS DEL GPS RESPECTO A LOS SISTEMAS HABITUALES DE ORIENTACIÓN.**

El GPS como un sistema que nos facilita nuestra posición en la Tierra y nuestra altitud, con una precisión casi exacta, incluso en condiciones meteorológicas muy adversas. Es muy importante entender que el cálculo de la posición y la altitud no se hace a partir de los datos de sensores analógicos de presión, humedad o temperatura (o una combinación de éstos) como en los altímetros o altímetros-barómetros analógicos, o incluso como en los más sofisticados altímetros digitales, sino que se hace a partir de los datos que nos envía una constelación de satélites en órbita que, a pesar de ser simples como satélites, nos proporcionan la fiabilidad de hacer uso de la tecnología más sofisticada y precisa de la que el hombre dispone actualmente. También debemos reparar en el hecho de que la evolución de éstos datos analógicos que, en efecto, nos van a ser muy útiles para prever los cambios atmosféricos y las condiciones ambientales para el desarrollo de la actividad que llevemos a cabo, son de una fiabilidad relativa para calcular nuestra posición y altitud exactas. Además, todos los GPS incorporan funciones de navegación realmente sofisticadas. Por ejemplo, podemos elaborar nuestras rutas sobre mapas, registrando en el dispositivo los puntos por los que queremos, o debemos pasar y, sobre el terreno, activando esa ruta, una pantalla gráfica nos indicará si estamos sobre el rumbo correcto o nos estamos desviando en alguna dirección; o utilizar la misma función en rutas reversibles, es decir, ir registrando puntos por lo que vamos pasando para luego poder volver por esos mismos puntos con seguridad. Con todos estos datos, además podemos deducir la velocidad a la que nos estamos desplazando con exactitud, mientras mantenemos nuestro rumbo en línea recta, o deducir la velocidad a la que nos hemos desplazado

#### **El error del NAVSTAR-GPS se expresa :**

- UERE: es el error equivalente en distancia al usuario, se define como un vector sobre la línea vista entre el satélite y el usuario resultado de proyectar sobre ella todos los errores del sistema.
  - Este error es equivalente para todos los satélites.
  - Se trata de un error cuadrático medio.
- DOP (Dilution Of Precision): depende de la geometría de los satélites en el momento del cálculo de la posición. No es lo mismo que los 4 satélites estén muy separados (mejor precisión) que los satélites están más próximos (menor precisión). El DOP se divide en varios términos:

- GDOP (Geometric DOP), suministra una incertidumbre como consecuencia de la posición geométrica de los satélites y de la precisión temporal.
- PDOP (Position DOP), incertidumbre en la posición debido únicamente a la posición geométrica de los satélites.
- HDOP (Horizontal DOP), incertidumbre en la posición horizontal que se nos da del usuario.
- VDOP (Vertical DOP), suministra una información sobre la incertidumbre en la posición vertical del usuario.

Las principales fuentes de error son las siguientes:

- Error en el cálculo de la posición del satélite.
- Inestabilidad del reloj del satélite.
- Propagación anormal de la señal (velocidad de propagación no es constante).

Estos errores se corrigen a través de diferentes modelos que son transmitidos en el mensaje de navegación a los usuarios. Veremos como es el ruido del receptor el que se convierte en una de las principales fuentes de error del sistema.

Error en el cálculo de la posición de los satélites

Los satélites se desvían de las órbitas calculadas por diferentes razones, entre estas podemos citar:

- Por la variación del campo gravitatorio.
- Debido a variaciones en la presión de la radiación solar.
- Debido a la fricción del satélite con moléculas libres.

Se ha estimado que las efemérides calculan la posición de los satélites con una precisión de 20 metros. Para disminuir (e incluso evitar) esta fuente de error se han construido varios algoritmos basados en datos experimentales (empíricos), los coeficientes de estos algoritmos se transmiten al usuario a través del mensaje de navegación para que se reduzca el error debido a esta fuente de error.

Errores debidos a inestabilidades del reloj del satélite

Los satélites emplean relojes atómicos muy precisos, pero con el paso del tiempo pueden presentar alguna deriva. En el mensaje de navegación uno de los parámetros que se enviaban era el estado del reloj del satélite para tener controlado su funcionamiento.

Debido a que el satélite está situado en un campo gravitatorio más débil se produce un adelanto del reloj y como consecuencia de la mayor velocidad que lleva el satélite se produce un retraso del reloj. Sobre estos dos efectos predomina el adelanto, por esto se diseñan para que en la superficie terrestre atrasen y al ponerlos en órbita funcionen bien, pero no se consigue totalmente debido a efectos relativistas. Todos los coeficientes se envían al usuario a través del mensaje de navegación y así la corrección de esta fuente de error es casi total.

Errores debidos a la propagación de la señal

Hemos supuesto que la velocidad de propagación de la señal es constante, pero esto no es cierto. Especialmente cuando la señal se transmite por la ionosfera y la troposfera. Por tanto las distancias medidas no son las distancias reales. El efecto más importante se produce en la propagación por la ionosfera, este



puede llegar a ser de hasta 100 metros. Para corregir este error los receptores civiles (códigos C/A y 1 sola frecuencia) usan modelos empíricos caracterizados por parámetros dependientes de la hora, latitud, estación... Todos estos parámetros se transmiten en el mensaje de navegación. Para los receptores militares (que usan las dos frecuencias) el método para corregir este error es más eficaz.

### Disponibilidad Selectiva

La disponibilidad selectiva fue eliminada el 1 de Mayo del 2000. Estuvo motivada por la excesiva precisión obtenida por los receptores civiles, por esto se decide degradar esta precisión. Esto se hace de dos formas:

- Haciendo oscilar el reloj del satélite.
- Manipulando los datos enviados por las efemérides de los satélites

Con esto se consigue degradar el UERE hasta 37.5 metros. Los receptores militares van a disponer de los modelos de errores introducidos y ellos tendrán la precisión inicial del sistema (UERE = 66.6 m).

### Precisión del sistema GPS

Se define el radio de la esfera o círculo (3D/2D) en la que estarán el 50% de las medidas.

La precisión depende de dos parámetros

- Exactitud en la determinación de las pseudodistancias.
- Geometría de los satélites.

	C/A (con disp select)	P
3D --	75.7 m	13.5 m
2D --	43 m	7.7 m
Vertical	49.7 m	8.8 m

En cuanto a la precisión en la referencia temporal tenemos:

- Sin disponibilidad selectiva: 50 ~ 100 ns
- Con disponibilidad selectiva: 300 ns

Existe una forma de GPS, denominada GPS Diferencial, que reduce significativamente estos problemas.

### DGPS (GPS diferencial)

Se construyó principalmente por la introducción de la disponibilidad selectiva. Es un sistema a través del cual se intenta mejorar la precisión obtenida a través del GPS.

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. Los errores están fuertemente correlados en los receptores próximos. Si suponemos que un receptor basándose en otras técnicas conoce muy bien su posición, si este receptor recibe la posición dada por el sistema GPS será capaz de estimar los errores producidos por el sistema GPS. Si este receptor transmite la

corrección de errores a los receptores próximos a él estos podrán corregir también los errores producidos por el sistema.

El sistema DGPS se puede corregir en parte los errores debidos a:

- Disponibilidad selectiva.
- Propagación por la ionosfera - troposfera.
- Errores en la posición del satélite (efemérides).
- Errores producidos por errores en el reloj del satélite.

### Estructura del DGPS

Una estación monitora que conoce su posición con una precisión muy alta. Esta estación tiene:

- Un receptor GPS.
- Un microprocesador para calcular los errores del sistema GPS y para generar la estructura del mensaje que se envía a los receptores.

Hay un canal de datos unidireccional hacia los receptores, por tanto:

- Necesita un transmisor (estación monitora).
- Los usuarios necesitarán un receptor para recibir estos datos.

En los mensajes que se envían a los receptores próximos se pueden incluir dos tipos de correcciones:

- Una corrección directamente aplicada a la posición. Esto tiene el inconveniente de que tanto el usuario como la estación monitora deberán emplear los mismos satélites, pues las correcciones se basan en esos mismos satélites.
- Una corrección aplicada a las pseudodistancias de cada uno de los satélites visibles.

En este caso el usuario podrá hacer la corrección con los 4 satélites de mejor SNR. Esta corrección es más flexible.

El error producido por la disponibilidad selectiva varía incluso más rápido que la velocidad de transmisión de los datos. Por ello, junto con el mensaje que se envía de correcciones también se envía el tiempo de validez de las correcciones y sus tendencias. Por tanto el receptor deberá hacer algún tipo de interpolación para corregir los errores producidos.

### Cobertura y precisión del DGPS

El DGPS Tiene una cobertura de 200 km en torno a la estación terrena. Esta zona es donde los errores están fuertemente correlacionados. Se eliminan los errores del segmento espacial y de control. En cuanto al segmento de los usuarios se eliminan los efectos de la ionosfera y troposfera y el parámetro que más afecta es el ruido del receptor. Se están desarrollando sistemas WADGPS (DGPS de área amplia) que no es otra cosa que un DGPS de gran cobertura. Está formado por varias estaciones monitoras DGPS cuyas áreas de cobertura están superpuestas.

### Corrección de Errores

1. La ionosfera y la troposfera causan demoras en la señal de GPS que se traducen en errores de posicionamiento.
2. Algunos errores se pueden corregir mediante modelación y correcciones matemáticas.
3. La configuración de los satélites en el cielo puede magnificar otros errores
4. El GPS Diferencial puede eliminar casi todos los errores.

### Resumen de las fuentes de error del sistema GPS *Errores típicos, en Metros (Por cada satélite)*

Fuentes de Error	GPS Standard	GPS Diferencial
Reloj del Satélite	1.5	0
Errores Orbitales	2.5	0
Ionosfera	5.0	0.4
Troposfera	0.5	0.2
Ruido en el Receptor	0.3	0.3
Señal Fantasma	0.6	0.6
Disponibilidad Selectiva	30	0
Exactitud Promedio de Posición		
Horizontal	50	1.3
Vertical	78	2.0
3-D	93	2.8

### Usos del GPS.

Las aplicaciones de GPS son muy diversas, éstas se pueden clasificar en cinco categorías: localización, navegación, rastreo, cartografía y tiempo exacto. En aplicaciones de localización - determinar una posición las más empleadas son para la localización de vehículos. Dado el alto índice de robos de vehículos, algunas compañías fabricantes de automóviles y compañías aseguradoras han empezado a instalar este tipo de aparatos en lugares ocultos dentro de los automóviles. También muchos de los taxis y camiones de carga utilizan GPS en sus vehículos para que estos sean localizados desde sus oficinas. La navegación es una aplicación que requiere de mucha precisión, razón por la cual las compañías de aviación utilizan GPS para guiar a las aeronaves en climas inhóspitos así como

para *despegar* y *aterrizar* este tipo de vehículos. El rastreo también es otra aplicación muy importante, por ejemplo algunas compañías de flotillas de vehículos utilizan un programa de computadora provisto con un mapa de una ciudad o de una región, para rastrear todos sus vehículos. Algunas universidades y centros de investigación les ponen unos diminutos receptores GPS a animales en peligro de extinción o aves para conocer y estudiar sus trayectorias.

La cartografía es otra aplicación de mucha importancia dentro de las aplicaciones de GPS, al determinar con precisión la posición de ríos, bosques, montañas, carreteras y otros puntos es posible la elaboración de mapas muy precisos; con la ayuda de otras técnicas como la fotogrametría, topografía y planimetría es posible la elaboración de sistemas de información geográfica. El tiempo exacto que nos brinda el sistema GPS, es utilizado por las cadenas nacionales de televisión para sincronizar las transmisiones a nivel nacional y para sincronizar los comerciales y programas.

La puesta en órbita de satélites es otra aplicación que requiere de una finísima precisión debido a que se necesita poner un satélite en una posición exacta en un tiempo exacto, y evitar así posibles colisiones. Las aplicaciones de tipo militar también son muy bastas, fue el principal motivo por lo que GPS se concibió. En la pasada guerra del golfo pérsico conocida como *la tormenta del desierto*, fue una prueba de fuego para el Departamento de Defensa de Estados Unidos para probar sus sistemas de localización. El sistema GPS se utiliza en la milicia para determinar la distribución adecuada de tropas en tierra, aviones, barcos, submarinos, tanques, etc., también para guiar misiles para la destrucción de objetivos.. Existen muchas aplicaciones más benéficas de la utilización de este sistema de localización; con GPS es posible guiar ambulancias, bomberos, policía o grupos de rescate para que estos lleguen en cuestión de minutos al sitio donde está la emergencia. Con GPS es posible que personas invidentes puedan guiarse dentro de una ciudad, apoyándose en una detallada base de datos dentro del receptor. Otras áreas de aplicación de la tecnología GPS es la agricultura, minería, arqueología, construcción, exploración, cinematografía, pesca deportiva, entre otras.

En la actualidad existen otros sistemas satelitales que ofrecen el servicio de localización, como *Inmarsat*, *AMSC (American Mobile Satellite Corp.)*, y *OmniTRACS* de Qualcomm, basándose en GPS y apoyándose en satélites geostacionarios (GEOs) y sus respectivas estaciones terrenas de monitoreo;. los usos principales son el rastreo de flotillas de vehículos. Con el lanzamiento de los satélites de órbita baja (LEO) y su puesta en operación en los próximos años, como por ejemplo Iridium, GlobalStar, Orbcomm, ODYSSEY, entre otros, habrá más opciones para aplicaciones en el área de la determinación de la posición. El futuro de esta tecnología es muy prometedor, todos de alguna manera nos vamos a ver beneficiados por las bondades del sistema mundial de localización.

#### Usos en Topografía y Geodesia:

La posibilidad de usar el sistema para tareas de precisión se ha estudiado desde hace mucho tiempo. En la actualidad se han desarrollado técnicas para lograr exactitud topográfica y geodésica. Estas son conocidas como técnicas diferenciales o métodos de posicionamiento relativo. Esto es, que es posible conocer con gran

exactitud la diferencias de coordenadas entre dos o más receptores. El principio se basa en la asunción de que en ambos extremos de una línea de órbita los satélites son iguales.

#### GPS en vehículos de Alquiler.

Sobre la base de las investigaciones realizadas en los EEUU, por la empresa de localización de vehículos AVIS, el 90% de sus clientes dispondrá de un sistema de navegación a bordo de su carro para garantizar mayor seguridad. Según la empresa contara con la instalación de unidades de navegación denominadas *Hertz*, utilizándolas en centenares de sus vehículos. El sistema es fabricado por Rockwell International y se denomina Never – Lost (nunca - perdido) el cual sirve cuando la persona esta desorientada dentro del vehículo en áreas hostiles, situaciones muy comunes en ciudades como Los Angeles, Nueva York y Washington escogidas para el lanzamiento del producto. Un *Hertz* provee un acople de navegación para GPS en tres diferentes clases de carros, popularizando su uso.

#### Aplicaciones de los GPS en Geografía.

- Levantamiento con GPS en tiempo real para fotografías aéreas.
- Control de calidad de puntos geodésicos.
- Ubicación de puntos de muestreo para fines cartográficos.
- Monitoreo de informaciones como deslizamientos, desplazamiento de fallas y retrocesos glaciales.
- Determinación de coordenadas

#### **MODALIDADES DE MEDICION:**

Ya sea que el tipo de medición sea absoluto o relativo, se consideran dos tipos de modalidad en la manera de toma y procesamiento de las mediciones. Estas modalidades son denominadas Estática y Cinématica. Como su nombre lo indica, estática denomina a observaciones estacionarias, mientras que la modalidad cinemática implica movimiento.

A continuación se presentan algunos tipos de estas modalidades (Hoffman-Wellenhof, Lichtenegger y Collins, 1993):

**ABSOLUTO ESTATICO:** Esta modalidad es usada cuando se desea posicionamiento de puntos de exactitud moderada, en el orden de 5m a 10m. En este caso el modo de calculo es realizado posteriormente.

**ABSOLUTO CINEMATICO:** Es generalmente usado para la determinación de la trayectoria de vehículos en espacio y tiempo con una exactitud de 10m a 100m.

**RELATIVO ESTATICO:** Cuando es usado por fases portadoras es el método más aplicado en tareas de Geodesia. En esta modalidad lo que se hace es determinar vectores o "líneas-bases" entre dos puntos en los cuales se dejan receptores estacionarios. Las precisiones logrables van desde 1 ppm hasta 0.1 ppm para puntos separados pocos kilómetros.

**RELATIVO CINEMATICO:** Como en el método anterior, éste involucra un mínimo de dos receptores, pero uno de ellos estacionario y otro móvil realizando observaciones simultáneas. Las precisiones logrables varían, de acuerdo al tipo de receptor y postprocesamiento, desde el orden de pocos metros hasta centímetros.

### **Enfoque de algunas instituciones que desarrollan equipos de GPS**

- Trimble

Fundada en 1978 y localizada en Sunnyvale, California es uno de los principales exponentes en agregar valores al GPS para una variada gama de aplicaciones. Trimble Land Surveying Group empezó desarrollando GPS para usos netamente científicos hacia la década de los ochenta.

El GPS Trimble posee la habilidad de medir distancias para monitoreo y cálculos topográficos de una forma precisa. Esta empresa realiza un trabajo de acople a la integración tecnológica por medio de la interoperabilidad con algunos programas, y desarrollo de conexión con los demás equipos que permiten establecer el cálculo de señales vía satélite para la ubicación de un determinado sitio. Actualmente Trimble esta desarrollando programas (software) que facilite el acople operativo de sistemas para la interpretación de los datos por medio de receptores. Estos equipos se están desarrollando en Nueva Zelandia y los EEUU.

Fuente: TRIMBLE CORPORATION INC. Sunnyvale (EEUU) 1999

- Allen Osborne Associates. Inc (AOA)

Esta multinacional desarrolla sistemas GPS para geodesia, topografía, temporización y medición de frecuencias para aplicaciones espaciales.

Debido a su énfasis en sistemas topográficos a nivel local ha truncado sus aspiraciones estratégicas en el campo espacial y militar. Aunque el registro de sistemas de exploración han bajado en los EEUU debido a la fuerte competencia, la empresa sigue basándose en equipos para trabajos topográficos.

Fuente: Revista GIM INTERNATIONAL 1998 Lemmers (Holanda)

- Carl Zeiss Geodetic System

Es una proveedora de soluciones de sistemas para la adquisición y manejo del espacio geométrico y la verificación de datos.

Tradicionalmente esta empresa ofrece una línea de instrumentos ópticos de topografía. Lo cual sirvió de base para la realización de un sistema total, en el cual se vinculan productos de GPS.

La idea actual de esta empresa no es la de coleccionar datos de posiciones determinadas por los satélites en su receptor. Su orientación se dirige a las aplicaciones de sensores, los cuales pueden ser usados en conjunto con otros sistemas clásicos de sensores acercándose al cubrimiento de una estación total.

## Sistema Egnos ....

El sistema Egnos, un servicio regional que complementa y mejora las prestaciones del sistema de posicionamiento estadounidense GPS y del ruso Glonass con correcciones diferenciales. Además de una mayor precisión, permitirá garantizar la disponibilidad continua del sistema y avisar de los errores al usuario, características de las que adolece el GPS y son imprescindibles en operaciones críticas como el despegue de aviones.

La versión de pruebas de Egnos funciona desde año 2000. Este sistema de mejora abre camino a Galileo, la constelación europea que dará autonomía a Europa en navegación por satélite y que no entrará en funcionamiento antes de 2008. Jugar con este servicio mejorado está al alcance de cualquiera: en el mercado existen receptores GPS compatibles con Egnos por menos de 170 euros. En la fase de validación se están experimentando diversas aplicaciones: desde los autobuses de Toulouse a un navegador personal para ciegos desarrollado GMV y la ONCE. Tormes, el lazarillo electrónico podrá recibir las señales Egnos a través de internet y redes inalámbricas en tiempo real.

Egnos, es un programa lanzado por la Comisión Europea, la Agencia Europea del Espacio (ESA) y Eurocontrol, tiene una inversión de 250 millones de euros. Es una de las tres iniciativas mundiales de implantación de sistemas de regionales de mejora de la navegación por satélite, junto con WAAS (Estados Unidos), y MSAS (Japón), los cuales podrán interoperar porque son compatibles.

Por ahora el GPS no satisface todos los requisitos exigidos por la navegación aérea civil (precisión, integridad, continuidad y disponibilidad de las señales) y la autoridades limitan su empleo a las fases de vuelo menos exigentes.

El complemento EGNOS ofrece durante el 95% del tiempo una precisión garantizada de 4 metros en planimetría y 1 metro en altimetría, el 99% de disponibilidad (probabilidad de que el servicio este disponible cuando lo requiera el usuario), integridad certificada (grado de confianza en la información proporcionada) un tiempo de alarma de 6 segundos (con GPS se podría navegar incorrectamente durante 10 horas) y continuidad extrema para funcionar sin interrupciones estimada en 10 millones de horas. Para resolver las limitaciones del GPS, Egnos utiliza 3 satélites adicionales geoestacionarios y una infraestructura terrestre que se está distribuyendo por Europa. El funcionamiento de Egnos significa además, un impulso para la industria Europea y las compañías que ofrecerán servicios España, en la que se instala parte de la infraestructura, tiene un papel relevante.

## Características

- Egnos: Se utiliza en actividades críticas como el despliegue de aviones
- Utilizado en Internet
- Recibir señales de Egnos a través de redes inalámbricas
- Precisión en altimetría de 1m, Planimetría 4m
- Navegador personal para ciegos
- Disponibilidad continua del sistema 99%

### Bibliografía.

- [http://www.santiagoocintra.es/test/c\\_pos.htm](http://www.santiagoocintra.es/test/c_pos.htm)
- <http://www.wmlclub.com/demos/index.htm>
- <http://www.wmlclub.com/docs/faqs/indexfaqs.php>
- <http://www.cocotero.com/indiceconfig.htm>
- <http://www.wmlclub.com/wap/index.wml>
- <http://www.wmlclub.com/programas/index.htm>
- <http://www.wmlclub.com/contenidos/index.htm>
- <http://www.wmlclub.com/docs/faqs/indexfaqs.php>
- <http://www.wmlclub.com/indexterminales.php>
- <http://www.wmlclub.com/docs/index.htm>
- <http://www.wmlclub.com/cgi-bin/listanoticias/lista.pl>
- <http://www.wmlclub.com/links/index>
- <http://www.wmlclub.com/links/li>
- <http://www.gpsmundo.com>
- <http://nautigalia.com/gps>
- <http://www.vuelolibre.org.co/GPScolombia.htm>
- <http://www.ideg.es>



- <http://www.cartesia.org/article.php?sid=92>
- Sagres 1997 .Revista Factor GIS. Editorial Curitiba (Brasil)

