

**TECNOLOGIA SATELITAL APLICADA A GPS: GOBAL POSITIONING
SYSTEM**

**ADRIANA QUINTERO MARTINEZ
KAREN RODRÍGUEZ GUERRERO**

**MINOR DE COMUNICACIÓN Y REDES
FACULTAD DE INGENIERIA DE SISTEMAS
UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLIVAR
CARTAGENA, NOVIEMBRE
2004**

**TECNOLOGIA SATELITAL APLICADA A GPS: GOBAL POSITIONING
SYSTEM**

**ADRIANA QUINTERO MARTINEZ
KAREN RODRÍGUEZ GUERRERO**

**TRABAJO FINAL PRESENTADO COMO REQUISITO PARCIAL PARA
APROBAR EL MINOR DE COMUNICACIONES Y REDES**

**ASESOR
INGENIERO GONZALO GARZON**

**MINOR DE COMUNICACIÓN Y REDES
FACULTAD DE INGENIERIA DE SISTEMAS
UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLIVAR
CARTAGENA, NOVIEMBRE
2004**

Cartagena, 23 de Noviembre del 2004

Señores

Universidad Tecnológica de Bolívar

Comité de facultad de Ingeniería de Sistemas

Ciudad

Estimados Señores:

De la manera más atenta nos permitimos presentar a su consideración y aprobación el trabajo de grado titulado "TECNOLOGIA SATELITAL APLICADA A GPS: GLOBAL POSITIONING SYSTEM" Elaborado por KAREN PAOLA RODRÍGUEZ GUERRERO y ADRIANA LUCIA QUINTERO MARTINEZ.

Esperamos que el presente trabajo se ajuste a las expectativas y criterios de la universidad para los trabajos de grado.

Cordialmente,

KAREN RODRÍGUEZ GUERRERO

ADRIANA QUINTERO MARTINEZ

Cartagena, 23 de Noviembre del 2004

Señores

Universidad Tecnológica de Bolívar

Comité de Evaluación de Proyectos

Ciudad

Apreciados Señores.

Cordialmente me permito informarles que he llevado a cabo la dirección del trabajo de grado de los estudiantes KAREN PAOLA RODRÍGUEZ GUERRERO Y ADRIANA LUCIA QUINTERO MARTINEZ, titulado:” TECNOLOGIA SATELITAL APLICADA A GPS: GOBAL POSITIONING SYSTEM “

Cordialmente,

GONZALO GARZON

Nota de Aceptación

Presidente del Jurado

Jurado

DEDICATORIA

A Dios, mi guía y mi luz, quien dirige todas mis acciones. A mis padres que con su apoyo y cariño han hecho de mí quien soy. A Raúl e Ismael Enrique que llenan mi vida de alegría.

ADRIANA

DEDICATORIA

A mis papás por el gran apoyo que me brindan para la realización de mis metas, a mi esposo y mi hijito adorado por la fuerza que me dan con su presencia.

KAREN

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a Dios por ser nuestro guía y fortaleza en todas las metas y proyectos a realizar. A nuestra Universidad Tecnológica de Bolívar y a el cuerpo docente, por la participación en nuestra formación como profesionales. A los profesores Gonzalo Garzón e Isaac Zúñiga por la ayuda y sugerencias que nos prestaron en la realización de esta monografía.

Al teniente José Miguel Villalobos agradecemos la facilitación de la información y explicaciones necesarias, para hacer posible este trabajo.

ARTICULO 107

La institución reserva el derecho de propiedad intelectual de todos los trabajos grupo aprobados, los cuales no pueden ser explotados comercialmente sin su autorización. Esta observación debe quedar impresa en parte visible del proyecto.

AUTORIZACIÓN

Cartagena de Indias, D. T. y C., Noviembre 23 del 2004

Nosotras, **KAREN PAOLA RODRÍGUEZ GUERRERO** y **ADRIANA LUCIA QUINTERO MARTINEZ**, identificadas con números de cédula 45.548.006 de Cartagena y 45.547.021 de Cartagena, autorizamos a la **Universidad Tecnológica de Bolívar** para hacer uso de nuestro trabajo de grado y publicarlo en el catálogo online de la Biblioteca.

KAREN RODRÍGUEZ GUERRERO

ADRIANA QUINTERO MARTINEZ

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN

OBJETIVOS

Página

| | |
|---|----------|
| 1. INTRODUCCION A LA TECNOLOGÍA | 1 |
| 1.1 CLASES DE SATELITES ATIFÍCALES | 2 |
| 1.2 FUNCIONAMIENTO DE LOS SATELITES | 4 |
| 1.3 LAS BANDAS DE FRECUENCIAS SATELITALES | 7 |
| 2. INTRODUCCIÓN A LOS GPS | 8 |
| 2.1 ORIGEN DE LOS GPS | 9 |
| 2.2 CONFIGURACIÓN DEL SISTEMA | 10 |
| 2.2.1 Segmento espacial | 11 |
| 2.2.2 Segmento de control | 12 |
| 2.2.3 Segmento de usuario | 15 |
| 2.3 FUNCIONAMIENTO DE LOS GPS | 16 |

| | | |
|-------|--|----|
| 2.3.1 | La triangulación desde los satélites | 17 |
| 2.3.2 | Las distancias a los satélites | 20 |
| 2.3.3 | Control perfecto del tiempo | 23 |
| 2.3.4 | Localización de los satélites en el espacio | 26 |
| 2.4 | FUENTES Y CORRECCIÓN DE ERRORES | 29 |
| 2.4.1 | Error en la propagación de la señal a través de la atmósfera | 29 |
| 2.4.2 | Error de propagación de la señal sobre la tierra | 30 |
| 2.4.3 | Error en los relojes de los satélites | 31 |
| 2.4.4 | Algunos ángulos son mejores que otros | 32 |
| 2.5 | FRECUENCIAS MILITAR Y CIVIL | 33 |
| 2.6 | GPS DIFERENCIAL (DGPS) | 34 |
| 2.6.1 | LADGPS (local area DGPS) | 34 |
| 2.6.2 | WADGPS (wide area DGPS) | 35 |
| 2.7 | TIPOS DE RECEPTORES GPS | 36 |
| 2.7.1 | Software para el GPS | 39 |

| | | |
|-----------|---|-----------|
| 2.7.2 | Funciones de un receptor GPS | 40 |
| 2.8 | LIMITACIONES DEL GPS | 43 |
| 3. | APLICACIONES | 44 |
| 3.1 | PRINCIPALES ÁREAS DE APLICACIÓN | 44 |
| 3.1.1 | Aplicaciones militares | 44 |
| 3.1.2 | Aplicaciones civiles | 45 |
| 3.2 | SISTEMAS DE LOCALIZACIÓN ACTUALES | 46 |
| 4. | ENFOQUE DE LOS GPS EN Colombia | 48 |
| 4.1 | CHIP ANTISECUESTRO | 48 |
| 4.2 | LOCALIZACIÓN DE VEHÍCULOS | 49 |
| 4.3 | APLICACIONES EN LA CIUDAD DE CARTAGENA | 50 |
| 4.4 | PROPUESTA DE APLICACIÓN PARA IMPLEMENTAR EN LA CIUDAD DE CARTAGENA | 52 |
| 5. | PRONOSTICOS DE DESARROLLO PARA LOS GPS | 54 |
| 5.1 | EL FUTURO DE LA LOCALIZACIÓN MUNDIAL POR SATÉLITE | 54 |

| | | |
|-------|--|----|
| 5.1.1 | GPS en números | 54 |
| 5.1.2 | Nuevos dispositivos en el mercado | 55 |
| 5.2 | OTROS SISTEMAS DE LOCALIZACIÓN | 56 |
| 5.2.1 | GLONASS (Global Navigation Satellite System) | 56 |
| 5.2.2 | El sistema navegación por satélite Galileo | 57 |

RESUMEN

RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

ANEXOS

LISTA DE FIGURAS Y TABLAS

| | | Página |
|-----------------|--|---------------|
| FIGURA 1 | RELACIÓN ENTRE LOS ELEMENTOS QUE COMPONEN UN SISTEMA SATELITAL | 1 |
| FIGURA 2 | FUNCIONAMIENTO DE UN SATÉLITE | 6 |
| FIGURA 3 | FUNCIONAMIENTO DE UN SATÉLITE | 7 |
| FIGURA 4 | SEGMENTOS QUE COMPONEN UN SISTEMA GPS | 11 |
| FIGURA 5 | CONSTELACIÓN GPS | 13 |
| FIGURA 6 | ESTACIONES DEL SEGMENTO DE CONTROL DE GPS | 14 |
| FIGURA 7 | ESQUEMA DE PROCESAMIENTO DE INFORMACIÓN ENTRE ESTACIONES DEL SEGMENTO DE CONTROL GPS | 15 |
| FIGURA 8 | TRIANGULACIÓN DESDE LOS SATÉLITES. PRIMER SATÉLITE | 19 |
| FIGURA 9 | TRIANGULACIÓN DESDE LOS SATÉLITES. SEGUNDO SATÉLITE | 19 |

| | | |
|------------------|--|-----------|
| FIGURA 10 | TRIANGULACIÓN DESDE LOS SATÉLITES. TERCER SATÉLITES | 20 |
| FIGURA 11 | CÓDIGO PSEUDO ALEATORIO DE GPS | 23 |
| FIGURA 12 | LOCALIZACIÓN DE LOS SATÉLITES EN EL ESPACIO | 28 |
| FIGURA 13 | MONITOREO DE SATÉLITES EN LE ESPACIO | 29 |
| FIGURA 14 | PROPAGACIÓN DE LAS SEÑALES A TRAVES DE LA ATMÓSFERA | 31 |
| FIGURA 15 | PROPAGACIÓN DE LAS SEÑALES EN LA TIERRA | 32 |
| FIGURA 16 | ANGULOS DE PROYECCIÓN DE LAS SEÑALES EN LA TIERRA | 33 |
| FIGURA 17 | ANGULOS DE PROYECCIÓN DE LAS SEÑALES EN LA TIERRA | 34 |
| FIGURA 18 | GPS DIFERENCIAL | 36 |
| FIGURA 19 | ESQUEMA DE FUNCIONAMIENTO DEL WADGPS | 37 |
| FIGURA 20 | RECEPTOR GPS EXTERNO INDEPENDIENTE | 38 |

| | | |
|------------------|--|-----------|
| FIGURA 21 | RECEPTOR GPS EXTERNO PARA PCs | 39 |
| FIGURA 22 | RECEPTOR GPS UNIDO AL PC | 39 |
| FIGURA 23 | SOFTWARE PARA GPS (RUTAS) | 40 |
| FIGURA 24 | SOFTWARE PARA GPS (POSICIONAMIENTO) | 41 |
| FIGURA 25 | LOCALIZACIÓN DE VEHÍCULOS | 51 |
| TABLA 1 | ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS DISTINTAS OPCIONES ORBITALES. | 5 |
| TABLA 2 | BANDAS DE FRECUENCIA Y ALGUNAS APLICACIONES. | 8 |

INTRODUCCIÓN

En el presente trabajo de investigación se encuentra recopilada toda la información necesaria para comprender la evolución, el funcionamiento y las principales aplicaciones del sistema de posicionamiento global GPS.

GPS (Global Positioning System) es un sistema mundial de localización constituido por una constelación de satélites, cada uno de ellos dotado con relojes atómicos, computadoras, emisores y receptores de radio y por estaciones terrenas que monitorean constantemente a cada uno de los satélites. Los receptores GPS utilizan a estos satélites como puntos de referencias para calcular la latitud, longitud, altitud con aproximaciones en el orden de metros, inclusive centímetros, velocidad y tiempo exacto.

Las aplicaciones de GPS son muy diversas, éstas se pueden clasificar en cinco categorías: localización, navegación, rastreo, cartografía y tiempo exacto.

Actualmente en Colombia la tecnología satelital GPS tiene múltiples aplicaciones. Hoy en día se comercializan dispositivos basados en dicha tecnología.

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.

Esperamos que este compendio de información les sea de total ayuda a las personas que estén interesadas en documentarse sobre el sistema de posicionamiento global más utilizado en el mundo.

OBJETIVOS

GENERAL:

Describir y analizar el proceso evolutivo y funcionamiento de la tecnología satelital aplicada a los GPS.

ESPECIFICOS:

- Describir la evolución histórica de los sistemas de localización mundial satelital.
- Detallar el funcionamiento de los GPS, a partir del tipo de red satelital que utilizan.
- Analizar el tipo de aplicaciones y dispositivos que existen hoy en día basados en GPS.
- Conocer e investigar a cerca del grado de desarrollo y aplicación que tiene el servicio de localización satelital en Colombia.
- Visualizar y analizar las proyecciones de desarrollo que se contemplan para el sistema de localización satelital a nivel mundial, Latinoamérica e inclusive en Colombia.

1. INTRODUCCIÓN A LA TECNOLOGÍA SATELITAL

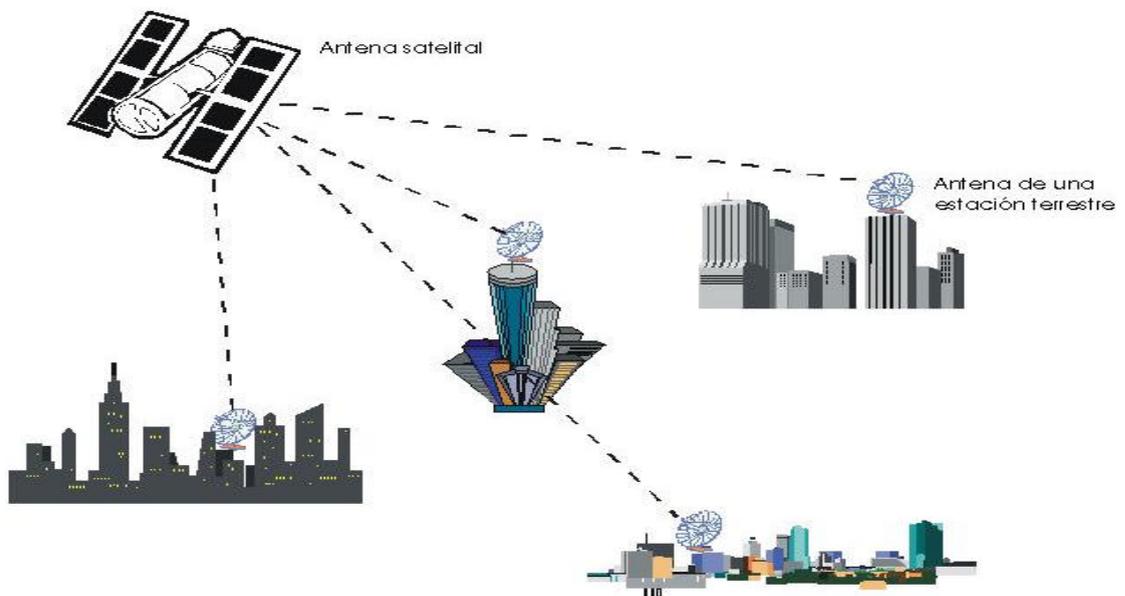
Un satélite artificial es un satélite creado y puesto en órbita por el hombre. El “Sputnik,”¹ lanzado por la URSS en 1957, fue el primer satélite artificial.¹ En la actualidad existen numerosos satélites artificiales que orbitan alrededor de la Tierra y en torno a otros planetas del Sistema Solar.

La vida de un satélite oscila entre los 5 y los 15 años, en función del combustible que se necesita para corregir su posición y mantenerlo en la órbita correcta, tanto más cuanto menor es la altura.

Los sistemas de satélites no dependen de líneas y conexiones físicas montadas a lo largo de la superficie de la Tierra, sino de estaciones terrenas ubicadas en diferentes lugares, cuyo costo para su puesta en operación es mucho más bajo que construir una carretera; además, con los avances en la ciencia y tecnología, los satélites son cada vez más versátiles, duran mayor tiempo en órbita y ofrecen más y mejores servicios.

En la figura a continuación podemos observar la relación que existe entre los elementos que componen un sistema satelital.

¹ El Sputnik 1 era una esfera de aluminio de 58 cm. de diámetro y pesaba 83 Kg. Tardaba 96,2 minutos en dar la vuelta a la Tierra. Describía una órbita elíptica y alcanzaba su apogeo a una altura de 946 Km., y su perigeo a 227 Km. Contaba con instrumentos que durante 21 días enviaron información a la Tierra sobre radiación cósmica, meteoritos y sobre la densidad y temperatura de las capas superiores de la atmósfera. Caba de 57 días el satélite entró en la atmósfera terrestre y se destruyó por efecto del calor debido al rozamiento aerodinámico.



Relación entre los elementos que componen un sistema satelital

Figura 1

1.1 CLASES DE SATÉLITES ARTIFICIALES

Los satélites artificiales se clasifican en varias categorías. Según la aplicación en la que se empleen, pueden ser:

- **Satélites de telecomunicaciones:** Estos satélites se utilizan para transmitir información de un punto a otro de la Tierra, en particular, comunicaciones telefónicas, datos o programas televisados.
- **Satélites de observación terrestre:** Estos satélites observan la Tierra, con un objetivo científico o militar. El espectro de observación es extenso, puede ser: óptico, radar, infrarrojo, ultravioleta, entre otros.
- **Satélites de observación espacial:** Estos satélites observan el espacio con un objetivo científico. Se trata en realidad de telescopios en órbita. En estos

satélites el espectro de observación también es amplio. “El telescopio espacial Hubble”² es un satélite de observación espacial.

- **Satélites de localización:** Estos satélites permiten conocer la posición de objetos a la superficie de la Tierra. Por ejemplo, el sistema americano GPS, el sistema ruso GLONASS o el futuro sistema europeo Galileo.

La clasificación de los sistemas en función de la órbita en que se ubican es la siguiente:

- **Órbita geoestacionaria:** Situada a 36000 Km. de la superficie terrestre. Tiene la particularidad de que su velocidad de rotación coincide con la velocidad de rotación de la Tierra, con lo que para un observador en la Tierra, permanece el satélite aparentemente en un punto fijo.

- **Órbitas no geoestacionarias:** Situada a una distancia de la Tierra diferente a la de la geoestacionaria y su velocidad de rotación no coinciden con la de la tierra. Las podemos dividir en dos grupos:

- ❖ **LEO:** Aquellos situados de 200 a 2000 Km. aproximadamente de distancia de la superficie Terrestre.

- ❖ **MEO:** Situados entre 2000-20000 km. aproximadamente. También llamado ICO (Intermediate Constelation Orbit).

A continuación presentamos una tabla donde ilustramos un análisis comparativo de las distintas opciones orbitales. Los valores que se incluyen en la tabla corresponden a aproximaciones.

² Fue lanzado en Abril 24, 1990 por el Trasbordador Espacial Discovery (STS-31), desde el Centro Espacial Kennedy en Florida, en una órbita Terrestre baja de ~610 Km.

| Característica a analizar | TIPOS DE SISTEMAS DE SATÉLITES SEGÚN SU ÓRBITA ⁴ | | |
|------------------------------|---|---|-------------------|
| | Geoestacionarios | No geoestacionario | |
| | GEO | LEO | MEO |
| Distancia a la Tierra | 36000 Km. | 200- 2000 Km. | 2000- 20000 Km. |
| Número de satélites | 3-6 | 40 –70 | 6- 20 |
| Aplicaciones | Voz, Banda ancha (video-conferencia, voz, datos). | Voz, Banda ancha (video-conferencia, voz, datos), Mensajes. | Voz, Navegación. |
| Retardo de propagación | Alto (270 ms) | Bajo (5-20 ms) | Medio (20-270 ms) |
| Uso de terminales portátiles | Muy difícil | Si | Si |
| Pérdidas de propagación | Altas | Bajas | Medias |
| Vida del satélite (años) | 10-15 | 3-7 | 10-15 |
| Complejidad de la red | Sencilla | Compleja | Media |
| Visibilidad del satélite | Siempre | Corta | Media |

Análisis comparativo de las distintas opciones orbitales

Tabla 1

³La clasificación fue tomada de http://es.wikipedia.org/wiki/Sat%C3%A9lite_artificial

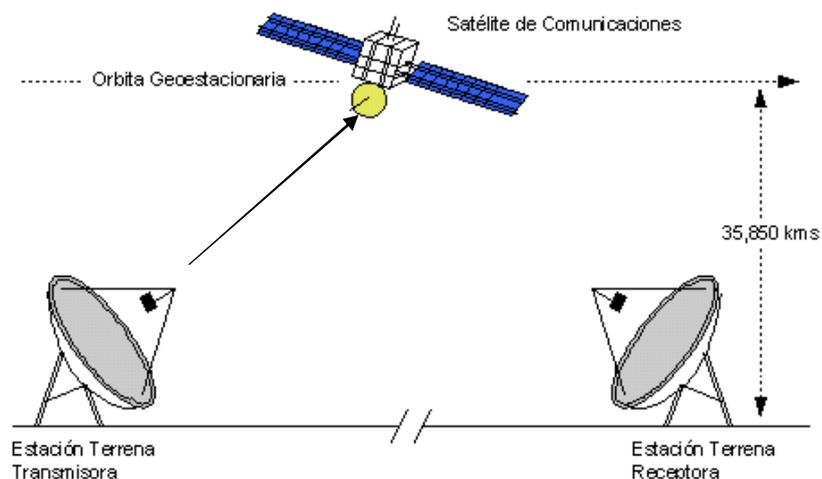
1.2 FUNCIONAMIENTO DE LOS SATELITES

Los geoestacionarios:

Un satélite situado en la órbita geoestacionaria (a una altitud de 36 mil Km.) tarda alrededor de 24 horas en dar la vuelta al planeta, lo mismo que tarda éste en dar una vuelta sobre su eje, de ahí que el satélite permanezca más o menos sobre la misma parte del mundo.

Como queda a su vista un tercio de la Tierra, pueden comunicarse con él las estaciones terrenas, receptoras y transmisoras de microondas que se encuentran en ese tercio.

Una estación terrena que está bajo la cobertura de un satélite le envía una señal de microondas, denominada enlace ascendente.

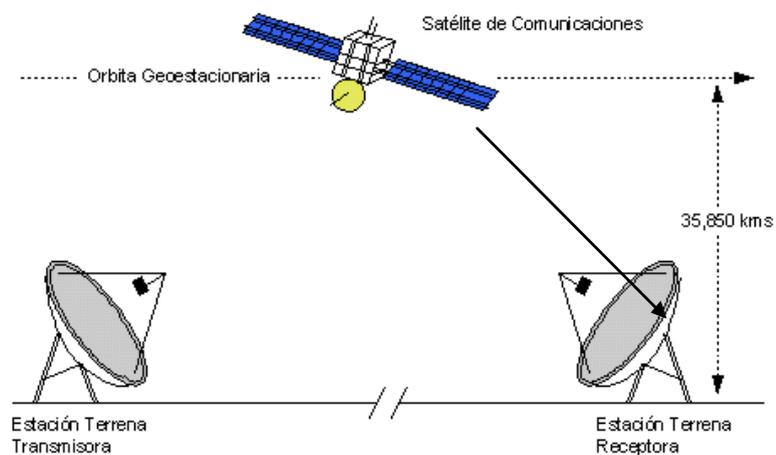


Funcionamiento de un satélite⁴

⁴ El funcionamiento de los satélites fue tomado de <http://www.cem.itesm.mx/dacs/publicaciones/logos/libros/libros/satelites.pdf>

Figura 2

Cuando la recibe, el transpondedor⁵ del satélite simplemente la retransmite a una frecuencia más baja para que la capture otra estación, esto es un enlace descendente. El camino que recorre esa comunicación, equiparándolo con la longitud que ocuparía un cable, es de unos 70 mil Km., lo cual equivale, más o menos, al doble de la circunferencia de la Tierra, y sólo le toma alrededor de 1/4 de segundo cubrir dicha distancia.



Funcionamiento de un satélite

Figura 3

No geostacionarios:

Funcionan de manera similar a los geostacionarios, pero se diferencian en que en el caso de satélites no geostacionarios es necesario que las estaciones terrestres tengan antenas parabólicas dirigibles para seguir la trayectoria del satélite.

⁵ Aparato emisor-receptor que hace parte de un satélite.

1.3 LAS BANDAS DE FRECUENCIAS SATELITALES

Un sistema satelital se puede emplear para múltiples aplicaciones, como puede ser el servicio telefónico, la radiodifusión de TV, transmisión de datos, servicios de emergencia y de localización GPS; cada uno de ellos utiliza una de las bandas de frecuencias que tiene asignadas. En la siguiente tabla podemos ver diferentes bandas de frecuencias y sus aplicaciones.

| BANDAS DE FRECUENCIAS Y ALGUNAS APLICACIONES | | |
|---|----------------------------------|--|
| BANDA | RANGO | APLICACIONES |
| L | 1530-2700 Mhz. | Servicios móviles de voz, GPS (antena receptora del GPS). |
| S | 2700-3500 Mhz | Servicios móviles de voz. |
| C | 3700-4200 Mhz. 4400-4700 Mhz. | Datos, voz y video. |
| Ku1 (Banda PSS) | 10.7-11.75 Ghz | Video directo al hogar. |
| Ku3 (Banda DBS) | 11.75-12.5 Ghz. | VSAT, video e Internet. |
| Banda Ka | 17.7-21.2 Ghz. | Datos y TV a altas velocidades. |

Bandas de frecuencias y algunas aplicaciones

Tabla 2

2. INTRODUCCIÓN A LOS GPS

Sistema de Posicionamiento Global originalmente llamado NAVSTAR, es un Sistema Global de Navegación por Satélite el cual permite determinar en todo el mundo la posición de una persona, un vehículo o una nave, con una desviación aproximada de cuatro metros. El sistema fue desarrollado e instalado, y actualmente es operado por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos.

El GPS funciona mediante una red de satélites que se encuentran orbitando alrededor de la tierra. Cuando se desea determinar la posición, el aparato que se utiliza para ello localiza automáticamente como mínimo cuatro satélites de la red, de los que recibe unas señales indicando la posición y el reloj de cada uno de ellos. En base a estas señales, el aparato sincroniza el reloj del GPS y calcula el retraso de las señales, es decir, la distancia al satélite. Por "triangulación" calcula la posición en que éste se encuentra. La triangulación consiste en averiguar el ángulo de cada una de las tres señales respecto al punto de medición. Conocidos los tres ángulos se determina fácilmente la propia posición relativa respecto a los tres satélites. Conociendo además las coordenadas o posición de cada uno de ellos por la señal que emiten, se obtiene la posición absoluta o coordenadas reales del punto de medición.

También se consigue una exactitud extrema en el reloj del GPS, similar a la de los relojes atómicos que desde tierra sincronizan a los satélites.

La antigua Unión Soviética tenía un sistema similar llamado GLONASS, ahora gestionado por la Federación Rusa.

Actualmente la Unión Europea intenta lanzar su propio sistema de posicionamiento por satélite, denominado 'Galileo'.

2.1 ORIGEN DEL GPS

En 1973 el Departamento de Defensa de Estados Unidos, con una inversión de 12 mil millones de dólares, empezó a desarrollar el proyecto NAVSTAR GPS para proveer información precisa de localización para aeronaves, navíos, submarinos y tanques de guerra.

En la década del 80 la armada de USA puso en funcionamiento un sistema de navegación basado en las emisiones de un reducido grupo de satélites. Este sistema llamado SATNAV fue el antecedente del actual GPS.

El GPS fue desarrollado por el departamento de defensa de USA al final del período de la "Guerra Fría" con fines militares.

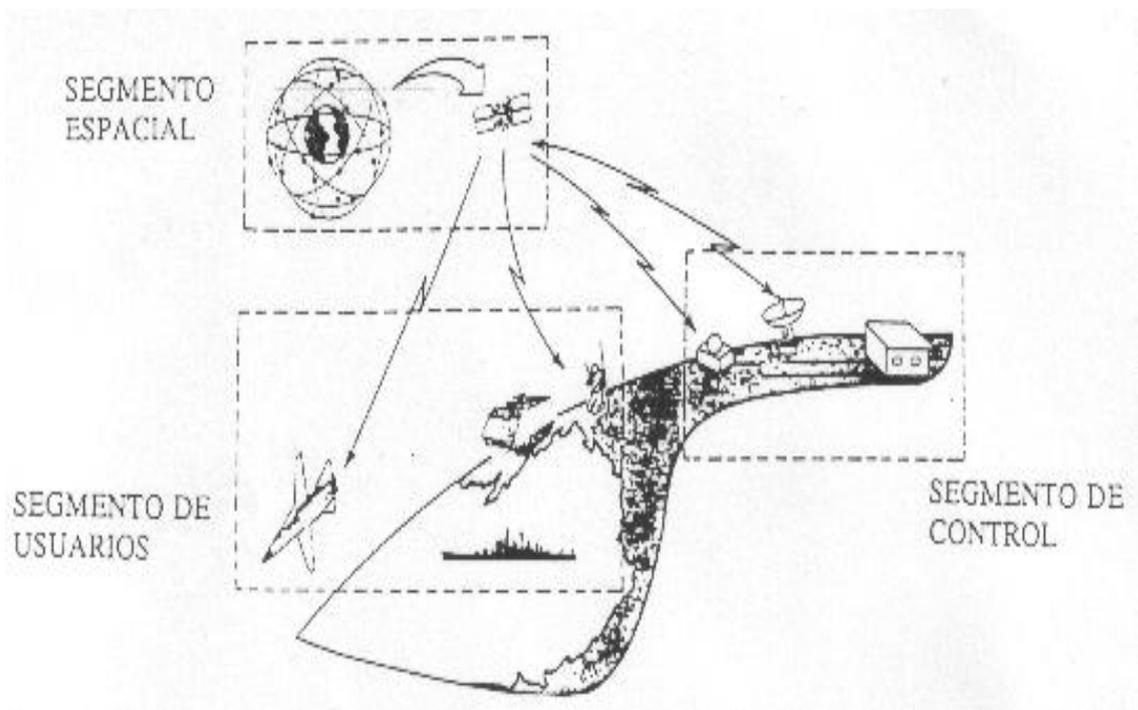
Superada esta fase, se extendió su uso a aplicaciones civiles comenzando a utilizarse en náutica y aviación.

En sus comienzos la cobertura no era total pues faltaba situar en órbita varios satélites, además su elevado precio los ponía fuera de alcance de la mayoría de los usuarios potenciales. Actualmente la red es totalmente operativa, incluyendo satélites de reserva y hay disponibles en el mercado receptores GPS a precio asequible.

La evolución es incesante y cada día son mas pequeños y ligeros ofreciendo al mismo tiempo prestaciones superiores y una mayor autonomía de funcionamiento operativo cuando son alimentados con pilas.

2.2 CONFIGURACIÓN DEL SISTEMA

Todos los sistemas de navegación por satélite constan de tres subsistemas o segmentos, con diferentes trabajos y responsabilidades: El segmento espacial, constituido por los satélites; el segmento de usuarios, formado por los receptores; el segmento de control, el cerebro del sistema, cuya misión es el seguimiento y control de los satélites, así como el cálculo de los datos sobre el movimiento del satélite y su posterior transmisión a los usuarios a través de los propios satélites.



Segmentos que componen un sistema GPS⁶

Figura 4

⁶ Los segmentos que componen el GPS fue consultado en "El Sistema de Posicionamiento Global GPS. Principios Básicos de Funcionamiento", <http://www.nautigalia.com/otrostemas/articulos.php4?id=2&pag=5>

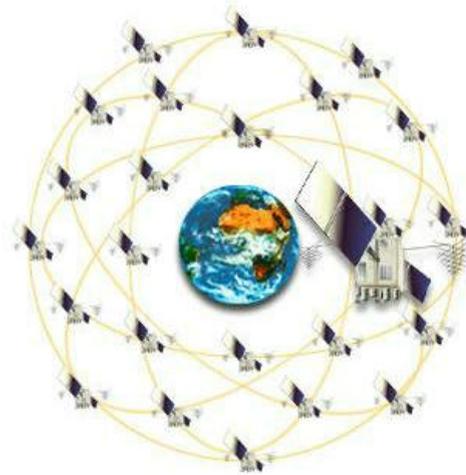
2.2.1 Segmento espacial

En el sistema NAVSTAR GPS se utilizan satélites de órbita media, ya que recorren todos los puntos de la superficie terrestre, pero sus órbitas deben ajustarse para obtener una cobertura global, es decir, que en cualquier punto se vean un número mínimo de satélites con una duración y periodicidad aceptable para permitir en recepción el cálculo de su posición con una precisión determinada.

El segmento espacial del NAVSTAR GPS es una constelación de satélites en órbitas semisíncronas alrededor de la Tierra. El contingente total de satélites GPS está en seis planos orbitales, con tres o cuatro satélites en cada plano.

Para conseguir la capacidad de operación completa se requieren 24 satélites en la constelación, aunque puede haber más.

Los planos orbitales de los satélites tienen una inclinación de 55 grados respecto al ecuador, y una altitud de 20.000 Km. Los satélites típicamente completan una órbita en aproximadamente 12 horas. Específicamente, hay una diferencia de cuatro minutos por día entre el tiempo de órbita del satélite y el de rotación de la Tierra. Los satélites están posicionados de tal forma que normalmente hay un mínimo de cinco *a la vista* (en uso) para un usuario en cualquier sitio donde esté y en cualquier momento. El término *a la vista* significa que la emisión radio de un satélite se reciba por cualquier usuario debidamente equipado. La constelación fue diseñada para asegurar disponibilidad continuada.

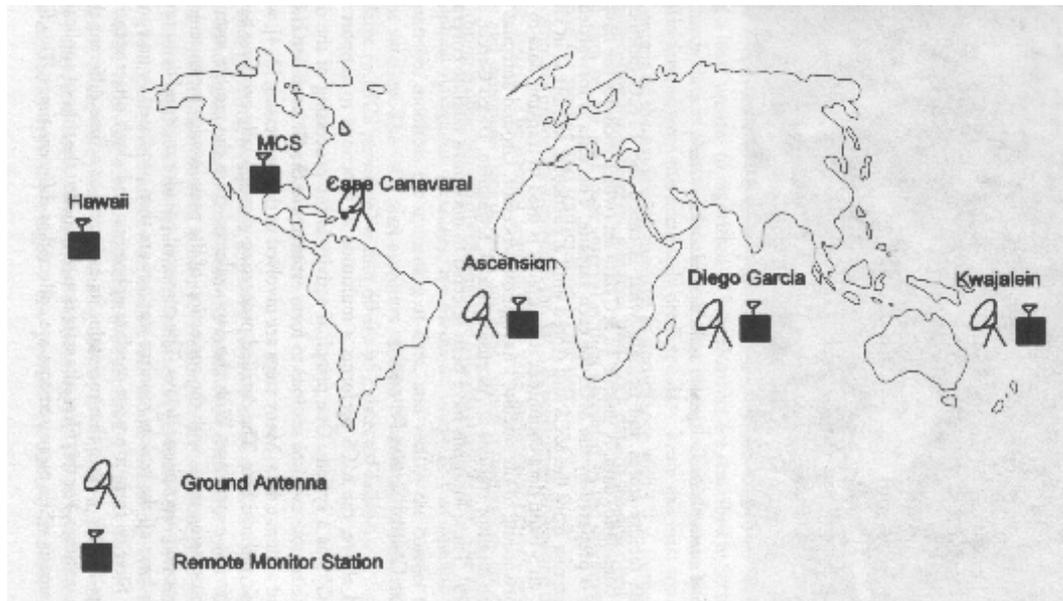


Constelación GPS
Figura 5

2.2.2 Segmento de control

El segmento de control está compuesto por:

- Una estación maestra de control (MCS) situada en la base aérea Falcon en Colorado Spring.
- Cinco estaciones monitoras (MS) situadas en Hawaii, Kwajalein, Diego García, Ascensión y Colorado Spring. Se está considerando poner otra estación monitora en la estación aérea de Cabo Cañaveral.



Estaciones del segmento de control de GPS

Figura 6

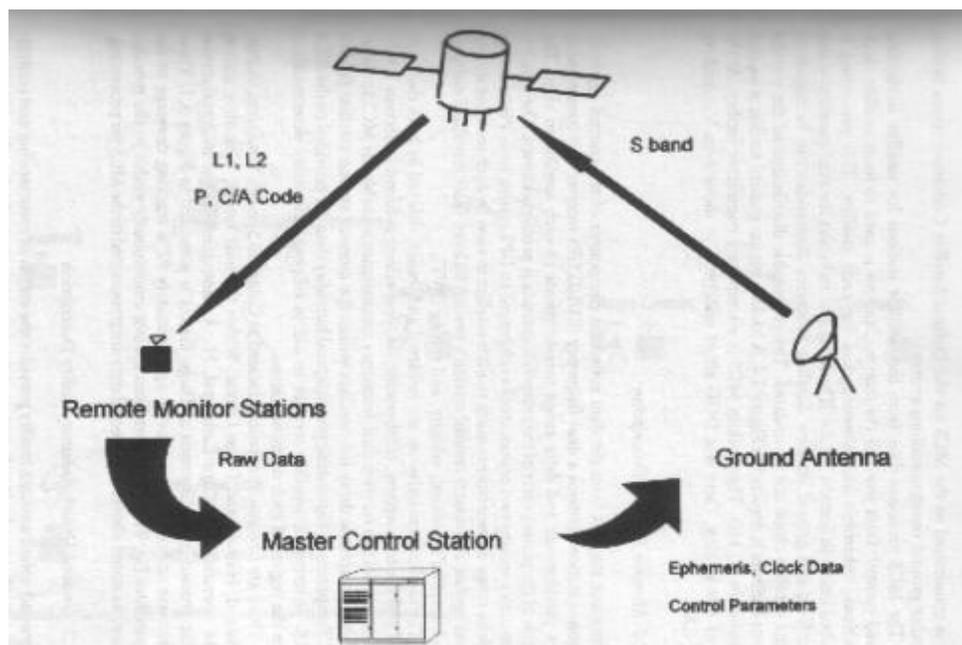
La estación maestra de control es la central de procesamiento del GPS y está funcionando 24 horas al día los 7 días de la semana. Sus funciones son seguimiento, monitorización y manejo de la constelación de satélites GPS además de actualizar el mensaje de navegación.

Las estaciones monitoras son unos receptores radio muy precisos localizadas en posiciones determinadas. Su función es el seguimiento pasivo de los satélites GPS que tiene a la vista, más de 11 simultáneamente, y obtiene la información necesaria para calcular con gran precisión las órbitas de los satélites.

Las estaciones monitoras hacen un pequeño procesamiento de datos, o mejor dicho, envían a la estación maestra de control sus medidas y observaciones de mensajes de navegación. La información la procesa la MCS para estimar y predecir las efemérides y parámetros de reloj de los satélites. *Efemérides* se refiere a los parámetros de localización y órbita exactos de un satélite, es decir,

sus datos de seguimiento. Con esto se puede calcular la posición de un satélite con un error menor de 1 m. en sentido radial, 7 m. en el de la trayectoria y 3 m. en la dirección perpendicular a la misma. Utilizando esta información la estación maestra envía periódicamente a cada satélite, efemérides y datos de reloj actualizados en los mensajes de navegación.

La información actualizada se envía a los satélites vía *antenas de Tierra* (GAs), que también se utilizan para enviar y recibir información de control del satélite. Todas las estaciones monitoras excepto Hawai y Colorado Spring están equipadas con antenas de Tierra. Las otras tres también se llaman estaciones "Up-link".



Esquema de procesamiento de información entre estaciones del segmento de control del GPS

Figura 7

2.2.3 Segmento de usuario

El segmento de usuario es el consumidor final del GPS y consiste en una variedad de receptores / procesadores civiles y militares específicamente diseñados para recibir o sintonizar la señal emitida por los satélites, decodificar el mensaje de navegación, medir los tiempos de retardo y procesar los códigos y mensajes de navegación que envía el satélite GPS.

El GPS fue diseñado para dos niveles de usuarios, los que usan el Servicio de Posicionamiento Estandar / Standard Positioning Service (SPS) y los que utilizan el Servicio de Posicionamiento Preciso /Precise Positioning Service (PPS). En general:

- El PPS está reservado para uso militar
- El SPS para otros usos

Las diferencias actuales entre el servicio de posicionamiento estándar y el preciso es la precisión conseguida.

Algunas aplicaciones generales del GPS son:

- Navegación
- Posicionamiento
- Transferencia de tiempo
- Geodesia

Debido al gran potencial para aplicaciones especializadas y variadas, el equipamiento de usuario puede variar significativamente en su diseño y función.

La estructura general de un equipo de usuario consta de los siguientes bloques funcionales:

Una antena en “banda L”,⁷ para recibir la señal transmitida por el satélite. Tiene cobertura semiesférica y suele incluir un amplificador de bajo ruido para permitir un cable de recepción largo sin degradar la sensibilidad del sistema.

Un radio receptor PM (fase modulada). Traslada la señal a FI y realiza el procesamiento de la señal que fundamentalmente consiste en filtrado de la señal, de modulación del mensaje de navegación en dos lazos de enganche a la portadora y el código recibido.

La unidad de control o interfaz de usuario. Permite la comunicación entre el usuario y el microprocesador. A través de ella se le suministran datos tales como: posición y velocidad aproximada, tipo de presentación deseada, etc. En algunos casos a través de este interfaz se puede integrar el equipo con otros sistemas de navegación.

El microprocesador controla toda la operación del receptor y realiza el procesamiento de software requerido.

⁷ Rango de frecuencias: 1.53-2.7 GHz. Se considera como ventaja las grandes longitudes de onda pueden penetrar a través de las estructuras terrestres; precisan transmisores de menor potencia.

2.3 FUNCIONAMIENTO DE LOS GPS⁸

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 y lo logra con ciertos trucos.

4. Posición. El GPS necesita conocer exactamente donde se encuentran los satélites en el espacio, esto se logra mediante orbitas de mucha altura y cuidadoso monitoreo.

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.

2.3.1 La Triangulación desde los satélites

Aunque pueda parecer improbable, la idea general detrás del GPS es utilizar los satélites en el espacio como puntos de referencia para ubicaciones aquí en la tierra.

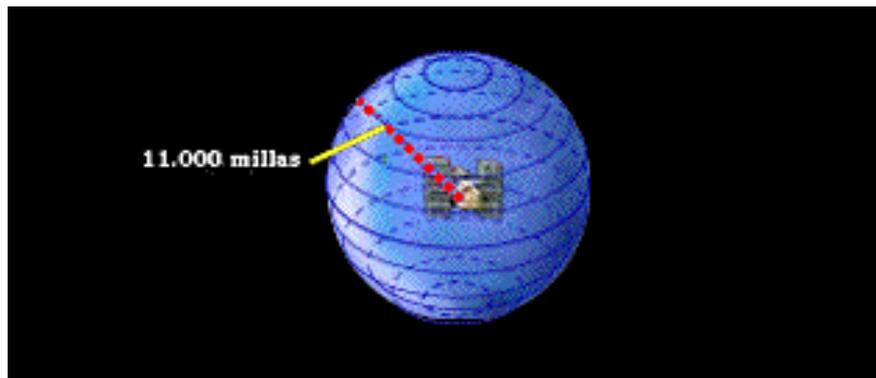
Esto se logra mediante una muy, pero muy exacta, medición de la distancia hacia al menos tres satélites, lo que permite “triangular” nuestra posición en cualquier parte de la tierra.

⁸ El funcionamiento del sistema GPS fue tomado de: “El Sistema de Posicionamiento Global GPS. Principios Básicos de Funcionamiento”, Global Positioning System: Theory and Practice, <http://www.nautigalia.com/otrostemas/articulos.php4?id=2&pag=5>

Olvidémonos por un instante sobre cómo mide el GPS dicha distancia. Lo veremos luego. Consideremos primero como la medición de esas distancias permite ubicarnos en cualquier punto de la tierra.

GEOMETRICAMENTE:

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.

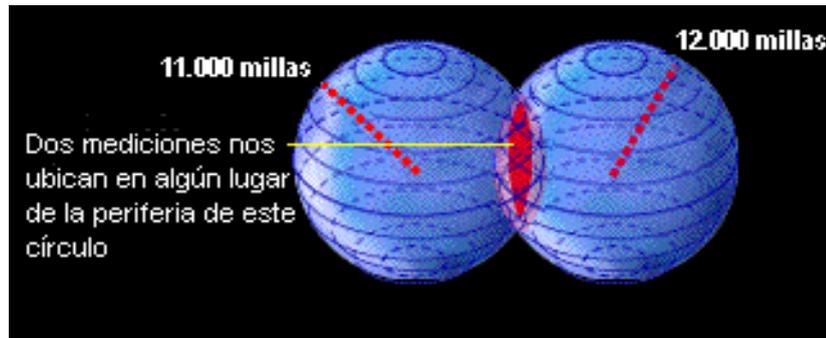


Triangulación desde los satélites: Primer satélite

Figura 8

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

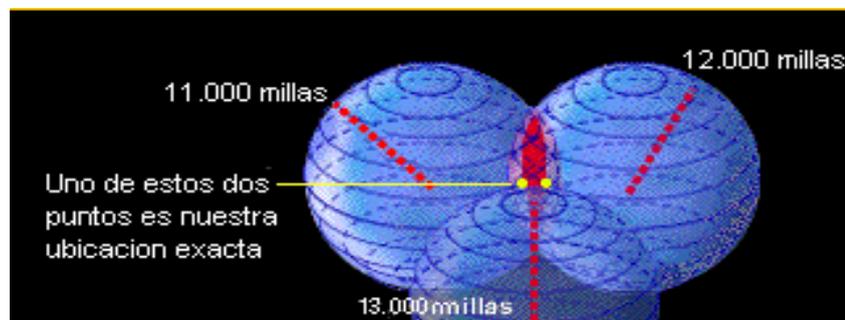
Esto nos dice que no estamos solamente en la primera esfera, correspondiente al primer satélite, sino también sobre otra esfera que se encuentra a 12.000 millas del segundo satélite. En otras palabras, estamos en algún lugar de la circunferencia que resulta de la intersección de las dos esferas.



Triangulación desde los satélites: Segundo satélite

Figura 9

Si ahora medimos nuestra distancia a un tercer satélite y descubrimos que estamos a 13.000 millas del mismo, esto limita nuestra posición aún más, 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.



Triangulación desde los satélites: Tercer satélite

Figura 10

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.

Una cuarta medición, de todos modos es muy conveniente por otra razón que veremos mas adelante.

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

2.3.2 Las distancias a los satélites

La posición se calcula a partir de la medición de la distancia hasta por lo menos tres satélites. Pero, ¿cómo se puede medir la distancia hacia algo que está flotando en algún lugar en el espacio? Se hace midiendo el tiempo que tarda una señal emitida por el satélite en llegar hasta el receptor de GPS.

MATEMÁTICAMENTE:

En el caso del GPS se mide una señal de radio, que viaja a la velocidad de la luz, alrededor de 300.000 Km. por segundo. Quedaría el problema de medir el tiempo de viaje de la señal.

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. Para poder realizar esta medición se necesita de relojes muy precisos.

Pero, 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.

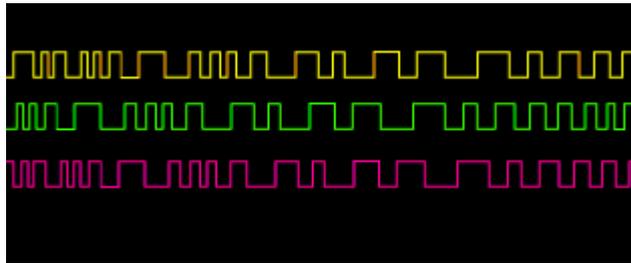
Si se quiere saber cual es la magnitud de la demora de la señal proveniente del satélite se puede retardar la emisión de la señal de nuestro GPS hasta lograr la perfecta sincronización con la señal que viene del satélite. El tiempo de retardo necesario para sincronizar ambas señales es igual al tiempo de viaje de la señal proveniente del satélite. Supongamos que sea de 0.06 segundos.

Conociendo este tiempo, se multiplica 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", como se pueden ver en siguiente figura:



Código Pseudo aleatorio del GPS

Figura 11

La señal es tan complicada que casi parece un ruido eléctrico generado por el azar. De allí su denominación de “Pseudos-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 Pseudos 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. El Código Pseudos Aleatorio le da la posibilidad al Departamento de Defensa de EEUU de controlar el acceso al sistema GPS.

Pero hay otra razón para la complejidad del Código Pseudos 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.

En Resumen, para medir la distancia al satélite debemos seguir los siguientes pasos:

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 Pseudos Aleatorio en exactamente el mismo momento.
3. Comparando cuanto retardo existe entre la llegada del Código Pseudos 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.

2.3.3 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 los receptores GPS, aquí en la tierra? Recordemos que ambos, el satélite y el receptor GPS, deben ser capaces de sincronizar sus Códigos Pseudos Aleatorios para que el sistema funcione.

Por suerte los diseñadores del sistema GPS encontraron una brillante solución que permite resolver el problema con relojes mucho menos precisos en los 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.

Una medición adicional remedia el desfasaje 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. 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 Pseudos 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. Veremos cómo lo conseguimos.

En Resumen para obtener un Timing Perfecto debemos seguir los siguientes pasos:

- 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.

2.3.4 Localización de los satélites en el espacio

A lo largo de este trabajo hemos estado asumiendo que conocemos dónde están los satélites en sus órbitas y de esa manera podemos utilizarlos como puntos de referencia.

¿Pero, cómo podemos saber donde están exactamente? Todos ellos están flotando a unos 20.000 Km⁹. de altura en el espacio.

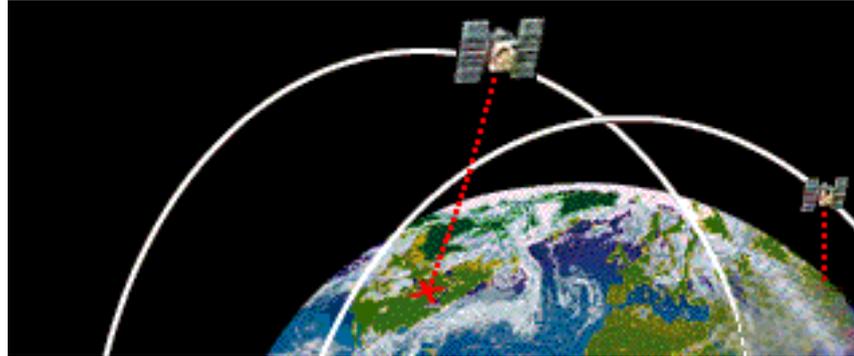
La altura de 20.000 Km. es en realidad un gran beneficio para este caso, porque algo que está a esa altura está bien despejado de la atmósfera. Eso significa que orbitará de manera regular y predecible mediante ecuaciones matemáticas sencillas.

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.

⁹ Este valor representa una aproximación de la distancia de los satélites que conforman la constelación GPS.



Localización de los satélites en el espacio

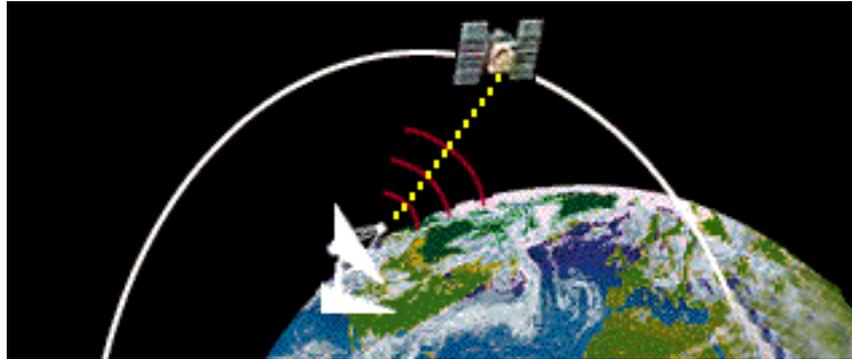
Figura 12

Ellos 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,¹⁰ 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. Estos errores son generalmente muy sutiles pero si queremos una gran exactitud debemos tenerlos en cuenta.

Una vez que el Departamento de Defensa ha 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.

¹⁰ Efemérides se refiere a los parámetros de localización y órbita exactos de un satélite, es decir, sus datos de seguimiento.



Monitoreo de satélites en el espacio

Figura 13

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.

En Resumen, para determinar el posicionamiento de los satélites se deben tener en cuenta los siguientes pasos:

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.

2.4 FUENTES Y CORRECCIÓN DE ERRORES

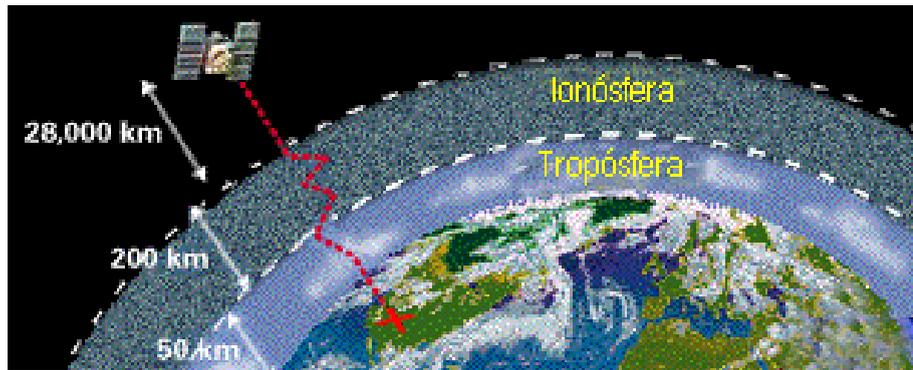
Hasta ahora hemos estado tratando los cálculos del sistema GPS de manera muy abstracta, como si todo el proceso ocurriera en el vacío. Pero en el mundo real hay muchas cosas que le pueden suceder a una señal de GPS para transformarla en algo menos que matemáticamente perfecta.

Para aprovechar al máximo las ventajas del sistema un buen receptor de GPS debe tener en cuenta una amplia variedad de errores posibles. Veamos que es lo que debemos enfrentar.

2.4.1 Error en la propagación de la señal a través de la atmósfera

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 la troposfera pierde algo de velocidad, creando el mismo efecto que un error de precisión en los relojes.



Propagación de la señales a través de la atmósfera

Figura 14

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 al 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.

2.4.2 Error de propagación de la señal sobre la tierra

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.



Propagación de las señales en la tierra

Figura 15

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.

2.4.3 Error en los relojes de los satélites

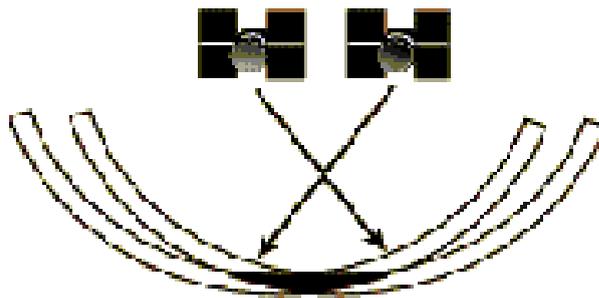
Aún siendo los satélites muy sofisticados no tienen en cuenta minúsculos errores en el sistema.

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.

2.4.4 Algunos ángulos son mejores que otros

La geometría básica por si misma puede magnificar estos errores mediante un principio denominado "Dilución Geométrica de la Precisión",¹¹ o DGDP. Suena complicado pero el principio es simple.

En la realidad suele haber más satélites disponibles que los que el receptor GPS necesita para fijar una posición, de manera que el receptor toma algunos e ignora al resto. Si el receptor toma satélites que están muy juntos en el cielo, las circunferencias de intersección que definen la posición se cruzarán a ángulos con muy escasa diferencia entre sí. Esto incrementa el área gris o margen de error acerca de una posición.

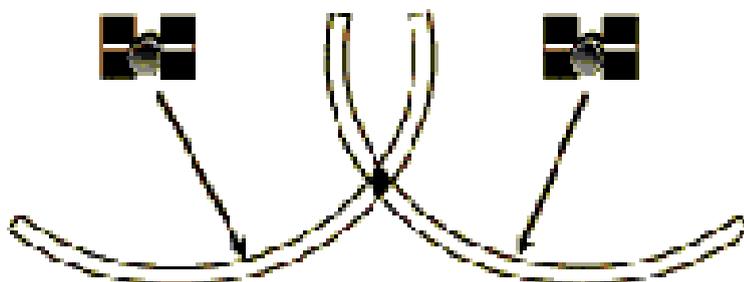


Ángulos de proyección de las señales en la tierra

Figura 16

Si el receptor toma satélites que están ampliamente separados, las circunferencias interceptan a ángulos prácticamente rectos y ello minimiza el margen de error.

¹¹ Dilución Geométrica de la Precisión es una medición de los efectos geométricos del satélite que degrada la determinación de posición del usuario.



Ángulos de proyección de las señales en la tierra

Figura 17

Los buenos receptores son capaces de determinar cuales son los satélites que dan el menor error por Dilución Geométrica de la Precisión.

2.5 FRECUENCIAS MILITAR Y CIVIL

La constelación Navstar GPS compuesta de 24 satélites envían dos tipos de señales a la tierra que difieren en niveles de precisión. El primer tipo conocido como PPS (*Precise Positioning Service, Servicio de Localización Precisa*) y también llamado código P, es una señal encriptada para usos militares, la cual fue diseñada para niveles de aproximación de 15 a 30 metros, pero en la práctica se han logrado precisiones en el orden de 10 metros. Se emite en la frecuencia de 1.227,6 Mhz.

La segunda señal conocida como SPS (*Standard Positioning Service, Servicio de localización Estándar*), es una señal estándar para uso civil, tiene una precisión de 100 a 150 metros. La señal SPS es degradada a propósito por el Departamento de Defensa utilizando una técnica conocida como SA (*Selective Availability, Disponibilidad Selectiva*). Es lógico que el Departamento de Defensa no le va a dar la misma precisión al usuario civil, el cual en algunos

casos puede ser su enemigo militarmente hablando. Se emite en la frecuencia de 1.575,42 Mhz.

2.6 GPS DIFERENCIAL (DGPS)

El uso de sistemas de navegación diferenciales está muy extendido y se basa en el hecho de que la mayor parte de los errores de los sistemas de navegación están fuertemente correlacionados entre receptores espacialmente próximos. Así, un receptor que conozca su posición puede estimar los errores del sistema y transmitirlos a los usuarios para que estos corrijan sus datos.

Debido a las características de la disponibilidad selectiva, esta fuente de error es considerablemente reducida usando técnicas diferenciales; así el error usando DGPS se reduce al orden de metros.

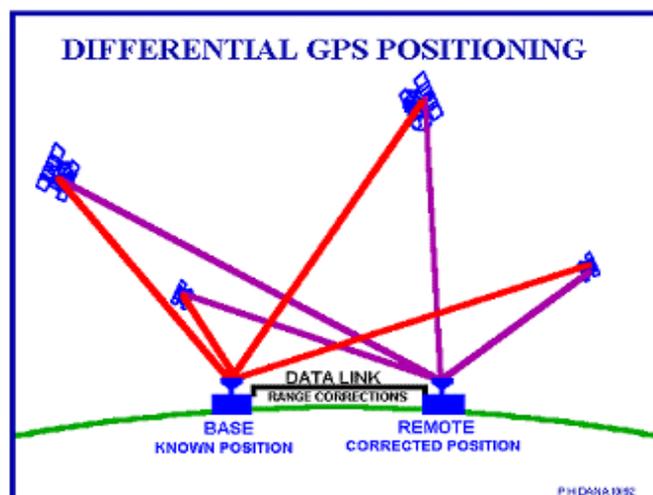
Se pueden distinguir dos tipos de sistemas DGPS, los de área local, LADGPS, y los de área amplia, WADGPS. La diferencia entre ambos, como su nombre indica es el área de cobertura del sistema.

2.6.1 LADGPS (Local Area DGPS)

Este tipo de sistemas cuentan con una estación monitora, un canal de datos (normalmente unidireccional, con el transmisor junto a la estación monitora y los receptores de los usuarios) y usuarios, cuyo receptor GPS debe tener capacidad para realizar correcciones diferenciales. La posición de la estación monitora debe ser conocida con precisión; esta estación monitora debe incluir un receptor GPS y un ordenador para calcular errores y configurar el mensaje a enviar a los usuarios.

Las correcciones enviadas pueden ser de dos tipos. Podemos enviar directamente las correcciones a aplicar a los ejes X, Y y Z (en cuyo caso los usuarios deben usar los mismos cuatro satélites que la estación monitora) o enviar las correcciones de las pseudodistancias medidas de todos los satélites visibles desde la estación monitora y que el usuario seleccione los cuatro satélites más apropiados y, de las correcciones enviadas por la estación monitora, elija las cuatro correspondientes.

La cobertura de estos sistemas tiene un radio de unos 200 Km., ya que es la distancia a la que los errores están suficientemente correlacionados.



GPS diferencial

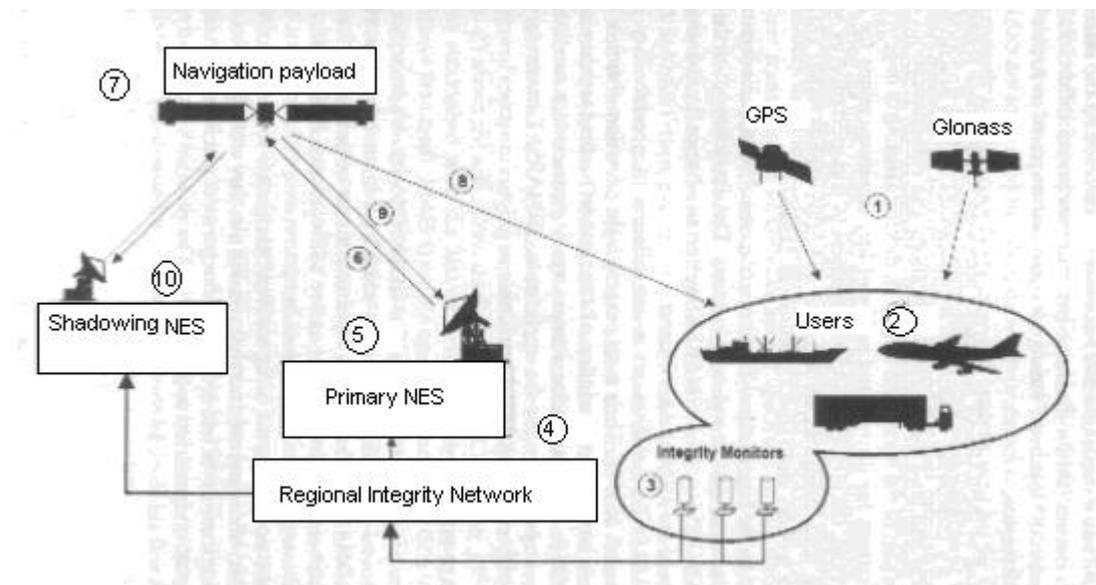
Figura 18

2.6.2 WADGPS (Wide Area DGPS)

WADGPS intenta alcanzar precisiones del rango de metros sobre una gran región usando una fracción del número de estaciones monitoras que se requieren para el LAGPS, para obtener la misma precisión fuera de la región de cobertura de estos sistemas locales. El enfoque general es descomponer el

error total de la pseudodistancia en sus componentes y estimar cada componente para la región al completo, en vez de solo en la posición de la estación monitora. De esta manera la precisión no depende de la proximidad del usuario a una estación de referencia.

Uno de los sistemas de este tipo más desarrollado es el propuesto por INMARSAT, en la que se envían vía satélite las correcciones obtenidas a los usuarios utilizando el canal de datos del mencionado sistema.



Esquema de funcionamiento del WADGPS

Figura 19

2.7 TIPOS DE RECEPTORES GPS

Existen dos tipos de receptores GPS, los fijos y los portátiles. Los fijos son de mayor tamaño, funcionan alimentados por baterías de automóviles, aviones o barcos y tienen antenas exteriores independientes. Habitualmente

van interconectados a otros instrumentos electrónicos como radares, sondas, plotters, pilotos automáticos, etc.

Los receptores portátiles son mucho mas pequeños y además de poder alimentarse con la energía de cualquier vehículo (con adaptadores) pueden funcionar por medio de pilas. Las antenas suelen ir instaladas en el interior del receptor. Algunos modelos portátiles también pueden interconectarse con otros instrumentos electrónicos como PCs, relojes, celulares. A continuación presentamos los tipos de receptores portátiles mas usados en el mercado:

Los GPS que son externos, es decir, el receptor y la antena están lejos de nuestro PDA o PC. Un ejemplo es este etrex que es de los GPS independientes.



Receptor GPS externo independiente

Figura 20

Los GPS que son externos pero que no son independientes, por lo tanto estos no pueden ser usados sin un PDA o PC donde conectarlo. Un ejemplo es este GPS que combina la antena y el receptor en uno.



Receptor GPS externos para PCs

Figura 21

Los que van unidos al PC o PDA. En general estos son los mas sencillos de conectar y los mas pequeños. Aunque sean pequeños no quiere decir que sean peores o mejores, todos en general son iguales y la única diferencia más notable que podemos notar entre unos y otros es su cobertura, que en muchas ocasiones se puede suplir con una antena externa. Un ejemplo de estos GPS es este CompactGPS que se conecta mediante una ranura CF que muchos de los Pocket PC incorporan.



Receptor GPS unido al PC

Figura 22

2.7.1 Software para el GPS

Un GPS necesita de un Software para funcionar. A la hora de usar el GPS con un programa, tenemos 2 opciones diferentes: Programas de rutas y programas de posicionamiento.

Programas de rutas: Estos son programas a los que uno les marca un punto de salida y otro de destino y este le lleva de un lado al otro. El más conocido es el Tom Tom Navigator, este incorpora instrucciones por voz, calculo automático de rutas y posibilidad de instalar mapas paridos.

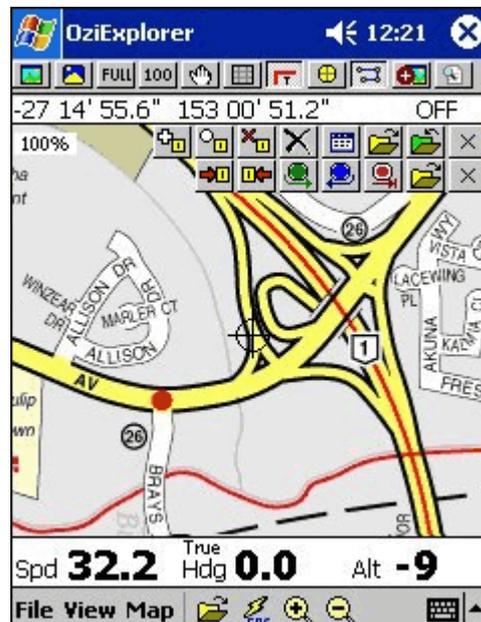


Software para GPS (rutas)

Figura 23

Programas de posicionamiento: Este tipo de programas, no permiten calcular rutas. Lo que define a este tipo de programas es que permite usar cualquier mapa que tengamos. Usar este programa es como si tuviéramos un mapa donde nos dijera donde estamos, Otras opciones que permiten es marcar puntos o guardar rutas que hemos hecho anteriormente, así las podemos

repetir cualquier otro día o la puede repetir otra persona. El programa mas usado es el Ozi Explorer.



Software para GPS (posicionamiento)

Figura 24

2.7.2 Funciones de un receptor GPS

La función principal de un GPS es informar sobre la posición que ocupa, por medio de las coordenadas de longitud y latitud, de manera que dicha posición pueda situarse con facilidad en un mapa o plano. Pero hay otras funciones para facilitar la navegación:

POSICION: Indicar la posición del GPS. Facilita la localización casi exacta del receptor. Para ello el GPS tiene que haber captado las señales emitidas al menos por tres satélites.

ALTURA: Para indicar la altura sobre el nivel del mar, el GPS necesita captar 4 o más satélites.

TIEMPO: El GPS una vez inicializado, aunque no reciba señales satelitales indica la hora y fecha, si recibe señales indica la hora exacta.

PUNTO DE PASO O PUNTO DE REFERENCIA: El waypoint es la posición de un único lugar sobre la superficie de la tierra expresada por sus coordenadas. Un waypoint puede ser un punto de inicio, de destino o un punto de paso intermedio en una ruta. Todos los GPS pueden almacenar en memoria varios Waypoints, los cuales se pueden borrar, editar, e identificar mediante caracteres alfanuméricos. Algunos GPS permiten agrupar una sucesión de waypoints representando un recorrido, a esto se le llama ruta.

DISTANCIA: introduciendo las coordenadas de dos puntos, la función distancia del GPS informa la separación de ambos y el rumbo en grados que hay que seguir desde el marcado como inicio al de destino. Lo mismo puede realizarse con dos waypoints.

NAVEGACION: Introduciendo un waypoint como destino y otro como origen, esta función facilita actualizando continuamente los siguientes datos:

- *Rumbo de contacto (Bearing):* Rumbo expresado en grados que debemos seguir desde la posición actual para llegar al destino.
- *Rumbo actual (Heading track):* Rumbo en grados que llevamos en ese momento. Un GPS es una brújula exacta no afectada por campos magnéticos o metales de los vehículos.

- *Distancia*: El GPS nos informa la distancia que falta en línea recta para llegar a nuestro punto de destino.
- *Error transversal*: (CDI, XTE) El GPS nos informa del alejamiento transversal de la trayectoria ideal en línea recta desde el inicio al destino.
- *Velocidad*: (Speed) Velocidad a la que se está desplazando el GPS.
- *Tiempo estimado de llegada*: (ETA,TTG) Indica el tiempo estimado de llegada al destino en línea recta manteniendo constante la velocidad (por razones obvias solo aplicable a navegación aérea o marítima.)
- *Tiempo estimado de viaje*: (ETE) Tiempo estimado de viaje a la velocidad indicada por el GPS.
- *SET UP*: La función set up se utiliza para programar el GPS y controlar la forma que ofrece la información, por ejemplo: si los datos queremos que aparezcan en millas o Km., en pies o metros, etc.
- *Datum (map datum)*: Representa un sistema geométrico de la tierra. La subfunción DATUM permite seleccionar entre los diferentes sistemas en que están basados los mapas y cartas marinas.
- *Norte de Referencia*: (North Reference) Permite elegir el modelo de norte (magnético, indicado por las brújulas) o verdadero (true) que el GPS tomar para indicar las informaciones sobre rumbo actual y de contacto.
- *Unidades de distancia*: (Dist. units) Esta subfunción permite seleccionar las unidades de longitud de la información (Km., millas y millas marinas).

- *Unidades de elevación:* (Elev. units) Esta permite elegir entre metro y pies.
- *Hora:* (Time) Selecciona el formato de la hora, se puede elegir entre UT (universal time) y GMT. Algunos modelos también traen la hora local.

2.8 LIMITACIONES DEL GPS

El GPS es, sin duda, el mas sencillo y preciso sistema de navegación disponible en la actualidad, sin embargo no debe ser el único instrumento de navegación de un vehículo, ya que además de poder estropearse, el departamento de defensa de USA puede (ya lo ha hecho en alguna ocasión) interrumpir, modificar o degradar las señales cuando lo considere oportuno.

Las señales emitidas por los satélites se comportan, en cierto modo como la luz, ya que pueden traspasar el cristal y el plástico, sin embargo no pasan a través de montañas, túneles, edificios, superficies metálicas o estructuras similares. La antena de los receptores debe estar orientada de forma que tenga "acceso visual" a los satélites.

En el modo navegación, un receptor GPS indica la distancia que falta para alcanzar un punto de destino en línea recta. Hay que tener en cuenta que en la tierra es prácticamente imposible, incluso en el desierto, seguir una trayectoria recta por largos periodos ya que los accidentes orográficos obligan a variar la dirección con frecuencia.

3. APLICACIONES

3.1 PRINCIPALES ÁREAS DE APLICACIÓN

Originalmente las aplicaciones del sistema GPS eran estrictamente militares, pero después del derribo de un jumbo coreano tras invadir el espacio aéreo de la antigua Unión Soviética por un error de navegación en 1984, el presidente Reagan permitió el uso de GPS para navegación civil. A partir de entonces se pueden dividir las aplicaciones de GPS en dos, aplicaciones militares y aplicaciones civiles.

3.1.1 Aplicaciones militares

Aviación: Reconocimiento y localización de objetivos, reportaje en vuelo, cálculo de rutas, aproximación al aterrizaje, precisión de los bombardeos y reportaje en vuelo bajo condiciones de visibilidad nulas.

Fuerzas terrestres: Supervivencia, emplazamiento de la artillería, reconocimiento y localización de objetivos, recuperación de equipos, puntos de encuentro y evacuaciones.

Operaciones navales: Navegación, operaciones anfibia, patrulla costera, emplazamiento de minas, posicionamiento de submarinos, entre otras.

Lanzamiento de armas: Mísiles autoguiados usando GPS.

3.1.2 Aplicaciones civiles

Usos marítimos: Navegación recreativa (es la mayor aplicación civil), posicionamiento, submarinismo, localización de bancos de pesca, puntos de encuentro, navegación en puertos y zonas costeras (con sistema DGPS).

Estudio de fenómenos atmosféricos: Cuando la señal GPS atraviesa la troposfera el vapor de agua, principal causante de los distintos fenómenos meteorológicos, modifican su velocidad de propagación. El posterior análisis de la señal GPS es de gran utilidad en la elaboración de modelos de predicción meteorológica.

Aviación civil: Posicionamiento, navegación aérea, aproximación al aterrizaje.

Transporte terrestre: Mejora en la eficiencia y seguridad en el transporte de mercancías, vehículos autoguiados.

Protección civil: Optimización en el uso y guiado de vehículos de emergencia (policía, bomberos, ambulancias) mediante control de semáforos y telemetría.

Sincronización: GPS proporciona una herramienta para sincronizar sistemas de gran extensión, por ejemplo redes de transporte de datos.

Aplicaciones geográficas: Geodesia, geodinámica, topografía, entre otras.

Ingeniería Civil: En este campo se utiliza la alta precisión del sistema GPS, para monitorizar en tiempo real las deformaciones de grandes estructuras metálicas o de cemento sometidas a cargas.

Sistema de alarmas automáticas: Existen sistemas de alarmas conectados a sensores dotados de un receptor GPS para supervisión del transporte de

mercancías tanto contaminantes de alto riesgo ,como perecederas (productos alimenticios frescos y congelados). En este caso la generación de un alarma permite una rápida asistencia la vehículo.

Guiado de disminuidos físicos: Se están desarrollando sistemas GPS para ayudar en la navegación de invidentes por la ciudad. En esta misma línea, la industria turística estudia la incorporación del sistema de localización en guiado de visitas turísticas a fin de optimizar los recorridos de entre los distintos lugares de una ruta.

3.2 SISTEMAS DE LOCALIZACIÓN ACTUALES

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 (latitud, 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.

Ambos sistemas tienen las siguientes desventajas:

- No hay garantía o cobertura de fiabilidad proveída por sus operadores.

- La fiabilidad es incierta en regiones de altas latitudes del norte de Europa.
- La precisión es moderada para aplicaciones que requieren una rápida determinación de la posición.
- A los usuarios no se les informa inmediatamente de los errores que ocurren en el sistema.

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.

4. ENFOQUE DE LOS GPS EN Colombia

4.1. CHIP ANTISECUESTRO¹²

Colombia es el país del mundo que tiene un mayor índice de secuestros. El chip, con un margen de error de tan sólo medio metro, podría ser la solución para miles de personas que son secuestradas cada año.

Un dispositivo electrónico que puede transmitir señales a una red satelital de posicionamiento podrá ayudar a encontrar personas secuestradas, extraviadas o desaparecidas. Los altos índices de violencia en Colombia han hecho que otros sistemas de localización estén ya ampliamente implantados en vehículos de transporte público y privado.

Este es un microchip que mide 3 milímetros cuadrados, el cual se implanta en el cuerpo del ser humano lejos del corazón, que protegido con una cápsula de silicona, sirve para rastrear exactamente la ubicación de la persona.

Este microchip funciona como un teléfono celular, transmite un código de identificación que es un código único que se dirige directamente al aire, el cual es detectado por un satélite y un sistema llamado de posicionamiento global que ubica la persona en cualquier parte del mundo.

Un chip que se implantará en el cuerpo humano permitirá que las personas secuestrables puedan ser encontradas en caso de un rapto. La aplicación ha sido bien recibida en Colombia donde hay un promedio de 8,71 secuestros por cada cien mil habitantes.

¹² Esta información fue sacado de un artículo de la revista: *IBLNEWS, CONTACTO Magazine*, publicado el 10 de abril del 2002.

Angel Digital es el nombre del dispositivo creado por la compañía estadounidense Applied Digital Solutions (ADS).

En la organización colombiana antisequestro País Libre el Ángel Digital se ve como el aporte de la tecnología al secuestro, aunque acepta que hay debate sobre su viabilidad.

Según una nota de prensa de Digital Ángel, cuando el chip se encuentre totalmente desarrollado, el chip diseñado para utilizar baterías que se recargan con el calor del cuerpo humano podrá llevarse en la muñeca mediante una banda elástica, escondido en alguna prenda de vestir o implantado entre los músculos del brazo, sin que esto reduzca su potencia de transmisión.

4.2 LOCALIZACIÓN DE VEHÍCULOS

Una de las empresas que presta el servicio de localización de vehículos basándose en la tecnología GPS es COMCEL 3GSM. Esta entidad a través de sus contratistas especializados, ofrece a las empresas de transporte terrestre, de carga o de pasajeros, una avanzada tecnología para el control, seguimiento y seguridad de su negocio.

Integrando las tecnologías GPS (Global Positioning System: Sistema Satelital De Posición Geográfica), GPRS y SMS, las empresas pueden controlar el recorrido de sus vehículos en tiempo real. A través de un mapa digitalizado, es posible monitorear: Parámetros del motor, apertura de puertas, velocidad, condiciones generales del vehículo y todas las variables requeridas para el buen desempeño de una flota. Este sistema permite una respuesta rápida y efectiva en caso de hurto o cualquier emergencia.



Localización de vehículos

Figura 25

Este servicio va dirigido a empresas con flota de vehículos, empresas de transportes especializados, empresas de seguridad, y en general particulares que deseen proteger sus autos.

Los clientes actuales de este servicio son: TCC, Avianca, British American Tobacco, Coltabaco, CooTRANSUR, Ticsa, Wackenhut y Lojack Colombia.

Los distribuidores especializados del servicio son: GPS de Colombia, CMV, CTM, ICELL, GLOBALTRONICS, ARCANTEL y SIMS.

4.3 APLICACIONES EN LA CIUDAD DE CARTAGENA

En la Base naval ARC Bolívar, Bocagrande, se encuentran las unidades o buques de la Armada Nacional las cuales utilizan el sistema de Posición Global

(GPS), como uno de los medios para navegar en forma segura; estos equipos, deben de contar con señales recibidas de mínimo cuatro satélites.

Los equipos de GPS proporcionan la posición geográfica expresada en latitud y longitud en tiempo real, con estos datos se grafica en una carta náutica.

Otras de las aplicaciones del Sistema de Posición Global, usados en la Armada Nacional, se ve materializada en las conexiones del GPS con los sistemas de radares, por medio de las tarjetas electrónicas de cada equipo diseñadas para trabajar en interfaces (termino Naval que se usa para especificar que dos equipos trabajan en conexión).

El radar ofrece marcaciones y distancias a los objetos o puntos geográficos que se encuentren en determinada área. Al trabajar en interfaces con el GPS es posible saber la posición satelital de estos, ya que estas posiciones no son suministradas por el radar.

Los equipos de GPS ofrecen también datos de la velocidad en tiempo real de un buque, con lo que se puede obtener los tiempos estimados de llegada a un determinado punto con ecuaciones muy sencillas como la de $v = d/t$. Teniendo en cuenta que los datos de distancias son especificados en las cartas náuticas.

Las unidades ya sea de helicóptero o avión de la aeronaval utilizan también el Sistema de Posición Global durante los vuelos realizados, como un método adicional de verificación de la posición real; pero en esta ocasión no cobra la misma importancia que en buques.

Otras aplicaciones, no militares del GPS que encontramos en Cartagena, es la navegación de veleros, yates, etc. Estos utilizan GPS inalámbricos, de igual forma que en los buques militares; el GPS muestra la posición geográfica expresada en latitud y longitud y con estos datos se grafica en una carta

náutica. Cabe destacar que el GPS utilizado en la Armada Nacional, ofrece mucho más beneficios y son más complejos que los que mencionamos anteriormente.

Las entidades no militares que poseen este servicio en la ciudad son, el Aeropuerto Rafael Núñez y la Sociedad Portuaria.

4.4 PROPUESTA DE APLICACIÓN PARA IMPLEMENTAR EN LA CIUDAD DE CARTAGENA

? Guía turístico automático

Seria de gran provecho que en nuestra ciudad se comercializara un guía turístico automático.

Para la implementación de este guía se requiere:

- ✓ Un receptor GPS portátil.
- ✓ Un software de rutas o posicionamiento
- ✓ Un mapa digital de la ciudad de Cartagena donde se incluyan sitios turísticos claves como por ejemplo: El cerro de la Popa, el castillo San Felipe, lugares claves de la ciudad amurallada, como restaurantes, parques y otros sitios de interés turístico .

Los turistas mediante este dispositivo apoyado del mapa digital de la ciudad, podría saber siempre en que lugar de la ciudad se encuentra y los posibles caminos para llegar a otros destinos dentro de esta.

? Monitoreo de embarcaciones desde el muelle del club de pesca de Cartagena

Para el muelle del club de pesca seria de gran ayuda implementar un sistema de rastreo de cada una de las embarcaciones que llegan y parten de dicho muelle.

Mediante esta implementación sabrían en todo momento la ubicación exacta de todas las embarcaciones, lo que evitaría accidentes y pérdidas en altamar.

Para este sistema se necesitaría lo siguiente:

- ✓ Instalar receptores GPS en cada una de las embarcaciones.
- ✓ Tener una central de control en el muelle, donde se maneje la información pertinente a la ubicación de las embarcaciones.

5. PRONOSTICOS DE DESARROLLO PARA LOS GPS

5.1 EL FUTURO DE LA LOCALIZACIÓN MUNDIAL POR SATÉLITE

El mundo de GPS ha sido el componente más estable del sistema y ni siquiera, la futura puesta en marcha del sistema europeo GALILEO, parece inquietar a la importantísima industria desarrollada en torno al sistema NAVSTAR de los Estados Unidos. Es en el componente hardware de GPS, donde se han producido y se producirán, importantes avances, estando disponibles actualmente receptores de tamaño menor al de una caja de cigarrillos.

La cartografía, con más de 15 años de evolución, no es el motor del sistema, si no más bien, algo secundario, que continuará beneficiándose de la permanente evolución de la informática (hardware y software).

Con GPS será posible, en un futuro no muy lejano, que automóviles puedan circular por carreteras sin la ayuda de un piloto; mediante carreteras provistas con sensores para controlar el tráfico.

Por otra parte, los chips GPS se harán populares para corredores a campo traviesa, cazadores, exploradores, ciclistas, golfistas, esquiadores, etc. Todo mundo podrá ser localizado por un dispositivo compacto que valdrá muy por debajo de los \$100 dólares.

5.1.1 GPS en números

Durante estos años la tecnología GPS ha arrojado grandes dividendos a los fabricantes de receptores. Según cifras de la USGIC (US. GPS Industries

Council), en 1997 las ganancias generadas por toda la tecnología GPS fue de 3 MDD, y en el año 2000 este número creció a \$8 MDD. Las ganancias en los sistemas de navegación para automóvil crecieron en un factor de 30, de \$100 millones de dólares en 1993 a \$3 MMD en el 2000. Las ganancias en los receptores portátiles se incrementaron 50 veces, de \$45 millones en 1993 a \$2.25 MMD en el 2000. Por otro lado, el mercado de la cartografía obtuvo ganancias de \$100 millones en 1993 y en el año 2000 se obtuvo \$630 millones de dólares. En contraparte, el mercado de la aviación el cual representó en 1993 sólo el 8 por ciento del mercado total, en el 2000 se redujo al 4.5 por ciento.

5.1.2 Nuevos Dispositivos en el mercado

Los fabricantes de tecnología GPS han desarrollado dispositivos en estos ultimo años, muy livianos pequeños y de gran utilidad. Entre estos encontramos los siguientes dispositivos:

- ❑ En el campo de las telecomunicaciones encontramos GPS incorporados en los teléfonos celulares.
- ❑ Dentro del área automovilística se desarrolló un sistema de navegación portátil para vehículos con capacidad para calcular automáticamente las rutas, con instrucciones de voz a cada momento y tiene un costo aproximado en el mercado de \$1,000 dólares.
- ❑ Un sistema del tamaño de un estéreo llamado Clarion AutoPC, para automóvil que puedes hacer llamadas telefónicas "a manos libres", envío de correo electrónico además de contener una libreta de direcciones. Contiene también un modo de navegación con mapas y direcciones el cual puede ser activado mediante voz; con sólo decirle donde estás y a

donde quieras ir, el sistema AutoPC te guiará a tu destino. Este producto ya se encuentra en el mercado en los Estados Unidos y tiene un precio de \$1,300 dólares.

- En Japón existe un sistema llamado TGS, que es un sistema de navegación y controlador del tráfico que consta de sensores localizados en toda la ciudad y de aparatos receptores basados en GPS instalados en automóviles dotados de mapas gráficos de toda la ciudad a nivel de calles. Este sistema te da continuamente la información del tráfico además de realizar cálculos de la ruta más corta y la ruta más rápida hacia tu destino.

5.2 OTROS SISTEMAS DE LOCALIZACIÓN

5.2.1 GLONASS (Global Navigation Satellite System)

El GLONASS es un sistema ruso de radionavegación por satélite que proporciona posición, velocidad y tiempo a aquellos usuarios que tengan el equipo necesario. Como GPS, proporciona dos servicios de radionavegación, uno civil y otro militar.

Funcionalmente, GLONASS es similar a GPS. El segmento espacial consta de una constelación de 21 satélites, más 3 de reserva. El segmento de tierra lo forman un conjunto de estaciones situadas a lo largo de Rusia que controlan, sitúan y envían a los satélites efemérides, información de sincronización y otros datos. Cada satélite transmite dos señales de navegación de banda L. Una gran variedad de equipos de usuario para aplicaciones civiles y militares han sido desarrollados por los rusos. Equipos de uso civil también están siendo desarrollados fuera de Rusia.

Este sistema genera señales de navegación sobre dos frecuencias portadoras; una frecuencia para cada banda: 1246 a 1257 MHz y 1602 a 1616 MHz.

Los 24 satélites están localizados en 3 planos orbitales separados 120°. La órbita es circular y a 19100 Km. de altura respecto de la superficie terrestre, con una inclinación de 64.8°. El periodo orbital es de 11 horas y 15 minutos. Este sistema garantiza la visibilidad de al menos 4 satélites en el 97% de la superficie terrestre, y da servicio hasta 2000 Km. de altura. Los satélites son cilindros presurizados y sellados herméticamente estabilizados por 3 ejes, con los paneles solares unidos a ambos lados.

Las especificaciones de precisión de este sistema para el servicio civil es de 100 m en el plano horizontal, 150 m en el vertical y 15 cm./s en velocidad; en la práctica su precisión es mejor, los test han demostrado precisiones de 26 m en el plano horizontal, 45 m en el vertical y 5 cm./s en velocidad.

5.2.2 El sistema navegación por satélite Galileo

Es un sistema de navegación en desarrollo por la Agencia Espacial Europea (ESA). Pretende evitar la dependencia actual respecto del sistema GPS. Tardará algunos años en estar operativo; se supone que estará totalmente disponible a partir del 2009.

Sus aplicaciones serán como sistema de navegación para aviones (despegue y aterrizaje sin que intervenga el hombre), y usos para automoción, agricultura, control ferroviario, control de velocidad de vehículos, situaciones de emergencia.

Se pretenden ofertar dos clases de servicios: De propósito general: como el GPS con rango de exactitud de 5 a 30 m; y Servicios adicionales: por los que habrá que pagar y que conseguirán precisiones de 1 a 10 m.

Este sistema constará de 4 bandas de frecuencia, tendrá una cobertura similar a GPS y la constelación estará formada por 30 satélites en 3 planos orbitales (10 satélites / plano) con una inclinación de 56°, a una altura de 23000 Km. (más alto que GPS, órbita media). Se le va a dar al segmento de usuario la posibilidad de realizar un enlace ascendente para la transmisión de información.

La ESA explicó en su centro de control de Darmstadt (suroeste de Alemania) que las aplicaciones civiles de este sistema de navegación por satélite abarcan áreas tan variadas como el medio ambiente, la ingeniería civil, la agricultura y la pesca, el mundo de las finanzas, la aviación, las telecomunicaciones, el transporte público, la protección civil y la energía.

El sistema de navegación Galileo, un proyecto común de la ESA y la Unión Europea, surgió como una alternativa necesaria al sistema estadounidense GPS (Global Positioning System), controlado por el ejército de ese país.

Actualmente, está ya en funcionamiento la primera fase del programa Galileo, llamada EGNOS, que utiliza el sistema GPS y satélites geoestacionarios, situados a una distancia de 36.000 kilómetros de la Tierra y normalmente usados en telecomunicaciones y para las señales de televisión.

RESUMEN

El sistema GPS surge en 1973 con los problemas que experimentaron las tropas norteamericanas en el conflicto con Vietnam. Estados Unidos desarrolló entonces lo que ahora es el sistema GPS, pero sólo con cuatro satélites y lo llamaron Transit. Transit era de uso limitado debido a la insuficiencia de satélites y fue hasta en 1990 cuando un sistema con una mayor red satelital llamado NavStar quedó finalmente funcionado al 100% con una red de 21 satélites.

El GPS es un sistema muy utilizado en la actualidad e inclusive ya es una herramienta de trabajo, por ejemplo es utilizado en aeronaves, para guiarse en el espacio, por los geólogos para la medición de movimientos telúricos, por ingenieros y guardia civil para monitoreo de monumentos o estructuras como puentes colgantes y evidentemente por la fuerza militar y secreta de los Estados Unidos de América.

El sistema GPS funciona en cinco pasos lógicos: Triangulación, Medición de distancia, Tiempo, Posición y Corrección.

El GPS, sistema de localización global por satélites surgió con fines bélicos. Algunos de los satélites que rodean la Tierra pueden detectar con precisión la presencia de ejércitos o de armamento en diferentes regiones del globo. De la misma manera como esos sistemas son capaces de detectar movimientos con fines bélicos, también es posible utilizarlos para la supervisión de movimientos naturales de la Tierra, el tránsito en una ciudad o las oscilaciones de estructuras arquitectónicas como puentes colgantes y estatuas.

La tecnología del sistema global por satélites (GPS por sus siglas en inglés) nos permite esos y muchos otros tipos de actividades relacionados con la

vigilancia. Entre ellas podríamos citar la detección de la dilatación de magma de un volcán, la observación de los movimientos de un iceberg, determinar las finas vibraciones terrestres y, en fin, cualquier fenómeno natural o creado por el hombre que presente algún movimiento, por más imperceptible que parezca.

La vigilancia se realiza por medio de receptores que reciben una señal fija de un satélite. Cuando hay modificaciones, inmediatamente se detecta la anomalía. Las señales de estos receptores se concentran en una computadora central la cual tiene la información general de los movimientos, siendo ésta capaz de advertir el riesgo en caso de que existiese.

Aparte de los usos militares, los datos generados por el GPS también pueden ser utilizados para estudiar fenómenos que ocurren en otros mundos y comprender mejor los cambios físicos que ocurren en nuestro planeta. Por ejemplo, los movimientos en las profundas aguas de los océanos, el monitoreo del estatus de la actividad volcánica en ciertas regiones. Algunos otros usos no militares son la detección de los movimientos bajo la tierra. Los investigadores del Instituto de Mediciones Geográficas de Japón han recogido una serie de datos con Geonet, una red de más de mil sensores GPS que cubre las zonas rurales del país, para con esto tratar de predecir el comportamiento de las capas subterráneas y por ende predecir cuando un sismo sucederá.

De esta y muchas formas más un sistema que surgió bajo necesidades bélicas podrá ser utilizado para propósitos benéficos para la humanidad. Es empleado en la navegación marítima, terrestre y aérea. Donde el caso particular de la navegación aérea es en la actualidad muy dependiente de estos sistemas para su funcionamiento. Se piensa que en poco tiempo toda la navegación marítima se basará en GPS, actualmente también se emplean sistemas hiperbólicos, pero estos sistemas tienden a desaparecer.

También empieza a surgir en las calles de América, donde los carros tienen integrado sistemas de GPS y con esto es prácticamente imposible perderse.

RECOMENDACIONES

El Sistema de Posicionamiento Global, es una tecnología que puede seguir aportando múltiples beneficios a la sociedad.

Es recomendable seguir con la constante investigación de este sistema, y de otros sistemas que prestan servicios muy similares a los del GPS; como lo son el sistema de navegación por satélite Galileo, desarrollado por la Agencia Espacial Europea, y el sistema ruso GLONASS.

Los sistemas mencionados anteriormente, podrían ser temas para futuros trabajos de grado o monografías; y con un buen patrocinio, podría ser un trabajo no solo teórico, sino práctico; en el cual se podría beneficiar tanto Cartagena, como nuestra Universidad Tecnológica de Bolívar.

La tecnología GPS, puede prestar servicios en diferentes aplicaciones, con una buena idea y estrategia, como en algunas de las propuestas de aplicación que sugerimos para la ciudad de Cartagena.

Esperamos que la investigación realizada, sea solo el inicio de grandes proyectos donde sean aplicadas la tecnología GPS; como el Guía turístico automático o el Monitoreo de embarcaciones desde el muelle del club de pesca de Cartagena y en general, aplicaciones de tecnologías satelitales con funcionamientos similares a este sistema.

CONCLUSIONES

Luego de una profunda investigación con la cual pudimos completar y culminar esta monografía nos encontramos en la capacidad de sacar las siguientes conclusiones:

El sistema satelital de localización mundial ha evolucionado muy rápidamente. En inicios esta tecnología solo era de uso militar, pero con el tiempo, especialmente en los últimos años se han difundido muchas aplicaciones civiles que años atrás se creían imposibles o muy lejanas.

Las aplicaciones basadas en GPS van desde un diminuto receptor GPS incorporado en un teléfono celular, hasta el chip antisecuestro, y el controlador del tráfico, entre otras aplicaciones más.

El hecho de que el sistema GPS utilice satélites de órbita media le proporciona grandes ventajas, ya que esto permite que se puedan fabricar variedades de receptores diminutos para diversas aplicaciones.

En Colombia está muy difundido el sistema GPS. Existen múltiples aplicaciones que son muy utilizadas y de gran ayuda en nuestro país. Se utiliza para fines militares y civiles. El localizador de autos robados es la aplicación más conocida actualmente.

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, ya que se contemplan importantes avances en cuanto a las aplicaciones civiles.

Para nosotras fue de gran provecho investigar a fondo sobre el tema tratado en esta monografía, ya que a partir de la documentación obtenida y su posterior análisis y comprensión nos dimos cuenta de que esta tecnología puede ser la base para grandes proyectos a nivel nacional y local. Se podrían implementar en nuestro país muchas de las aplicaciones que ya existen en otros países desarrollados, lo cual le proporcionaría a los habitantes un mejor calidad de vida.

BIBLIOGRAFÍA

"El Sistema de Posicionamiento Global GPS. Principios Básicos de Funcionamiento", Martínez Rosique, J.A., Fuster Escuder, J.M. Servicio de Publicaciones. Universidad Politécnica de Valencia(SPUPV-95.827), 1995.

De este texto obtuvimos información del funcionamiento del GPS.

Global Positioning System: Theory and Practice by B. Hofmann-Wellenhof. Fifth revised edition.

De este texto obtuvimos información de las aplicaciones y funcionamiento del GPS.

Proceedings of the IEEE, January 1999. Special Issue on Global Positioning System.

De este manual sacamos información del GPS diferencial.

"The Global Positioning System", Ivan A. Getting, IEEE Spectrum, Diciembre 1993.

"NavCore V/MicroTracker Designer's Guide", Manuales del modelo GPS MicroTracker de Rockwell.

De este manual sacamos información de la tecnología satelital y funcionamiento del GPS.

"Enciclopedia Multimedia Planeta DeAgostini", Edición en CD ROM.

De esta enciclopedia obtuvimos información de la calificación de los satélites.

"G.P.S. La Nueva Era de la Topografía", A. Nuñez-García, J.L. Valbuena, J. Velasco, Ediciones Ciencias Sociales , Madrid, 1992.

De este texto obtuvimos información de algunas aplicaciones del GPS.

<http://www.eveliux.com/articulos/gps01.html>

Sistema de localización y navegación por satélite

Por Evelio Martínez

Publicado en la Revista RED, Enero de 1999

http://www.umtsforum.net/mostrar_articulos.asp?u_action=display&u_log=81

Servicios de Localización.

Por David Martínez Veguillas. Dpto. Formación de Inaltel S.A.

Agosto del 2003

<http://www.nautigalia.com/otrostemas/articulos.php4?id=2&pag=5>

Servicios Náuticos

Nautigalia, enero 2004

http://gutovnik.com/como_func_sist_gps.htm#Paso_1

<http://www.clubdelamar.org/sistemagps.htm>

<http://telecom.iespana.es/telecom/gps/>

<http://www.ociojoven.com/article/articleview/572033/1/215/>

ANEXOS

Diferentes estilos de GPS



G10 GPS Mouse



**G30-L GPS Data
Logger**



**GD30-L MMC Data
Logger**



**TF30-CF CF
GPS Receiver**



**GB-40
Bluetooth
GPS
Receiver**

Receptores GPS – Comparación

| Model | Aplicaciones | Conectores | Protocolos de salida |
|------------------------|---|-------------------------|-----------------------------|
| <u>G-10</u> | Navegación vehicular - Telemetría - Sincronización | USB - RS232 | NMEA-0183, SiRF binary |
| <u>G30-L</u> | Navegación vehicular - Telemetría - Sincronización - Almacenamiento de Datos -Control Vehicular Control de conductores | USB - RS232 | NMEA-0183, SiRF binary |
| <u>GD30-L</u> | Navegación vehicular - Telemetría - Sincronización - Almacenamiento de Datos -Control Vehicular Control de conductores- Rastreo de Vehículos Pasivo | MMC (Multi Media Cards) | NMEA-0183, SiRF binary |
| <u>TF-30-CF</u> | Navegación vehicular - Telemetría - Sincronización | Compact Flash Card | NMEA-0183, Sony Binary |
| <u>GB-40</u> | Navegación vehicular - Telemetría - Sincronización | BlueTooth | NMEA-0183, Sony Binary |

Receptor GPS + MMC card



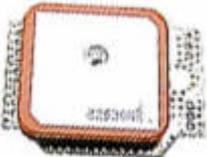
Composición del producto:

- GD30-L GPS Data Logger
- Tarjeta MMC de 32 MB
- Antena GPS
- Cargador para vehículo
- Kit para montura fija

Receptor GPS especialmente diseñado para control pasivo de vehículos, control de conductores, verificación de rutas realizadas o control de gastos de combustible por kilómetros recorridos.

Además de constar del sistema completo (Unidad receptora, antenna, memoria y soportes para montura permanente) el GD30-L posee un puerto de serie RS232 para facilitar navegación dentro del vehículo con la simple conexión de un ordenador portátil o PDA.

Antenas para GPS

| | | | |
|--|---|--|--|
|  |  |  |  |
| <p>GLP1-P1P: Antena pasiva para GPS, 25mm x 25mm x 4mm. Frecuencia central de 1.575GHz con impedancia de 50 ohms. Peso: 9 gramos.</p> | <p>GLP1-P1P 35mm x 28mm x 10mm. Antena pasiva con amplificador LNA. Centro de frecuencia de 1.575GHz con impedancia de 50 ohms</p> | <p>Serie P1 - Antena Activa de base magnética con diversidad de conectores y posibilidad de 3 o 5 v. También disponible sin carcasa protectora para facilitar su integración.</p> | <p>GLP1-RA - Antena Activa con montura permanente, conector SMA. 3 o 5VDC - Alta performance - 27db</p> |
|  |  |  |  |
| <p>GLP1-GC - Antena para GPS y GSM o CDMA. Bajo costo y variedad de conectores.</p> | <p>GLP1-CA - Antena para GPS y GSM o CDMA. Bajo costo y variedad de conectores.</p> | <p>GLP1-SB Antena con receptor GPS integrado y salida serial RS232. Sumergible. Ideal para aplicaciones náuticas.</p> | <p>GGant-T30 Antena para GLONASS. Bajo Costo</p> |

