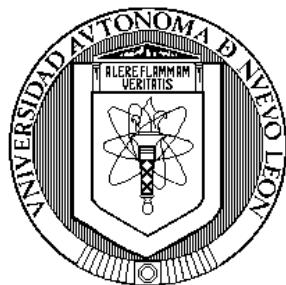


**UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON  
FACULTAD DE CIENCIAS FISICO MATEMATICAS**



**ESTUDIO DE LA LOCALIZACIÓN  
VIRTUAL VIA SATELITE**

**POR:**

**LIC. EDUARDO ALEJANDRO GONGORA RAMIREZ**

**COMO REQUISITO PARA OBTENER EL GRADO DE:  
MAESTRIA EN CIENCIAS COMPUTACIONALES  
CON ESPECIALIDAD EN TELEINFORMATICA**

**SAN NICOLAS DE LOS GARZA, N.L. NOV. DEL 2011**

## AGRADECIMIENTOS

Primeramente a Dios por haberme dado la oportunidad de estar aquí y desarrollarme.

A mi familia, por todo su apoyo incondicional durante mis estudios de la maestría, especialmente a mi padre por haberme inculcado desde temprana edad la responsabilidad de ser alguien en la vida y que para llegar a serlo se tiene que pasar por muchos obstáculos, además gracias a mi familia he logrado grandes cosas en mi desarrollo como persona.

En el transcurso de mis estudios de maestría, he contado con un apoyo total de una de las diferentes áreas o departamentos de la división de post-grado y de la facultad de Ciencias Físico Matemáticas , que sin su colaboración creo que me hubiese limitado mucho el poder cumplir con mis metas, ésta área a la que expreso mi agradecimiento es:

- Coordinación del área de Postgrado

Quiero agradecer muy especialmente al M.T. María de Jesús Antonia Ochoa Oliva, quien con su asesoría, así como con su experiencia como catedrático de la Facultad de Ciencias Físico Matemáticas, contribuyó enormemente en la elaboración de ésta tesis.

Por último quiero agradecer a mi esposa por toda su paciencia y comprensión hacia mí, por todo su apoyo incondicional para la realización de esta tesis.

## CONTENIDO

### Introducción

Tema .....	7
Objetivo .....	8
Justificación.....	8
Planteamiento del Problema .....	8

### 1.- Marco Teórico del GPS.

1.1: Marco Teórico del GPS .....	11
1.2: Conceptos Básicos.....	12
1.3: Importancia del utilizar GPS .....	19

### 2.- Antecedentes de la Localización.

2.1: Sistema TRANSIT .....	21
----------------------------	----

### 3.- Principio de Funcionamiento del GPS.

3.1: Origen del GPS .....	24
3.2: ¿Qué es el GPS? .....	24
3.3: ¿Cómo trabaja el GPS? .....	25
3.3.1: La triangulación desde los satélites. ....	25
3.3.2: Midiendo las distancias a los satélites.....	28
3.3.3: Sincronicemos nuestros relojes .....	29

### 4.- Configuración del Sistema.

4.1: Segmento Espacial .....	32
4.2: Segmento de Control .....	40
4.3: Segmento Utilitario .....	43

<b>5.- Tipos de Receptores.</b>	
5.1: Receptor Secuencial .....	49
5.2: Receptor Continuo o Multicanal .....	50
5.3: Receptor con Canales Multiplexados .....	50
<b>6.- Obtención de la Información.....</b>	53
<b>7.- Tipos de Servicios de NAVSTAR GPS.</b>	
7.1: SPS (Standard Positioning Service).....	55
7.2: PPS (Precise Positioning Service) .....	56
<b>8.- Fuentes de Error.</b>	
8.1: Tiempo .....	58
8.2: Ionomosfera.....	58
8.3: Troposfera.....	59
8.4: Efemérides. ....	59
8.5: Efecto Multicamino .....	60
8.6: Geometría de la Observación.....	60
8.7: Resumen de las fuentes de error del sistema GPS.....	62
<b>9. Estructura de las Señales Transmitidas.</b>	
9.1: Códigos Pseudo Aleatorios .....	64
<b>10. Los Datos del GPS.</b>	
10.1: Trama de Datos.....	70
<b>11. Posición y Hora del GPS.</b>	
11.1: Sincronización de fase de código (navegación) .....	74
11.2: Navegación por Pseudo-Rangos.....	77
11.2.1: Posición, velocidad y hora del receptor .....	78
11.2.2: Seguimiento de fase de portadora (vigilancia) .....	80

**12. Sistemas de Medida.**

12.1: Pseudodistancia .....	84
12.2: Medidas de Fase .....	85

**13. Sistema DGPS.**

13.1: DGPS .....	88
------------------	----

**14. Aplicaciones.**

14.1: Aplicaciones .....	91
14.2: Características Físicas Generales de los Receptores GPS .....	93
14.3: Prestaciones Generales de los Receptores GPS.....	96

**15. Conclusiones.....** 99

**Glosario.....** 101

**Bibliografía .....** 101

## INTRODUCCION

El hecho de que todos sepan dónde te encuentras, a veces no es la mejor manera de localizarte, sin embargo hay otras situaciones en las cuales el hecho de saber hacia dónde te mueves o dónde estás es muy importante, por lo que ha surgido la necesidad de contar con dispositivos capaces de proporcionar orientación exacta de dónde te encuentras.

Hoy en día el índice de delincuencia es extremadamente alto, a diario se ven robos, secuestros, etc. y para resolverlos tardan días, meses, y en algunos casos no se resuelven. Hay una noticia que escuché y que realmente me sorprendió, la nota dice “sin lugar dónde ocultarse”. La necesidad de estar localizados virtualmente a cualquier hora, llevó a investigadores a desarrollar una tecnología la cual proporcionara ubicación exacta en tiempo real.

En ésta tesis me voy a referir a la tecnología llamada GPS (Sistema de Posicionamiento Global). GPS ofrece la ventaja de estar localizable, ya sea en el lugar que se encuentre, y me refiero a que no importa la zona geográfica, ya que GPS utiliza la tecnología de los satélites para conocer la ubicación exacta en tiempo real en muy pocos segundos.

El propósito de ésta tesis es realizar un documento que sea fácil de entender y comprender, sobre el cómo funciona la tecnología GPS, así como describir las ventajas que ofrece. Además pretendo ilustrar como la tecnología GPS ha demostrado ser útil y práctica para la localización virtual por medio de satélites.

El proceso de investigación se basa en los siguientes pasos:

#### 1.- El Tema

Lo primero que necesitamos definir es el tema sobre el cual haremos la investigación, para este caso utilizaremos: Estudio de la Localización Virtual vía Satélite

#### 2.- El Objetivo de la Investigación

Realizar un estudio sobre la tecnología GPS, y mostrar todas las características que componen este sistema, de tal manera que para el lector sea fácil de entender y comprender. Así mismo, mostrar las áreas de interés dónde mas aplicaría, así como el tipo de unidades que se utilizan y sus características.

#### 3.- Justificación

La intención es que el lector de una manera fácil y sencilla de comprensión, pueda entender el concepto general de lo que representa esta tecnología GPS, y que a su vez, se de cuenta de lo sencillo que pudiera ser, el utilizar un equipo con GPS así como los beneficios que se obtendrían.

#### 4.- Planteamiento de problemas

Aquí definiremos a modo de preguntas algunos planteamientos sobre el por qué, hoy en día, deberíamos de utilizar el sistema GPS:

¿Por qué es necesaria la localización virtual?

¿Qué tipos de dispositivos son los que se utilizan?

¿Es fácil de utilizar dispositivos que proveen localización virtual?

¿Qué beneficios se obtienen de la localización virtual?

¿Qué obstáculos se pueden presentar al implementar dispositivos que proveen localización virtual?

Sobre la base de estos planteamientos se determinó la Hipótesis de trabajo:

Comprobar que la localización virtual tiene como fin, el propósito de determinar la posición exacta y real de cualquier objeto (personas, barcos, aviones, automóviles, etc.)

Para la recopilación de la información se utilizó la Investigación Documental y la Investigación de Campo. La primera para obtener toda la información teórica, como antecedentes, método, pasos para obtener la localización virtual, y la segunda para conocer las necesidades de utilizar dispositivos con GPS.

Para la Investigación Documental se utilizaron libros y revistas, los cuales se obtuvieron de las bibliotecas de la U.A.N.L., así como de páginas del internet con relación al tema.

## **CAPITULO 1**

### **1. MARCO TEORICO DEL GPS**

## 1.1 Marco Teórico del GPS

En el mundo del GPS, saber dónde se encuentra una persona o cualquier objeto, con un margen de error de unos cuantos metros, depende de saber con exactitud donde está ubicado lo que se busca.

El desarrollo de las tecnologías GPS puede seguir un patrón similar. Ya es obvia su utilidad en aplicaciones discretas como confeccionar planos y mapas, para seguir la ruta de vehículos comerciales, para la navegación marítima y aérea, y los equipos de rescate y arqueólogos. Pero no se puede anticipar que significará cuando, en un planeta lleno de objetos conscientes de su ubicación, se encuentre en un modo de coordinar todos los datos que envían.

Los satélites del GPS ofrecen un marco constante de referencia. Cada uno lleva tres o cuatro relojes ultra precisos sincronizados a la hora GPS que en esencia es la hora universal coordinada (UTC), sin los segundos de salto agregados a cada año al último minuto de junio o diciembre para corregir las diferencias. Los relojes del satélite pueden tener una diferencia de sólo una millonésima de segundo respecto a la UTC, cuya sede es el Observatorio Naval de Estados Unidos. Los receptores GPS convierten la hora que transmiten los satélites en hora local.

Cuando usted enciende un receptor GPS, éste sintoniza una señal de radio denominada L1 que proviene de cualquiera de los satélites del GPS, generalmente uno de los cuatro a ocho que se encuentran en cualquier momento por encima del horizonte.

El valor real del GPS comienza a aqilatarse cuando se considera la capacidad de un receptor para comparar donde se encuentra ahora y donde estaba hace un momento, unas horas o unos días atrás. Cuando usted empiece a desplazarse, el GPS se activa. Le anuncia el rumbo que lleva, su velocidad promedio, la altitud aproximada, el tiempo aproximado que tardará en llegar a su destino, el grado en que se ajusta a la ruta planeada y la distancia que lo separa de su destino final.

En resumen, calibra las dimensiones de su dinamismo, o de cualquier cosa a la que usted acople, desde un camión de reparto hasta un accidente de la corteza terrestre. Siempre ha sido una tarea de los navegantes proyectar su posición presente, compararla con la de un día anterior y basándose en esos dos puntos, poder tener una idea de donde se encuentra en ese momento.

## 1.2 Conceptos Básicos

### Introducción

Las comunicaciones por satélite son en nuestro tiempo de extrema importancia.

Debemos definir al satélite de comunicaciones como "un repetidor radioeléctrico ubicado en el espacio, que recibe señales generadas en la tierra, las amplifica y las vuelve a enviar a la tierra". Es decir es un centro de comunicaciones que procesa datos recibidos desde nuestro planeta y los envía de regreso, ya sea al punto que envió la señal, o bien a otro distinto. Los satélites pueden manipular datos, complementándolos con información del espacio exterior, o pueden servir sólo como un espejo que rebota la señal.

Muchos funcionan a partir de celdas solares, que alimentan sus centros de energía al convertir los rayos solares en energía eléctrica (las enormes aspas de molino que los caracterizaron durante años). No obstante, dicha tecnología va siendo sustituida por turbo generadores que producen energía a partir del calor solar y de las reacciones

nucleares, que son más pequeños y livianos que las celdas. Actualmente se desarrolla el uso de radioisótopos como fuentes de poder, pero todavía están en un período de prueba.

La velocidad con que un satélite gira alrededor de la tierra está dada por la distancia entre ambos, ya que él mismo se ubicará en aquellos puntos en los que la fuerza de gravedad se equilibre con las de la fuerza centrífuga; cuanto mayor es esa distancia, menor es la velocidad que necesita él mismo para mantenerse en órbita.

Es importante señalar que todo aparato debe quedar por encima de los 160.934 kilómetros de altitud respecto a la superficie de la Tierra, para que no sean derrumbados por la fuerza de gravedad terrestre. Los satélites ubicados en el rango 725 a 1,450 kilómetros de altitud se consideran de órbita baja; y de órbita geoestacionaria los que alcanzan distancias hasta de 35,880 kilómetros sobre la superficie.

Los satélites son controlados desde estaciones terrestres que reciben su información y la procesan, pero que también monitorean el comportamiento y órbita de los aparatos. Por lo general, los centros terrenos no son aparatosas instalaciones, sino más bien pequeños tableros con poco personal que sin embargo controlan funciones geoespaciales especializadas.

El problema jurídico que se presenta, se encuentra íntimamente vinculado con el llamado Derecho de las Radiocomunicaciones y con el Derecho Internacional Público. Con éste tema planteado decimos que las comunicaciones por satélite son un capítulo del Derecho Espacial, por ser de actividad Espacial, debido a que para que éstas comunicaciones se hagan realidad se tienen que cumplir por medio de satélites, y esto nos ubica en el Espacio ultraterrestre, y el Derecho Espacial rige las relaciones jurídicas que se cumplen en ese ámbito.

De esto se desprende que el Derecho Espacial regula los problemas de las comunicaciones por satélites, sin perjuicio de que otras ramas de la ciencia jurídica también regulen los aspectos que le son específicos de estas actividades.

El Derecho Espacial se está ocupando hoy de todos los problemas que nos presentan las distintas clases de comunicaciones por satélites. En este caso nos preguntamos ¿que son las comunicaciones por satélite?, son la telecomunicaciones que se logran mediante un satélite, generalmente ubicado en una órbita geoestacionaria, quiero decir, son Comunicaciones que se logran por medio de ondas radioeléctricas, utilizando a ese fin un satélite artificial de la Tierra para la trasmisión de mensajes auditivos o visuales o ambos a la vez. la órbita de un satélite llamado geoestacionario, (también lo llaman geosincronico) , es una órbita circular, contenida en el plano ecuatorial de la Tierra, que tiene la singular propiedad de que un satélite efectúa en ella una revolución completa alrededor del eje terrestre en 24 horas, es decir en el mismo periodo de rotación de la tierra alrededor de su eje y en la misma dirección, el satélite parecerá estar siempre en un mismo lugar, en una posición fija para el observador, situado en cualquier punto de la superficie de nuestro planeta.

El aprovechamiento de dicha órbita, para fines de comunicaciones, fue propuesto en 1945 por el científico Ingles Artur C. Clarke y utilizado por primera vez en el año 1963 por la nave "Sincom" de la NASA, siendo el "Early Bird" también llamado "INTELSAT I" el primer satélite comercial (1965).

A partir de entonces el empleo de este tipo de satélites se ha extendido de forma extremadamente rápida, a tal punto que hoy en día hay gran cantidad de ellos.

Ubicamos ahora a las comunicaciones por satélite dentro del marco de las telecomunicaciones La U.I.T. (Unión Internacional de Telecomunicaciones) se define como "Toda trasmisión, emisión o recepción de signos, señales, escritos, imágenes, sonidos o información de cualquier naturaleza, por hilo, radioelectricidad, medios ópticos u otras sistemas electromagnéticos." Esta definición abarca todas las

comunicaciones, pues entonces las comunicaciones por satélite serán las que utilizan el satélite como un punto superior para un enlace de telecomunicaciones entre puntos de la tierra (servicios fijos o móviles), o aquellas en que las telecomunicaciones son los únicos medios posibles para trasmitir informaciones de todo género entre el satélite y la tierra y viceversa.

En nuestro trabajo vamos a considerar 2 casos diferentes, el primero llamado de las comunicaciones "de punto a punto" y el otro, "la radiodifusión por satélite". Nos preguntamos que es la radiodifusión, el Convenio Internacional de Telecomunicaciones la concibe como un servicio de radiocomunicación cuyas emisiones se destinan a ser recibidas por el público en general. Este servicio abarca emisiones sonoras, de televisión o de otro género, va del organismo de origen al público en general y no tiene retorno; no existe interlocutor. En cambio en una comunicación telefónica por satélite - que no es radiodifusión sino telecomunicación- ambas partes son protagonistas de la comunicación. Se puede expresar entonces que la radiodifusión es una especie de telecomunicación, siendo esta última el género. Servicio de radiodifusión por satélite: en el cual las señales emitidas o retransmitidas por estaciones espaciales están destinadas a la recepción directa por el público en general.

Bajo el concepto de radiodifusión por satélite (definida en el párrafo anterior), el término recepción directa abarca tanto la recepción individual como recepción comunal. A continuación se describe cada uno de ellos:

- a.) Recepción individual. Recepción de las emisiones de una estación espacial del servicio de radiodifusión por satélite con instalaciones domésticas sencillas y, en particular, aquellas que disponen de antenas de pequeñas dimensiones.
  
- b.) Recepción Comunal. Recepción de las emisiones de una estación espacial del servicio de radiodifusión por satélite con instalaciones receptoras que en casos, pueden ser complejas y comprender antenas de mayores dimensiones que las

utilizadas para recepción individual y destinadas a ser utilizadas por un grupo del público en general en un mismo lugar o mediante un sistema de distribución que dé servicio a una zona limitada. Vimos que las comunicaciones por satélite pueden realizarse, de dos maneras: las comunicaciones de "punto a punto" y la radiodifusión por satélite. Las primeras son las que la señal, desde una estación terrena, es enviada al satélite que las recibe, la mejora y la limpia de ruidos, y la envía para ser captada por otra estación de la Tierra; estas comunicaciones son las que permiten al espectador de televisión, por ejemplo, ver un partido de futbol mientras se está desarrollando en otro lugar o continente, o una pelea de box, etc.; éste sistema se trasmite a través de satélites que son operados por dos organizaciones internacionales diferentes y que no podemos dejar de hacer, aunque sea, una breve referencia sobre los sistemas que existen en la actualidad.

Hay que distinguir en principio que los sistemas internacionales son aquellos que prestan servicios con relación a un grupo de estados que conforman una región determinada (regionales) y por último los que atienden exclusivamente a los estados en forma individual (nacionales). En la actualidad existen dos sistemas que brindan servicios internacionales. Uno de ellos es el prestado por INTELSAT (que hicimos referencia anteriormente), fundada en Washington en 1964, es un ente dedicado a las comunicaciones por Satélite. Aproximadamente el 59% de las acciones de la Intelsat quedó en manos de EEUU. El objetivo principal de INTELSAT es el suministro sobre una base comercial del segmento espacial necesario para proveer a todas las áreas del mundo y sin discriminación de servicios internacionales públicos de telecomunicaciones de alta calidad y confianza.

Tenemos que marcarla aquí que el "segmento espacial" designa los satélites de telecomunicaciones, las instalaciones y los equipos de seguimiento, telemetría, telemiendo, control, comprobación y demás elementos necesarios para el funcionamiento de dichos satélites. Sus satélites se hallan ubicados sobre los Océanos atlántico, Pacífico e Índico, cubriendo de este modo casi todo el globo terrestre. La red de estaciones terrenas de Intelsat es compleja; comprendía en 1975 un total de 97

estaciones en 71 países de zonas de Atlántico, del Pacífico y del Índico; en 1976 más de 90 naciones estaban vinculadas electrónicamente por medio de satélites de comunicaciones y sus estaciones terrestres. El otro sistema, que se denomina INTERSPUTNIK, el objeto es crear un sistema internacional del servicio de telecomunicaciones por satélites artificiales de la Tierra y a fin de asegurar la colaboración y coordinación en la elaboración de proyectos, creación y desarrollo del sistema de telecomunicaciones, las partes instituyen una organización Internacional Intersputnik llamada "Organización". Esta constituye la respuesta de los países de la órbita Soviética a la existencia del Intelsat, a la que no pertenece por no haber concurrido a las respectivas convocatorias. Son sus miembros los países integrantes de Europa oriental y Cuba. El sistema tomó ese nombre por el primer satélite artificial lanzado por los soviéticos el 4 de octubre de 1957, que constituyó la avanzada inicial del Hombre hacia el espacio Ultraterrestre.

Presta sus servicios por intermedio de los satélites MOLNYA, RADUGA y GORIZONT, que enlazan a los nueve países miembros. Un caso particular de los servicios internacionales son los regionales, es decir el enlace de países que integran una determinada región geográfica; por ejemplo se puede citar los sistemas proyectados por Europa Occidental (EUROSAT), por los países integrantes del Pacto Andino (CONDOR) y el de los países Arabes (ARABSAT). Nos quedan por nombrar a los Nacionales, o sea, aquellos limitados a prestar servicios con relación a un solo país. El primero de este tipo se inauguró en Canadá en el año 1972, al ponerse en servicio el satélite ANIK-A, el primero de una serie que hoy tiene 7 satélites. Aclaramos que tanto los servicios Nacionales como las Regionales, pueden ser brindados por satélite cuyo propietario no es el usuario del mismo. Tal modalidad se logra mediante el alquiler de parte de la capacidad de un satélite a su propietario. Se cita por ejemplo el llamado "Plan Soberanía" utilizado por en su momento por ENTEL, que usaba parte de la capacidad de un satélite Intelsat, y pagaba por esto una tasa anual.

#### Elementos que componen el sistema de comunicaciones por satélite

Un sistema de comunicaciones por satélite está compuesto por los siguientes elementos:

- 1.) Satélite
- 2.) Centro de control
- 3.) Estación terrena

**- Satélite.**

Constituye el punto central de la red y su función es la de establecer comunicaciones entre los diversos puntos de la zona en la que atiende. En un sistema puede haber más de un satélite, uno en servicio y otro de reserva (que puede estar en órbita o en tierra), o bien uno en servicio, otro de reserva en órbita y un tercero de reserva en tierra. La posición adoptada dependerá de la confiabilidad que se pretende obtener.

**- Centro de control.**

Que también se le llama TT&C (tele mediación, telemundo y control), realiza desde tierra el control del satélite.

**- Estación terrena.**

Forma el enlace entre el satélite y la red terrestre conectada al sistema. Un sistema puede operar con algunas decenas o centenas de ellas, dependiendo de los servicios brindados. Finalmente, en un proyecto para la puesta en órbita de un satélite se deben tener en cuenta los LANZADORES, que son los vehículos necesarios para la colocación de los satélites en su punto de operación.

Se suele dividir a los sistemas de este tipo en dos segmentos:

- a) El ESPACIAL, formado por satélites, el centro de control y ocasionalmente, los lanzadores y
- b) el TERRENAL formado por las estaciones terrenas.

### **1.3 Importancia del utilizar GPS**

Proveer una conciencia de la ubicación virtual a todo lo que se mueve.

Utilizar el GPS en aplicaciones discretas como confeccionar planos y mapas, seguir la ruta de vehículos comerciales, la navegación marítima y aérea, los equipos de rescate y arqueólogos, etc., ayuda a lograr que se tenga una ubicación precisa en tiempo real.

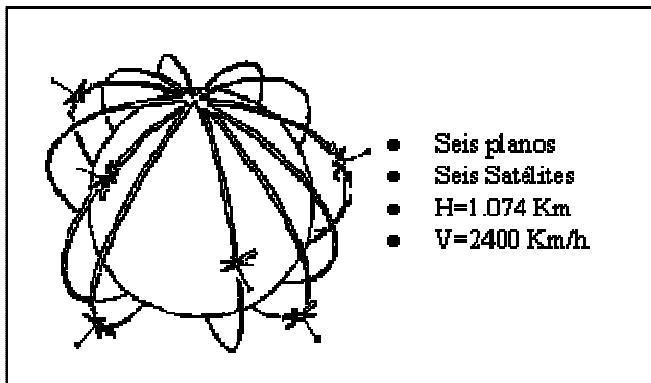
Proporcionar a toda aquella persona la capacidad de conocer su posición exacta en tiempo real.

GPS también es utilizada por compañías aeronáuticas con el fin de determinar una posición a partir de una anterior, es decir, ayuda en la navegación en condiciones de climas muy inestables.

Así mismo, GPS proporciona un rastreo muy exacto, lo cual permite a compañías de automóviles que puedan monitorear sus propios vehículos, además de saber la ruta a seguir.

## **CAPITULO 2**

### **2. ANTECEDENTES DE LA LOCALIZACION**



## 2.1 Sistema TRANSIT

Primer sistema de navegación basado en satélites. Entrada en servicio en 1965.

Al principio de los 60 los departamentos de defensa, transporte y la agencia espacial norteamericanas (DoD, DoT y NASA respectivamente) tomaron interés en desarrollar un sistema para determinar la posición basado en satélites.

El sistema debía cumplir los requisitos de globalidad, abarcando toda la superficie del globo, mostrando continuidad, sin que se vieran afectadas las condiciones atmosféricas, y que fuera altamente dinámico, para posibilitar su uso en aviación y precisión.

Esto llevó a producir diferentes experimentos como el Timation y el sistema 621B en desiertos simulando diferentes comportamientos.

El sistema TRANSIT estaba constituido por una constelación de seis satélites en órbita polar baja, a una altura de 1074 Km. Tal configuración conseguía una cobertura mundial pero no constante. La posibilidad de posicionarse era intermitente, pudiéndose acceder a los satélites cada 1.5 h. El cálculo de la posición requería estar siguiendo al satélite durante quince minutos continuamente.

TRANSIT trabajaba con dos señales en dos frecuencias, para evitar los errores debidos a la perturbación ionosférica. El cálculo de la posición se basaba en la medida continua de la desviación de frecuencia Doppler de la señal recibida y su posterior comparación con tablas y gráficos.

El error de TRANSIT estaba en torno a los 250 m. Su gran aplicación fue la navegación de submarinos y de barcos.

## **CAPITULO 3**

### **3. PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DEL GPS**

### **3.1 Origen del GPS**

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 los receptores GPS son más pequeños y ligeros, ofreciendo al mismo tiempo, prestaciones superiores y una mayor autonomía de funcionamiento operativo cuando son alimentados con pilas.

### **3.2 ¿Qué es el GPS?**

El GPS o sistema de posicionamiento Global (Global Positioning System) es un sofisticado sistema de orientación y navegación cuyo funcionamiento está basado en la recepción y procesamiento de las informaciones emitidas por una constelación de 24 satélites conocida como NAVSTAR, ubicados en diferentes órbitas a unos 20,000 km por encima de la superficie terrestre.

Cada satélite gira diariamente dos vueltas sobre el planeta, cada una en doce horas. Las trayectorias y la velocidad orbital, han sido calculadas para que formen una especie de red alrededor de la tierra (debe haber en todo momento cinco satélites a la vista en cualquier zona), de manera que un receptor GPS a cualquier hora del día o de la noche, en cualquier lugar, con independencia de las condiciones meteorológicas, pueda facilitar la posición que ocupa al captar y procesar las señales emitidas por un mínimo de tres satélites.

### **3.3 ¿Cómo trabaja el GPS?**

#### **3.3.1 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.

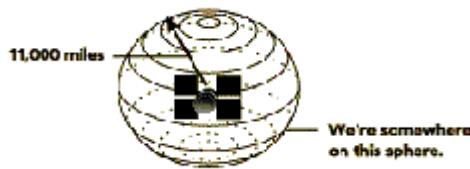
Esto se logra mediante una muy, pero muy exacta, medición de nuestra distancia hacia al menos tres satélites, lo que nos permite "triangular" nuestra posición en cualquier parte de la tierra.

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

**La gran idea, Geométricamente, es:**

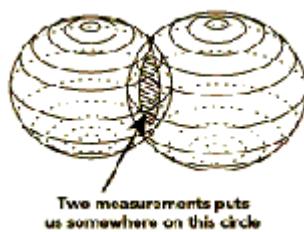
Supongamos que medimos nuestra distancia al primer satélite y resulta ser de 20,000 Km.

Sabiendo que estamos a 20,000 km 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 20,000 km.

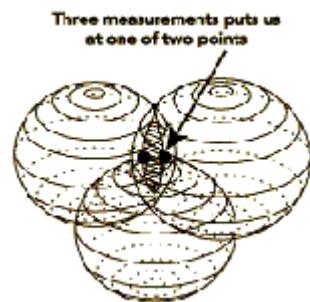


A continuación, medimos nuestra distancia a un segundo satélite y descubrimos que estamos a 23,000 km del mismo.

Esto nos dice que no estamos solamente en la primera esfera, correspondiente al primer satélite, sino también sobre otra esfera que se encuentra a 23,000 km del segundo satélite. En otras palabras, estamos en algún lugar de la circunferencia que resulta de la intersección de las dos esferas.



Si ahora medimos nuestra distancia a un tercer satélite y descubrimos que estamos a 25,000 millas del mismo, esto limita nuestra posición aún más, a los dos puntos en los cuales la esfera de 25,000 millas corta la circunferencia que resulta de la intersección de las dos primeras esferas.



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

Para decidir cual de ellos es nuestra posición verdadera, podríamos efectuar una nueva medición a un cuarto satélite. Pero normalmente uno de los dos puntos posibles resulta ser muy improbable por su ubicación demasiado lejana de la superficie terrestre y puede ser descartado sin necesidad de mediciones posteriores.

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

### **3.3.2 Midiendo las distancias a los satélites.**

Sabemos ahora que nuestra posición se calcula a partir de la medición de la distancia hasta por lo menos tres satélites. Pero, ¿cómo podemos medir la distancia hacia algo que está flotando en algún lugar en el espacio?

Lo hacemos midiendo el tiempo que tarda una señal emitida por el satélite en llegar hasta nuestro receptor de GPS.

**La gran idea, Matemáticamente, es:**

Toda la idea bulle alrededor de aquellos problemas sobre la velocidad que resolvíamos en la secundaria, recordemos que "sí un auto viaja a 60 kilómetros por hora durante dos horas", ¿qué distancia recorrió?

**Velocidad (60 km/h) x Tiempo (2 horas) = Distancia (120 km)**

En el caso del GPS estamos midiendo una señal de radio, que sabemos que viaja a la velocidad de la luz, alrededor de 300,000 km por segundo.

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

### 3.3.3 Sincronicemos nuestros relojes

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 más de 0.06 segundos. Estamos necesitando relojes muy precisos. Ya veremos cómo lo resolvemos.

Pero, aun admitiendo que tenemos relojes con la suficiente precisión, ¿cómo medimos el tiempo de viaje de la señal?

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

Oiríamos dos versiones de la señal. Una de ellas inmediatamente, la generada por nuestro receptor GPS y la otra con cierto atraso, la proveniente del satélite, porque tuvo que recorrer alrededor de 20,000 km para llegar hasta nosotros. Podemos decir que ambas señales no están sincronizadas.

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

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

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

## **CAPITULO 4**

### **4. CONFIGURACION DEL SISTEMA**

#### **4.1. Segmento Espacial**

El sector espacial está constituido por la constelación de satélites NAVSTAR, según una planificación sobre la base de 3 generaciones de satélites (remarcar que esta planificación inicial se varió y realmente se han utilizado hasta el momento cuatro generaciones distintas de satélites). Los de la primera generación eran de prueba y fueron lanzados entre 1978 y 1985 y pretendían cubrir el máximo del territorio de Estados Unidos. La segunda generación fue lanzada tras la reanudación del programa espacial americano, interrumpido parcialmente por el accidente del Challenger, entre 1988 y 1991. Los nuevos lanzamientos se realizan para sustituir a los satélites que están fuera de servicio o averiados. El NAVSTAR y el GPS fueron terminados cuando el 8 de Diciembre de 1993, 24 satélites fueron operativos de forma simultánea.

Dicha constelación está formada por 24 Satélites, de los cuales 4 son visibles al mismo tiempo, a cualquier hora del día y desde cualquier punto de la superficie terrestre.

La constelación GPS consta de 6 órbitas, prácticamente circulares, con inclinación de 55 grados y uniformemente distribuidas en el plano del ecuador. Hay 4 satélites por órbita, uniformemente distribuidos y con altitud de 20,180 Km, lo que determina, en función de la tercera ley de Kepler y la masa de la Tierra, un período de 12 horas de tiempo sidéreo, es decir, que el satélite completa dos órbitas exactas de 360 grados de giro de la tierra, por lo que la trayectoria terrestre del satélite (traza del vector geocéntrico del satélite sobre la superficie terrestre) se repite exactamente cada día sidéreo.

Esto representa que la configuración local de la constelación se repite casi 4 minutos antes cada día solar, lo que representa casi media hora semanal o unas dos horas mensuales de adelanto.

El incremento de un satélite por órbita en el proyecto de la actual constelación elimina

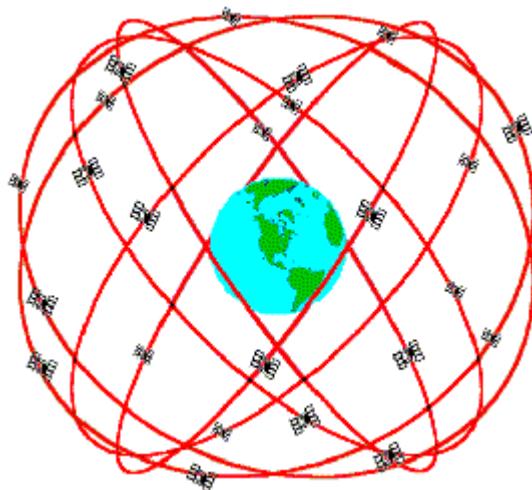
zonas de baja cobertura para navegación, existentes con la antigua constelación proyectada de 18 satélites. También hay otros satélites en órbita de aparcamiento, los cuales están desactivados y/o disponibles como reserva (spares).

Cada órbita o plano orbital se identifica por una letra. Los planos orbitales son: A, B, C, D, E y F; cada posición del satélite en la órbita se identifica por un número. Las posibles posiciones de un satélite de servicio en una órbita son: 1, 2, 3 y 4.

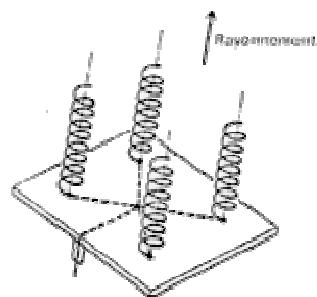
Con la constelación definitiva actualmente (o probablemente aún más nutrida), habrá en cualquier punto y momento, entre 6 y 11 satélites observables, con geometría favorable. El tiempo máximo de observación de un satélite es de hasta 4 horas y cuarto, suponiendo que pase por el céntit y que sólo se observe en alturas de horizonte superiores a 15 grados.

A continuación se enlista una serie de características propias de la constelación NAVSTAR – GPS:

- Las órbitas de los satélites son casi circulares, con una excentricidad de 0.03 a 0.3
- Están situadas a una altura de 20,180 Km
- Tienen una inclinación respecto al plano del ecuador de 55°.
- La separación entre las órbitas es de 60°.
- El período de los satélites es de 11h 58 min
- Hay 6 efemérides que caracterizan a las órbitas.



- Emiten con una potencia de 700W
- La antena:
  - Es un array helicoidal
  - Emiten con polarización a derechas.
  - Su ganancia es de 15dB.



- Incorporan un reloj atómico muy estable y preciso.

- Su vida media es de aproximadamente 7.5 años, al cabo de este tiempo hay que sustituirlo

#### **4.1.1 Bloques**

##### **Bloque I**

Los satélites del bloque I, experimental, aún parcialmente en servicio, fueron diseñados por Rockwell International. Estos satélites se hicieron para proporcionar de 3 a 4 días el servicio de posicionamiento sin contacto con el Segmento de Control del sistema. Estos satélites transmiten un código de configuración de 000. Fueron lanzados desde la base de Vandenburg en California entre los años 1978 y 1985 utilizando cohetes Atlas F. Estos satélites pesaban más de 400 Kg. en el momento de la inserción en órbita de servicio y tenían paneles solares con 400 watos de potencia. De los diez satélites que lo componían, 4 llevaban oscilador de cuarzo, 3 con reloj atómico de rubidio y 3 con reloj atómico de cesio. Su vida media prevista de 5 años ha sido ampliamente sobrepasada en los que quedan actualmente en servicio.

##### **Bloque II**

El bloque II es el primer bloque de satélites operativos desarrollados por Rockwell International y se identifican por estar comprendidos entre el 13 y el 21. Han sido diseñados para proporcionar 14 días de servicio de posicionamiento sin contacto con el Segmento de Control. Estos satélites transmiten un código de configuración de 001. La señal de navegación no proporciona una indicación directa acerca del tipo de satélite que transmite (bloque II, bloque IIA o bloque IIR). Para ponerlos en órbita se emplearon vehículos transbordadores espaciales del tipo Space Shuttle. Con este sistema se ponían en órbita tres satélites en cada viaje. El desastre del transbordador Challenger en Enero de 1986 retrasó el programa de lanzamientos del bloque II, cuyos satélites,

empezados a fabricar en 1982, debieron haber completado la constelación en el año 1990, lo cual no ocurrió. Debido a esto se empezaron a lanzar con el cohete MLV (Medium Launch Vehicle) Delta 2 de McDonell Douglas, desde la base estadounidense de Cape Cañaveral Air Force Station, en Florida, con intervalos entre lanzamientos de 60 a 90 días.

Los satélites de bloque II pesan unos 800 Kg (más pesados aún los provistos de detectores de explosiones atómicas NUDET (NUclear DETection)). Llevan dos paneles solares de 7.2 metros cuadrados y 700 watos de potencia. Todos incorporan osciladores atómicos.

### **Bloque IIA**

El bloque IIA es una versión evolucionada del bloque II, desarrollado igualmente por Rockwell International. Los números de satélite de este bloque están comprendidos entre el 22 y el 40. Han sido diseñados para proporcionar 180 días de servicio de posicionamiento sin contacto con el Segmento de Control.

El 26 de noviembre de 1990 se lanzó el primer satélite del bloque IIA (cuyo número identificativo es el 22), prácticamente con las mismas características que los satélites del bloque II pero más pesado (930 Kg). Estos satélites incorporan mayor ayuda para la navegación, varias mejoras de producción y una superior vida útil. También se inauguró un nuevo tipo de cohete más potente para lanzarle: El Delta 2 7925. Por desgracia, problemas en la orientación automática de sus paneles solares (orientables manualmente desde el control de tierra) motivaron la suspensión de nuevos lanzamientos hasta mediados de 1991 y la revisión de los satélites de esta serie pendientes de lanzamiento. El problema fue una falta de lubricación en el sistema de orientación inercial.

## Bloque IIR

Los satélites del bloque IIR sustituyen a los denominados en el proyecto inicial bloque III. El bloque IIR fue desarrollado por General Electric y vienen marcados con los números de satélite que se hallan comprendidos entre el 41 y el 66. Estos satélites proporcionan servicio de posicionamiento durante al menos 14 días sin contacto con el Segmento de Control operando bajo el modo propio del bloque IIA, y proporcionarán un mínimo de 180 días de servicio de posicionamiento sin contacto con el Segmento de Control cuando operan en el modo de navegación autónomo (Autonav mode).

### 4.1.2 SATÉLITES

Todos los satélites llevan paneles solares para recargar los acumuladores de níquel-cadmio de 105 Ah, que permiten el funcionamiento mientras el satélite pasa por la sombra de la Tierra (máximo de 1 hora diaria cada eclipse), lo que sucede durante algunos días, pero sólo en dos épocas al año. Pueden recibir y guardar información que les es enviada desde centros de control en tierra y transmitir continuamente señales, en función de la información recibida.

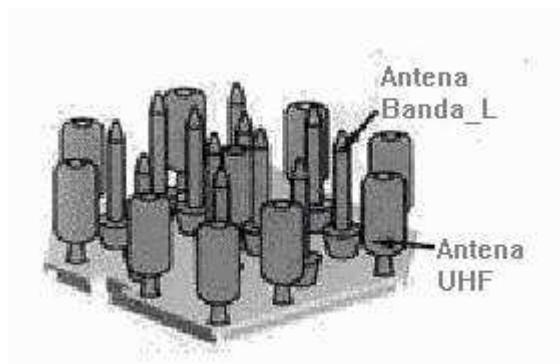
Los satélites tienen una serie de antenas emisoras que funcionan en la **banda L** del espectro, que son las encargadas de enviar a la superficie terrestre las señales que se recibirán. También tienen otra antena emisora-receptora, operando en **banda S**, para intercambiar información con el centro de control en tierra. Dentro del tema del control del movimiento del satélite, debemos mencionar el llamado momentum dump. Las antenas emisoras de los satélites son direccionales, esto es, deben apuntar a donde se desea enviar (o recibir) la emisión, es decir, a la superficie terrestre. Como sabemos un satélite que gira alrededor de la tierra también debe girar alrededor de sí mismo según

un eje perpendicular al plano orbital, a igual velocidad y en el mismo sentido que la órbita.

Antena de satélite



Sistema de antenas de los satélites



El problema es aún más complejo, porque los paneles solares deben estar constantemente perpendiculares al Sol, lo que implica una rotación del satélite sobre el eje de emisión de las antenas, hasta que el eje de giro de los paneles (ortogonal con el anterior) sea perpendicular a los rayos solares incidentes, momento en el cual se giran los paneles normalmente al Sol.

Para controlar continuamente esta orientación triaxial, los satélites incorporan, en una unidad sellada, unos volantes de inercia llamados **flywheels** e impulsados por motores sincrónicos, cuyos ejes están dispuestos en tres direcciones mutuamente perpendiculares. Se puede aplicar cualquier momento de giro al satélite y corregir su orientación, acelerando o frenando los volantes de inercia (a esta actividad se le denomina momentum wheels), mediante un elaborado sistema informático que actúa sobre la frecuencia de la corriente de alimentación de los motores. Debe considerarse que estos volantes de inercia actúan como giroscopios, por lo que cualquier cambio de

orientación que se quiera imprimir al satélite, genera en los volantes cuyo eje no coincide con el giro deseado, una reacción parásita en forma de par de giro espontáneo, que deberá ser previsto y compensado automáticamente por el sistema informático. Cuando se alcanza el límite en el régimen de rotación en alguno de ellos, se activan un par de cohetes de maniobra, situados diametralmente opuestos en el mismo plano que el volante y orientados en sentidos contrarios, a la vez que se decelera el volante. Ambas acciones producen de forma antagónica el mismo efecto, aplicando pares de torsión que se anulan mutuamente, quedando el régimen de rotación del volante de inercia dentro de rango de manipulación.

La identificación de los satélites se puede hacer por varios sistemas:

- Por el número NAVSTAR (**SVN**), que es el de orden de lanzamiento.
- Por la órbita y la posición que ocupa en ella.
- Por el número de catálogo NASA.
- Por la identificación internacional constituida por el año de lanzamiento, el número de lanzamiento en el año y una letra según el tipo.
- Por el número **IRON** (Integer Range Operation Number), que es un número aleatorio asignado por la Junta de Defensa Aérea Norteamericana **NORAD** de Estados Unidos y Canadá.
- Pero fundamentalmente en la técnica GPS los satélites se identifican por su **PRN** o ruido pseudoaleatorio (**Pseudo Random Noise**), característico y exclusivo de cada satélite NAVSTAR en particular.

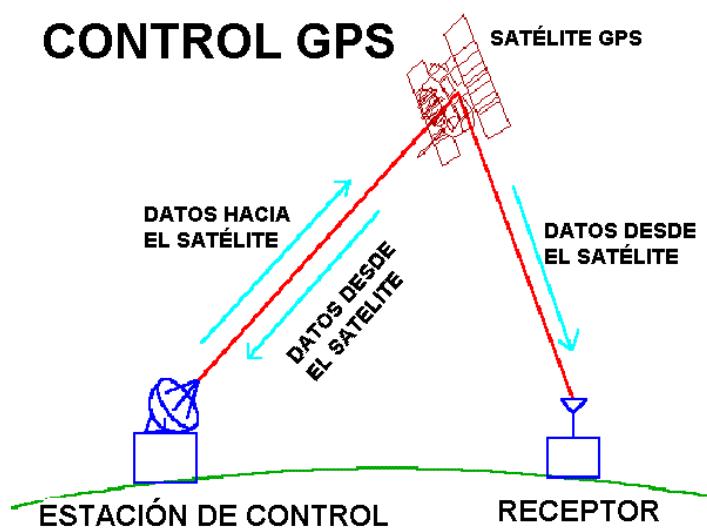
La vida útil de un satélite llega a término principalmente por:

- Envejecimiento o avería de los paneles solares.
- Falta de capacidad de los acumuladores.
- Averías no comutables en los sistemas electrónicos.

- Agotamiento del combustible de maniobra y recuperación de órbita.

#### 4.2 Segmento de Control

Está constituido por cinco estaciones de control repartidas alrededor del mundo y con coordenadas muy precisas. Todas ellas reciben continuamente las señales GPS con receptores de 2 frecuencias y provistos de osciladores de cesio, también se registran, de forma precisa, otra serie de parámetros como presión y temperatura que afectan de manera muy importante a la propagación de la información que se recibe de los satélites.



Hay 3 estaciones de carga

- Están situadas en Diego García, Isla Ascensión, Kwajalein
- Transmiten datos (mensaje de navegación) y reciben las señales que los satélites envían a estas estaciones.
- Se emplea la banda S
  - Canal ascendente: 1783.74MHz
  - Canal descendente: 2227.5 MHz

Además, hay 5 estaciones monitoras

- Se encuentran en Hawái y Colorado Spring.
- Controlan el estado y posición de los satélites.
- Reciben las señales transmitidas por los satélites y a partir de ellas obtienen información para poder calcular las efemérides de los satélites. Esta información es transmitida a la estación maestra de control que es la encargada de calcular las efemérides y obtener así la posición de los satélites con una posición muy buena.

La elección de la ubicación de las cinco estaciones oficiales de seguimiento no es casual, sino que se ha buscado que estén regularmente espaciadas en longitud. Además, las estaciones tienen unas coordenadas muy precisas. Las estaciones reciben continuamente las señales de los satélites, que emiten en dos frecuencias, mientras estén sobre el horizonte, obteniendo la información necesaria para establecer la órbita de los satélites con alta precisión. Los datos obtenidos por las estaciones se envían al **CSOC**, donde son procesados para calcular las efemérides, los estados de los relojes y toda la información a transmitir a los satélites y que estos almacenarán en su memoria.

La transmisión a los satélites de la información mencionada puede ser transmitida por las estaciones de Ascensión, Diego García y Kwajalein. Además, estas estaciones

tienen capacidad para enviar correcciones de reloj, comandos de telemetría y otros mensajes. Por motivos de seguridad esta transmisión se realiza tres veces al día. Sin embargo, es función exclusiva de la **CSOC** la activación de los sistemas de maniobra de los satélites para hacer modificaciones orbitales.

Las efemérides que se emplean para los satélites GPS en cualquier otra parte que no sea una de las estaciones se basan en la extrapolación de las observaciones de las estaciones. Esta extrapolación de las efemérides produce una indeterminación residual mayor en el cálculo de la posición, ya que la precisión alcanzable depende de la exactitud de las efemérides de los satélites.

Peter H. Dana 5/27/95

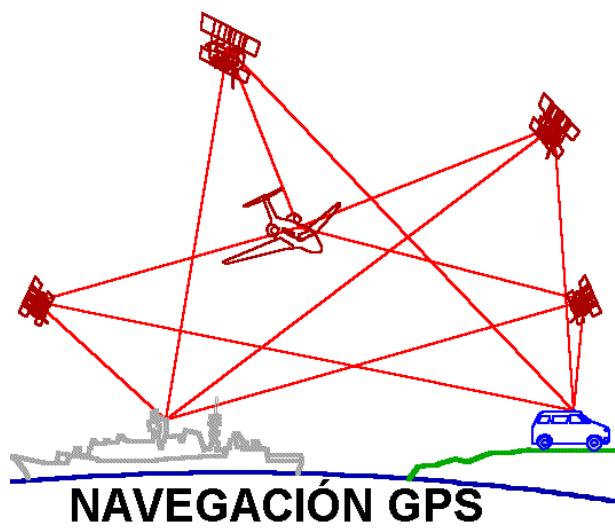


Global Positioning System (GPS) Master Control and Monitor Station Network

#### 4.3 Segmento Utilitario

Está formado por todos los equipos utilizados para la recepción de las señales emitidas por los satélites, así como por el software necesario para la comunicación del receptor con el ordenador y el procesado posterior de la información para la obtención de los resultados.

Podemos considerar el "equipo GPS" compuesto por tres unidades principales: el receptor propiamente dicho, la antena y los accesorios.



#### Antena

La antena es el elemento al cual viene siempre referido nuestro posicionamiento, está conectada a través de un preamplificador al receptor, directamente o mediante cable. La misión de la antena es la de convertir la energía electromagnética que recibe en corriente eléctrica que a su vez pasa al receptor.

La corriente eléctrica inducida en nuestra antena por las señales radiadas, recibidas, posee toda la información modulada sobre ellas.

El receptor GPS realiza el posicionamiento del centro radioeléctrico de la antena, que no coincide normalmente con el centro físico del receptor, con lo que se producirá un leve error de posicionamiento. Los fabricantes de receptores especifican una posición adecuada de medición para el aparato, minimizándose el error cometido (antenna phase center ambiguity).

Todas las antenas de los receptores evitan el efecto "multipath" de la reflexión en el suelo mediante la adición de un plano de tierra. Cuanto mayor sea el plano de tierra mayor será la protección de la antena ante reflexiones indeseadas, consigiéndose así unas medidas con mejor precisión.

---

**La antena es de cobertura hemisférica omnidireccional**, para poder captar con la misma sensibilidad las señales que provengan desde el céntro hasta el horizonte. Puede ser de muchas formas y materiales, dependiendo de las aplicaciones y del costo del receptor, las cuales pueden ser: monopolo, dipolo, dipolo curvado, cónico-espíral, helicoidal o microstrip.

#### Ejemplo de antenas receptoras



En la parte inferior de la antena se conecta el cable a la salida de un **preamplificador**. Éste es necesario para evitar que la señal recibida se atenúe antes de llegar al receptor y no pueda ser leída.

---

El preamplificador debe amplificar sólo las frecuencias que se desean recibir, mientras que el resto sufren la atenuación del cable sin haber sido amplificadas. El preamplificador se alimenta habitualmente con corriente procedente del receptor por el cable de la antena. Las especificaciones de potencia del preamplificador van a depender de la ubicación del receptor y de la antena. El cable y los circuitos del receptor introducen un retardo en la medición del tiempo. Este retardo se engloba dentro del estado del reloj.

## Receptor

### Etapa receptora

En la antena se ha de generar tantas señales como satélites por canal se estén recibiendo. Por ejemplo: un receptor de 12 canales con doble frecuencia recibe 16 señales si sigue a 8 satélites, y podría admitir 24 señales si hubiera 12 satélites en seguimiento. Cada señal necesita un canal o dispositivo electrónico que la procese con independencia del resto, tras ser separada y aislada por el receptor.

Las señales GPS se transmiten empleando la técnica del espectro ensanchado que protege contra interferencias y es favorable a la transmisión. Así pues la amplitud de la señal que llega a la antena es estable lo que ahorra la existencia de una etapa de control automático de ganancia (C.A.G.).

El receptor G.P.S. es del tipo **heterodino**, basado en la mezcla de frecuencias que permite pasar de la frecuencia recibida en la antena a una baja frecuencia que podrá ser manejada por la electrónica del receptor. La mezcla de frecuencias se realiza con la ayuda de un **oscilador** local que genera una señal senoidal pura.

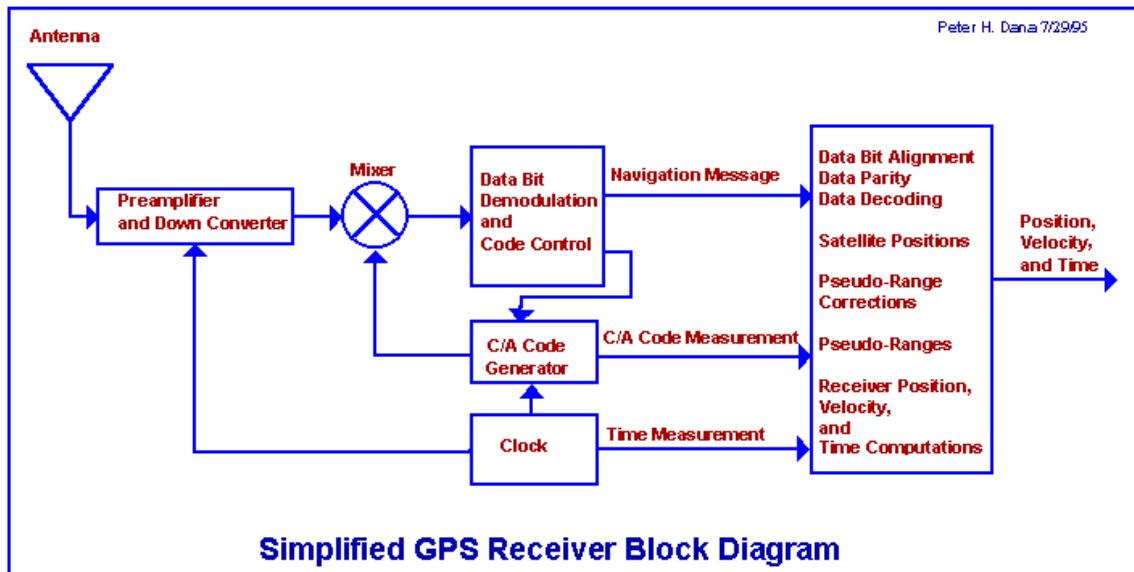
Tabla I. Características de las constelaciones NAVSTAR y GLONASS

Característica	NAVSTAR GPS	GLONASS
Compañía Impulsora Systems Ltd)	Departamento de Defensa de EUA (NAVSTAR	Gobierno Ruso Número de satélites 24 en 6 planos orbitales
Tipo de órbita	Media (20,200 km); inclinación 63° Período de 12 hrs.	Media (19,200 km) 6 planos orbitales; Inclinación 64.8° Período de 11 hrs 15 min.
Frecuencias	Banda L (L1=1.57542, L2=1.2276 GHz)	Banda L (L1=1.609 GHz, L2=1.251 GHz)
Método de acceso	CDMA (Espectro Esparcido)	CDMA (Espectro Esparcido)
Vida útil aprox.	7.5 años	7.5 años

## Estructura general del equipo de usuario

- Antena:  
LNA, para no degradar la sensibilidad
- Receptor:  
Traslada la señal a una frecuencia intermedia.  
De modula y decodifica el mensaje de navegación

- Microprocesador:  
Calcula la posición.  
Controla todos los procesos que debe realizar el receptor.
- Unidad de Control:  
Permite la comunicación entre el usuario y el microprocesador, por ejemplo para elegir el tipo de presentación, introducir la posición inicial aproximada.
- Almacenamiento de datos:  
Rutas, posiciones.
- Presentación
- Teclado



## **CAPITULO 5**

### **5. TIPOS DE RECEPTORES**

Existen los siguientes tipos de receptores GPS:

- Receptor Secuencial
- Receptor Continuo o Multicanal
- Receptor con Canales Multiplexados

### **5.1 Receptor Secuencial**

Este tipo de receptor sólo cuenta con un canal.

Sigue secuencialmente los diferentes satélites visibles.

El receptor permanece sincronizado con cada uno de los satélites al menos 1 segundo, durante este tiempo adquiere la señal y calcula el retardo temporal.

Extrae el retardo de sólo 4 satélites y a partir de estos calcula la posición. Los satélites que elige son aquellos que tienen mejor SNR.

Estos receptores se caracterizan por ser:

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

## **5.2 Receptor Continuo o Multicanal**

En este caso estos receptores disponen de al menos 4 canales.

A cada canal se le asigna el código de 1 satélite para que se sincronice con él y adquiera el retardo con ese satélite.

Se miden los retardos simultáneamente.

Son más rápidos que los secuenciales a la hora de calcular la posición.

Su precisión también es mejor que en el modelo anterior.

Están recomendados para aplicaciones de gran dinámica (aeronaves).

## **5.3 Receptor con Canales Multiplexados**

Tienen 1 único canal físico (hardware).

Tienen 4 o más bucles de seguimiento (software).

De este modo se debe de hacer un muestreo de todos los satélites visibles en un tiempo inferior a 20 ms, pues así se podrá obtener la información recibida de todos los satélites visibles ( $T_{bit}=20ms$ ).

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

## **CAPITULO 6**

### **6. OBTENCION DE LA INFORMACIÓN.**

Una vez estacionados en el punto requerido y con el equipo completo en funcionamiento, el receptor puede ofrecer al operador, a través de la pantalla y con ayuda del teclado, una gran cantidad de información sobre la observación que estamos realizando, tal como:

- \* Número y nombre de los satélites localizados.
- \* Satélites en seguimiento.
- \* Acimut de cada satélite en seguimiento.
- \* Elevación de cada satélite en seguimiento.
- \* Nuestra posición aproximada actual. (Longitud, latitud y altitud).
- \* Dirección y velocidad del movimiento, para navegación.
- \* Bondad de la geometría de observación.
- \* Bondad de la medida que puede hacerse sobre cada satélite.
- \* Edad o antigüedad de la información ofrecida.
- \* Progreso de la observación: satélites que se pierden y captan, y número de observaciones realizadas a cada uno.
- \* Nombre y número de la sesión que damos a la estación de observación, así como la identificación del operador y notas varias.
- \* Registros meteorológicos y datos locales introducidos.
- \* Estado de la fuente de alimentación.

## **CAPITULO 7**

### **7. TIPOS DE SERVICIOS DE NAVSTAR GPS**

## 7.1 SPS (Standard Positioning Service)

Conocido como Servicio Estándar de Localización (**SPS, Standard Positioning Service**), que es un servicio de determinación de la posición y tiempo que está disponible a todos los usuarios, las veinticuatro horas del día y sin cargo directo. Intencionalmente la defensa americana introduce un error para que la exactitud de este servicio no sea muy buena. SPS provee una probabilidad de error predecible de 100 metros horizontalmente y de 156 metros verticalmente y con 340 nanosegundos en tiempo.

- La precisión estimada del SPS es de 100 metros en el plano horizontal, 156 metros en el eje vertical y 340 nanosegundos de precisión temporal.
- Estas precisiones derivan del plan federal de radio navegación de 1994. Las predicciones se cumplen en un 95% de los casos y expresan el valor de dos desviaciones el error radial desde la posición real de la antena hacia una serie de estimaciones de posición resultantes del ángulo de elevación de los satélites (5 grados) y las llamadas condiciones PDOP (Position Dilution of Precision, menos de 6).
- Para precisión horizontal, una figura de un 95% equivale 2 drms (distancia RMS) o dos veces el error de desviación radial. Para vertical y errores temporales, el 95% es el valor de dos desviaciones estándar de error vertical o temporal.

- Los fabricantes de receptores suelen utilizar otras medidas de precisión. El error RMS es el valor de una desviación típica (68%) del error en una, dos o tres dimensiones. El error circular probable (CEP) es el valor del radio de un círculo centrado en la posición real que contiene un 50% de las posiciones estimadas. El error esférico probable (SEP) es el equivalente esférico del CEP, es decir, el radio de una esfera centrada en la posición real que contiene el 50% de las estimaciones de posición en tres dimensiones. Al contrario que 2drms, drms o RMS, CEP y SEP no se ven afectadas por grandes errores espurios haciendo de ellos unas medidas de precisión bastante optimistas.
- Algunas tablas de características de receptores de GPS expresan la precisión horizontal en RMS o CEP sin tener en cuenta la Disponibilidad Selectiva haciendo parecer sus receptores como más precisos que los de otros fabricantes más conservadores con sus medidas.

## 7.2 PPS (Precise Positioning Service)

El Servicio Preciso de Localización (**PPS, Precise Positioning Service**) es un servicio que determina la posición y tiempo con alta precisión, utilizado para usos militares y para otros usos del Gobierno de los Estados Unidos. Para usos civiles que no son del Gobierno Federal, ya sean domésticos y extranjeros pueden ser considerados solicitando un permiso especial. Este servicio provee una precisión predecible de 22 metros horizontalmente y 27.7 metros verticalmente y 200 nanosegundos en tiempo. Este servicio no está disponible a los usuarios civiles, ya que los mensajes están encriptados.

## **CAPITULO 8**

### **8. FUENTES DE ERROR.**

Una vez en proceso de toma de datos y con posterioridad a la visualización de la información que nos muestra el receptor, también hemos de controlar una serie de parámetros que van a condicionar de gran manera las precisiones que podamos obtener:

## **8.1 Tiempo**

Dada la información que nos llega de los satélites, esta nos indica el tiempo exacto en el que empezaron a emitir su mensaje codificado, y que los receptores miden, así como, el tiempo exacto en el que recibieron cada señal.

Adicionalmente podremos calcular una medida de distancia entre el receptor y el satélite, conociendo la velocidad de propagación de la onda y el tiempo transcurrido desde que se emitió la señal hasta que fue recibida. El problema surgirá cuando los relojes del satélite y el receptor no marquen el mismo tiempo, de tal manera que un microsegundo de desfase se traduce en un error de 300 metros en la medición de la distancia.

## **8.2 Ionomosfera.**

La ionosfera es la región de la atmósfera que se sitúa entre 50 y 1000 Km aproximadamente sobre la superficie de la tierra. Posee la particularidad de que los rayos ultravioletas procedentes del sol ionizan las moléculas de gas que allí se encuentran liberando electrones, produciendo de esta forma una dispersión no lineal en las ondas electromagnéticas enviadas por los satélites, de manera que cada onda baja la velocidad en un ritmo inversamente proporcional al cuadrado de su frecuencia.

La manera utilizada para eliminar esta fuente de error es comparando la información que recibimos, con 2 receptores lo suficientemente próximos entre sí afectando dicha perturbación a los dos por igual y pudiéndola despreciar.

### **8.3 Troposfera.**

Estos errores se cometen cuando se produce una refracción de las ondas según las distintas condiciones meteorológicas de temperatura, presión y humedad relativa del aire que encuentre a su paso.

Para eliminar dichos errores se aplican diversos modelos troposféricos ya establecidos.

### **8.4. Efemérides.**

Las efemérides de los satélites se pueden leer en cada uno de los mensajes de navegación de cada satélite de la constelación. Dicha lectura, se realiza en las estaciones del segmento de control.

En ellas viene incluida una extensa información entre la que cabe destacar:

- \* Influencia que sobre el satélite tiene el campo magnético terrestre.
- \* Parámetros sobre la presión de la radiación solar.
- \* Posibles fallos de los relojes atómicos.
- \* Operatividad de cada uno de los satélites.
- \* Posición estimada para cada uno de los satélites dentro de la constelación global, etc.

Los errores generados por las efemérides tienen un efecto relativamente pequeño, fácilmente recuperable.

### 8.5 Efecto Multicamino.

Se produce cuando la onda sufre desviaciones, reflexiones, choques contra objetos de alta reflexión en su camino hacia la antena.

Para reducir este efecto se requiere disponer de antenas con planos de tierra y sobre todo poner un especial cuidado en el emplazamiento de la misma.

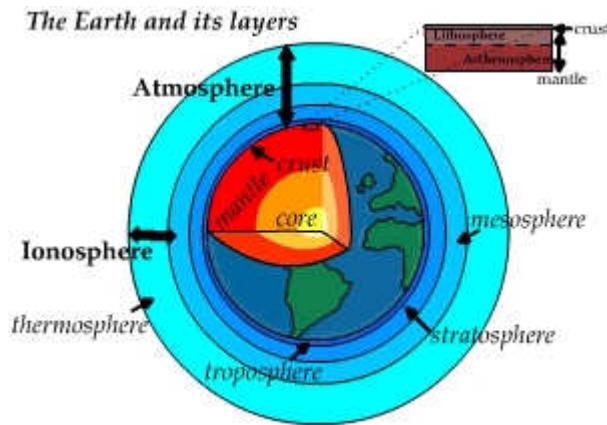


Fig. La tierra y sus capas.

### 8.6 Geometría de la Observación.

Existen tres factores principales que condicionarán la precisión definitiva con la que observemos un punto con GPS:

- A) CONFIGURACION GEOMETRICA DE LOS SATELITES (DOP).
- B) OBSERVABLE CONSIDERADO (pseudodistancias o fase portadora).
- C) GRADO DE INCERTIDUMBRE EN LA POSICION (englobando todas las fuentes de error vistas hasta el momento).

Vamos a ocuparnos del apartado A) o factor DOP (Dilution Of Precision), se trata del efecto de la configuración geométrica de los satélites, que es el radio entre la incertidumbre de precisión y la incertidumbre en distancia.

Existen diferentes DOP's dependiendo de la posición que se esté tratando en cada momento, los más comunes son:

- \* VDOP, Incertidumbre en altura (vertical).
- \* HDOP, Incertidumbre 2D (horizontal).
- \* PDOP, Incertidumbre 3D.
- \* TDOP, Incertidumbre en tiempo.
- \* HTDOP, Incertidumbre en horizontal y de tiempo.
- \* GDOP, Incertidumbre 3D y de tiempo.

Utilizaremos el valor de GDOP como criterio más importante para poder realizar la observación con la geometría más favorable.

## 8.7 Resumen de las fuentes de error del sistema GPS

Errores típicos, en Metros (Por cada satélite)

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

## **CAPITULO 9**

### **9. ESTRUCTURA DE LAS SEÑALES TRANSMITIDAS**

En ésta sección veremos cómo las señales son transmitidas desde los satélites hacia los usuarios para que estos puedan determinar su posición.

### 9.1 Códigos Pseudo Aleatorios

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. Es decir, una señal que contiene una sucesión muy complicada de pulsos "on" y "off", como se pueden ver:



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

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

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

El Código Pseudo 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 Pseudo Aleatorio, una razón que es crucial para conseguir un sistema GPS económico.

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

Cuando comenzamos a explicar el mecanismo de emisión de las señales por el GPS y el satélite, asumimos que ambos comienzan la emisión de la señal exactamente al mismo tiempo.

¿Pero cómo podemos asegurarnos que todo esté perfectamente sincronizado?

Para contestar la pregunta anterior el sistema NAVSTAR-GPS emplea dos tipos de códigos:

- Código C/A (Clear/Adquisition): Empleado para navegación de baja precisión (uso civil).

- Código P: Empleado para navegación de alta precisión.

Cada satélite va provisto de un reloj-oscilador que provee una frecuencia fundamental de 10.23 MHz, sobre la que se estructura todo el conjunto de la señal radiodifundida por el satélite.

El satélite emite información sobre dos portadoras, la primera es el resultado de multiplicar la fundamental por 154 (1575.42 MHz) y se denomina L1. La segunda, utiliza un factor de 120 (1227.60 MHz) y se denomina L2.

El término "L" viene determinado porque los valores usados están en la banda L de radiofrecuencias que abarca desde 1 GHz a 2 GHz (1000 a 2000 MHz).

La fuente de poder utiliza las 2 frecuencias, para determinar por comparación de sus retardos diferentes, el retardo ionosférico, difícilmente predecible por otros sistemas.

Sobre estas dos portadoras se envía una información modulada compuesta por dos códigos y un mensaje, generados también a partir de la frecuencia fundamental correspondiente.

El código C/A es una moduladora con la frecuencia fundamental dividida por 10, es decir, de 1,023 MHz

El código P modula directamente con la frecuencia fundamental de 10,23 MHz y por último el mensaje se envía con una baja frecuencia moduladora de 50 Hz

Los códigos consisten en una secuencia de dígitos binarios o bits (ceros y unos).

La modulación de las portadoras con estos códigos genera un ruido electrónico que, en principio, no sigue ninguna ley y parece aleatorio, pero en realidad sus secuencias están establecidas mediante unos desarrollos polinómicos, este fenómeno se conoce con el término ruido seudo-aleatorio (Pseudo Random Noise, PRN).

Este fenómeno tiene la característica de que puede aplicar un proceso de correlación, con una réplica generada por otro instrumento.

Cada uno de estos códigos posee una configuración particular en cada uno de los satélites y constituye el denominado PRN característico, con el que se identifica a los satélites en el sistema GPS.

Sobre la L1 se suelen modular los dos códigos vistos, el C/A y el P, además del mensaje correspondiente. En la L2 sólo se modula el mensaje y el código P.

El sistema que se utiliza en GPS para modular los códigos binarios se denomina Modulación Binaria por Cambio de Fase o modulación binaria bifase.

El mensaje modulado sobre ambas portadoras tiene una duración de 12 minutos y 30 segundos, debido principalmente a su longitud y su baja velocidad de transmisión. La información que contiene viene referida a:

- \* Precisión y estado del satélite (salud, en terminología GPS), ya que los satélites pueden encontrarse "sanos" o "enfermos" (inoperantes).
- \* Antigüedad de la información y de las efemérides radiodifundidas.
- \* Almanaque y el estado de los relojes.

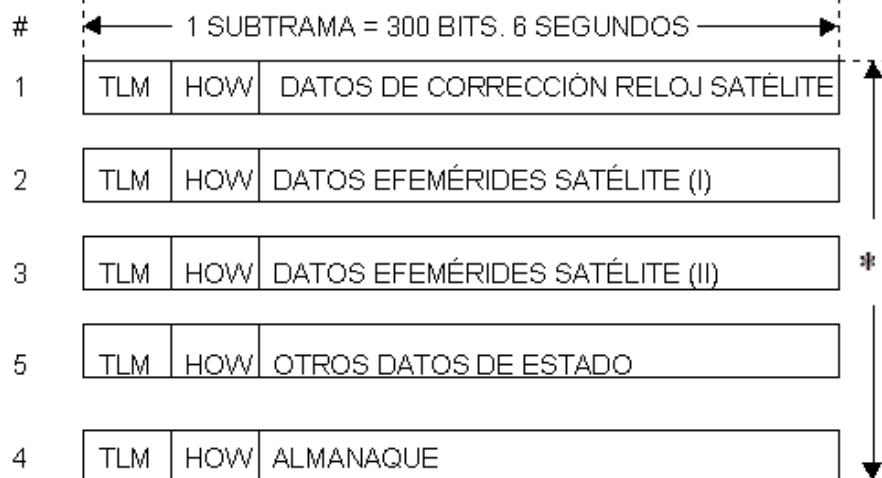
- \* Un modelo ionosférico, para el cálculo de los retardos.
- \* Información UTC (tiempo-hora universal).
- \* Dos claves: - TLM, de telemetría, por si la órbita del satélite sufre alguna manipulación desde tierra.
- \* HOW, que da acceso, para los usuarios autorizados, al código P.

## **CAPITULO 10**

### **10. LOS DATOS DEL GPS**

## 10.1 Trama de Datos

El mensaje de navegación del GPS consiste en unas tramas temporizadas de datos que marcan el tiempo de transmisión de cada sub parte del mensaje en el momento en que son transmitidas por el satélite. Una trama de datos ocupa 1500 bits divididos en sub partes de 300 bits. Las tramas se transmiten cada 30 segundos (50 bit/s). Tres sub partes de 6 segundos contienen datos orbitales y temporales. Las correcciones del reloj son transmitidas en la primera sub parte y en la segunda y tercera, se transmiten datos de información orbital (efemérides). La cuarta sub parte contiene información del estado del satélite y otros parámetros de navegación, y la quinta se usa para transmitir el almanaque de un satélite. Cada 12 minutos y medio se retransmite toda la información completando 25 tramas completas.

**SUBTRAMA**

Una trama = 1500 bits. 30 segundos

TLM: TELEMETRIA, 30 BITS (8 de sincronización, 16 datos y 6 de paridad)  
 HOW: **HANDOVER WORD**, 30 BITS (17 de hora semanal, 7 datos y 6 de paridad)

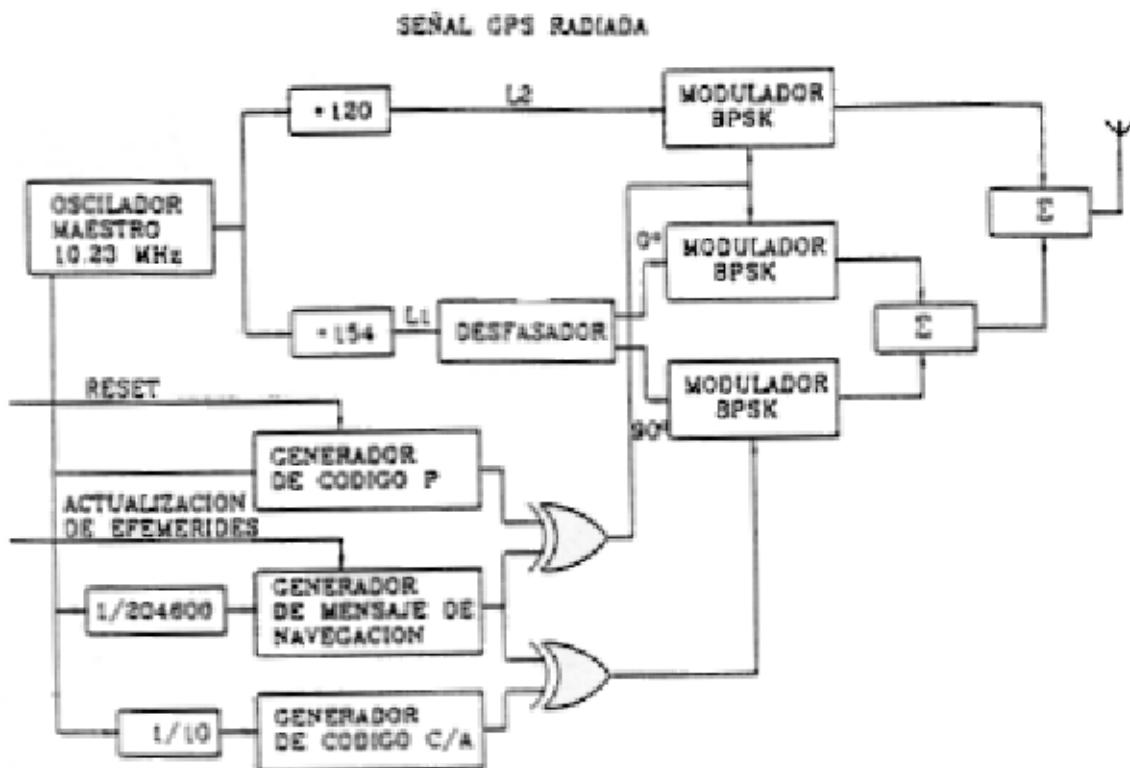
Formato de datos de GPS

Los parámetros de reloj describen la relación entre el reloj de satélite y del sistema GPS. Los datos de efemérides definen de forma muy precisa la posición de un satélite en un instante dado (18 parámetros acerca de la órbita del satélite). Normalmente, los receptores renuevan su información de efemérides cada hora, pero pueden utilizar los datos de efemérides hasta 4 horas sin demasiado error. Los parámetros de efemérides se utilizan con un algoritmo que calcula la posición del satélite para cada instante dentro de la porción de órbita descrita en el conjunto de datos de efemérides.

EL almanaque es un conjunto de parámetros orbitales aproximados de todos los satélites. Los diez parámetros describen la órbita de cada satélite para largos períodos de tiempo (pueden ser utilizados durante varios meses en la mayoría de los casos). Son enviados por cada satélite cada 12 minutos y medio (25 tramas de datos) como mínimo. El tiempo de adquisición de señal en el arranque de un receptor GPS puede ser mejorado significativamente si dispone del almanaque actualizado.

Los datos de aproximación orbital se usan para ajustar en el receptor la posición aproximada del satélite y la frecuencia Doppler de la portadora (desplazamiento de frecuencia causada por el movimiento del satélite) en cada satélite de la constelación.

Cada conjunto de datos de satélite completo incluye un modelo ionosférico que se usa en el receptor para aproximar el retardo de fase por la ionosfera en cada punto e instante. También se envía la desviación del reloj del sistema GPS respecto al UTC (universal time coordinated), esta corrección se usa en el receptor para fijar la hora UTC con un error menor de 100 ns. Otros parámetros y banderas de estado se envían para informar detalles del sistema.



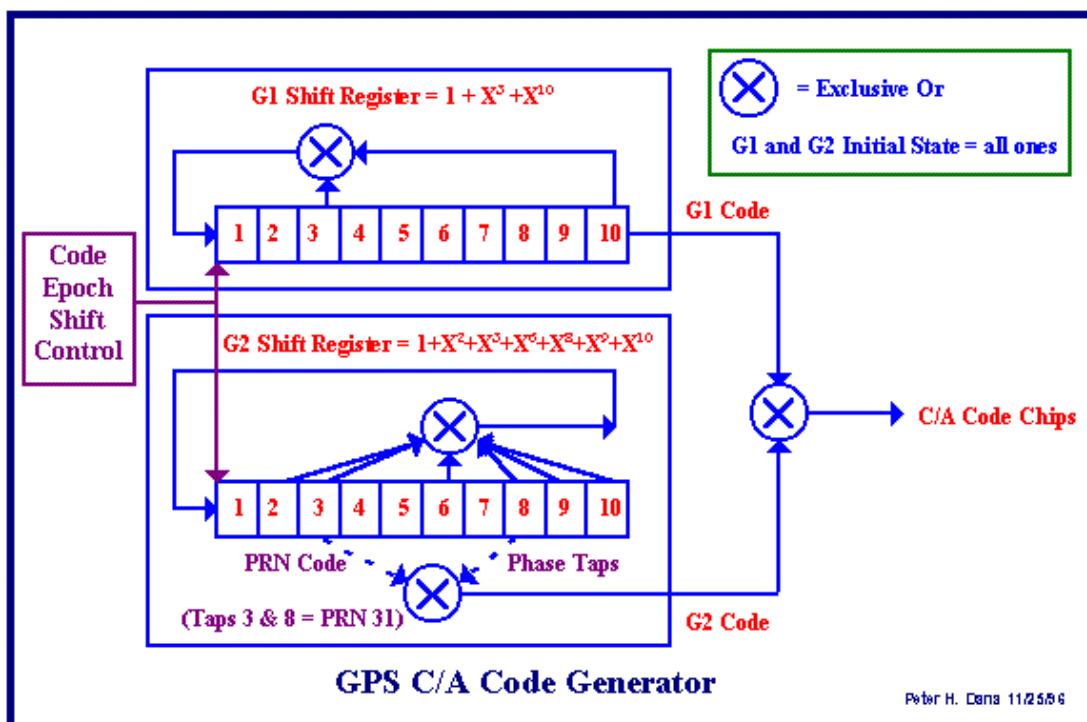
## **CAPITULO 11**

### **11. POSICION Y HORA DE GPS**

## 11.1 Sincronización de fase de código (navegación)

El receptor de GPS produce réplicas de los códigos C/A y/o P. Cada código de ruido pseudoaleatorio (PRN) tiene la apariencia de simple ruido pero como se ha visto anteriormente representa una serie única de bits.

El receptor produce una secuencia C/A para un satélite específico con un generador interno de código C/A, los receptores modernos almacenan en memoria un conjunto completo de secuencias C/A previamente calculadas, aunque también se puede utilizar un sistema hardware de registros de desplazamiento.



El generador de código produce una secuencia de 1023 chips diferente para cada selección de muestreo de fase (Phase Taps Setting). En una implementación por registros de desplazamientos los chips de código se generan cada impulso del reloj que controla los registros de desplazamiento. En un modelo mantenido en memoria los chips son recuperados directamente de esta. El generador de código C/A repite la misma secuencia de 1023 chips de código pseudoaleatorio cada milisegundo. Se han definido códigos pseudoaleatorios para 32 números de identificación de satélite.

Partiendo de una misma combinación inicial con G1 y G2 todo a unos, cambiar la selección de muestreo de fase (Phase Tags) produce la secuencia pseudoaleatoria C/A en la salida al pasar por las puertas XOR y los registros de desplazamiento

El receptor va desplazando una copia de código hasta que hay correlación con el código del satélite. Si el receptor aplica un código PRN distinto del de un satélite no habrá correlación.

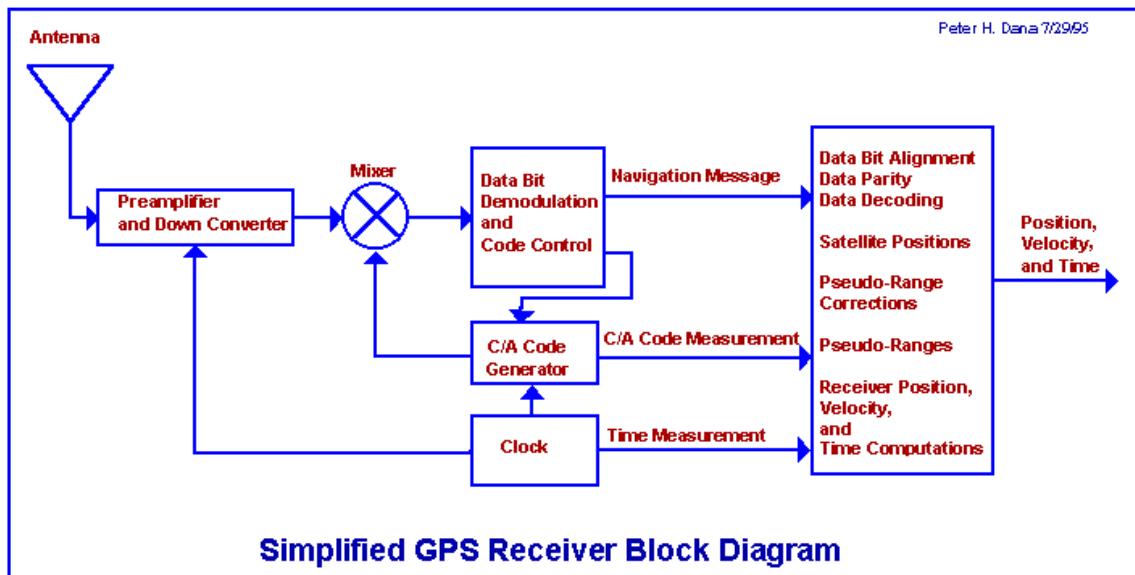
Cuando el receptor utiliza el mismo código que el del satélite el código empieza a correlacionarse y comienza a detectar algo de nivel de señal.

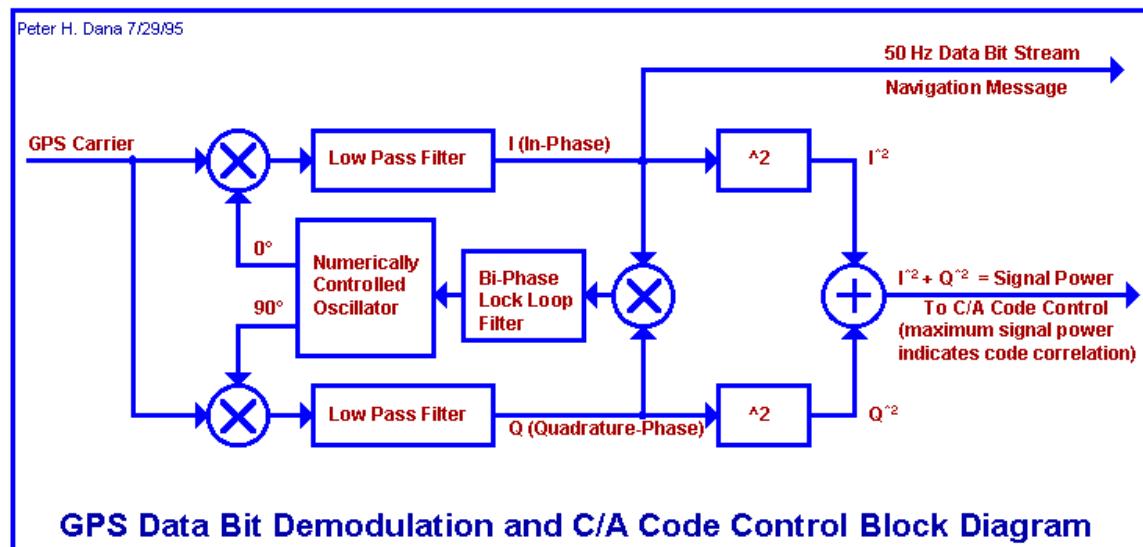
A medida que los códigos del satélite y del receptor comienzan a alinearse completamente, la señal portadora de espectro expandido, comienza a “des expandirse” y se detecta la señal a plena potencia.

El receptor de GPS utiliza la potencia detectada en la señal correlacionada para alinear el código C/A del receptor con el del satélite. A menudo, son comparadas dos versiones de código C/A para asegurarse de mantener el sincronismo.

Para demodular el mensaje de 50 Hz de navegación de la señal GPS se utiliza un PLL (Phase Locked Loop) que permita controlar medio ciclo tanto positivo como negativo (biPLL). El mismo PLL puede ser usado para medir, sincronizar la frecuencia portadora (el desplazamiento por efecto Doppler) y monitorear los cambios del oscilador controlado numéricamente. La fase y frecuencia de la señal portadora pueden ser sincronizadas y medidas.

El comienzo del código PRN en el receptor en el momento de completa correlación coincide con el instante de llegada (TOA Time Of Arrival) de la señal PRN del satélite al receptor. Este instante de llegada es una medida de la desviación del reloj del receptor respecto del reloj del satélite, a esta medida se le denomina pseudo-rango.





## 11.2 Navegación por Pseudo-Rangos

La posición del receptor es la intersección de los pseudo-rangos de un conjunto de satélites. La posición es determinada mediante la medida de múltiples pseudo-rangos en un instante determinado. Las medidas de pseudo-rango se utilizan conjuntamente con la posición estimada de los satélites basándose en los datos de corrección orbital (efemérides) que cada satélite envía. Estos datos orbitales permiten al receptor calcular la posición del satélite en tres dimensiones en el instante en que cada satélite envía sus respectivas señales.

Se utilizan cuatro satélites para determinar una posición en tres dimensiones y tiempo (modo de navegación normal). Las posiciones son calculadas en el receptor con origen en el centro de la tierra, este sistema de coordenadas se conoce como coordenadas ECEF XYZ (Earth-Centered, Earth Fixed XYZ)

Mediante el uso de los datos de tiempo, se puede corregir el ajuste del reloj del receptor, permitiendo a los fabricantes el uso de relojes económicos.

La posición de cada satélite es calculada a partir de los pseudo-rangos, la corrección de reloj y los datos de efemérides.

La posición del receptor es calculada a partir de la posición de los satélites, la medida de los pseudo-rangos (corregidos con los ajustes de reloj, retrasos ionosféricos, y efectos relativistas) y la posición estimada del receptor (normalmente la última calculada).

También pueden usarse tres satélites para determinar una posición de tres dimensiones mediante un receptor con un reloj altamente preciso. En la práctica esto es raramente posible y se utilizan tres satélites para el cálculo de posiciones en dos dimensiones, los cálculos horizontales (en latitud/longitud) parten de una altura asumida. Esto es a menudo posible a nivel del mar o mediante el uso de altímetros.

Con cinco o más satélites se pueden calcular posición y tiempo redundantes. De esta manera, se pueden obtener estimaciones de posición con mayor certeza y se pueden detectar señales con tolerancia desbordada bajo ciertas circunstancias.

### **11.2.1 Posición, velocidad y hora del receptor**

La posición en formato ECEF XYZ es convertida en latitud, longitud y altura geodésicas en el receptor.

La latitud y longitud son generalmente calculadas basándose en el Datum geodésico WGS84 en que el GPS se basa. Los receptores también pueden ser configurados para calcular la posición mediante un Datum requerido por el usuario. Si se utiliza un Datum erróneo pueden producirse errores de unos cientos de metros.

La velocidad es calculada a partir de cambios de posición en el tiempo, el efecto Doppler de las señales de los satélites o ambos.

Los tiempos calculados son de los satélites, del receptor y UTM.

El tiempo de satélite es mantenido en cada satélite, cada uno incorpora cuatro relojes atómicos (dos de cesio y dos de rubidio). Los relojes de los satélites son monitorizados por las estaciones de tierra que en ocasiones los reajusta para mantener el error de cada reloj de los satélites dentro de 1 milisegundo del tiempo de GPS. Los bits de datos de corrección de reloj representan el desfase de los relojes de cada satélite respecto del tiempo de GPS.

El tiempo de satélite es obtenido de la señal de GPS en los receptores. Las tramas de datos llegan cada 6 segundos y contienen información para calcular el tiempo semanal en los siguientes 6 segundos. La secuencia de datos de 50 Hz se alinea con las transiciones de código C/A de forma que el momento de llegada de un flanco de un bit de datos (en un intervalo de 20 milisegundos) resuelve el pseudo-rango al milisegundo más cercano.

La distancia aproximada al satélite soluciona la ambigüedad de 20 milisegundos y la medida del código C/A representa el tiempo en fracciones de 20 milisegundos. Con varios satélites y una solución de navegación (o una posición conocida para un receptor de tiempo) se puede conseguir ajustar la hora del satélite con una precisión limitada por el error de posición y el error de pseudo-rango para cada satélite. Finalmente el tiempo de satélite es convertido a tiempo de GPS en el receptor.

EL tiempo de GPS es un cálculo sobre el papel del reloj de la estación de control maestra y de los relojes de los satélites. El tiempo de GPS es medido en semanas y segundos partiendo de las 24:00:00 horas del 5 de enero de 1980 y es mantenido dentro de un microsegundo de UTC. EL tiempo de GPS no tiene saltos y va adelantado algunos segundos respecto al UTC.

La hora en coordenada universal (UTC Universal Coordinated Time) es calculada a partir del tiempo de GPS usando las correcciones UTC que se envían como parte de los datos del mensaje de navegación. En la transición de la 23:59:59 del 31 de diciembre de 1998 a las 00:00:00 del 1 de enero de 1999 (UTC) el tiempo UTC se retrasó un segundo respecto del de GPS, de forma que el tiempo de GPS quedó adelantado 13 segundos respecto al de UTC.

### **11.2.2 Seguimiento de fase de portadora (vigilancia)**

El seguimiento de fase de las portadoras de las señales de GPS ha revolucionado la vigilancia de la superficie terrestre. No es necesaria disponer de visual a lo largo de la superficie para un posicionamiento preciso. La posición puede ser medida hasta una distancia de 30 Km desde un punto de referencia sin necesidad de puntos intermedios.

Este uso del GPS requiere receptores equipados con seguimiento de portadora especiales. Las portadoras L1 y/o L2 son usadas en este tipo de vigilancia. La portadora L1 tiene una longitud de onda de 18 centímetros. Si seguimos y medimos esta portadora puede proporcionar rangos de medida con precisión relativa en torno a milímetros trabajando bajo condiciones especiales.

El seguimiento de portadora imposibilita la transmisión de información. Las señales, aunque son demoduladas con códigos binarios de tiempo, no incluyen información que puedan distinguir unos ciclos de otros. Las medidas usadas en seguimiento de fase son diferencias en ciclos de portadora y pequeñas fracciones de ciclo en el tiempo. Al menos dos receptores siguen las portadoras al mismo tiempo. El retraso ionosférico en ambos receptores debe ser lo suficientemente pequeño para asegurar que los ciclos de portadora son contados correctamente. Esto normalmente requiere que ambos receptores se encuentren a una distancia máxima de unos 30 Km. La fase de la portadora es seguida en ambos receptores y los cambios en la fase son registrados a lo largo del tiempo en ambos receptores.

Los seguimientos de fase de portadora son siempre diferenciales, por lo que se requiere que tanto el receptor remoto como el de referencia sigan las fases a la vez.

A menos que los receptores remotos utilicen las portadoras L1 y L2 para cuantificar el retraso ionosférica, ambos receptores deben encontrarse lo suficientemente próximos como para asegurar que este retardo es menor que la longitud de onda de la portadora.

Usando las medidas sobre L1 y L2, y observaciones durante periodos de tiempo prolongados, se pueden obtener posiciones relativas de puntos fijos sobre distancias de cientos de kilómetros. Los cambios de diferencia de fase en los dos receptores son reducidos mediante el uso de programas que determinen la posición en tres dimensiones entre la estación de referencia y el receptor remoto, de esta forma se pueden obtener medidas de alta precisión (por debajo del centímetro).

Los problemas aparecen por la dificultad de seguir las señales con ruido o cuando los receptores se mueven. Dos receptores y un satélite proporcionan resultados en diferencia simple. Si se usan dos satélites se obtiene diferencia doble. El procesado de los registros de seguimiento de fase puede proporcionar posicionamiento de 1 a 5 centímetros con distancias de 30 kilómetros y periodos de medida de entre 15 minutos (para 10 Km) y una hora (30 Km).

Para una medición más rápida, se pueden conseguir precisiones de 4 a 10 cm en mediciones de 15 minutos si la distancia entre las dos unidades es de un kilómetro.

Con el empleo de Kinemática en tiempo real se pueden conseguir medidas en unidades de centímetros en tiempo real con distancias de 10 kilómetros, mediante seguimiento de cinco o más satélites y enlaces a tiempo real entre la estación de referencia y los receptores.

## **CAPITULO 12**

### **12. SISTEMAS DE MEDIDA.**

El GPS es un sistema que permite hacer posicionamientos por medición o variación de distancias, entre las antenas emisoras de los satélites y la receptora del equipo. Existen dos posibilidades principales de funcionamiento, mediante Pseudodistancias o por medidas de fase.

## 12.1 PSEUDODISTANCIA.

El método de Pseudodistancias es propio de la técnica GPS. Se trata de una auténtica trilateración tridimensional, que sitúa a la estación de observación, en la intersección de las esferas con centro en el satélite y radio correspondiente a la distancia entre las antenas de los satélites y el receptor, medida por éste.

La pseudodistancia se podría definir como el desplazamiento temporal necesario para la correlación de una réplica del código GPS, generado en el receptor, con la señal procedente del satélite y multiplicado por la velocidad de la luz. Por tanto, el observable es un tiempo.

El satélite emite uno de los códigos, el receptor tiene en su memoria la estructura de dicho código y genera una réplica exacta, modulando la señal recibida con la réplica inversa del código.

Si ambos códigos están precisamente sincronizados, el código desaparecerá dejando a la portadora limpia. Para sincronizar la réplica con el original recibido, el instrumento empieza a aplicar un retardo hasta que la anulación se produce.

El tiempo del retardo nos permite calcular una distancia que no será precisamente la existente, ya que no conocemos el estado del reloj del receptor, de ahí que el valor hallado no sea una distancia sino una pseudodistancia.

La precisión de posicionamiento que nos ofrece este método es de aproximadamente un 1% del periodo entre sucesivas épocas de un código. Así para el código P, cuyas épocas son de 0.1 microsegundos (por lo que la precisión de medida será de 1 nanosegundo), al multiplicar dicho factor por la velocidad de la luz, obtendremos una precisión de distancia de 30 cm en tiempo real. Para el código C/A, cuya precisión es diez veces menor a la del código P, obtendrá unos errores de unos 3 m

## **12.2 MEDIDAS DE FASE.**

El método de medidas de fase es el que permite obtener mayor precisión. Su fundamento es el siguiente: partiendo de una frecuencia de referencia obtenida del oscilador que controla el receptor, se compara con la portadora demodulada que se ha conseguido tras la correlación, controlándose así, en fase, la emisión radioeléctrica realizada desde el satélite con frecuencia y posición conocidas.

Cuando esta emisión llega a la antena, su recorrido corresponde a un número entero de longitudes de onda (denominado N o ambigüedad) mas una cierta parte de longitud de onda cuyo observable (o momento exacto de recepción por parte de la antena) puede variar entre 0 y 360 grados. Tenemos entonces, una frecuencia y cierta parte de la longitud de ondas conocidas, y la ambigüedad (Número entero de las longitudes de onda) por conocer.

La resolución de la ambigüedad se realiza sobre la base de un extenso proceso de cálculo, que además nos resolverá el estado de los relojes y por supuesto los incrementos de coordenadas entre estaciones. Una vez obtenidos dichos valores, la resolución interna que nos proporcione el sistema, será de orden sub milimétrico, aunque diversas fuentes de error limiten la precisión operativa a algún centímetro o incluso menos, siempre en función de las técnicas de observación empleadas.

Debe destacarse que es fundamental en el sistema no perder el seguimiento de la fase, para que la ambigüedad inicial no pueda variar. Si hay alguna pérdida de recepción por cualquier causa, la cuenta de ciclos se rompe (Cicle Slip), perdiendo este método toda su eficacia. Esta pérdida de ciclos puede ocurrir por muchas causas desde el paso de un avión, disturbios ionosféricos, u obstrucciones físicas importantes (edificios, etc.). Podremos comprender, entonces, la dificultad de trabajar en zonas próximas a arbolados, tendidos eléctricos, torres, edificios, etc., limitando las aplicaciones de este método en tiempo real.

## CAPITULO 13

### 13. PRESICION DEL SISTEMA GPS

### 13.1 DGPS

Con el fin de optimizar la precisión de GPS, se desarrolló una técnica conocida como GPS Diferencial (DGPS). La precisión en GPS va a depender de varios factores: el primer factor son las señales que emiten los satélites dirigidas al usuario civil, éstas vienen con un error implícito conocido como disponibilidad selectiva.

Otro factor es la desviación de los relojes; los relojes que traen internamente los receptores GPS no son atómicos como los que traen los satélites, y el costo de estos relojes pueden oscilar en el orden de los \$50,000 dlls, por lo que es imposible e incosteable tener un receptor GPS dotado con un reloj atómico. La desviación de ambos relojes provoca que el tiempo de travesía de la señal no sea calculado de manera precisa, sumándole a éste la velocidad de la luz, la cual se usa para efectuar los cálculos, es sólo una constante (aproximadamente  $2.9979 \times 10^8$  m/s) pero en el vacío. Otro factor importante son las condiciones de radio propagación de la ionosfera.

Otro factor de error son las multi trayectorias de la señal, lo que hace que ésta, al ser reflejada por un objeto sólido el tiempo de travesía sea inexacto.

Estos y otros factores de error provocan que los cálculos que realiza el receptor GPS sean de poca aproximación.

DGPS es un método para eliminar errores en un receptor GPS, para hacer la salida más precisa. La idea principal de DGPS se basa en el hecho de que los satélites están a una altura considerable, por lo que si tomamos dos objetos separados uno del otro por 200 kms, el tiempo de travesía de cualquier satélite a cada objeto tiene virtualmente los mismos errores, mas sin embargo la posición de los objetos son totalmente diferentes.

DGPS trabaja ayudándose con estaciones terrenas de referencia, éstas pertenecen a la Guardia Costera de los Estados Unidos y a agencias internacionales que establecen sus estaciones en cualquier lugar, especialmente alrededor de puertos y ríos navegables. La estación de referencia (con sus coordenadas geográficas exactas, ya conocidas), en vez de calcular otra vez su posición, calcula el tiempo de travesía (Tc) para c/u de los satélites que tiene a la vista y los compara con los tiempos de travesía para cada satélite (Ts).

La diferencia entre Tc y Ts se le conoce como Error de Corrección (EC). Entonces, la estación de referencia transmite a cada uno de los receptores GPS en tierra, esos errores de corrección para que los utilicen para corregir sus respectivas medidas.

Con DGPS se pueden determinar posiciones con un alto grado de aproximación en el orden de metros, inclusive centímetros; es importante aclarar que estos receptores deben de estar equipados con DGPS; muchos de los nuevos receptores GPS están siendo diseñados para aceptar correcciones, y algunos están equipados con radio receptores en su interior.

## **CAPITULO 14**

### **14. APPLICACIONES.**

## 14.1 Aplicaciones

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

Las más empleadas son para la localización de vehículos. Dado el alto índice de robos de vehículos, algunas compañías fabricantes de automóviles y compañías aseguradoras han empezado a instalar este tipo de aparatos en lugares ocultos dentro de los automóviles. También muchos de los transportes colectivos y camiones de carga utilizan GPS en sus vehículos para que estos sean localizados desde sus oficinas.

A continuación, veremos más a detalle cada una de las categorías.

**Navegación:** Es una aplicación que requiere de mucha precisión, razón por la cual las compañías de aviación utilizan GPS para guiar a las aeronaves en climas inhóspitos así como para despegar y aterrizar este tipo de vehículos.

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

**Cartografía:** Es otra aplicación de mucha importancia dentro de las aplicaciones de GPS, al determinar con precisión la posición de ríos, bosques, montañas, carreteras y otros puntos es posible la elaboración de mapas muy precisos; con la ayuda de otras técnicas como la fotogrametría, topografía y planimetría es posible la elaboración de sistemas de información geográfica.

**Tiempo Exacto:** Es utilizado por las cadenas nacionales de televisión para sincronizar las transmisiones a nivel nacional y para sincronizar los comerciales y programas. La puesta en órbita de satélites es otra aplicación que requiere de una finísima precisión debido a que se necesita poner un satélite en una posición exacta en un tiempo exacto, y evitar así posibles colisiones.

Las aplicaciones de tipo militar también son muy bastas, fue el principal motivo por lo que GPS se concibió. En la pasada guerra del golfo pérsico conocida como la tormenta del desierto, fue una prueba de fuego para el Departamento de Defensa de Estados Unidos para probar sus sistemas de localización.

El sistema GPS se utiliza en la milicia para determinar la distribución adecuada de tropas en tierra, aviones, barcos, submarinos, tanques, etc., también para guiar misiles para la destrucción de objetivos. Los misiles Patriot que usaron las tropas estadounidenses para la destrucción de los misiles de Irak, es un claro ejemplo de la utilización al máximo de GPS.

Existen muchas aplicaciones más benéficas de la utilización de éste sistema de localización; con GPS es posible guiar ambulancias, bomberos, policía o grupos de rescate para que estos lleguen en cuestión de minutos al sitio donde está la emergencia. Con GPS es posible que personas invidentes puedan guiarse dentro de una ciudad, apoyándose en una detallada base de datos dentro del receptor.

Otras áreas de aplicación de la tecnología GPS son la agricultura, minería, arqueología, construcción, exploración, cinematografía, pesca deportiva, entre otras.

A continuación se indican una serie de aplicaciones del sistema que dejan claro el enorme potencial presente y futuro del GPS:

- \* Establecimiento y densificación de redes geodésicas.
- \* Control de deformaciones terrestres.
- \* Posicionamiento de cámaras de fotogrametría.
- \* Establecimiento de bases y redes de replanteo.
- \* Determinación y localización de cualquier tipo de obra.
- \* Estudio de evolución de cuencas fluviales.
- \* Levantamientos batimétricos.
- \* Actualizaciones de Sistemas de Información Geográfica (SIG).
- \* Situación continua e instantánea de unos vehículos sobre cartografía digital.
- \* Navegación en tiempo real con gran precisión.
- \* Determinación de dirección, velocidad y aceleración de cualquier vehículo.
- \* Guiado de vehículos sobre trayectorias prefijadas.
- \* Localización y control de flotas de vehículos.
- \* Inventario de redes viales, etc.

## **14.2 Características Físicas Generales de los Receptores GPS**

**Tamaño:** Los modernos receptores GPS portátiles son del tamaño de la palma de la mano y son de un tamaño similar a un teléfono móvil.

**Peso:** Los más típicos GPS de mano o portátiles pesan menos de 250 gramos, incluso con las pilas instaladas. A medida que les vamos añadiendo más prestaciones van aumentando de peso y tamaño.

**Carcasa:** La carcasa, que forma la parte exterior del GPS, es bastante fuerte, normalmente, precintada y algunas veces resistente al agua o, al menos, impermeable; aunque hay que tener en cuenta que los receptores GPS no han sido fabricados para poder resistir golpes fuertes o ser sumergidos. Si se utiliza el GPS para la práctica del mountain bike, moto, etc., es mejor llevarlo en un lugar que pueda absorber los golpes o vibraciones (un buen soporte con amortiguación o la propia mochila, por ejemplo), en vez de directamente fijarlo al manillar.

Algunos receptores tienen la antena receptora integrada en la parte superior de la carcasa, y otros tienen una pequeña antena exterior desmontable que puede moverse a una posición cercana para tener una mejor recepción de los satélites (se puede llevar el receptor GPS en un bolsillo o en la mochila funcionando con la antena sujetada al casco o alguna parte exterior de la mochila, etc.). Algunos otros admiten una antena exterior opcional.

**Pantalla:** Las dimensiones de la misma, varían de un fabricante a otro y según modelos. Lo importante es su resolución (algunos usuarios prefieren las pantallas grandes para poder visualizar mapas o para ver mejor las informaciones proporcionadas). La mayoría de los receptores tienen pantallas de cristal líquido de alto contraste con luz de fondo electroluminiscente.

**Escala de Temperaturas:** Hay que ser conscientes de la limitación de la escala de temperatura que nuestro receptor acepta y adecuar nuestro uso a ella (aunque hay que decir que para un uso normal hay más que suficiente). Hay que asegurarse que nuestro receptor esté lo suficientemente "caliente" en invierno y "fresco" en verano, incluso cuando lo tengamos guardado. La pantalla es, generalmente, la parte más sensible a estos cambios de temperatura.

**Alimentación:** Muchos receptores GPS utilizan pilas AA (normalmente 4, aunque las unidades más modernas ya empiezan a funcionar con 2) como fuente de alimentación primaria. La duración de las mismas depende y varía mucho de un modelo a otro de receptor, y depende de si utilizamos continua o intermitentemente el receptor, y también de cuánto tiempo utilicemos la luz de fondo de la pantalla. Dicha duración media, la podríamos estimar en unas 22 horas.

Muchos fabricantes ofrecen accesorios que permiten conectar el receptor a una fuente de alimentación alterna como puede ser un adaptador de mechero de coche. Algunos modelos tienen pilas recargables. También hay cables accesorios que permiten conectar nuestro GPS a cualquier enchufe de la corriente, mediante un transformador, o conectarlo directamente a la batería de nuestra moto.

Evidentemente, siempre en cualquier actividad al aire libre que llevemos a cabo, hay que llevar un juego de pilas de repuesto (ya que las que están en el receptor se agotarán en el momento más inoportuno para hacerlo).

### 14.3 Prestaciones Generales de los Receptores GPS

Normalmente, hay varios botones en la carcasa del GPS (aunque ya hay modelos que los tienen en el lateral para que el receptor pueda ser utilizado con una mano de forma muy cómoda), que cuando los apretamos nos llevan a las diferentes opciones operativas del receptor. Estas opciones tienen distintos nombres según modelo o fabricante, pero básicamente realizan las mismas funciones. Al presionarlas podremos ver la pantalla de navegación, la de la disponibilidad de las señales de los satélites, la de la lista de posiciones, la de opciones de configuración o la que determina nuestra posición actual. A continuación, explicaremos cuales son estas distintas pantallas con las que nos podemos encontrar en el uso de nuestro GPS:

**Satélites:** Normalmente, es la primera pantalla en aparecer después del encendido; la tienen la mayor parte de los receptores, y en ella se nos muestra a modo de gráfico o animación cuántos satélites está "viendo" nuestro receptor y el nivel de intensidad de la señal que se está recibiendo de cada uno de ellos. Si hay más de 4 satélites visibles, nuestro receptor escogerá los 4 mejores, basándose en la intensidad de las señales recibidas y en el ángulo de triangulación.

**Posición:** En esta pantalla se nos muestra nuestra posición actual, la altitud y, normalmente también la hora (con algún truco en el encendido hasta se puede mostrar la temperatura). En los GPS más básicos estos datos se mezclan normalmente, con los datos de otras pantallas.

**Mapa:** Esta pantalla nos enseña gráficamente donde nos encontramos y el camino seguido hasta ahora. Si nos estamos moviendo, nuestra posición se irá desplazando y dejando una huella del camino seguido (track). Los waypoints marcados también deben aparecer en este mapa.

**Puntero o Navegación:** Si tenemos un destino activo (marcado) o una ruta activada, esta pantalla nos indicará la dirección a seguir, el rumbo, la distancia y tiempo estimado de llegada. Si nos estamos moviendo, se mostrará incluso la velocidad a que lo estamos haciendo.

**Landmark o Navegación:** Normalmente, en esta pantalla se pueden ver los puntos de paso o posiciones que previamente hemos introducido en la memoria de nuestro receptor, para renombrarlos o borrarlos, o para planificar una ruta. A veces, además del nombre, se pueden agregar iconos (existe una lista de iconos prefijada) para distinguir los puntos de paso más importantes. También existe, normalmente, una opción de rutas para editar o revisar las rutas que hemos hecho, preparar una nueva, activar o invertir alguna otra.

**Menú:** Esta pantalla nos permite acceder a la lista de las diferentes opciones (como un menú de windows) disponibles en nuestro receptor. Normalmente, moveremos el cursor arriba o abajo hacia el tema deseado y apretaremos la tecla "enter" para ver su contenido.

**Opciones:** Muchos receptores permiten escoger entre unidades distintas de medición, tiempo, sistemas de coordenadas, datum, norte magnético o verdadero. También existen las opciones para transmitir o recibir datos desde un PC u otro GPS o para recibir las señales de un GPS Diferencial (DGPS).

**Salida / Puesta del Sol:** Algunos GPS nos marcarán la hora de salida y de puesta del sol para ese día y en esa determinada posición. Esto puede ser de gran utilidad en la montaña a la hora de planificar nuestra actividad e intentar aprovechar al máximo la luz del día o para poder obtener una fotografía de una buena puesta de sol.

## **CAPITULO 15**

### **15. CONCLUSIONES**

En función de todo lo aquí visto, no parece incongruente el comentario de que cualquier empresa de nuestro ramo que no emplee la tecnología GPS en uno o dos años, no podrá ofrecer precios competitivos en los muchos trabajos en los que se pueda aplicar esta nueva técnica.

Pero tampoco debemos caer en demagogias y creer que el GPS antes o después será una irreabilidad. De hecho, solo podremos realizar una navegación muy precisa o dar coordenadas de puntos con amplias posibilidades, pero supeditando siempre el grado de precisión a la duración de la observación.

Por otro lado, las técnicas clásicas seguirán siendo vigentes, aunque siempre cada vez más apoyadas, y lo que es más interesante, homogeneizadas, al disponer siempre de un sistema de referencia tan estable y eficaz como el que ofrece el GPS en las aplicaciones Geográficas.

El uso del GPS será parte indispensable en la vida cotidiana de los seres humanos. Quizá su uso más importante será la ubicación de las personas. Veremos entonces que este sistema se implementará en los celulares, o que a alguien se le insertará un microchip que será ubicado por medio de un GPS.

Nos permitirá hacer nuestros viajes más seguros y cómodos, ya que contamos en todo momento y en cualquier parte del mundo con valiosa información que nos permite no perdernos, usar una ruta optima, o simplemente saber a qué hora se oscurecerá.

El sistema se irá perfeccionando día a día, ya que se espera que en los próximos años se pongan en órbita más satélites, lo que permitirá acceder a una mayor precisión, y ampliar las funciones actuales.

En relación con los trabajos mineros, la gran ventaja del sistema GPS, sin duda ha sido el hecho de poder obtener posicionamientos absolutos con la precisión necesaria en tiempo real, requisito imprescindible en la topografía minera, además de la posibilidad de implementar procedimientos de automatización de maquinaria y control de flotas de producción.

Como conclusión final de todo lo expuesto con anterioridad, podemos afirmar de manera evidente las ventajas del sistema GPS frente a los métodos tradicionales, entre otras: rapidez, fiabilidad, reducción de costes, precisión, etc.

## GLOSARIO

### **2D**

Navegación en 2 dimensiones (latitud y longitud)

### **3D**

Navegación en 3 dimensiones (latitud, longitud y altura) A

### **Array**

Un array es un conjunto de elementos. La antena que llevan los satélites son varias antenas helicoidales. B

### **Banda S**

Es un rango de frecuencias que se asigna para unos determinados sistemas.

### **BPSK (Binary Phase Shift Keying)**

Es un esquema de modulación en fase. C

### **Constelación**

Es la flota de satélites que se encuentra en el espacio. D

### **Demodulación**

Es la técnica inversa de la modulación. A partir de la señal recibida por el receptor la demodulación obtiene la información contenida en la señal. E

### **Efemérides**

Las efemérides dan las posiciones de los satélites. L

### **LNA (Low Noise Amplifier)**

Es un amplificador de bajo nivel de ruido para no degradar la calidad de la señal. N

### **NAVSTAR-GPS (NAVigation System and Ranging - Global Position System)**

Es el sistema de posicionamiento global que estamos estudiando a lo largo de esta tesis.

### **Periodo**

Es el tiempo que tarda el satélite en dar una vuelta completa a la tierra.

### **Polarización**

Es una característica de la señal que se transmite.

### **Portadora**

Es una señal cuyas características (frecuencia, fase...) varían según la información que se quiere transmitir (señal moduladora). Según cual de las características de la portadora cambie la modulación recibe un nombre u otro (frecuencia - FM, amplitud - AM).

### **Pseudodistancias**

Cuando medimos la distancia entre un satélite y el receptor realmente lo que medimos es esa distancia más algo que se debe a la deriva existente entre el reloj del satélite y el del receptor S

### **Secuencialmente**

En esta técnica primero recibimos la señal procedente de un satélite y luego la del resto (uno detrás de otro)

### **SNR**

Es la relación señal a ruido. Es una medida de la calidad con la que llega la señal al receptor T

### **TRANSIT**

Es el primer sistema de navegación por satélite. Fue desarrollado por la marina de los EE.UU. y puede considerarse como el antecesor del NAVSTAR-GPS.

## BIBLIOGRAFIA

**Introduction to the Global Positioning System for GIS and TRAVERSE** (1996) [en línea]. Edición Junio

Disponible: <http://www.cmtinc.com/gpsbook/>

**The Global Positioning System FAQ** version 9.001 - Julio 30, 1997 [en línea]

Disponible: [www.gpsy.com/gpsinfo/](http://www.gpsy.com/gpsinfo/)

**How GPS work** [en línea]

Disponible: <http://www.trimble.com/gps/howgps.shtml>

**Sistema NAVSTAR-GPS** (2002) [en línea]

Disponible: <http://tel.abloque.com/telecomunicaciones/tutorial/contenido.html>

**Global Positioning System Overview** (Peter H. Dana) (2000) [en línea]. Edición Enero.

Disponible: <http://www.colorado.edu/geography/gcraft/notes/gps/gps.html>

**An Overview of the Global Positioning Satellite System (GPS)**

T. Logsdon, The Navstar Global Positioning System, Van Nostrand, 1992. A. Leick, GPS Satellite Surveying, Second edition, Wiley, 1995. References ...  
[cobweb.ecn.purdue.edu/~n9yte/talks/gps-n9yte.ppt](http://cobweb.ecn.purdue.edu/~n9yte/talks/gps-n9yte.ppt)