



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA  
DE MEXICO**

---

---

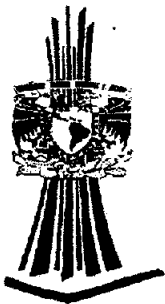
**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES  
"ARAGÓN"**

**"GPS UNA ALTERNATIVA A LA SEGURIDAD"**

**T E S I S**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE :  
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA  
P R E S E N T A N :  
ING. ADRIÁN GARCÍA REYNOSO  
ING. VÍCTOR MANUEL RUÍZ FLORES**

**DIRECTOR DE TESIS: ING. JUAN GASTALDI PEREZ**



**SAN JUAN DE ARAGÓN ESTADO DE MÉXICO 2005**

m 352562



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se lo dedico a Dios que me inspiro en la vida, a mi mamá que me dio la vida y siempre estuvo apoyándome en todo lo que me proponía hacer, principalmente era la que me alentaba a seguir estudiando, todo este esfuerzo se lo agradezco principalmente a ella. No puedo descartar a mi hermano que también estuvo allí en las buenas y en las malas, a mi novia que estuvo apoyándome en la ultima etapa de la realización de esta tesis (Recuerda que te amo), a todos mis familiares y amigos que estuvieron conmigo apoyándome en todo lo que hacia y dejaba de hacer.

No puedo olvidar a mi compañero de tesis y amigo Adrián, ya que con el compartí toda la carrera de ingeniería y siempre nos apoyábamos en todo y ahora en este trabajo de tesis no fue la excepción.

Lo mejor que puedo decir por ultimo es **GRACIAS MAMÁ** por todo lo que hiciste por mi te lo agradeceré toda mi vida porque por ti soy lo que soy ahora y eso es invaluable "Te quiero mucho".

GRACIAS

Víctor Manuel Ruíz Flores

## AGRADECIMIENTOS

En este espacio humilde y breve, quiero exponer y agradecer con toda mi Alma y mi Corazón a algunos de los seres que Dios me ha dado la oportunidad de estar con ellos en la Tierra y me han hecho Recordar Quién Soy Realmente y me han guiado hasta poder descubrir la Conciencia.

A MIS PADRES que por ellos estoy en este mundo y que no tengo como pagarles todo lo que hacen por mi, siempre recibí buenos consejos de ellos y gracias a ello he forjado una senda que a partir de este momento me corresponde a mi seguir creando y hacerla tan bella como ellos lo desean para mi y aun mas si me es posible. Puesto que con los conocimientos de la vida que ellos me dieron y la formación profesional que tengo podré hacer de sus sueños mis realidades y de mis objetivos sus éxitos.

"GRACIAS POR TODO"

A MIS ABUELOS que son la base fundamental de la familia y que gracias a las buenas costumbres que les proporcionaron a mis padres, pudieron trasmitirme los fundamentos de la vida que me sirven para forjarme como un hombre de bien.

"LOS QUIERO"

A ti MI AMADA que por tanto tiempo has estado a mi lado apoyándome incondicionalmente te doy las gracias por ayudarme a hacerme un hombre con un carácter firme y ganador que siempre luchara por tu amor, me enseñaste lo que es amar con pasión y sin inhibición. Gracias por estar conmigo en las buenas y en las malas y en esos momento donde yo pensé que todo mi mundo se venía abajo y siempre encontré ese hombro tuyo para ponerme de pie y sobresalir a todos los problemas.

"TE AMO"

A MI HERMANO que nunca me dio la espalda cuando necesite apoyo, quien siempre me dio sus conocimientos en otras áreas que yo desconocía y siempre veía la manera de darme un empujón para que saliera adelante.

"GRACIAS"

A MIS AMIGOS que ya saben quienes son que todo el tiempo me apoyaron ya sea desde lejos (Chiapas) o desde cerca (Lindavista) siempre estuvieron conmigo y fuese lo que fuese yo se que cuento con su apoyo incondicional. Son parte de la familia, de mi familia.

"GPTOGTS"

ADRIÁN GARCÍA REYNOSO

# INDICE

<b>CAPITULO I</b>	
<b>Antecedentes del GPS</b>	1 .
- ¿Qué es GPS?	1.
- Cronología	10
- El GPS hoy	13
<b>CAPITULO II</b>	
<b>Funcionamiento del Sistema GPS</b>	15
- Descripción Del Sistema	15
- Segmento Espacial	16
- Segmento De Control	18
- Segmento De Usuarios	19
- Distancias Satelitales	22
- Factores De Error	30
- Características De La Señal De Los Satélites GPS	37
- Tipos De Receptores GPS	40
- Procesamiento De Datos	43
- Cálculo De Posicionamientos Absolutos	45
- Cálculo De Posicionamientos Diferenciales	47
- Cálculo Del Posicionamiento Diferencial Por Código	48
- Cálculo Del Posicionamiento Diferencial Por Fase	50
- Técnicas Para La Resolución De Ambigüedades	56
- Técnica De Búsqueda	57
- Métodos De Posicionamiento	60
<b>CAPITULO II</b>	
<b>GPS En La Seguridad</b>	70
- Localización Vehicular	73
- GPS En El Secuestro	79
- ¿Para Qué Sirven Los Verichips?	86
<b>CONCLUSIÓN</b>	
	90
<b>BIBLIOGRAFIA</b>	94

## CAPITULO 1 -- ANTECEDENTES DEL GPS

Durante toda la existencia del ser humano el ha preguntado "En donde estoy" y desde la antigüedad ha tratado de encontrar la manera para guiarse por el camino mas corto o el menos problemático para llegar a su destino. En el comienzo trazando dibujos en las piedras o en las pieles luego cuando nace la cartografía se le facilita un poco más la manera de guiarse pero ya con el desarrollo de la tecnología y el lanzamiento de satélites todo es más preciso y rápido que nunca.



### ¿Qué es GPS?

GPS es la abreviatura de NAVSTAR GPS. Este es el acrónimo en Inglés de NAVigation System with Time And Ranging Global Positioning System, (que en Español significa Sistema de Posicionamiento Global con Sistema de Navegación por Tiempo y Distancia). El Global Positioning System (GPS) es el responsable del Joint Program Office (JPO), que es un componente del centro de espacio y misiles "El Segundo" California.

El GPS fue concebido para saber las coordenadas precisas del satélite en el espacio para de esta forma poder conocer la posición exacta de un punto en la tierra, mar o aire y ubicarnos rápidamente. El Sistema de Posicionamiento Global (GPS) está disponible en dos formas básicas: SPS, iniciales de Standard Positioning Service (Servicio de Posicionamiento Estándar), y PPS, siglas de Precise Positioning Service (Servicio de Posicionamiento Preciso). El SPS proporciona la posición absoluta de los puntos con una precisión de 100 m. El código PPS permite obtener precisiones superiores a los 20 m; este código es accesible sólo a los militares de Estados Unidos y sus aliados, salvo en situaciones especiales.

La historia del GPS demuestra cómo una investigación básica hizo posible en primer lugar el desarrollo de una tecnología de defensa vital y posteriormente una gran variedad de aplicaciones comerciales. Existen muchos otros avances tecnológicos que han contribuido al desarrollo del GPS, entre los que podemos mencionar las tecnologías de control y lanzamiento de satélites, los dispositivos de estado sólido, los microchips, los circuitos de correlación, la tecnología de diferencia de tiempo de llegada, la tecnología de microondas y la radionavegación. Este relato se centra en cómo la búsqueda del conocimiento de la naturaleza del mundo atómico, concretamente, en la creación de relojes atómicos para estudiar las teorías de Einstein y la relatividad, condujo a la creación de relojes de gran precisión, y cómo dichos relojes se pusieron en funcionamiento posteriormente junto con la tecnología de seguimiento de satélites para satisfacer el deseo humano básico de saber dónde estamos y adónde vamos.

Durante siglos, la única forma de orientarse era observar la posición del sol y las estrellas y realizar una estimación. Incluso después del desarrollo de los relojes modernos, que permitían averiguar la longitud, los instrumentos más precisos podían obtener una posición con una exactitud de varias millas solamente.

La era espacial (y todo lo que la frase implica de nuevas esperanzas, nuevos temores, y nuevas fantasías para la humanidad), se inició formalmente el 4 de octubre de 1957. Ese día, en los aparatos de radio y televisión del mundo entero se escucharon unos minúsculos pitidos electrónicos que suscitaron por doquier una cierta perplejidad, temor, y gran número de irritadas



llamadas a los talleres de reparación. El misterio no tardaría en revelarse; la Unión Soviética anunció que había puesto en órbita el primer satélite fabricado por el hombre. Se llamaba Sputnik y los pitidos no eran sino el mensaje cifrado de las observaciones que iba efectuando a medida que surcaba los cielos.

Los rusos habían logrado lo que parecía un milagro de la tecnología. Los expertos estadounidenses en cohetes habían estado intentando, en vano, lanzar su propio satélite. No dejaba de resultar preocupante que una nación a la que se consideraba fuerte principalmente en intenciones belicosas, hubiera sido capaz de conseguir el dinero y la capacidad necesarios para lograr lo que Estados Unidos con toda su cacareada sapiencia tecnológica no había podido lograr.

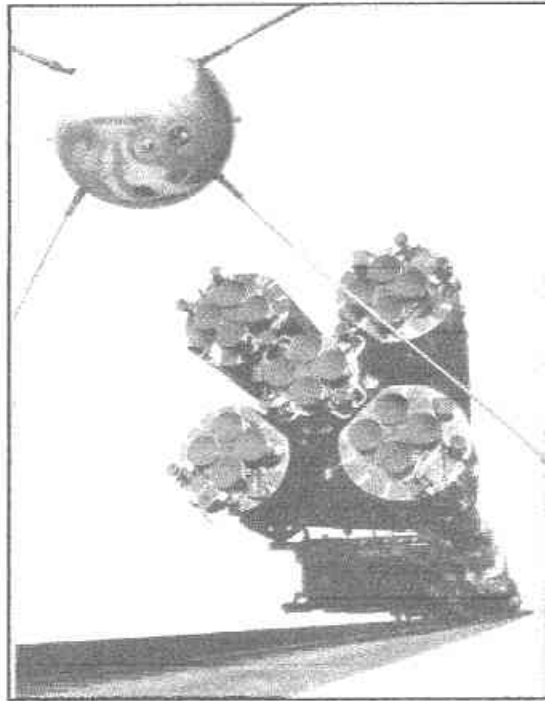
El triunfo soviético era incuestionable. Sirviéndose de un cohete cuya potencia era superior a cualquiera de los que pudieran poseer los estadounidenses, habían situado en órbita alrededor de la Tierra, una esfera metálica de 58 cm de diámetro, 83.5 k de peso y equipada con instrumentos para captar y transmitir datos atmosféricos. Según las informaciones facilitadas por los soviéticos, el cohete de lanzamiento integrado por varias secciones, alcanzó una altitud de 945 km antes de desplazarse paralelamente a nuestro planeta a una velocidad de casi 29,000 km/h; el satélite se separó entonces de su consumido cohete y estableció su propia órbita a unos 900 km sobre la tierra. El Sputnik circundaba el globo cada 96.2 minutos y, debido a la rotación terrestre, sobrevolaba todos los continentes y casi todas las zonas habitadas. Ningún occidental, en aquella época de obsesionante guerra podía dejar de sentir que había perdido los cielos ante el enemigo.

Los estadounidenses trataron de situar en órbita un satélite Vanguard. En cabo Cañaveral, tras un lanzamiento rodeado de inmensa publicidad, el cohete cayó lentamente al piso, haciéndose añicos con un estruendo infernal. Para la mayoría de los presentes aquel estruendo fue la señal decisiva de que la tecnología estadounidense había quedado en segundo lugar, rezagada de los soviéticos.

El 31 de enero de 1958, cuatro meses después del vuelo del Sputnik 1, un cohete Júpiter C lanzó el Explorer 1, satélite de poco más de 8 k cuya órbita de 115 minutos de duración lo llevaría desde un mínimo de 352 km hasta un apogeo de 2,554 km sobre la Tierra. Comunicó entre otros datos, la presencia de una nube radiactiva, mantenida en torno a nuestro planeta por su campo magnético y que se extendía hasta 65,000 km en el espacio. Este fenómeno llamado cinturón de radiación de Van Allen, sería el primer descubrimiento científico de importancia debido a la carrera espacial. Durante los años que siguieron se realizaron centenares de nuevos hallazgos.

Sin embargo, en el momento en que la Unión Soviética lanzó el Sputnik el 4 de octubre de 1957, se supo que era posible utilizar esta "estrella artificial" como una herramienta de navegación. La noche siguiente, los investigadores del laboratorio Lincoln del Instituto tecnológico de Massachusetts (MIT) pudieron determinar con precisión la órbita del satélite, al observar cómo la frecuencia aparente de la señal de radio aumentaba al acercarse y disminuía al alejarse, efecto que se conoce como efecto Doppler. Al probar que es posible determinar con precisión la órbita de un satélite desde la tierra, se dio el primer paso para establecer la posibilidad de determinar las posiciones en la tierra mediante la localización de señales emitidas por satélites.

El sistema de "GPS" nace en 1973 y queda oficialmente declarado como funcional en 1995. Es un sistema que inicialmente se desarrolló con enfoque de estrategia bélica pero a través de los años el gobierno de Estados Unidos decidió permitir el uso al público en general con ciertas limitaciones de exactitud.



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; continuidad, funcionamiento continuo sin afectarle las condiciones atmosféricas; altamente dinámicas, 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. Así el GPS entro e servicio en 1965, el Departamento de Defensa de los Estados Unidos lo implemento con el objeto de obtener en tiempo real la posición de un punto en cualquier lugar de la tierra. Este sistema surgió debido a las limitaciones del sistema TRANSIT que en la década de los 70 proporcionaba posicionamiento usando métodos Doppler. La principal desventaja del este último era la no disponibilidad de satélites las 24 horas del día.



Durante los años siguientes, la marina estadounidense realizó experimentos con una serie de sistemas de navegación por satélite, que comenzó en 1965 con el sistema Transit, desarrollado para satisfacer las necesidades de navegación de los submarinos que transportaban misiles nucleares Polaris.

Estos submarinos debían permanecer ocultos y sumergidos durante varios meses, pero el sistema de navegación basada en giroscopio, conocido como navegación inercial, no podría mantener su precisión durante períodos tan largos. El sistema Transit estaba formado por media docena de satélites que girarían alrededor de la tierra continuamente en órbitas polares. Al analizar las señales de radio transmitidas por los satélites; es decir, al medir el efecto Doppler de las señales, un submarino podía determinar su ubicación con precisión en un período de 10 ó 15 minutos. En 1973, el Departamento de defensa intentaba descubrir un método infalible para la navegación por satélite. Durante una reunión para poner ideas en común realizada el fin de semana del día del Trabajo en el Pentágono, se desarrolló el concepto de GPS, basado en la experiencia del departamento con todos los satélites anteriores. Los componentes esenciales del GPS son los 24 satélites Navstar fabricados por Rockwell International. Cada uno de estos

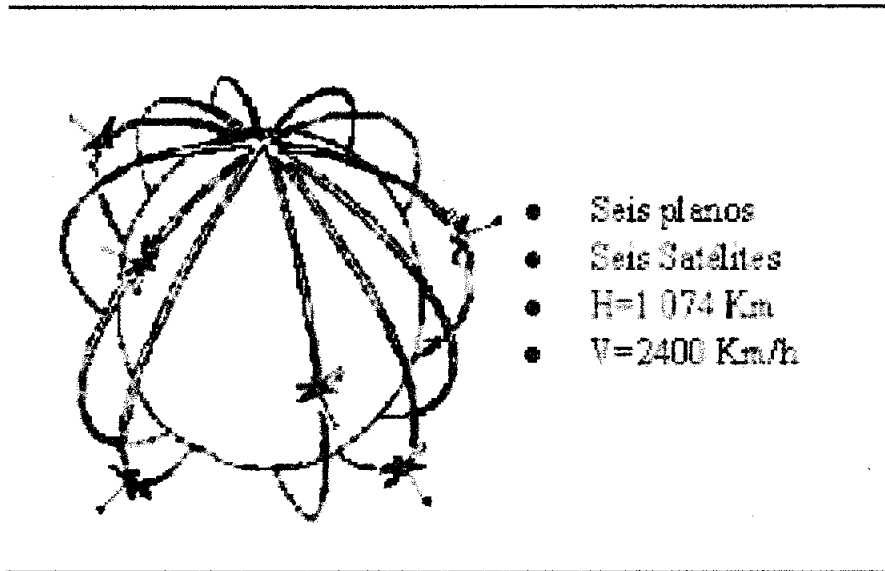
satélites tiene el tamaño de un vehículo de gran tamaño y pesa alrededor de 1.900 libras (900 kilogramos).

Todos los satélites giran alrededor de la tierra cada 12 horas en una formación tal que cada punto del planeta siempre se encontrará en contacto por radio con 4 satélites como mínimo. El primer satélite GPS en funcionamiento se lanzó en 1978 y el sistema alcanzó su capacidad completa de 24 satélites en 1993.

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.

TRANSIT tenía muchos problemas. La entonces URSS tenía un sistema igual que el TRANSIT, de nombre TSICADA. Había que dar un gran salto. La guerra fría fomentaba invertir unos cuantos billones de dólares en un revolucionario sistema de navegación, que dejara a la URSS definitivamente atrás.

Se concibió un sistema formado por 24 satélites en órbita media, que diera cobertura global y continua. ROCKWELL (California) se llevó uno de los contratos más importantes de su época, con el encargo de 28 satélites por 170.000.000.000 (ciento setenta mil millones) de pesetas.



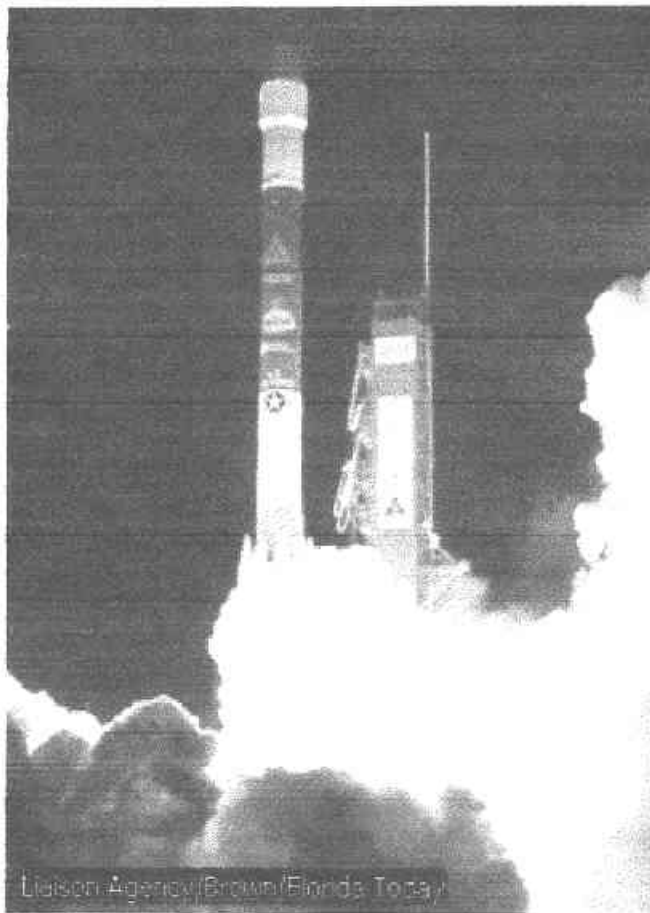
CONSTELACIÓN TRANSIT

Finalmente Estados Unidos concibió un sistema formado por 24 satélites en órbita media, que diera cobertura global y continua. ROCKWELL (California) se llevó uno de los contratos más importantes de su época, con el encargo de 28 satélites.

El primer satélite se lanzó en 1978, y se planificó tener la constelación completa ocho años después. Unido a varios retrasos, el desastre de la lanzadera Challenger paró el proyecto durante tres años. Por fin, en diciembre de 1983 se declaró la fase operativa inicial del sistema GPS. El objetivo del sistema GPS era ofrecer a las fuerzas de los EE.UU. la posibilidad de posicionarse (disponer de la posición geográfica) de forma autónoma o individual, de vehículos o de armamento, con un coste relativamente bajo, con disponibilidad global y sin restricciones temporales. La iniciativa, financiación y explotación corrieron a cargo del Departamento de Defensa de los EE.UU. (DoD), el GPS se concibió como un Sistema militar estratégico.

En 1984 un vuelo civil de Korean Airlines fue derribado por la Unión Soviética al invadir por error su espacio aéreo. Ello llevó a la administración Reagan a ofrecer a los usuarios civiles cierto nivel de uso de GPS, llegando finalmente a ceder el uso global y sin restricciones temporales, de esta forma se conseguía un retorno a la economía de los EE.UU. inimaginables unos años atrás. Además suponía un gran liderazgo tecnológico originando un vertiginoso mercado de aplicaciones.

Desde 1984, con muy pocos satélites en órbita, aparecieron tímidamente fabricantes de receptores GPS destinados al mundo civil (Texas Instruments y Trimble Navigation).



## Cronología

### 1920` s Orígenes de la radionavegación.

Principios de la II Guerra Mundial - LORAN, el primer sistema de navegación basado en la llegada diferenciada de señales de radio desarrollado por el laboratorio de Radiación de MIT. LORAN fue también el primer sistema de posicionamiento capaz de funcionar bajo cualquier condición climatológica pero es solamente bidimensional (latitud y longitud).

1959 TRANSIT, el primer sistema operacional basado en satélites, fue desarrollado por Johns Hopkins (Laboratorio de Física Aplicada) bajo el Dr. Richard Kirschner. A pesar de que la intención de TRANSIT era dar soporte a la flotilla de la marina de Estados Unidos, las tecnologías empleadas para el sistema demostraron ser útiles para el sistema de posicionamiento global (GPS). El primer satélite fue lanzado en 1959.

1960 El primer sistema de posicionamiento de tres dimensiones es sugerido por Raytheon Corporation en necesidad de la fuerza aérea.

1963 La compañía aeroespacial lanzó un estudio en la utilización de un sistema espacial para el sistema de navegación para los vehículos en movimiento a gran velocidad y tres dimensiones; esto los llevó directamente al concepto de GPS. El concepto involucraba medir los tiempos de llegada de las señales de radio transmitidas por los satélites cuyas posiciones eran bien conocidas. Esto proporcionaba la distancia al satélite cuya posición era conocida que a la vez establecía la posición del usuario.



- 1963 La fuerza aérea da apoyo a este estudio bautizándolo Sistema 621B.
- 1964 Timation, un sistema satelita, Naval es desarrollado por Roger Easton en los laboratorios de investigación Naval para el desarrollo de relojes de alta estabilidad, capacidad de transferencia de tiempo y navegación en dos dimensiones.
- 1968 El departamento de defensa de los Estados Unidos establece un comité llamado NAVSEG (Navigation Satellite Executive Comité) para coordinar los esfuerzos de diversos grupos de navegación satelital.
- 1971 El sistema 621B es probado por la fuerza aérea dando resultados de una precisión de centésimas de milla.
- 1973 El secretario de la defensa decide que los diferentes sistemas de navegación que se estaban creando, se unificaran y crearon un solo y robusto sistema de navegación.
- 1974 Junio. Rockwell international fue contratado como proveedor de los satélites GPS.
- 1974 Julio 14. El primer satélite de NAVSTAR fue lanzado.
- 1978 El primer block de satélites fue lanzado. Un total de 11 satélites fueron lanzados entre 1978 y 1985. Un satélite fue perdido debido a una falla de lanzamiento.
- 1982 DoD decide reducir la constelación de satélites de 24 a 18.

- 1983 Después de la caída de una Unión Soviética, el gobierno de Estados Unidos informa que el sistema GPS podrá ser utilizado por las aeronaves civiles.
- 1988 El secretario de las Fuerzas Aéreas anuncia la expansión de la constelación de GPS de 18 a 21 satélites y tres repuestos.
- 1989 El primero del un block de 28 satélites es lanzado en Cabo Cañaveral, Florida
- 1990 Dod Activa SA - una degradación en la exactitud del Sistema de forma planeada. El sistema es probado en la guerra del Pérsico.
- 1991 El gobierno ofrece el sistema de GPS a la comunidad internacional sin costo durante los siguientes 10 años.
- 1993 El gobierno declara el sistema formalmente funcionado con sus 24 satélites en orbita.
- 1995 El gobierno de Estados Unidos, Bill Clinton se compromete mediante una carta a la ICAO a proveer las señales de GPS a la comunidad internacional

## El GPS Hoy

Hoy en día el GPS supone un éxito para la administración y economía americana no interesando a nadie que se reduzca la inversión en el sistema, sino todo lo contrario. La política de la administración de EE.UU. es mantener costo cero para el usuario el sistema GPS, potenciar sus aplicaciones civiles a la vez que se mantiene el carácter militar.

Las aplicaciones disponibles se orientan a principalmente a sistemas de navegación y aplicaciones cartográficas: topografía, cartografía, geodesia, sistema de información geográfica (GIS), mercado de recreo (deportes de montaña, náutica, expediciones de todo tipo, etc.), patrones de tiempo y sistemas de sincronización, aplicaciones diferenciales que requieran mayor precisión además de las aplicaciones militares y espaciales.

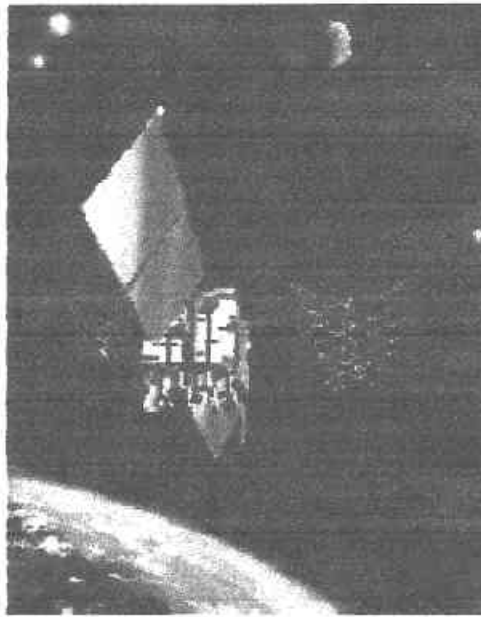
En cuanto al reparto del mercado los más importantes son la navegación marítima, la aérea y la terrestre. Con una flota de 46 millones embarcaciones en todo el mundo, de los que el 98% son de recreo, la navegación marítima supone un mercado nada despreciable. Recreo, pesqueros, mercantes, petroleros, dragados y plataformas petrolíferas son perfectos candidatos al uso del GPS. El volumen de venta de equipos GPS en está en torno a los 300 millones de dólares anuales.

En cuanto a la navegación aérea con unos 300.000 aviones en todo el mundo. El equipamiento de GPS para navegación intercontinental o entre aeropuertos tiene una penetración anual del 5% (aproximadamente unas 15.000 unidades). Sin embargo en aproximación el GPS no tiene la suficiente integridad y precisión aunque la FAA esta financiando el proyecto WAAS (Wide Area Augmentation System) que refuerza el sistema GPS y será útil para aproximaciones de clase I (en EE.UU).

Pero el auténtico mercado del GPS en el mundo es la navegación terrestre. Con 435 millones de turistas y 135 millones de camiones es el más amplio mercado potencial de las aplicaciones comerciales del GPS. De hecho el crecimiento de equipamiento de GPS mundial es en torno a los 2.000 millones de dólares anuales, lo que lleva a una penetración del 4% en el año 2001. Entre las aplicaciones con más desarrollo contamos con sistemas de

navegación independiente, sistemas de seguimiento automático, control de flotas, administración de servicios, etc. Solo en los EE.UU existen 25.000 autobuses equipados con GPS y en Japón hay ya un millón y medio de vehículos privados que cuentan con sistema GPS en su equipamiento.

En España el mercado del GPS está en plena expansión habiendo alcanzado en 1998 las 200 unidades para aplicaciones topográficas y geodésicas, unas 300 para aeronáutica, mas de 3.500 para la náutica y alrededor de 4.000 unidades OEM para aplicaciones terrestres.



*Veinticuatro satélites Navstar, del tamaño de un automóvil y unas 1.900 libras (900 kilos) de peso, giran alrededor de la tierra en órbitas de 18.000 kilómetros de altura. El sistema de satélites, construido por Rockwell International y operado por la Fuerza Aérea estadounidense, se completó en 1993, 20 años después de ser concebido en el Pentágono. (Lockheed Martin Astro Space).*

## CAPITULO 2 -- FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA GPS

### DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA

El sistema Global de posicionamiento (GPS por sus siglas en inglés), es un sistema satelitario basado en señales de radio emitidas por una constelación de 21 a 24 satélites activos en órbita alrededor de la tierra con funcionamiento continuo las 24 horas del día, desplazándose a una velocidad de 14.500 Km./h.

Las órbitas son casi circulares y se repite el mismo recorrido sobre la superficie terrestre (mientras la tierra rota a su vez sobre si misma) de esta forma en prácticamente un día (24 horas menos 4 minutos) un satélite vuelve a pasar sobre el mismo punto de la tierra. Los satélites quedan situados sobre 6 planos orbitales (con un mínimo de 4 satélites cada uno), espaciados equidistantes a 60 grados e inclinados unos 15 grados respecto al plano ecuatorial. Esta disposición permite que desde cualquier punto de la superficie terrestre sean visibles entre cinco y ocho satélites.

Normalmente hay más número de satélites ya que se ponen en órbita unidades nuevas para reponer satélites antiguos que tienen una vida media aproximada de siete años y medio.

El sistema GPS comprende de tres segmentos diferentes:

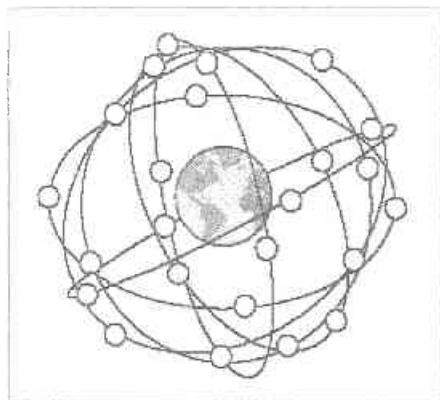
- El segmento espacial que son los satélites que giran en órbitas alrededor de la Tierra.
- El segmento de control que esta formado por múltiples estaciones ubicadas cerca del ecuador terrestre para controlar a los satélites.
- El segmento de Usuarios que comprende a cualquiera que reciba y utilice las señales GPS.

## SEGMENTO ESPACIAL

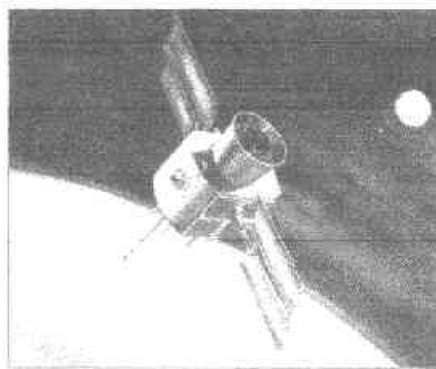
El segmento Espacial esta constituido por una constelación de 24 satélites localizados a una altura aproximada de 20,200 Km. de la superficie de la tierra. Los satélites son la parte fundamental del sistema ya que se encargan de emitir constantemente las señales hacia los receptores GPS, cubriendo de esta forma todo el globo terrestre.

### Constelación de satélites GPS

El segmento espacial está diseñado de tal forma que se pueda contar con un mínimo de 4 satélites visibles por encima de un ángulo de elevación de  $15^\circ$  en cualquier punto de la superficie terrestre, durante las 24 horas del día. Para la mayoría de las aplicaciones, el número mínimo de satélites visibles deberá ser de cuatro. La experiencia ha demostrado que la mayor parte del tiempo hay por lo menos 5 satélites visibles por encima de los  $15^\circ$ , y muy a menudo hay 6 o 7 satélites visibles.



Constelación de satélites GPS



Satélite GPS

## Satélite GPS

Cada satélite GPS lleva a bordo varios relojes atómicos muy precisos. Estos relojes operan en una frecuencia de fundamental de 10.23MHz, la cual se emplea para generar las señales transmitidas por el satélite. Los satélites transmiten constantemente en dos ondas portadoras. Estas ondas portadoras se encuentran en la banda L (utilizada para transmisiones de radio) y viajan a la Tierra a la velocidad de la luz.

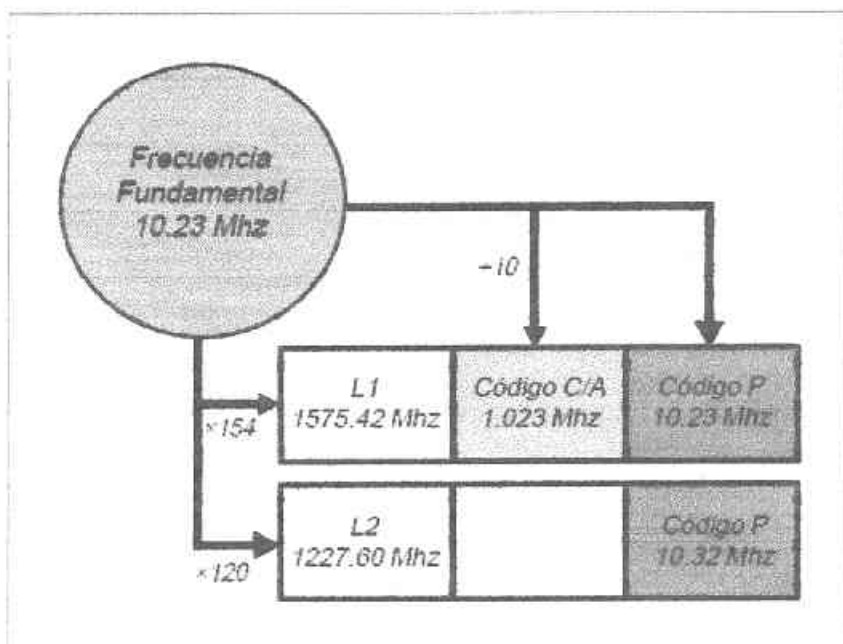
La portadora L1 es transmitida a una frecuencia de 1575.42 MHz ( $10.23 \times 154$ ); La portadora L2 es transmitida a 1227.60 MHz ( $10.23 \times 120$ ).

La portadora L1 es modulada por dos códigos:

- El Código C/A o Código de Adquisición Gruesa modula a 1.023MHz ( $10.23/10$ ).
- El código P o Código de Precisión modula a 10.23MHz.

L2 es modulada por un código solamente, el código P en L2 modula a 10.23 MHz.

Los receptores GPS utilizan los diferentes códigos para distinguir los satélites. Los códigos también pueden ser empleados como base para realizar las mediciones de pseudo-distancia y a partir de ahí, calcular una posición.



*Estructura de la señal GPS*

## SEGMENTO DE CONTROL

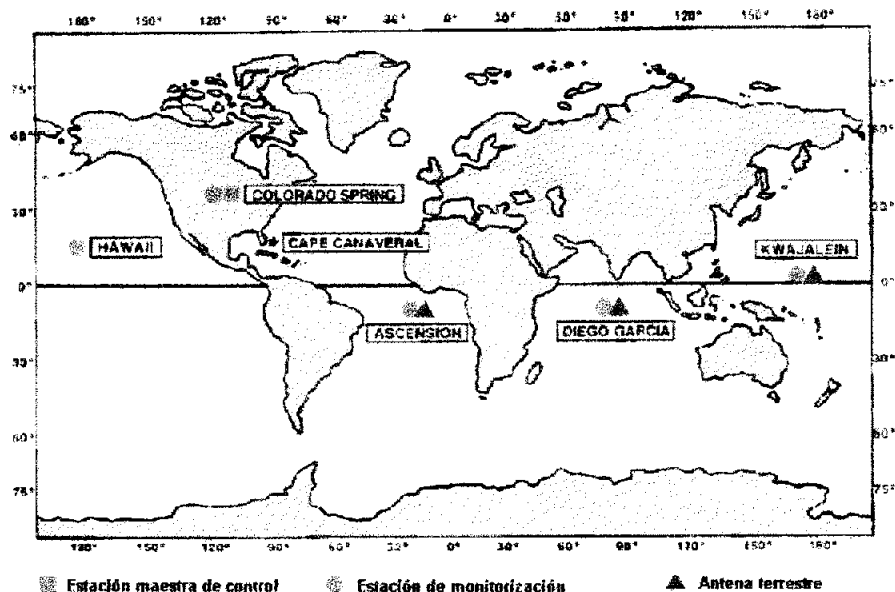
El segmento de control consiste de una estación de control maestro, 5 estaciones de observación y 4 antenas de tierra distribuidas entre 5 puntos muy cercanos al ecuador terrestre.

El segmento de Control rastrea los satélites GPS, actualiza su posición orbital, calibra y sincroniza sus relojes. Otra función importante consiste en determinar la órbita de cada satélite y predecir su trayectoria para las siguientes 24 horas. Esta información es cargada a cada satélite y posteriormente es transmitida desde allí. Esto permite al receptor GPS conocer la ubicación de cada satélite.



Las señales de los satélites son leídas desde las estaciones: Ascensión, Diego García y Kwajalein. Estas mediciones son entonces enviadas a la Estación de Control Maestro en Colorado Springs, donde son procesadas para determinar cualquier error en cada satélite.

La información es enviada posteriormente a las cuatro estaciones de observación equipadas con antenas de tierra y de allí cargadas a los satélites.



## SEGMENTO DE USUARIOS

El segmento de Usuarios comprende a cualquiera que reciba las señales GPS con un receptor, determinando su posición y/o la hora. Algunas aplicaciones típicas dentro del segmento de Usuarios son:

- La navegación en tierra para excursionistas
- Ubicación de vehículos
- Topografía
- Navegación marítima y aérea
- Control de maquinaria
- Etc.

El PPS es un servicio de determinación de la posición y tiempo con alta precisión, accesible únicamente por usuarios autorizados. El PPS ESTA DESTINADO PRINCIPALMENTE A ENTORNOS MILITARES. El uso de dicho servicio esta condicionado a la autorización del Departamento de Defensa de los Estados Unidos. Esta autorización se concede en función de los requerimientos de defensa interna de los EEUU. o de los compromisos de defensa internacional. Los usuarios autorizados a utilizar el sistema PPS incluyen a todos los usuarios militares de EEUU, a los usuarios militares de la OTAN y otros usuarios militares y civiles como las Fuerzas de Defensa Australianas o la Agencia de Cartografía de los EEUU. El sistema PPS proporciona una precisión predecible de 22metros horizontalmente, 27.7 metros verticalmente y unos 197 nanosegundos en coordenadas UTC (Universal Time Coordinated).

El acceso al servicio PPS esta controlado mediante dos sistemas que incorporan técnicas criptográficas, "Disponibilidad Selectiva", en ingles Selective Availability (a partir de ahora SA) y técnicas de autenticación de "anti-spoofing" (en adelante A-S). La técnica SA se usa para reducir la precisión de la posición GPS, la velocidad e incluso el tiempo a los usuarios no autorizados. El sistema

A-S opera introduciendo un error pseudoaleatorio dentro de la señal de satélite y permanece activo en todos los satélites con el fin de proteger la señal de una posible intrusión o modificación en los datos de la misma.

Los receptores PPS pueden utilizar tanto el código P como el C/A, o bien los dos a la vez. El mayor nivel de fiabilidad se alcanza con los códigos P de las 2 señales L1 y L2 conjuntamente. Aun cuando un receptor este diseñado para soportar el servicio de posicionamiento preciso, normalmente se utiliza en código C/A para establecer la comunicación con los satélites.

El SPS es un servicio de posicionamiento global de baja precisión, pero accesible desde cualquier receptor GPS. En situación internacional normal, el nivel de SA esta controlado para ofrecer un error predecible de 100 metros horizontalmente y 156 metros verticalmente. El sistema de degradación de la señal se puede incrementar o variar en caso de crisis o guerra.

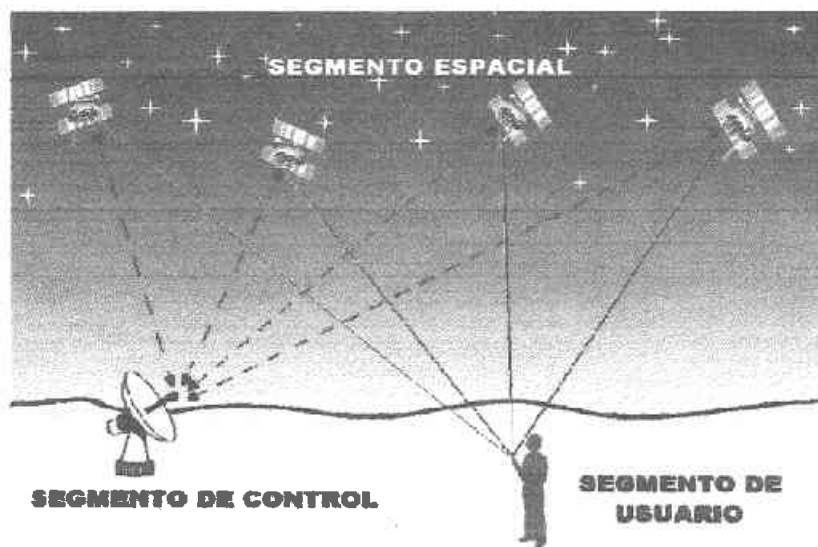
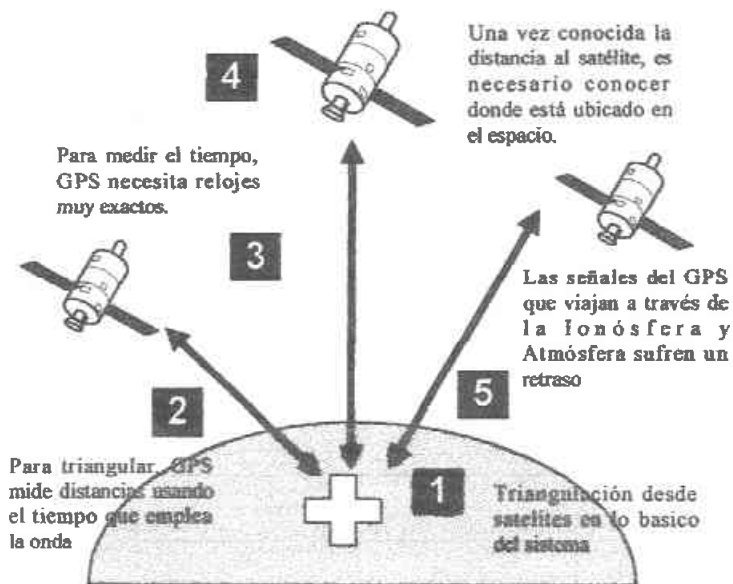


Figura 1- Segmentos del sistema de satélites

Los principios básicos de GPS son bastante simples, aunque el sistema utiliza equipos de la más alta tecnología que se haya generado. Para entenderlo dividamos el sistema en 5 pasos considerando las ideas generales.



### Distancias Satelitales

GPS se basa en las distancias satelitales. Esto significa que obtenemos nuestra posición, midiendo a un grupo de satélites en el espacio, los que representan puntos de referencia precisos.

El concepto que utiliza GPS se puede resumir con el siguiente ejemplo:

*"Pensemos que necesitamos conocer nuestra ubicación y conocemos la distancia a un satélite A, de aproximadamente 11000 km. Esto nos indicará que nos encontramos en alguna parte, sobre una esfera imaginaria con centro en el satélite y de radio igual a 11000 km.*

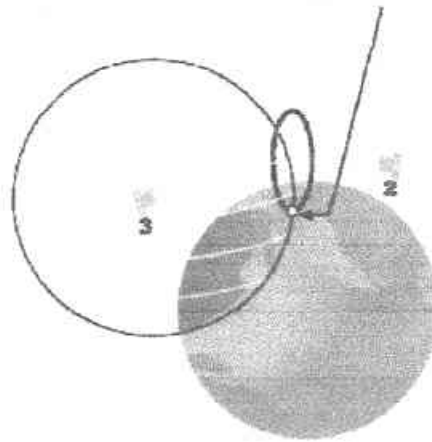
*Ahora si al mismo tiempo conocemos la distancia a un satélite B que es de 12.000 km. Generaremos un círculo de contacto donde se intersectan las dos esferas.*

*Entonces, si hacemos una medición hacia un tercer satélite C, podremos ubicarnos con mayor seguridad, porque si sabemos que nos encontramos a 13.000 Km hay sólo 2 puntos posibles en el espacio. Esos dos puntos están donde la esfera de 13.000 Km corta al círculo de intersección de las esferas de radio 11.000 y 12.000 Km."*

*Por lo tanto 3 mediciones generan un punto de contacto. Podríamos hacer una cuarta medición a otro satélite, generalmente uno de los puntos corresponde a una ubicación fuera de rango o irreal. El punto erróneo puede que no se encuentre dentro de la Tierra o puede tener una velocidad mayor, pero las computadoras a bordo de los satélites GPS pueden discernir correctamente.*

Ocasionalmente si nos encontramos seguros de nuestra altitud, como por ejemplo los marinos saben que se encuentran a nivel del mar, puede eliminarse una de las observaciones.

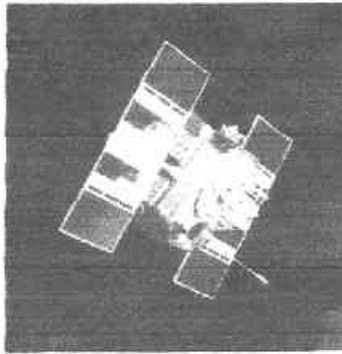
### Punto GPS en 2D



La trigonometría nos dice que se debe contar con 4 observaciones para poder ubicarnos inequívocamente. Pero en la práctica podemos hacerlo con sólo tres, si podemos eliminar la solución absurda.

Puesto que GPS usa la técnica de medición de "vía única" y el reloj del receptor no se halla sincronizado con el reloj del satélite. Esta falta de sincronización es la razón para que se use el término de pseudo distancia.

Hasta la actualidad han habido tres generaciones de satélites, los Block I (actualmente inoperativos), Block II (9 satélites entre 1989 y 1990 y 19 adicionales hasta el 1997) y Block IIR (un satélite en 1998). En enero de 1999 orbitaban 27 satélites GPS en total.



La estación maestra de control (MCS) está situada en Falcón AFB en Colorado Spring. Las estaciones de control miden las señales procedentes de los satélites y son incorporadas en modelos orbitales para cada satélite. Los modelos calculan datos de ajuste de órbita (efemérides) y correcciones de los relojes de cada satélite. La estación maestra envía las efemérides y correcciones de reloj a cada satélite. Cada satélite envía posteriormente subconjuntos de estas informaciones a los receptores de GPS mediante señales de radio.

La distancia a cada satélite es determinada haciendo uso de la fórmula:

$$d = (c) (t)$$

En donde  $c$  corresponde a la velocidad de la luz en el vacío y  $t$  el tiempo de recorrido de la señal desde el satélite hasta el receptor. Evidentemente se necesita proveer al sistema de un mecanismo de medida de tiempo. Tanto los satélites como los receptores son provistos de relojes para tal efecto. Debido a que no se puede tener un reloj perfecto, tanto los relojes en el receptor y satélite poseen un error que afectará la distancia medida, más si se considera la magnitud de las distancias involucradas.

Debido a que el intervalo de tiempo es calculado a partir de dos relojes distintos, con errores diferentes, es que se usa el término de pseudo-distancias para hacer referencia a las distancias medidas.

La determinación de coordenadas en forma absoluta presenta varios problemas. Además de los errores de reloj, se debe considerar que en la medición de pseudo-distancias la señal proveniente del satélite cambiará su velocidad de propagación al atravesar capas atmosféricas de distinta densidad, lo que introduce otro error en la posición.

También, debe recordarse que la posición de observación es determinada a partir de las coordenadas de los satélites, la distancia medida, por lo tanto, también se encuentra afectada por las distintas perturbaciones orbitales, que sacan a los satélites de las órbitas teóricas.

La exactitud en la determinación de coordenadas absolutas con respecto al sistema de referencia es entre 100 y 150 m en las tres coordenadas.

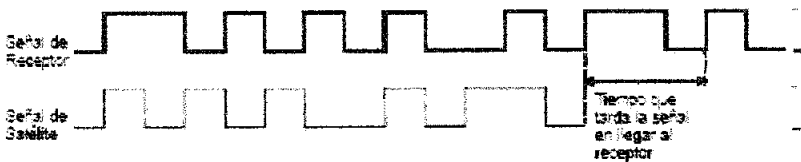
El GPS requiere que el receptor calcule la distancia del receptor al satélite. La Velocidad es la velocidad de las señales de radio. Las señales de radio viajan a la velocidad de la luz, a 290 000Km por segundo (186 000 millas por segundo).

El tiempo es aquel que le toma a una señal de radio en viajar desde el satélite al receptor GPS. Esto es un poco difícil de calcular, ya que se necesita conocer el momento en que la señal de radio salió del satélite y el momento en que llegó al receptor.



### Calculo del Tiempo

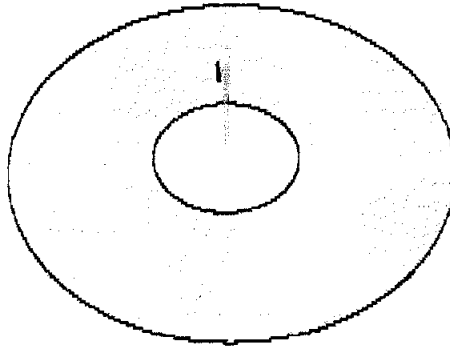
La señal del satélite es modulada por dos códigos, el Código C/A y el Código P (véase la sección 2.1). El código C/A está basado en el tiempo marcado por un reloj atómico de alta precisión. El receptor cuenta también con un reloj que se utiliza para generar un código C/A coincidente con el del satélite. De esta forma, el receptor GPS puede "hacer coincidir" o correlacionar el código que recibe del satélite con el generado por el receptor.



El código C/A es un código digital que es 'seudo aleatorio', o que aparenta ser aleatorio. En realidad no lo es, sino que se repite mil veces por segundo. De esta forma es como se calcula el tiempo que tarda en viajar la señal de radio desde el satélite hasta el receptor GPS.

Existen diferentes métodos para obtener una posición empleando el GPS. El método a utilizar depende de la precisión requerida por el usuario y el tipo de receptor disponible. En un sentido amplio de la palabra, estas técnicas pueden ser clasificadas básicamente en tres clases:

**Navegación Autónoma** empleando sólo un receptor simple. Utilizado por excursionistas, barcos en alta mar y las fuerzas armadas. La Precisión de la Posición es mejor que 100m para usuarios civiles y alrededor de 20m para usuarios militares.

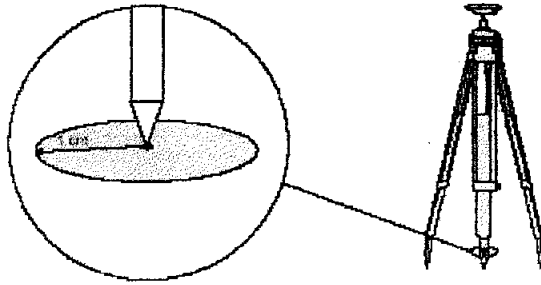


Esta es la técnica más sencilla empleada por los receptores GPS para proporcionar instantáneamente al usuario, la posición y altura y/o tiempo. La precisión obtenida es mejor que 100m (por lo general entre 30 y 40m) para usuarios civiles y 5-15m para usuarios militares. Las diferencias entre las precisiones civiles y militares es explicada más adelante en esta sección. Los receptores utilizados para este tipo de aplicación, son por lo general unidades pequeñas, portátiles y de bajo costo.

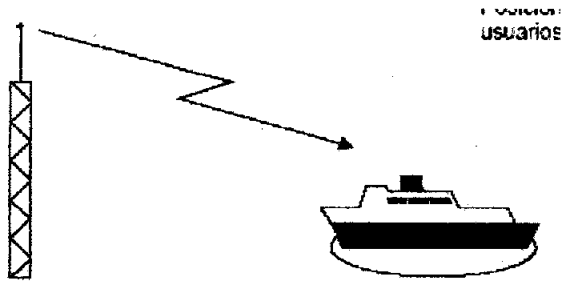


*Receptor GPS portátil*

**Posicionamiento Diferencial de Fase.** Ofrece una precisión de 0.5-20mm. Utilizado para diversos trabajos de topografía, control de maquinaria, etc.



**Posicionamiento Diferencial Corregido.** Más comúnmente conocido como DGPS, el cual proporciona precisiones del orden de 0.5-5m. Utilizado para navegación costera, adquisición de datos para SIG (Sistemas de Información Geográfica GIS), agricultura automatizada, etc.



El problema con el GPS es que sólo se pueden determinar las pseudodistancias y el tiempo al momento que llegan las señales al receptor. De este modo existen cuatro incógnitas a determinar: posición (X, Y, Z) y el tiempo que tarda en viajar la señal. Observando a cuatro satélites se generan cuatro ecuaciones que se cancelan.

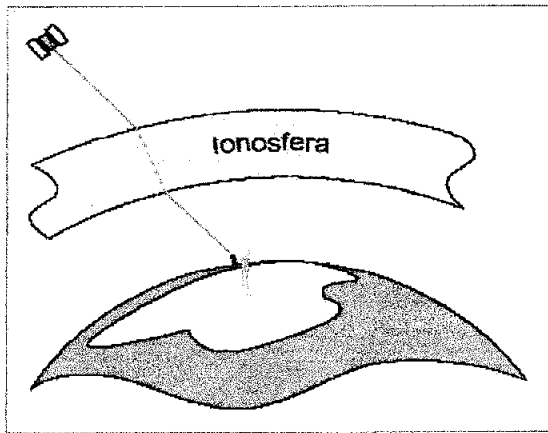
## FACTORES DE ERROR

Hasta este momento, hemos asumido que la posición obtenida del GPS es muy precisa y libre de errores, pero existen diferentes fuentes de error que degradan la posición GPS desde algunos metros, en teoría, hasta algunas decenas de metros. Estas fuentes de error son:

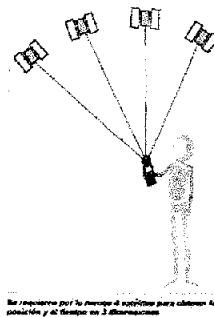
1. Retrasos ionosféricas y Atmosféricos
2. Errores en el reloj del Satélite y del Receptor
3. Efecto Multitrayectoria
4. Dilución de la Precisión
5. Disponibilidad Selectiva (S/A)
6. Anti Spoofing (A-S)

### Retrasos ionosféricas y atmosféricos

Al pasar la señal del satélite a través de la ionosfera, su velocidad puede disminuir, este efecto es similar a la refracción producida al atravesar la luz un bloque de vidrio. Estos retrasos atmosféricos pueden introducir un error en el cálculo de la distancia, ya que la velocidad de la señal se ve afectada. (La luz sólo tiene una velocidad constante en el vacío). La ionosfera no introduce un retraso constante en la señal. Existen diversos factores que influyen en el retraso producido por la ionosfera.



**1.1 Elevación del satélite.** Las señales de satélites que se encuentran en un ángulo de elevación bajo se verán más afectadas que las señales de satélites que se encuentran en un ángulo de elevación mayor. Esto es debido a la mayor distancia que la señal tiene que viajar a través de la atmósfera.

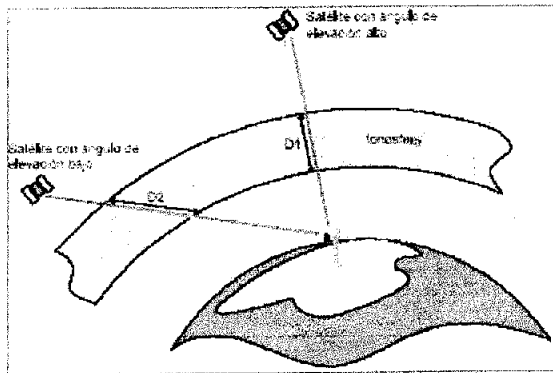


**1.2 La densidad de la ionosfera está afectada por el Sol.** Durante la noche, la influencia ionosférica es mínima. Durante el día, el efecto de la ionosfera se incrementa y disminuye la velocidad de la señal. La densidad de la ionosfera varía con los ciclos solares (actividad de las manchas solares). La actividad de las manchas solares llega a su máximo cada 11 años.

Al momento de escribir este texto, el siguiente pico máximo ocurrirá cerca del año 2000. Además de esto, las llamaradas solares pueden ocurrir de manera aleatoria, lo cual también tiene un efecto sobre la ionosfera. Los errores debidos a la ionosfera pueden ser mitigados empleando uno de dos métodos:

- El primer método supone la toma de un promedio del efecto de la reducción de la velocidad de la luz causada por la ionosfera. Este factor de corrección puede ser entonces aplicado a una serie de cálculos. Sin embargo, esto depende de un promedio y obviamente esta condición promedio no ocurre todo el tiempo. Por lo tanto, este método no es la solución óptima para la Mitigación del Error Ionosférico.
- El segundo método supone el empleo de los receptores de "doble frecuencia". Tales receptores miden las frecuencias L1 y L2 de la señal GPS. Es sabido que cuando una señal de radio viaja a través de la ionosfera, ésta reduce su velocidad en una relación inversamente proporcional a su frecuencia. Por lo tanto, si se comparan los tiempos de arribo de las dos señales, se puede estimar el retraso con precisión. Nótese que esto es posible únicamente con receptores GPS de doble frecuencia. La mayoría de receptores fabricados para la navegación son de una frecuencia.

**1.3 El Vapor de agua también afecta la señal GPS.** El vapor de agua contenido en la atmósfera también puede afectar las señales GPS. Este efecto, el cual puede resultar en una degradación de la posición, puede ser reducido utilizando modelos atmosféricos.



### Errores en los relojes de los satélites y del receptor

Aunque los relojes en los satélites son muy precisos (cerca de 3 nanosegundos), algunas veces presentan una pequeña variación en la velocidad de marcha y producen pequeños errores, afectando la exactitud de la posición. El Departamento de Defensa de los Estados Unidos, observa permanentemente los relojes de los satélites mediante el segmento de control y puede corregir cualquier deriva que pueda encontrar.

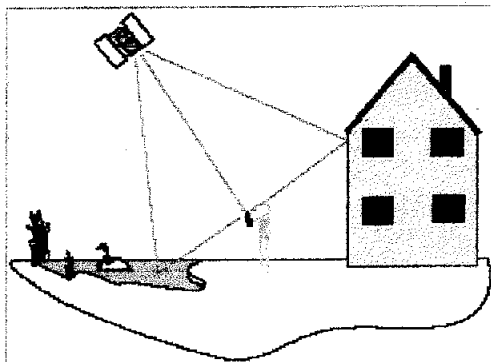
### Errores de Multitrayectoria

El error de multitrayectoria se presenta cuando el receptor está ubicado cerca de una gran superficie reflectora, tal como un lago o un edificio. La señal del satélite no viaja directamente a la antena, sino que llega primero al objeto cercano y luego es reflejada a la antena, provocando una medición falsa.

Este tipo de errores pueden ser reducidos utilizando antenas GPS especiales que incorporan un plano de tierra (un disco circular metálico de aproximadamente 50cm de diámetro), el cual evita que las señales con poca elevación lleguen a la antena.

Para obtener la más alta exactitud, la solución preferida es la antena de bobina anular (choke ring antenna). Una antena de bobina anular tiene 4 o cinco anillos concéntricos alrededor de la antena que atrapan cualquier señal indirecta.

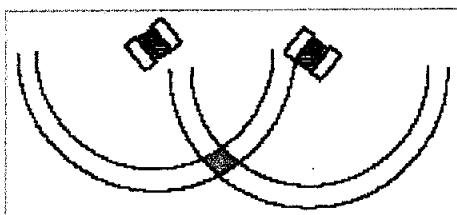
El efecto multitrayectoria afecta únicamente a las mediciones topográficas de alta precisión. Los receptores de navegación manuales no utilizan estas técnicas.



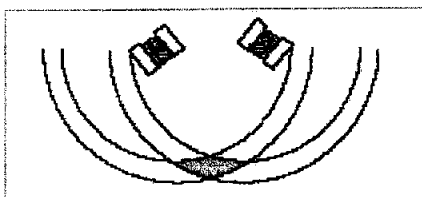
### Dilución de la Precisión

La Dilución de la Precisión (DOP) es una medida de la fortaleza de la geometría de los satélites y está relacionada con la distancia entre estos y su posición en el cielo. El DOP puede incrementar el efecto del error en la medición de distancia a los satélites. Este principio puede ser ilustrado mediante los siguientes diagramas:





*Satélites con buena distribución - poca incertidumbre en su posición*



*Satélites con mala distribución - alta incertidumbre en su posición*

La distancia hacia los satélites se ve afectada por los errores en la distancia previamente descritos. Cuando los satélites están bien distribuidos, la posición se puede determinar dentro del área sombreada del diagrama y el margen de error posible es mínimo. Cuando los satélites están muy cerca unos de otros, el área sombreada aumenta su tamaño, incrementando también la incertidumbre en la posición.

Dependiendo de la dimensión, se pueden calcular diferentes tipos de Dilución de la Precisión.

**VDOP** - Dilución Vertical de la Precisión. Proporciona la degradación de la exactitud en la dirección vertical.

**HDOP** - Dilución Horizontal de la Precisión. Proporciona la degradación de la exactitud en la dirección horizontal.

**PDOP** - Dilución de la Precisión en Posición. Proporciona la degradación de la exactitud en posición 3D.

**GDOP** - Dilución de la Precisión Geométrica. Proporciona la degradación de la exactitud en posición 3D y en tiempo. El valor DOP más útil a conocer es el GDOP, ya que es una combinación de todos los factores. Sin embargo, algunos receptores calculan el PDOP o HDOP, valores que no toman en consideración al componente de tiempo. La mejor manera de minimizar el efecto del GDOP es observar tantos satélites como sean posibles. Recuerde, sin embargo, que las señales de satélites con poca elevación generalmente tienen una gran influencia de las fuentes de error.

Como regla general, cuando se utilice el GPS para topografía, lo mejor es observar satélites con un ángulo de elevación de  $15^\circ$  sobre el horizonte. Las posiciones más precisas serán calculadas por lo general cuando el GDOP tiene un valor bajo, usualmente menor que 8.

#### **Disponibilidad Selectiva (S/A)**

La Disponibilidad Selectiva es un proceso aplicado por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos a la señal GPS. Lo anterior tiene como finalidad denegar, tanto a usuarios civiles como a las potencias hostiles, el acceso a toda la precisión que brinda el GPS, sometiendo a los relojes del satélite a un proceso conocido como "dithering" (dispersión), el cual altera el tiempo ligeramente. Además, las efemérides (o la trayectoria que el satélite seguirá), son transmitidas ligeramente alteradas respecto a las verdaderas. El resultado final es una degradación en la precisión de la posición.

Vale la pena hacer notar que el S/A afecta a los usuarios civiles que utilizan un solo receptor GPS para obtener una posición autónoma. Los usuarios de sistemas diferenciales no se ven afectados de manera significativa por este efecto.

## Anti-Spoofing (A-S)

El efecto Anti-Spoofing es similar al efecto S/A, ya que ha sido concebido con la idea de no permitir que los usuarios civiles y las fuerzas hostiles tengan acceso al código P de la señal GPS, obligándolos a emplear el código C/A, al cual se aplica el efecto S/A. El efecto Anti-spoofing encripta el código P en una señal conocida como código Y. Sólo los usuarios con receptores GPS militares (EEUU y sus aliados) pueden descifrar el código Y.



*Receptor GPS militar portátil  
(cortesía de Rockwell)*

## CARACTERÍSTICAS DE LA SEÑAL DE LOS SATELITES GPS

Para analizar las características de las señales emitidas desde los satélites, se han de estudiar tres aspectos:

- El código C/A
- El Código P(Y)
- Los mensajes de navegación

El código C/A esta compuesto por una señal de ruido de 1023 bits pseudaleatorios (PRN) con una frecuencia de 1.023 Mhz. La longitud corta de la secuencia del código C/A esta diseñada para permitir al receptor una rápida adquisición de la señal del satélite que incluye la señal con el código P. Cada satélite GPS tiene asignada una secuencia PRN diferente, seleccionada de entre un grupo de códigos denominados "Gold codes". Estos códigos están diseñados para minimizar la probabilidad de que el receptor GPS confunda un código con otro. El código C/A solo es transmitido junto con la señal L1. Este código no esta cifrado y esta disponible para todos los receptores GPS.

El código P (o bien código Y se esta cifrado) es una señal PRN con una frecuencia de reloj de 10.23MHz. y u periodo de 267 días. Cada uno de los satélites GPS tiene asociado un único segmento de 7 días, e cual ser reinicia cada medianoche del domingo, asignado secuencias semanales distintas a cada satélite. El código P esta normalmente cifrado con la finalidad de poner la señal. El código P es trasmitido por cada satélite tanto en la señal L1 como en la L2.

La señal de datos enviados por el satélite, de una frecuencia de 50Hz., esta superpuesta tanto sobre el código P(Y) como sobre el código C/A. El mensaje de navegación incluye datos únicos del satélite emisor y ciertos datos comunes a todos los satélites.

Los mensajes del satélite contienen la siguiente información:

- Momento en el que fue transmitido el mensaje.
- Ajuste de la transición desde el código C/A al código P(Y).
- Modelo para corregir los errores del reloj.
- Una referencia a la situación de la constelación de satélites.

- Modelo para corregir los errores producidos por la propagación de la señal en la ionosfera y troposfera.
- Información sobre el estado de funcionamiento del satélite emisor.
- Información sobre el estado del funcionamiento de todos los satélites.
- Parámetros orbitales de todos los satélites
- Coeficientes para el calculo de UTC

El mensaje de navegación esta formado por 25 tramas de datos, cada una compuesta de 1500 bits. A su vez, cada una de ellas esta formada de 5 subtramas de 300 bits. En una señal con una frecuencia de 50Hz., recibir una subtrama le lleva 6 segundos, 30 segundos para recibir la trama entera y 12,5 minutos en recibir todo el mensaje. Las subtramas uno, dos y tres de cada trama tienen el mismo formato, lo que permite al receptor GPS recibir la información critica del satélite emisor cada 30 segundos.

La subtrama uno contiene la información sobre el modelo para corregir los errores del reloj, así como parámetros sobre la preescisión y el funcionamiento del satélite emisor. La segunda y la tercera subtramas contienen información precisa de la orbita del satélite emisor, parámetros necesarios para el calculo de la posición exacta del satélite, que se utilizan para obtener la pseudo distancia entre el satélite y el receptor.

Las subtramas cuarta y quinta varían en cada uno de las 25 tramas, y contienen la información común a todos los satélites y los datos menos críticos para el receptor GPS.

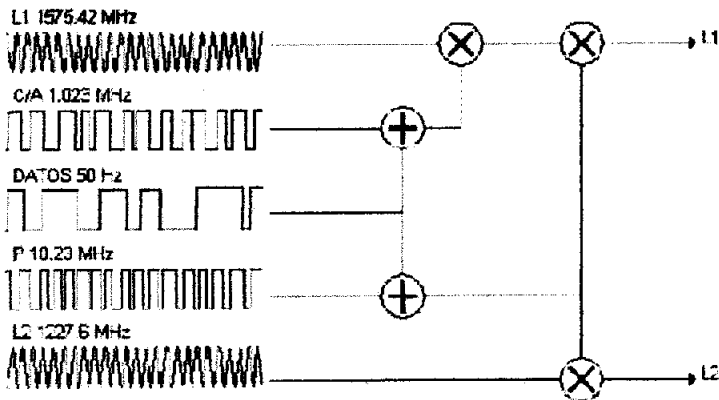


Figura 5- Composición de la señal L1 y L2

## TIPOS DE RECEPTORES GPS

Los receptores GPS se pueden clasificar en los siguientes tipos:

- Continuos
- Secuenciales
- Múltiples
- Diferenciales

**Continuos:** Un receptor de búsqueda continua tiene al menos cinco o mas canales "hardware", cuatro para seguir los cuatro satélites simultáneamente y uno quinto a mayores para adquirir nuevos satélites. Debido principalmente a su gran complejidad estos receptores son los más caros aunque también los que ofrecen el mejor de los servicios. Los receptores multicanal utilizan el quinto canal para leer el mensaje de navegación de un nuevo satélite GPS, cuando el receptor GPS cambia los satélites seleccionados. Por separado, los canales de seguimiento dedicados permiten a los receptores mantener la precisión de la

localización bajo un movimiento extremo, proporcionan el mejor sistema anti-interferencias y poseen el tiempo mas bajo para fijar todos los satélites, en ingles "time to fix first" (a partir de ahora TTFF). Este tipo de receptores GPS está destinado a vehículo de gran velocidad que requieren TFF bajo, como son submarino, o bien para aquellos usuarios que necesiten de un sistema anti interferencias para recibir la señal.

**Secuenciales:** Un receptor secuencial fija los satélites mediante uno o dos canales "hardware". El sistema fija un satélite detrás de otro y los combina cuando la pseudo distancia a los cuatro satélites está calculada. Estos receptores GPS son los mas económicos. En contrapartida no son capaces de operar a grandes velocidades y poseen el sistema de fijación de satélites más lento el mercado.

Dentro de los receptores secuenciales se distinguen dos tipos:

- Receptores mono canal
- Receptores bicanal.

Los receptores secuenciales de un canal calculan las pseudo distancias tanto en la frecuencia L1 como en la L2, con el fin de determinar la posición y compensar el retardo de la señal e la ionosfera. Para poder obtener un posicionamiento preciso el receptor GPS no necesita calcular por separado la posición de cada uno de los satélites, obtener las orbitas exactas y a partir de esos datos, generar un modo que le permita calcular la posición de todos los satélites en el mismo momento. Cualquier movimiento del receptor durante el tiempo en que se reciben los datos de posición de los satélites pueden reducir sensiblemente la precisión del posicionamiento. Los receptores secuenciales monocanales tienen limitado su uso aquellas frecuencias en las que el movimiento sea mínimo.

Los receptores secuenciales bicanal están diseñados para su utilización de vehículos de velocidad reducida, como pueden ser automóviles o helicópteros. Durante la conexión inicial con los satélites operan como un receptor secuencial monocanal. Pero en el momento en que los cuatro satélites están fijados, el segundo canal se dedica a establecer la conexión con todos los satélites, recibiendo la posición de cada uno, mientras que el otro se dedica a leer el

mensaje de navegación de cada uno de los satélites. Cualquiera de los canales esta preparado para leer tanto la frecuencia L1 como la L2 con el fin de compensar el retraso provocado por la ionosfera. Un receptor GPS bacanal mejora considerablemente el TTFF en comparación con un receptor monocanal.

**Múltiples:** Un receptor múltiple (o receptores MUX) conmuta de la señas de un satélite a señal de otro a una gran frecuencia (habitualmente unas 50 veces por segundo), recogiendo continuamente datos para mantener de dos a ocho señales procesándose mediante "software". Adicionalmente, el receptor lee continuamente el mensaje de navegación de todos los satélites. En un receptor múltiple de un único canal hardware, es un reloj el que se encarga de repartir el uso de tiempo del canal. El problema principal de estos receptores GPS es su sensibilidad ante las interferencias, lo cual hace que los sistemas de recepción continuos serán idóneos para fines militares. No sucede lo mismo con los receptores GP comerciales, ya que al remplazar componentes "hardware" por procesos "software", el precio de estos receptores disminuye.

**Diferenciales:** Con el fin de optimizar la precisión de la medición GPS, se desarrollo una técnica conocida como "Diferential Golbal Positioning System" (a partir de ahora DGPS). La precisión en el receptor GPS depende de muchos factores de entre los que destacan el sistema SA, la desviación de los relojes o el retraso de la señal provocado por la ionosfera.

La idea principal del sistema DGPS se basa en el hecho de que los satélites están situados a una gran altura. Ante esta situación, el tiempo que tarda la señal en llegar a dos puntos cualesquiera situados a una distancia considerable entre si, por ejemplo 220km deberá contener el mismo error de medición.

El sistema DGPS utiliza estaciones terrestres de referencia (bases pertenecientes a la guardia costera de los EEUU y a agencias internacionales que establecen sus estaciones alrededor de puerto y ríos navegables) La estación de referencia (con coordenadas exactas ya conocidas) en lugar de calcular su posición de nuevo, establece el tiempo de travesías ( $T_c$ ) para cada uno de los satélites que tiene a la vista y los compara con el tiempo



proporcionado por cada satélite ( $T_s$ ). La diferencia entre el  $T_c$  y el  $T_s$  se conoce como error de corrección (EC). Cuando un receptor GPS con tecnología DGPS fija los satélites, la estación de referencia transmite el EC con el fin de corregir los errores en las medidas del receptor.

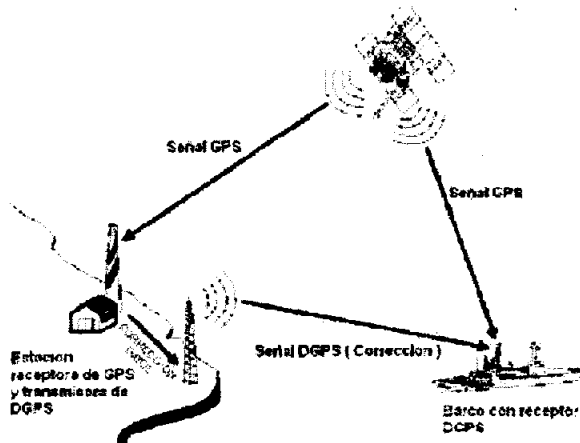


Figura 6- Funcionamiento DGPS

## PROCESAMIENTO DE DATOS.

### MODELO DE AJUSTE POR MMCC.

Antes de introducirnos en el procesamiento de los datos, ya sea para el cálculo de *posicionamientos absolutos* o puntos singulares (*singles points*), o para el cálculo de *posicionamientos diferenciales*, debemos analizar el modelo de ajuste a utilizar.

Se pueden utilizar diversas técnicas de ajuste, pero aquí nos vamos a basar en el método de ajuste estándar por mínimos cuadrados, basado en la utilización de una serie de ecuaciones, donde las observaciones son expresadas en función de los parámetros incógnitas. En el caso de que las ecuaciones no sean lineales,

es preciso linealizarlas por medio del desarrollo en serie de Taylor, para lo cual es preciso conocer unos valores aproximados de las incógnitas. El desarrollo en serie de Taylor puede ser truncado a partir de los términos de segundo orden, con el fin de obtener una función lineal con respecto a las incógnitas.

El modelo de observación lineal conseguido tras aplicar el desarrollo en serie de Taylor, puede ser expresado en forma matricial de la siguiente forma:

$$L = A \cdot x .$$

Donde:

L : Vector columna de las observaciones.

A : Matriz de diseño.

x : Vector columna de las incógnitas.

Si suponemos el caso en el que tengamos "n" ecuaciones y "u" incógnitas, siendo  $n > u$ , entonces la matriz de diseño, A , tendrá "n" filas y "u" columnas. Pero para estas condiciones, tendremos un sistema de ecuaciones compatible sobredeterminado (es decir existen más ecuaciones que incógnitas), y por lo general, debido a los errores inherentes de la observación, no será un sistema consistente, existiendo unos residuos, V, para cada ecuación. Por lo tanto, teniendo en cuenta estos residuos, el modelo queda de la forma :

$$L + V = A \cdot x$$

La resolución de este sistema se realiza aplicando el principio de mínimos cuadrados, que es:  $V^T P V = \text{mínimo}$ . La aplicación de este principio en las ecuaciones de observación lleva al siguiente sistema de ecuaciones normales:

$$A^T \cdot P \cdot A \cdot x = A^T \cdot P \cdot L$$

Donde la solución para los parámetros incógnita, x, es:

$$x = (A^T \cdot P \cdot A)^{-1} \cdot A^T \cdot P \cdot L$$

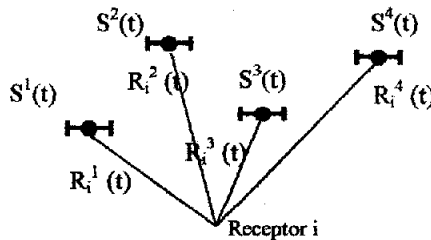
Que puede ser simplificada por:

$$x = N_A^{-1} \cdot t \quad \text{donde } N_A = (A^T \cdot P \cdot A) \text{ y } t = A^T \cdot P \cdot L.$$

### CÁLCULO DE POSICIONAMIENTOS ABSOLUTOS.

La expresión de la pseudodistancia para medidas de código para una época  $t$  correspondiente al receptor "i" y al satélite "j", tiene la siguiente expresión:

$$R_i^j(t) = \rho_i^j(t) + c \cdot \delta^j(t) \mp c \cdot \delta_i(t)$$



Siendo:

$R_i^j(t)$ : La pseudodistancia entre el satélite y el receptor.

$\rho_i^j(t)$ : La distancia geométrica real entre el satélite y el receptor.

$c$ : Velocidad de la luz en el vacío.

$\delta_i^j(t)$ : Término que representa los errores o desfases de los relojes respecto a la escala de tiempos.

Pero en esta ecuación, la expresión de la distancia geométrica real entre satélite-receptor,  $\rho$ , tiene una forma no lineal, y por lo tanto, tendremos que linealizarla aplicando el desarrollo en serie de Taylor y partiendo de unos valores aproximados de las coordenadas del punto  $(X_{i_0}, Y_{i_0}, Z_{i_0})$ . En el modelo que vamos a considerar, únicamente tendremos en cuenta los errores de los relojes, sin considerar los efectos ionosféricos y troposféricos. La ecuación, una vez linealizada la expresión de la pseudodistancia queda de la siguiente forma:

$$R_i^j(t) = \rho_{i_0}^j(t) - \frac{X^j(t) - X_{i_0}}{\rho_{i_0}^j(t)} \Delta X_i - \frac{Y^j(t) - Y_{i_0}}{\rho_{i_0}^j(t)} \Delta Y_i - \frac{Z^j(t) - Z_{i_0}}{\rho_{i_0}^j(t)} \Delta Z_i + c \cdot \delta^j(t) - c \cdot \delta_i(t)$$

Siendo  $i$  el punto sobre la superficie y  $j$  el satélite. Operando, y dejando en la parte derecha de la expresión únicamente los parámetros incógnita y en la izquierda los valores conocidos, tenemos que:

$$R_i^j(t) - \rho_{i_0}^j(t) - c \cdot \delta^j(t) = - \frac{X^j(t) - X_{i_0}}{\rho_{i_0}^j(t)} \Delta X_i - \frac{Y^j(t) - Y_{i_0}}{\rho_{i_0}^j(t)} \Delta Y_i - \frac{Z^j(t) - Z_{i_0}}{\rho_{i_0}^j(t)} \Delta Z_i - c \cdot \delta_i(t)$$

El término  $\delta^j(t)$  no se considera como incógnita, puesto que se supone conocido a partir de los datos que envía el satélite en su mensaje de navegación.

La expresión anterior, válida para la época  $t$  contiene cuatro incógnitas ( $\Delta X_i, \Delta Y_i, \Delta Z_i, \delta_i(t)$ ), por lo tanto, si dispusiéramos de una única época  $t$  y quisiéramos resolver el sistema, necesitaríamos un mínimo de 4 satélites. En este caso, nos encontramos ante un sistema compatible determinado, en el que existe solución única. El sistema de ecuaciones formado por las 4 pseudodistancias a los 4 satélites se podría expresar de la forma  $A \cdot x = L$ , y los valores de la incógnitas los obtendríamos mediante  $x = A^{-1} \cdot L$ . Si se mide el valor de la pseudodistancia a un  $n^\circ$  de satélites mayor que 4, sean  $j$  satélites en una época  $t$ , se puede plantear un sistema de  $j$  ecuaciones de pseudodistancia con 4 incógnitas y resolver por MMCC, siendo la expresión del vector de incógnitas,  $x$ , como se vio anteriormente, es decir,  $x = N_A^{-1} \cdot t$ .

Obteniendo los valores de las incógnitas del punto  $\Delta X_i, \Delta Y_i, \Delta Z_i$  para cada época  $t$ , podemos añadir estos valores a las coordenadas aproximadas del punto y obtener los valores  $X, Y, Z$  de las coordenadas del punto de estación. Hay que recalcar que la selección de los valores aproximados de las coordenadas del punto es completamente arbitraria, incluso pueden ser cero, pero esto requiere más iteraciones.

El posicionamiento absoluto de un punto se puede aplicar en cada época. Pero si tenemos un cierto  $n^\circ$  de épocas registradas, podremos resolver el sistema para cada época, obteniendo las coordenadas del punto en cada época y luego hacer una media de todas estas coordenadas para obtener una mejor solución en el posicionamiento del punto. Este proceso de cálculo recibe el nombre de "cálculo de un punto simple o *single point*".

Todo este proceso de cálculo de medidas de pseudodistancia por código puede ser planteado para la portadora L1 y para la portadora L2, utilizando el código C/A o P, y el código P, respectivamente. También es posible realizar posicionamientos absolutos con medidas de fase, pero no son aplicables debido a que resulta muy cara la herramienta para la precisión esperada.

## CÁLCULO DE POSICIONAMIENTOS DIFERENCIALES.

Mientras que en el *posicionamiento absoluto* sólo interviene un único receptor, del que se pretenden obtener sus coordenadas directamente a partir de las pseudodistancias a los satélites, en el *posicionamiento diferencial* intervienen dos receptores y el objetivo de este tipo de posicionamiento es la determinación de las coordenadas de un punto desconocido a partir de otro punto, cuyas coordenadas son conocidas y del cálculo de la línea base que los une.

Sea A un punto conocido, B un punto desconocido y  $v_{AB}$  el vector que los une, podemos expresar el vector de posición de B a partir del vector de posición de A por medio de la siguiente expresión:

$$\mathbf{X}_B = \mathbf{X}_A + \mathbf{v}_{AB}$$

Las componentes del vector son:

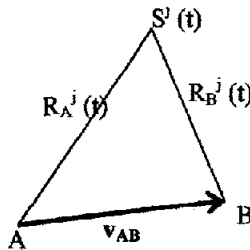
$$\mathbf{v}_{AB} = \begin{bmatrix} X_B - X_A \\ Y_B - Y_A \\ Z_B - Z_A \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Delta X_{AB} \\ \Delta Y_{AB} \\ \Delta Z_{AB} \end{bmatrix}$$

### CÁLCULO DEL POSICIONAMIENTO DIFERENCIAL POR CÓDIGO.

Partiendo de la ecuación de la pseudodistancia para medidas de código, ésta puede ser planteada para dos puntos A y B observando a un mismo satélite j y en una misma época de la forma siguiente:

$$R_A^j(t) = \rho_A^j(t) + c \cdot \rho^j(t) - c \cdot \rho_A(t)$$

$$R_B^j(t) = \rho_B^j(t) + c \cdot \rho^j(t) - c \cdot \rho_B(t)$$



El vector  $\mathbf{v}_{AB}$  puede ser expresado como diferencia de ambas pseudodistancias:

$$\mathbf{v}_{AB} = R_B^j(t) - R_A^j(t) = R_{AB}^j(t)$$

Sustituyendo los valores de  $R_A^j(t)$  y  $R_B^j(t)$ , se elimina el error del reloj del satélite, quedando:

$$\begin{aligned} v_{AB} &= \rho_B^j(t) - \rho_A^j(t) - c \cdot (\tau_B(t) - \tau_A(t)) = \\ &= \rho_B^j(t) - \rho_A^j(t) - c \cdot (\tau_A(t) - \tau_B(t)) = R_{AB}^j(t) \end{aligned}$$

Esta expresión representa la *ecuación en simple diferencias* para posicionamiento relativo por medida de código.

Sustituyendo en la expresión anterior, los valores de  $X^j(t)$  y  $Y^j(t)$  por su expresión linealizada, y colocando los términos conocidos a la izquierda, queda:

$$\begin{aligned} R_{AB}^j(t) - \rho_{Bo}^j(t) + \rho_{Ao}^j(t) &= - \frac{X^j(t) - X_{Bo}}{\rho_{Bo}^j(t)} \Delta X_B - \frac{Y^j(t) - Y_{Bo}}{\rho_{Bo}^j(t)} \Delta Y_B - \frac{Z^j(t) - Z_{Bo}}{\rho_{Bo}^j(t)} \Delta Z_B \\ &+ \frac{X^j(t) - X_{Ao}}{\rho_{Ao}^j(t)} \Delta X_A + \frac{Y^j(t) - Y_{Ao}}{\rho_{Ao}^j(t)} \Delta Y_A + \frac{Z^j(t) - Z_{Ao}}{\rho_{Ao}^j(t)} \Delta Z_A \\ &+ c \cdot (\delta_A(t) - \delta_B(t)) \end{aligned}$$

Donde inicialmente el n° de incógnitas es 8. Sin embargo, para posicionamiento relativo o diferencial se supone un punto conocido, sea A, y por lo tanto  $\Delta X_A = \Delta Y_A = \Delta Z_A = 0$ , y la expresión queda:

$$\begin{aligned} R_{AB}^j(t) - \rho_{Bo}^j(t) + \rho_{Ao}^j(t) &= - \frac{X^j(t) - X_{Bo}}{\rho_{Bo}^j(t)} \Delta X_B - \frac{Y^j(t) - Y_{Bo}}{\rho_{Bo}^j(t)} \Delta Y_B - \frac{Z^j(t) - Z_{Bo}}{\rho_{Bo}^j(t)} \Delta Z_B \\ &+ c \cdot (\delta_B(t) - \delta_A(t)) \end{aligned}$$

Donde las incógnitas se reducen a 5. Una ecuación de este tipo puede ser planteada para cada época  $t$  y para cada satélite  $j$ , por lo tanto para resolver el

sistema en una época se necesitan un mínimo de 5 satélites. Si el n° de satélites es mayor se realiza un ajuste por mínimos cuadrados, como ya vimos en el caso de posicionamiento absoluto.

Por cada época que aumentemos tendremos 2 nuevas incógnitas de los relojes  $\delta_B(t)$  y  $\delta_A(t)$ . Si tenemos un cierto n° de épocas, podemos resolver el sistema para cada época, calculando un valor de  $R_{AB}(t_i)$ , y luego hacer una media entre todos los valores obtenidos.

Todo este proceso puede ser planteado tanto para la portadora L1 como para la portadora L2, donde la notación de las expresiones sería  $R_{AB}^{L1}(t_i)$  y  $R_{AB}^{L2}(t_i)$ , para cada satélite j y cada época  $t_i$ .

## CÁLCULO DEL POSICIONAMIENTO DIFERENCIAL POR FASE.

### Simple diferencias.

Partiendo de la ecuación de pseudodistancias para medidas de fase :

$$\Phi_A^j(t) - f\delta_A(t) = \frac{1}{\lambda} \rho_A^j(t) + N_A^j - f\delta_A(t)$$

Ésta puede ser planteada para dos puntos A y B observando a un mismo satélite en una misma época t, de la forma siguiente:

$$\Phi_A^j(t) - f\delta_A(t) = \frac{1}{\lambda} \rho_A^j(t) + N_A^j - f\delta_A(t)$$

$$\Phi_B^j(t) - f\delta_B(t) = \frac{1}{\lambda} \rho_B^j(t) + N_B^j - f\delta_B(t)$$

Restando ambas ecuaciones, tendremos:



$$\Phi_B^j(t) - \Phi_A^j(t) = \frac{1}{\lambda} (\rho_B^j(t) - \rho_A^j(t)) + N_B^j - N_A^j - f \cdot (\delta_B(t) - \delta_A(t))$$

Obteniendo la *ecuación en simple diferencias*. Podemos reducir la expresión considerando las siguientes notaciones:

$$N_{AB}^j = N_B^j - N_A^j$$

$$\delta_{AB}(t) = \delta_B(t) - \delta_A(t)$$

$$\Phi_{AB}^j(t) = \Phi_B^j(t) - \Phi_A^j(t)$$

$$\rho_{AB}^j(t) = \rho_B^j(t) - \rho_A^j(t)$$

Sustituyendo en la ecuación de simples diferencias:

$$\Phi_{AB}^j(t) = \frac{1}{\lambda} \rho_{AB}^j(t) + N_{AB}^j - f \delta_{AB}(t)$$

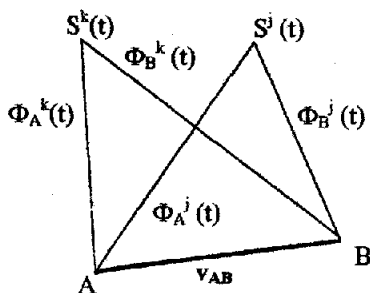
Obteniendo la forma final de la *ecuación de simples diferencias*, donde podemos comprobar que se ha eliminado el error del estado del reloj del satélite ( $\Phi^j(t)$ ).

### Doble diferencias.

Suponiendo que tenemos dos receptores situados en los puntos de estación A y B, y dos satélites "j" y "k", podemos obtener dos expresiones en simple diferencia:

$$\Phi_{AB}^j(t) = \frac{1}{\lambda} \rho_{AB}^j(t) + N_{AB}^j - f \delta_{AB}(t)$$

$$\Phi_{AB}^k(t) = \frac{1}{\lambda} \rho_{AB}^k(t) + N_{AB}^k - f \delta_{AB}(t)$$



Si las frecuencias de emisión de los dos satélites son la misma ( $f^j = f^k$ ), restando ambas expresiones obtenemos la *ecuación en dobles diferencias*:

$$\Phi_{AB}^k(t) - \Phi_{AB}^j(t) = \frac{1}{\lambda} (\rho_{AB}^k(t) - \rho_{AB}^j(t)) + N_{AB}^k - N_{AB}^j$$

Podemos simplificar la expresión de la siguiente forma:

$$\Phi_{AB}^{jk}(t) = \frac{1}{\lambda} \rho_{AB}^{jk}(t) + N_{AB}^{jk}$$

Donde:

$$\Phi_{AB}^{jk}(t) = \Phi_B^k(t) - \Phi_B^j(t) - \Phi_A^k(t) + \Phi_A^j(t)$$

$$\rho_{AB}^{jk}(t) = \rho_B^k(t) - \rho_B^j(t) - \rho_A^k(t) + \rho_A^j(t)$$

$$N_{AB}^{jk}(t) = N_B^k(t) - N_B^j(t) - N_A^k(t) + N_A^j(t)$$

Como podemos comprobar en esta ecuación de doble diferencias se han eliminado las incógnitas de los estados de los relojes de los receptores. Esto es válido para el caso en el que se realicen observaciones simultáneas y siendo iguales las frecuencias de las señales de los satélites.

### Triple diferencias.

Hasta ahora hemos considerado únicamente una época. Pero para eliminar la incógnita de las ambigüedades es necesario hacer la diferencia de dos ecuaciones de doble diferencias para dos épocas. Denotando las dos épocas por  $t_1$  y  $t_2$ , tenemos:

$$\Phi_{AB}^{jk}(t_1) = \frac{1}{\lambda} \rho_{AB}^{jk}(t_1) + N_{AB}^{jk}$$

$$\Phi_{AB}^{jk}(t_2) = \frac{1}{\lambda} \rho_{AB}^{jk}(t_2) + N_{AB}^{jk}$$

Restando ambas expresiones de doble diferencias, tendremos:

$$\Phi_{AB}^{jk}(t_2) - \Phi_{AB}^{jk}(t_1) = \frac{1}{\lambda} (\rho_{AB}^{jk}(t_2) - \rho_{AB}^{jk}(t_1))$$

Obteniendo la *ecuación de triple diferencias*, que puede ser simplificada de la forma:

$$\Phi_{AB}^{jk}(t_{12}) = \frac{1}{\lambda} \rho_{AB}^{jk}(t_{12})$$

Donde:

$$\Phi_{AB}^{jk}(t_{12}) = \Phi_B^k(t_2) - \Phi_B^j(t_2) - \Phi_A^k(t_2) + \Phi_A^j(t_2) - \Phi_B^k(t_1) + \Phi_B^j(t_1) + \Phi_A^k(t_1) - \Phi_A^j(t_1)$$

$$\rho_{AB}^{jk}(t_{12}) = \rho_B^k(t_2) - \rho_B^j(t_2) - \rho_A^k(t_2) + \rho_A^j(t_2) - \rho_B^k(t_1) + \rho_B^j(t_1) + \rho_A^k(t_1) - \rho_A^j(t_1)$$

Existen dos grandes ventajas a la hora de trabajar con ecuaciones en triple diferencias como son:

- La eliminación de la incógnita N (ambigüedades).
- La inmunidad de las ecuaciones en triple diferencias a los cambios en las ambigüedades, estos cambios son denominados *pérdidas de ciclo*.

Para desarrollar el cálculo del posicionamiento diferencial con medidas de fase vamos a partir del modelo de ecuación de doble diferencias, que multiplicada por  $\lambda$  para pasar a unidades de longitud, se obtiene:

$$\lambda \Phi_{AB}^{jk}(t) = \rho_{AB}^{jk}(t) + \lambda N_{AB}^{jk}$$

Donde el término  $\rho_{AB}^{jk}$ , contiene las siguientes distancias geométricas:

$$\rho_{AB}^{jk}(t) = \rho_B^k(t) - \rho_B^j(t) - \rho_A^k(t) + \rho_A^j(t)$$

Y cada uno de estos cuatro términos debe ser linealizado partiendo de unos valores aproximados de la coordenadas de los puntos.

Si pasamos los términos conocidos a la parte izquierda de la expresión, el término que denotaremos por  $I_{AB}^{jk}(t)$  de valores conocidos será:

$$I_{AB}^{jk}(t) = \lambda \Phi_{AB}^{jk}(t) - \rho_{B_0}^k(t) + \rho_{B_0}^j(t) + \rho_{A_0}^k(t) - \rho_{A_0}^j(t)$$

El cual comprende el valor medido  $\lambda \Phi_{AB}^{jk}(t)$  por diferencia de fase y los términos calculados a partir de los valores aproximados de las coordenadas. La ecuación de doble diferencias en su expresión linealizada es:

$$I_{AB}^{jk}(t) = \alpha_{XA}^{jk}(t) \cdot \Delta X_A + \alpha_{YA}^{jk}(t) \cdot \Delta Y_A + \alpha_{ZA}^{jk}(t) \cdot \Delta Z_A \\ + \alpha_{XB}^{jk}(t) \cdot \Delta X_B + \alpha_{YB}^{jk}(t) \cdot \Delta Y_B + \alpha_{ZB}^{jk}(t) \cdot \Delta Z_B + \lambda N_{AB}^{jk}$$

Donde los coeficientes  $\alpha^{jk}(t)$  forman parte de la linealización de la expresión de las distancias geométricas receptor-satélite. Esta expresión representa el caso general de una línea base donde los dos puntos son desconocidos.

Sin embargo, en el posicionamiento diferencial las coordenadas de un punto deben ser conocidas, y por lo tanto se reduce el número de incógnitas. Si suponemos que el punto A es conocido, entonces  $\Delta X_A, \Delta Y_A, \Delta Z_A = 0$ , y la expresión queda de la forma:

$$I_{AB}^{jk}(t) = \lambda \cdot \Phi_{AB}^{jk}(t) - \rho_{B_0}^k(t) + \rho_{B_0}^j(t) + \rho_A^k(t) - \rho_A^j(t)$$

$$I_{AB}^{jk}(t) = \alpha_{X_B}^{jk}(t) \cdot \Delta X_B + \alpha_{Y_B}^{jk}(t) \cdot \Delta Y_B + \alpha_{Z_B}^{jk}(t) \cdot \Delta Z_B + \lambda N_{AB}^{jk}$$

Tomando un satélite de referencia, sea j, una ecuación de este tipo puede ser planteada para cada época t y para cada satélite con el de referencia j. Para una época inicial  $t_0$ , el número entero de longitudes de onda para un satélite S será N. Este valor de N se puede expresar como:

$$N = N_0 + \Delta N$$

Donde  $N_0$  es el valor aproximado de las ambigüedades para la época  $t_0$  inicial, calculado a partir de las coordenadas aproximadas del punto, por lo tanto, nuestra incógnita, en realidad es el valor de  $\Delta N$ , que tenemos que sumar al valor inicial  $N_0$  para obtener el valor de la ambigüedad inicial. Este valor de N se puede considerar constante en el tiempo, y cada vez que la distancia satélite-receptor varíe en una vez el valor de la longitud de la onda, el valor de N variará en una unidad. Por lo tanto, si en un momento determinado calculamos N (el de la época inicial), podremos posteriormente calcular los N para el resto de épocas, ya que  $|\Delta N|$  de cada época con respecto a la época inicial son conocidos, gracias a las mediciones de diferencia de fase. Hay que considerar un valor N de ambigüedad de cada satélite para la época inicial  $t_0$ , y a partir de aquí considerar el valor de N constante en el tiempo.

Se plantea un sistema de ecuaciones de doble diferencias y se resuelve por MMCC como en los casos anteriores. Se obtienen las coordenadas del punto desconocido y, el valor, en número real, de las ambigüedades. Con este valor real de N tenemos que llegar al valor entero utilizando una de las técnicas de búsqueda de ambigüedades.

Las coordenadas aproximadas del punto desconocido se obtienen planteando las ecuaciones de triple diferencias donde se eliminaba el valor de la ambigüedad.

Esta solución sólo puede ser aproximada debido a la correlación que existe en estas ecuaciones, pero que sin embargo, mejora la solución del punto obtenida por medidas de código. Estos valores aproximados de  $X_{B_0}$ ,  $Y_{B_0}$ , y  $Z_{B_0}$  serán utilizados para los valores de  $\rho_{B_0}(t)$  a cada uno de los satélites en cada época en las ecuaciones de dobles diferencias.

Todo esto puede ser planteado tanto para la portadora L1 como para la portadora L2. Si se poseen medias de fase sobre ambas portadoras L1 y L2 pueden ser planteadas algunas de las combinaciones tratadas.

### ***TÉCNICAS PARA LA RESOLUCIÓN DE AMBIGÜEDADES.***

- a) Resolución de ambigüedades para medidas de fase de una sólo frecuencia.

Este método tiene su más directa aplicación cuando sólo se dispone de las medidas de fase en una única frecuencia ( L1 o L2 ). Las medidas son modeladas por medio de la ecuación anterior, y tras linealizarla es procesada. Dependiendo del modelo elegido, se tienen en cuenta en un ajuste común las incógnitas ( coordenadas del punto, errores de los relojes, ... ) junto con el valor de N. La naturaleza entera del valor de N se pierde y es estimado como valor real.

Para fijar las ambigüedades a valores enteros, se realiza un ajuste secuencial, analizando la desviación estandar de N para ser determinada con mayor fiabilidad.

## b) Resolución de ambigüedades para medidas de fase de doble frecuencia.

La resolución de ambigüedades para medidas de fase de doble frecuencia cambia significativamente. Hay muchas ventajas en este caso porque se pueden formar varias combinaciones lineales. Se han propuesto varias técnicas como la de la *banda ancha*, y la de la *banda estrecha*.

La expresión de la banda ancha es la siguiente:  $\Phi_w = \Phi_{L1} - \Phi_{L2}$ . La frecuencia de esta señal es  $f_w = 347,82$  MHz y la longitud de onda correspondiente es  $\lambda_w = 86,2$  cm. Esto significa un incremento importante comparado con las longitudes de onda originales 19 cm ( $L_1$ ) y 24,4 cm ( $L_2$ ). El uso de la banda ancha ( $L_w$ ) proporciona una reducción del espacio búsqueda de ambigüedades. Esto es la clave para una solución más sencilla del valor entero de las ambigüedades. El ajuste basado en el modelo de banda ancha da como resultado ambigüedades de banda ancha  $N_w$ , que son más fáciles de resolver que las ambigüedades de la portadora base. Lo mismo ocurre cuando se utiliza la banda estrecha.

### TÉCNICA DE BÚSQUEDA.

La información resultante de la matriz de varianza-covarianza del ajuste de las ambigüedades, puede ser usada como una técnica de búsqueda. En esta técnica, todos los valores enteros localizados en una determinada región de confianza alrededor de la solución, son considerados candidatos para la solución final de la ambigüedad. Por lo tanto, todas las combinaciones posibles de estas ambigüedades son consideradas como valores conocidos y sustituidos en subsiguientes ajustes. Del conjunto de soluciones, la mejor solución que se toma es la combinación de valores enteros en los que es menor el error medio cuadrático para la posición que es tomada como mejor solución. Esta solución se elige cuando el ratio (que indica la fiabilidad del cálculo) del error medio cuadrático entre la mejor y la segunda mejor solución es mayor de 2 ó 3. Este método solo se aplica para el cálculo de una única línea base.

Un método ligeramente más sofisticado es el denominado Método Rápido de Resolución de Ambigüedades por Aproximación (*FARA*), desarrollado por Frei y Beutler (1992). Las principales características de este método son:

- Usa información estadística del ajuste inicial para seleccionar un rango de búsqueda.
- Usa información de la matriz de varianza-covarianza para rechazar el conjunto de ambigüedades que no son aceptables desde un punto de vista estadístico.
- Aplica hipótesis estadísticas para seleccionar los valores correctos de las ambigüedades.

El algoritmo de *FARA* puede ser dividido en cuatro pasos:

- Cálculo de una solución flotante para la portadora.
- Elección de los conjuntos de valores de las ambigüedades que serán testeadas.
- Cálculo de una solución fija para cada conjunto de valores de las ambigüedades.
- Comprobación o chequeo estadístico de la solución fijada con la menor varianza.

Se estiman valores reales para las ambigüedades en doble diferencias basándose en las medidas de fase sobre la portadora y realizando un ajuste donde se calcula la matriz cofactor de las incógnitas y la varianza a posteriori de la unidad de peso, de donde se puede calcular la matriz de varianza-covarianza de las incógnitas y las desviaciones estándar de las ambigüedades. El criterio para elegir los valores de las ambigüedades que serán testeadas, está basado en los intervalos de confianza de los valores reales de las ambigüedades.



Con este y otros criterios se pretende reducir el número de posibles conjuntos de valores enteros de las ambigüedades. Incluso una más impresionante reducción se consigue si se dispone de medidas de fase en dos frecuencias. Seguidamente se realiza un ajuste por mínimos cuadrados con valores aproximados de las ambigüedades para cada conjunto de valores de las ambigüedades, consiguiendo componentes de líneas base ajustadas y un factor de varianza a posteriori.

Finalmente se investiga la solución con la menor varianza a posteriori. Las componentes de la línea base para esta solución son comparadas con la solución flotante o fluctuante (float). Si la solución es compatible, se acepta. Esta *compatibilidad* puede ser chequeada por medio de la distribución  $\chi^2$ , que testea la compatibilidad de la varianza a posteriori con la varianza a priori. Lo que es más, se puede aplicar un test de Fisher a la solución con la menor varianza y a la de segunda menor varianza para asegurar que no están correlados.

Euler en 1990 presentó técnicas de búsqueda muy eficientes y rápidas, basadas en la técnica FARA. Primero, se introduce un conjunto de valores enteros de las ambigüedades en el proceso de ajuste, consiguiéndose de este modo un constreñimiento de las soluciones de las ambigüedades, así como del valor de la varianza a posteriori.

La influencia de otros conjuntos de ambigüedades sobre la solución inicial y la varianza a posteriori se determina sin recalcular el ajuste enteramente. Esta influencia puede ser calculada por medio de alguna matriz simple y por la intervención de un vector donde debe ser invertida solo una matriz reducida con la dimensión de las ambigüedades constreñidas.

## MÉTODOS DE POSICIONAMIENTO.

Podemos diferenciar dos modos de posicionamiento, y dentro de ellos las variantes que se pueden considerar. Fundamentalmente son el absoluto y el diferencial.

### POSICIONAMIENTO ABSOLUTO.

Se realiza con un único receptor, y consiste en la solución de una intersección directa de todas las distancias receptor-satélite sobre el lugar de estación en un período de observación dado. La medida y la solución son por lo tanto directas.

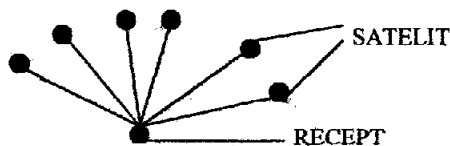
Para llevar a cabo el posicionamiento, el receptor recibe las señales de los satélites y determina su posición en coordenadas absolutas y en el sistema de referencia al que están referidos los satélites. Las observables utilizadas para el posicionamiento absoluto suelen ser los códigos, pero también se podrían utilizar las diferencias de fase o ambas.

Para resolver un posicionamiento absoluto es necesario recibir la información de al menos cuatro satélites, ya que cada uno de ellos proporciona una ecuación al sistema y nuestras incógnitas son cuatro ( $X, Y, Z$  y estado del reloj del receptor). Esto está garantizado gracias a las configuraciones de las constelaciones NAVSTAR y GLONASS, según las cuales siempre tendremos en cualquier lugar del planeta al menos cuatro satélites sobre el horizonte.

El posicionamiento absoluto tiene la ventaja de que con un sólo instrumento de observación podemos obtener nuestra posición, pero posee una serie de inconvenientes que repercuten seriamente en la precisión del posicionamiento, y por ello no hace del método una aplicación apropiada en trabajos de precisión. Entre los inconvenientes más relevantes destacan:

- Influencia importante de los errores producidos por la atmósfera.
- En el caso de recibir señales de la constelación NAVSTAR, el efecto de la disponibilidad selectiva (S/A) hace que nuestro posicionamiento no sea el correcto.
- Imposibilidad de eliminar errores por compensación, como son el efecto multipath, osciladores, excentricidad de la antena, retardo atmosférico, etc.

Esto, hace sea una forma expedita de posicionamiento, resultando útil para usuarios de barcos, aviones, vehículos, deporte, ocio y todas aquellas aplicaciones donde la tolerancia de error al determinar una posición esté por encima de los cien metros, que viene ser la precisión que ofrece generalmente el método, en función del tipo de receptor, estado de la constelación y condiciones de observación. Las soluciones se suelen obtener en tiempo real, bien con solución instantánea de navegación o por resolución de un sistema minimocuadrático en el que la redundancia del sistema está en función del tiempo de observación. Se habla entonces de los posicionamientos absolutos más precisos (puntos singulares o "single point").



*Situación de un posicionamiento absoluto.*

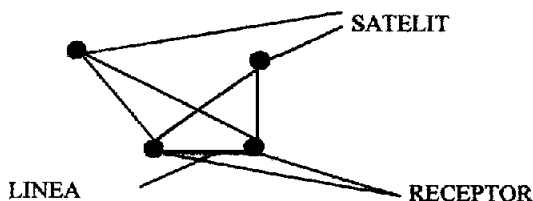
## POSICIONAMIENTO DIFERENCIAL.

Es el que se realiza cuando las precisiones requeridas son mayores. Será mejor o peor en función del instrumental utilizado y la técnica de posicionamiento diferencial a la que se recurra.

El posicionamiento diferencial consiste en hallar la posición absoluta de un punto (móvil, objetivo, etc.) mediante las observaciones realizadas desde ese punto a unos determinados satélites, sumadas a las realizadas en ese mismo instante desde otro punto (referencia) a esos mismos satélites. Por lo tanto, aquí aparece el concepto de *línea base*, que es la línea recta que une el punto de referencia y el punto objetivo.

Esta línea base, no es medida de forma directa, ya que nuestras observaciones son sobre los satélites y no entre los puntos. Por lo tanto, la obtención de la línea base se produce de forma indirecta. Es por esto que las incógnitas no son los incrementos de coordenadas entre los dos puntos, sino que son los diferenciales ( $dx$ ,  $dy$ ,  $dz$ ) que hay que añadir a las coordenadas aproximadas absolutas ( $X_0$ ,  $Y_0$ ,  $Z_0$ ) de cada punto. Si conocemos de partida las coordenadas del punto de referencia, las incógnitas se reducen a las del punto objetivo, que una vez halladas, unidas a las del punto de referencia, nos darán las componentes y valores de la línea base que los une.

Para resolver estos sistemas, se recurre a los algoritmos de simples, dobles y triples diferencias, explicados en el capítulo anterior, con los que se consigue eliminar gran parte de los errores que afectan a la observación y garantizan una posición relativa excelente entre dos puntos unidos por una línea base. Por lo tanto, con este método podemos tener posiciones relativas muy buenas, pero las posiciones absolutas en el sistema de referencia son igual de precisas que si hubiéramos usado un posicionamiento absoluto. Para solucionar esto, se introducen como puntos de referencia aquellos de los que se tiene conocimiento de su posición absoluta con precisión sobre el sistema de referencia en el que estamos trabajando.



*Situación de un posicionamiento diferencial.*

Dependiendo de las observables, instrumental de observación y software de cálculo utilizados, podemos citar las siguientes técnicas o métodos posicionamiento diferencial:

**Estático.** Este modo de posicionamiento consiste en el estacionamiento de receptores que no varían su posición durante la etapa de observación. La referencia puede establecerse en cualquiera de ellos y la precisión será función del tiempo de observación, de la geometría y del instrumental utilizado.

Una variante del método estático es el denominado *estático rápido*, el cual se puso en funcionamiento gracias a la inclusión de algoritmos de tratamiento de las señales y espacios de búsqueda de ambigüedades más sólidos y rápidos. De este modo, el tiempo de observación y de cálculo se reducen considerablemente. Sirva como ejemplo que este tiempo se puede reducir a diez minutos en instrumentos monofrecuencia y a un minuto en instrumentos bifrecuencia.

Podemos dar una relación de tiempos mínimos y tiempos aconsejables de un modo general en los cuales los resultados ya son satisfactorios:

	Tiempo mínimo	Tiempo óptimo
Instr. monofrecuencia	10 min.	20 min.
Instr. bifrecuencia	1 min.	10 min.

Cuando la distancia entre puntos supera los cien kilómetros o la diferencia de altitud entre ellos supera los 500 m, se debe plantear el prolongar estos tiempos de observación para contrarrestar los errores producidos por la Ionosfera y la Troposfera.

El método estático es el que mayor precisión proporciona, pero también es el que más tiempo de observación requiere. Se pueden obtener precisiones mejores de una parte por millón si utilizamos las observables de diferencia de fase.

Este método está especialmente indicado para:

- Confección de redes fundamentales en las cuales se vayan a apoyar trabajos de Cartografía, Fotogrametría o proyectos de ingeniería.
- Obtención de puntos de apoyo fotogramétrico y control de puntos existentes.
- Control de deformaciones en superficies y estructuras.

Proyectos de investigación sobre el comportamiento y estructura de la atmósfera terrestre, como afecta a las señales, estudio de precisiones, etc.

No obstante, este método tiene la ventaja de que siempre se puede recurrir a él en caso de problemas con la aplicación de otro, ya que es válido para cualquier aplicación. No hay que olvidar que es el método fundamental y en el que se apoyan el resto de métodos de posicionamiento diferencial.

Reocupación o pseudoestático. El método de posicionamiento es el estático, pero puede ocurrir que las condiciones de observación no sean idóneas, bien porque la bondad de la geometría es muy alta ( $GDOP > 8$ ) o bien porque disponemos de menos de cuatro satélites por apantallamientos u obstrucciones.

Para poder dar solución al problema, volvemos a repetir la puesta al cabo de un cierto período (que puede ser visionado con los programas de planificación de observaciones a través de almanques radiodifundidos), con el fin de obtener información de satélites distintos a los de la primera puesta. Para resolver el problema, el software mezcla los datos de las dos puestas para formar un único sistema de resolución como si todo se hubiera realizado una sola vez.

Por lo tanto, el estacionamiento es estático, y la reocupación una forma de solucionar problemas que surgen debido a la falta de información necesaria en posicionamientos estáticos. Las aplicaciones y fundamentos en precisiones y tratamientos de observables son los mismos que los indicados en el método estático, aunque la precisión si que se puede ver mermada en ocasiones.

Cinemático. Este método constituye una solución eficaz al inconveniente de los posicionamientos estáticos que requerían períodos de observación prolongados. Esta indicado para el tratamiento de observables de diferencia de fase.

El fundamento es establecer una estación fija de referencia, estática, y otra estación móvil que va a realizar las puestas en los puntos que se consideren necesarios. Para desarrollar este método es necesaria una inicialización, que supone calcular todos los parámetros de la línea base que une el móvil y la referencia en un instante. Una vez hecho esto, se conservan los valores de las ambigüedades, lo que hace que el número de incógnitas se reduzca a tres ( $X, Y, Z$  del móvil), lo que requiere menos épocas de información para resolver el sistema y por lo tanto menor período de puesta. A modo de ejemplo, si tras la inicialización disponemos de información de seis satélites comunes entre la referencia y el móvil, tendremos en una época cinco ecuaciones en doble diferencia y tres incógnitas, por lo que ya podríamos resolver la posición del móvil. Si tomamos tres épocas, la redundancia es mayor y el resultado más fiable. Si hemos establecido que una época son cinco segundos, tendremos la solución con tan sólo quince segundos de puesta. El problema puede ser resuelto en tiempo real o en post-proceso.

Este método presenta la gran ventaja de que con él se obtienen resultados fiables y con buena precisión en poco tiempo, pero presenta el inconveniente de la posible pérdida de señal. Si esto se produce en un instante, las ambigüedades establecidas en la primera inicialización ya no sirven, lo que requiere un nuevo proceso de inicialización en el lugar donde se produjo la pérdida de señal.

Existen varios modos de inicialización:

- *Estático rápido.* Se realiza una puesta estática de varias épocas hasta que se haya determinado la posición del móvil de forma satisfactoria. Es el modo más lento de inicialización, y es función del tipo de instrumental utilizado, información recibida y potencia del algoritmo de cálculo. Puede variar de uno a algunos minutos.
- *Estática en punto conocido.* El método es análogo al anterior, pero más rápido, ya que al conocer tres de la incógnitas del sistema ( $X, Y, Z$  del móvil) las que quedan por determinar son únicamente los incrementos de los valores de ambigüedad. Por lo tanto, necesitamos menos ecuaciones y en consecuencia menor tiempo de observación para resolver el sistema. Puede variar entre uno y dos minutos en función del tiempo en que se establezcan las épocas de grabación y la potencia del software de cálculo.
- *En movimiento (OTF, On-The-Fly).* Esta técnica desarrolla un algoritmo que aplica las observaciones recibidas en movimiento y resuelve el sistema sin tener que realizar puestas estáticas. Es muy cómoda, ya que estamos inicializando mientras nos dirigimos al punto objeto de posicionamiento.

La inicialización en modo OTF fue creada para aplicar técnicas de resolución cinemática a elementos que no pueden estar parados para efectuar inicializaciones estáticas, como son barcos y aviones, y facilitar las aplicaciones que les conciernen, como levantamientos batimétricos y vuelos fotogramétricos. En el caso del avión, el objeto es conocer las coordenadas de la cámara en el momento de las tomas, y en el caso del barco tener la información planimétrica puntual que completa las tres dimensiones con la medida directa de la ecosonda. Es evidente que si se produce una pérdida de señal, la inicialización se vuelve a realizar sin tener que detener los vehículos, cosa harto difícil en los dos casos mencionados.



Pero la inicialización OTF no solamente se aplica en estos campos, sino que actualmente los equipos de observación por satélite terrestres incorporan esta posibilidad para cualquier tipo de trabajo, por su seguridad, rapidez y comodidad. Si las condiciones son favorables, la inicialización se puede realizar en menos de un minuto.

Dentro del modo cinemático, se puede trabajar con el modo *continuo* (denominado cinemático propiamente dicho) o en modo *discontinuo* (stop & go).

Stop & Go. Para posicionar un punto con el receptor móvil (tras la inicialización satisfactoria) se realiza una parada en dicho punto de unas pocas épocas, después nos dirigimos al siguiente punto y actuamos de igual modo. El procedimiento se mantendrá hasta completar el trabajo o hasta sufrir una pérdida de señal que obligue a inicializar otra vez.

Este método es apropiado para el levantamiento de puntos cercanos entre sí. Es imprescindible mantener la verticalidad de la antena en todo momento. La precisión del método siempre es función del tipo de instrumentación utilizado. Puede llegar a ser de uno a cinco centímetros en el mejor de los casos. Las aplicaciones más comunes son:

- \* Levantamientos taquimétricos en general.
- \* Determinación de superficies y parcelaciones.
- \* Control y evolución de fenómenos y obras.
- \* Densificación de información de una zona.
- \* Obtención de perfiles transversales.

Continuo. También denominado cinemático propiamente dicho. En este caso, el receptor móvil no efectúa ninguna parada, normalmente porque no le es posible. Está indicado para el uso de estaciones móviles ubicadas en vehículos en movimiento, como aviones, trenes, camiones, barcos, turismos, etc. Para su aplicación, basta con indicar el tiempo transcurrido entre una grabación y otra (épocas de grabación) para posicionar las situaciones puntuales del receptor en

movimiento continuo. Por ejemplo, si hemos establecido una época como cinco segundos, y queremos que el posicionamiento se produzca cada treinta segundos, deberán transcurrir seis épocas de observación para efectuar el posicionamiento. El intervalo de grabación (épocas) para el método cinemático es aconsejable que sea de cinco segundos o menos.

Este método presenta el mismo inconveniente que el anterior, que es la posible pérdida de señal. Si esto se produce, y se dispone del modo OTF, el vehículo no necesita detener su marcha. Las aplicaciones más comunes de este método son:

- \* Determinación de la trayectoria de vehículos en movimiento.
- \* Levantamientos batimétricos.
- \* Navegación.
- \* Determinación de itinerarios (carreteras, caminos, canales, rutas, líneas de enlace de redes, cauces fluviales, etc.).

DGPS. Aunque su traducción es "GPS diferencial", se utiliza esta terminología para trabajos diferenciales en los que solamente intervienen medidas de código (observables de tiempo). Cierto es, que con las actuales técnicas de posicionamiento conjunto GPS/GLONASS este término no es correcto, pero se sigue utilizando.

Existen ocasiones en las que la precisión en los posicionamientos no requiere recurrir a técnicas de medición de diferencia de fase, lo que supone además un considerable ahorro en instrumental de observación.

El posicionamiento diferencial con medidas de código se realiza resolviendo sistemas en simples diferencias, donde las incógnitas son las tres coordenadas de los puntos y el estado del oscilador de los receptores en cada época.

Los resultados obtenidos con este método de posicionamiento son excelentes en muchos de los casos, siendo mejores en distancias mayores de 200 Km. Las precisiones pueden alcanzar en algunos casos el decímetro, pero los resultados son muy inestables, ya que la geometría de observación, la calidad de recepción de la señal (relación señal /ruido) y el funcionamiento del oscilador del receptor han de ser factores óptimos para obtener estos resultados. Para garantizarlos, se deben realizar puestas largas (15-30 min.) para que se dé la redundancia suficiente. Lo normal es asegurar los 30-50 cm.

La evolución de las técnicas de tratamiento de los códigos en la medida de distancias está siendo espectacular, y este método está llamado a ser la nueva alternativa a los trabajos topográficos y geodésicos por sus altos rendimientos, facilidad en el tratamiento de datos y menor coste económico.

No obstante, las medidas de código pueden ser "suavizadas" por las medidas de diferencia de fase (si en la recepción se obtuvieron éstas) para obtener rendimientos aún mejores. El proceso de los datos con código diferencial puede hacerse en tiempo real y en post-proceso.

Existe la posibilidad de trabajar en DGPS con un único receptor, al que se le debe sumar una unidad de control y un transmisor/receptor de radiofrecuencia que emite los datos de observación a una estación central de referencia, que envía datos de posicionamiento en formato RTCM o RTCA a la estación móvil, obteniendo la posición en tiempo real.

Las aplicaciones más comunes del DGPS son:

- Navegación de precisión.
- Levantamientos y apoyo para cartografías de escalas menores de 1/5000.
- Confección y actualización de sistemas de información geográfica.
- Todo trabajo en general que no requiera precisiones mayores de 0,3-0,5 m.

### CAPITULO III -- GPS EN LA SEGURIDAD

Gracias al GPS se puede contestar una pregunta tan simple como "¿Dónde estoy?" de forma casi inmediata y con una precisión sorprendente. La novedosa tecnología utiliza relojes atómicos que marcan el tiempo con una precisión de un nanosegundo. Estos relojes fueron creados por científicos que no podían imaginar que en el futuro formarían parte de un sistema global de navegación. El sistema se utilizó por primera vez durante la Guerra del Golfo de 1991 y obtuvo críticas muy favorables. Las tropas estadounidenses lo utilizaron para orientarse en tierra, mar y aire, localizar el objetivo de las bombas y orientar los misiles de a bordo. El GPS permitió a las tropas terrestres estadounidenses moverse con rapidez y precisión a través del vasto y monótono desierto de la Península Arábiga.

Desde entonces, la tecnología GPS se ha trasladado al sector civil. Hoy en día, el GPS permite salvar vidas, sirve de ayuda a la sociedad de muchísimas otras maneras y genera puestos de trabajo en una nueva industria que mueve miles de millones de dólares. Los avances conseguidos en la tecnología de circuitos integrados (la tecnología que se utiliza para crear los chips informáticos) muy pronto permitirá construir transmisores y receptores GPS del tamaño de una tarjeta de crédito, tan pequeños y asequibles que prácticamente todos los vehículos y personas podrán disponer de uno.

En tan sólo unos pocos años, las aplicaciones del GPS son prácticamente ilimitadas:

- Los vehículos de emergencia utilizan el GPS para ubicar con exactitud los destinos y trazar rutas.
- El GPS se utiliza para localizar embarcaciones perdidas en el mar.

- Los servicios de transporte utilizan GPS para realizar un seguimiento de su flota y acelerar las entregas.
- Las compañías de transporte equipan los buques cisterna y cargueros con GPS para su navegación, así como para registrar y controlar los movimientos de las embarcaciones.
- Los propietarios de embarcaciones de recreo y pequeños vehículos comerciales confían en el GPS para la navegación.
- Los pilotos civiles utilizan GPS para la navegación, fumigación aérea, topografía y fotografía aérea.

Al utilizar la tecnología GPS para elaborar los planes de vuelo, las líneas aéreas ahorran millones de dólares. Los GPS se pueden utilizar para el aterrizaje instrumental, tanto en aeropuertos grandes como pequeños, y hacen posible la creación de nuevos sistemas de elusión aérea.

La tecnología GPS se usa habitualmente para realizar mapas, mediciones de tierra y en topografía. El GPS se ha utilizado para realizar mapas de carreteras, seguimiento de incendios forestales y para guiar las hojas de los bulldozers en los procesos de construcción, consiguiendo un grado de precisión de centímetros.

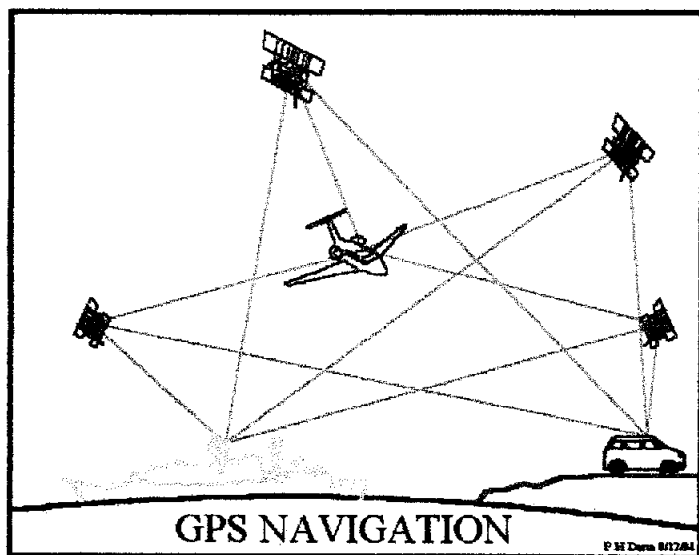
Los científicos que estudian La Tierra utilizan la tecnología GPS para monitorizar los terremotos y los movimientos de las placas tectónicas terrestres.

Las compañías de telecomunicaciones confían cada vez más en el uso de GPS para sincronizar sus redes digitales terrestres mediante la comparación directa de sus relojes de referencia con la hora del GPS.

Los fabricantes de satélites utilizan receptores GPS para realizar un seguimiento de las posiciones de los satélites.

En los automóviles se están instalando GPS para que los conductores puedan saber dónde están y a la vez recibir indicaciones de dirección. En Japón, 500.000 automóviles ya incorporan un sistema de navegación basado en GPS.

Esto es sólo el principio. El mercado mundial actual de la tecnología y receptores GPS se estima en más de 2.000 millones de dólares, y se espera un crecimiento hasta más de 30.000 millones de dólares durante los próximos 10 años.



## LOCALIZACION VEHICULAR

**SISTEMA DE LOCALIZACION GLOBAL.** Es la manera más eficaz de minimizar los riesgos de robo y reducir los costos de seguro y custodia, consiguiendo también aumentar la eficiencia de su flota a través de un mayor control.

El alto índice de delitos que involucran la sustracción de automotores hacen prácticamente imprescindible la implementación de alternativas modernas de protección y recuperación de vehículos. Es por ello que empresas de transporte de carga, compañías de seguros, empresas de control logístico y usuarios particulares han optado por adquirir un sistema de localización.



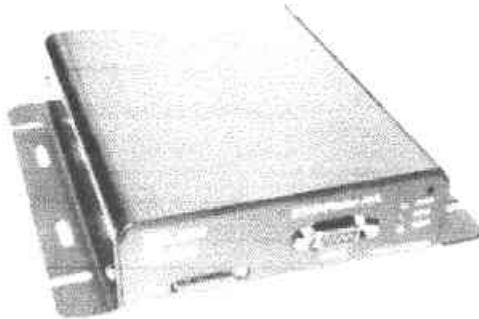
Desde que la señal GPS está disponible con fines comerciales, se ha desarrollado una gran variedad de tecnología para la localización de activos. Desde entonces, una gran capacidad de control adicional está disponible. Esto incluye el seguimiento y control de flotas, personas y casi cualquier activo móvil.

## EQUIPOS PARA LA LOCALIZACION DE AUTOMOVILES

### **Starfinder I AVL GPS Unit For CDMA/1X, GSM/ GPRS or TDMA/AMPS.**

Offers a complete, real-time tracking solution. This effective and low cost Automatic Vehicle Location (AVL) system is designed to connect with a wide range of cell phone modems. It can be modified to operate on TDMA (Rogers, AT&T, Cingular), CDMA/1X (Verizon, Sprint, Bell, Telus...etc.) or GSM/GPRS (AT&T, Microcell, Fido ). The 2 way communication is based on SMS or GPRS or 1X data packets.

[Starfinder I Product Page](#)



### **GPS Wedge Software**

Very Low Cost Tracking & Fleet Management software for G30L, GPS Cube and StarFinder AVL Series.

[GPS Wedge Software Product Page](#)

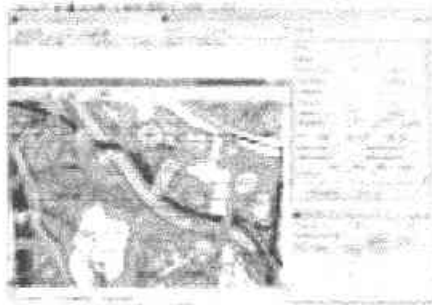




### **Starfinder Software**

**Very Powerful Fleet Management software for Starfinder AVL Series, Inmarsat systems, TCP/IP connection, Mobitex...etc. It's ideal for setting up a control center for small number up to unlimited vehicles.**

### **Starfinder Software Product Page**



### **CARACTERISTICAS**

**Rastreo de movimiento a nivel nacional o internacional a tiempo real.**

**Alertas automáticas programadas con barrera de seguridad por censor y alarma.**

**Comunicación telefónica móvil bidireccional con sólo apretar un botón.**

Reduce el coste del seguro antirrobo

Emita informes de paradas, tiempos muertos y su ubicación

Notifica excesos de velocidad

## **VENTAJAS**

Perfecciona el modo de trabajo de su empresa y permite localizar sus unidades en todo momento.

Reduce el riesgo de robo de unidades. Además, si se produjese, posibilita su rápida su recuperación.

Perfecto para situaciones de emergencia como pinchazos, retrasos. Útil para monitorización del personal de la empresa en ruta:

Le ahorrará dinero en seguros.

Fácil de instalar y ahorra combustible

Ahorra dinero en multas de tráfico.

Para asegurar una operación y un mantenimiento con éxito, se ha creado un plan básico; se ha desarrollado una configuración de sistema; se ha completado una base de datos de entrada y salida; se han preparado diagramas lógicos de control y se ha examinado y simulado dinámicamente un sistema automático. Semejantes esfuerzos de ingeniería han llevado al desarrollo de sistemas de información y control seguros y ventajosos.

### Permite:

- Editar Mapas Digitales
- Buscar de Direcciones
- Creación de Rutas
- GPS
- AVL
- Seguimiento en Tiempo Real
- Comunicaciones
- Flotas múltiples
- Muestra Curso y Dirección Definición de Alarmas
- Acceso a la Base de Datos SQL
- Definir Zonas Irregulares.

Para asegurar una operación y un mantenimiento con éxito, se ha creado un plan básico; se ha desarrollado una configuración de sistema; se ha completado una base de datos de entrada y salida; se han preparado diagramas lógicos de control y se ha examinado y simulado dinámicamente un sistema automático. Semejantes esfuerzos de ingeniería han llevado al desarrollo de sistemas de información y control seguros y ventajosos.

Ejemplos de compañías que proveen el sistema:

## HARDWARE

### SATELLITAL PINPOINT

Equipo ideal para Localización Vehicular, con Excelentes opciones para Conectividad y Telemetría. Lo mejor para aplicaciones móviles de Datos con el Plus de un GPS.

- Comunicaciones
  - \* GPRS
  - \* EDGE
  - \* iDEN
- Conectividad
  - \* Puerto RS-232
  - \* Puerto Ethernet

## SATELLITAL II

Equipo para Localizacion Vehicular, 100% via Satellite, Cobertura Global.  
Comunicacion Bi-Direccional

## SOFTWARE

Polarix ofrece una solución de gran alcance para monitorear (grabar y mostrar) vehículos y otros objetos del móvil en un mapa geo-referido. Éstas son completamente soluciones integradas del software y del hardware. Sin duda, la versión 6,0 de PolarTracker es la herramienta más sofisticada y más flexible diseñada específicamente para la administración de la flota con el GPS, y con ayuda del software y del hardware de AVL. El programa PolarMap maneja la instalación, exhibición y corrección de mapas digitales. Los datos geográficos se almacenan en el servidor de MS SQL para compartir fácilmente con otros programas de Microsoft en los usos de la oficina como sobresalen, PowerPoint o Access.

Las fuentes originales de mapas en formato de MIF y GDT se pueden importar. Las bases de datos de PolarMap y formato propietario binario. El uso del redactor permite entonces agrupar segmentos de la calle en zonas, agrega las nuevas calles, señales, líneas y formas.

El programa PolarTracker incluye un uso del servidor y su software de cliente. Es completamente compatible con el redactor de PolarMap en donde los mapas

digitales se pueden subdividir zonas o las áreas radiales que notifican automáticamente el paso de una geocerca.

El servidor apoya múltiples protocolos de comunicación (RF, Tcp-IP, ftp, CDPD, etc) con las unidades móviles, maneja todos los flotas y las flotas secundarias (vehículos, operadores, estados, etc) y las conexiones con los otros usos del cliente.

### GPS EN EL SECUESTRO

Entre 1992 y 2002, México registró al menos 15.000 secuestros, que lo convierten en el segundo país del mundo en cantidad de plagios, después de Colombia, según organizaciones empresariales del país y el Banco Interamericano de Desarrollo.

Solusat, la firma que comercializará los implantes, cree que el mercado de México es idóneo para esta tecnología, que podría ser aprobada en los próximos meses por la Dirección de Alimentos y Fármacos (FDA, por sus siglas en inglés) de Estados Unidos.

"Por los escenarios de inseguridad que vivimos en México mucha gente se pondrá el microchip sin pensarlo".

Los secuestros se han convertido en una pesadilla diaria para empresarios y comerciantes mexicanos, incluso a pesar de que las autoridades han desarticulado casi 180 bandas dedicadas a ese delito en los dos últimos años - algunas mutilaban a sus víctimas.

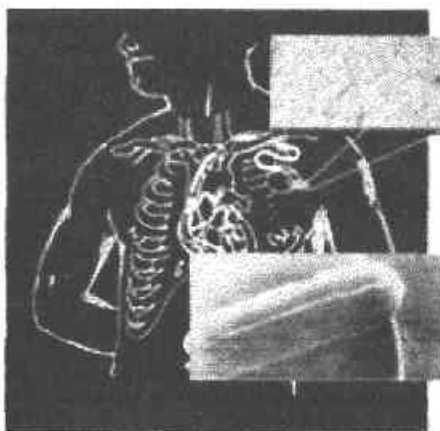
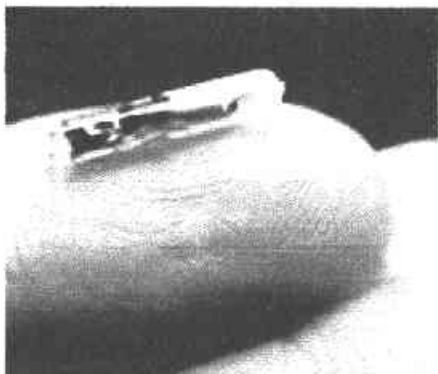
Individuos y familias de modestos recursos han perdido su patrimonio para pagar rescates a sus plagiarios.

**¿Qué es y cómo funciona?**

El llamado dispositivo de localización personal (PLD por sus siglas en inglés) medirá entre 6 y 7 milímetros de diámetro y estará equipado con una antena, un módem y una batería que permitirán ver la ubicación exacta de la persona implantada gracias a la ayuda de satélites de posicionamiento global (GPS).

El PLD es una tecnología diseñada por VeriChip Corporación, subsidiaria de la estadounidense Applied Digital Solutions Inc., y por el momento es un prototipo que mide 6,25 centímetros, similar a un marcapasos para el corazón, pero se espera que a finales del 2003 esté lista la versión miniaturizada

#### Chip anti-secuestro y de identidad



EL BIOCHIP YA FUE INVENTADO Y PRABADO: se afirma que el Dr. Carl Sanders dirigió en 1968, un equipo de ingenieros y médicos en el que participaban varias instituciones oficiales de los EE.UU. El objetivo original de este grupo de investigación era el diseño de biotecnología médica que ayudara a resolver algunos problemas físicos. Por ejemplo se buscó diseñar un chip capaz de alterar el flujo de adrenalina en el cuerpo; otro diseño fué un chip que frene o acelere la actividad de la glándula pituitaria, que controlara el flujo de estrógeno.

Otro chip fué diseñado para producir electricidad en ciertas partes del cuerpo para inducir cambios en el comportamiento (relajación); el uso de esta tecnología es conocida hoy como ACUPUNTURA ELECTRÓNICA. Finalmente, el objetivo fué cambiado y derivó hacia el desarrollo de un CHIP DE IDENTIFICACIÓN. Se dice que el Dr. Sanders atendió 17 reuniones de los promotores de UN SOLO GOBIERNO MUNDIAL, en Bruselas y Luxemburgo. Entre los que promovieron estas reuniones estaban Henry Kissinger, Bob Gates y representantes de la Agencia Central de Inteligencia (CIA). Los participantes declararon que la población mundial era demasiado numerosa como para ser controlada. Debía buscarse un medio seguro para controlar a las grandes masas de gente. Entonces muchos de ellos concluyeron:

*"no podremos controlarlos si no los identificamos primero."*

La orden que recibió el grupo del Dr. Sanders fué la de desarrollar un microchip que pudiera ayudar al control de la población a escala mundial. Después de 20 años, el grupo perfeccionó un chip tan pequeño que podía introducirse dentro de una aguja hipodérmica. Sus dimensiones son de 0,57 mm de diámetro por 7 mm de largo. Es más pequeño que un grano de arroz y puede ser inyectado en el cuerpo utilizando una jeringa convencional. El chip posee 250.000 componentes y utiliza una batería de litio (batería auto recargable para emitir señal satelital).

La batería es recargada utilizando las diferencias de temperatura que se verifican en ciertos lugares del cuerpo. El grupo encontró dos lugares donde la temperatura del cuerpo cambia más rápidamente: EL ÁREA DE LA FRENTE Y EL ÁREA POSTERIOR DE LA MANO.

El chip tiene un transmisor que emite una señal única y distintiva en la banda L (1000 megahertz), que puede ser recogida satelitalmente. La persona que posee el chip en su cuerpo puede ser localizada con un margen de error de 10 pies, por sistemas satelitales tales como el GPS (GLOBAL POSITION SYSTEM), que ya se encuentra funcionando en la actualidad. El problema con la batería de litio es el de que provoca ciertas ulceraciones que no pueden ser tratadas fácilmente. Esto fué confirmado por un Dr. del Boston Medical Center, cuando Sanders le preguntó sobre los efectos secundarios del litio sobre el cuerpo.

## VENTAJAS

- i. Proporciona identificación infalsificable e inviolable para ingresar a instalaciones de alta seguridad como bases e instalaciones militares, aeropuertos, oficinas gubernamentales, acceso a embajadas, etc. De hecho ya se ha instalado en varias agencias en México como la AFI.
- ii. Es una fuente de información en aplicaciones de salud, el cuál proporciona el acceso a bases de datos que facilitan el conocer el historial médico del paciente, para ayudar al diagnostico de enfermedades.



- iii. Verichip controla el acceso de personal a zonas restringidas.
- iv. Verichip puede funcionar como llave electrónica personalizada para ingresar a todo tipo de inmuebles

No se ha determinado aún un precio para el dispositivo PLD, pero se consideró que será menor al rango de entre 10.000 y 20.000 dólares que recientemente se ha manejado en la prensa internacional.

Los chips son fabricados por VeriChip, una subsidiaria de la empresa Applied Digital Solutions (ADS) y tienen un costo de alrededor de los mil 600 pesos.

El chip es del tamaño de un grano de arroz el cual emite una radiofrecuencia, este se implanta bajo la piel, en el tejido subcutáneo de un brazo (entre el hombro y el codo), usando una jeringa estéril que se empaca con el chip, permitiéndole a la enfermera ó técnico en medicina insertar el dispositivo con mínima incomodidad para el usuario y sin evidencia alguna del injerto. La jeringa es de uso único y se desecha después de la implantación, una vez colocado bajo la piel el Verichip es prácticamente indetectable e indestructible

Cada VeriChip contiene un número de identificación único que es utilizado para ingresar a una base de datos donde se resguarda información personal.

El chip permanece latente hasta que es estimulado por una señal de radiofrecuencia proveniente de un escáner propietario de VeriChip y, entonces, responde transmitiendo el número de identificación.

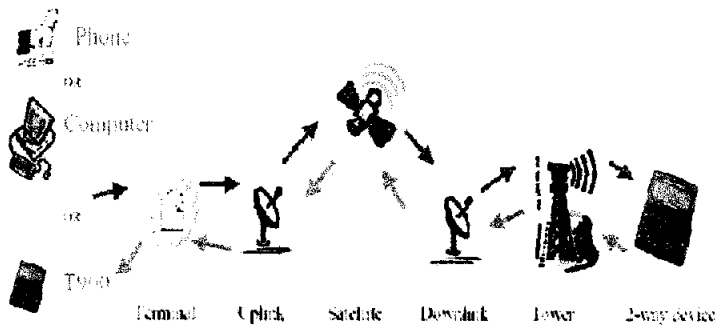
Aunque la PGR explicó que la función principal del chip es dar acceso al centro de información, sostiene que cumple con las funciones de localización, sin embargo, ADS aún no ha liberado la tecnología para hacer posible esta última función.

ADS obtuvo hace un año una patente para desarrollar los primeros chips basados en localización satelital o GPS (sistema de posicionamiento global), diseñados para ser implantados en una persona.

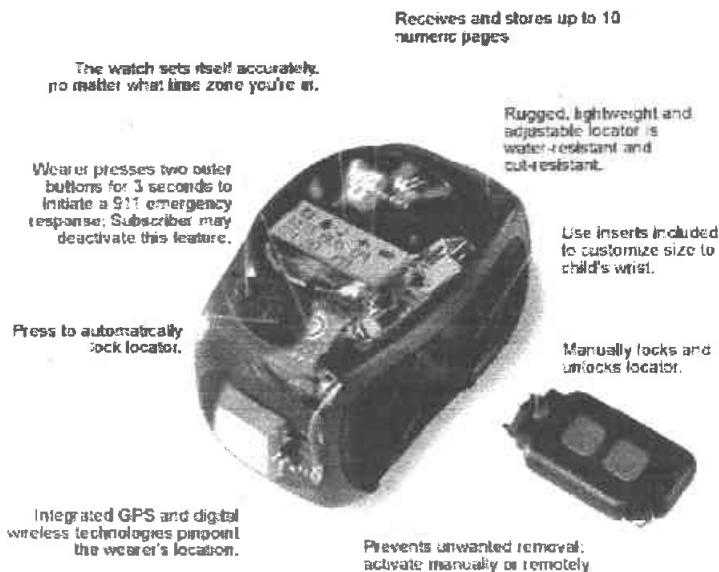
La señal GPS viene de 24 satélites en órbita que por triangulación con un dispositivo permite saber la posición de un objeto en la Tierra.

El dispositivo presentado medía 6.35 centímetros de diámetro por 1.27 de profundidad y, según el fabricante, en un plazo de un año se podría reducir considerablemente su tamaño.

De acuerdo con Solusat se espera pronto la autorización de implantación y como consecuencia el lanzamiento comercial a nivel mundial, incluyendo en México.



En uno de los casos se trata de un brazalete que los padres pueden colocar en la muñeca de sus hijos, para poder rastrear sus movimientos y determinar su ubicación a través de Internet, que es fabricado por Wherify.



El otro dispositivo —que es, por mucho, la aplicación que más se asemeja a lo que se ve en las películas de ciencia ficción— es un dispositivo de GPS implantable que Applied Digital Solutions de Florida desarrollará en el transcurso de los próximos ocho meses.

ADS, la empresa que creó el VeriChip ID implantable (un chip con ciertos datos personales de su usuario)

## DESVENTAJAS

Una primera limitante es que GPS está basada en la transmisión de señales de radiofrecuencia que son muy fáciles de atenuar en ambientes cerrados, como el interior de edificios, y tampoco funciona bajo ciertas condiciones climáticas, como la lluvia.

Otra complicación es que la señal no es totalmente precisa y tiene un retraso en el tiempo de cuando menos 10 segundos en sistemas comerciales.

Dada la debilidad de la señal GPS no se considera que de momento estas chips representen una solución contra el secuestro, pero no se descarta que en un futuro la tecnología mejore lo suficiente para ser confiable.

Hoy existen dispositivos GPS que pueden esconderse en la ropa o accesorios como relojes y celulares y son cada vez más comunes en la oferta de empresas de seguridad en México.

### ¿Para qué sirven los Verichips?

El chip fue originalmente desarrollado por Digital Angel Corp para llevar control de animales salvajes, así como para identificar a mascotas que escapan de sus casas.

Hoy, el uso de estos microcircuitos en seres humanos se enfoca al almacenamiento de información del portador, particularmente en cuanto a indicaciones médicas.

Por ejemplo, una persona que sufra un accidente y que tenga que ser trasladada, en cuestión de segundos podrá dar a los médicos información relevante a través del chip.

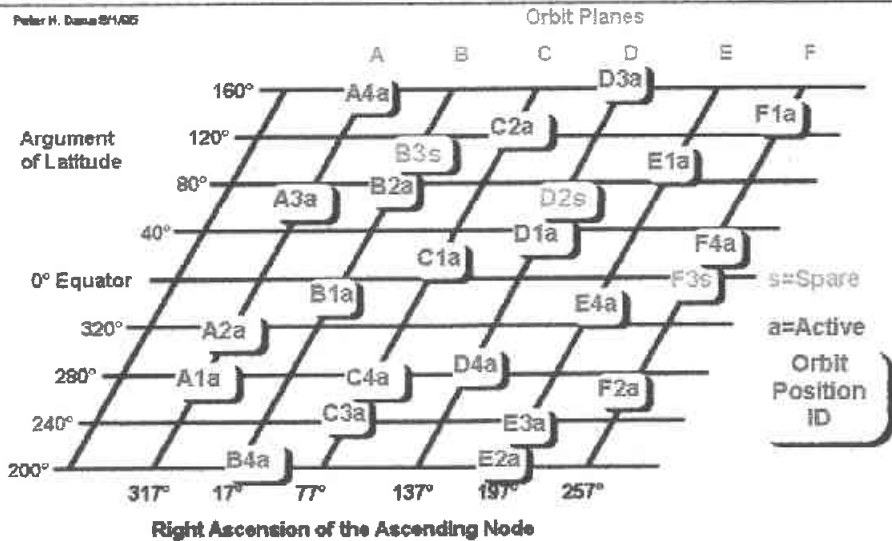
Entre los datos que se pueden almacenar en este chip, están el tipo de sangre, alergias a medicamentos, padecimientos, operaciones previas, contacto del doctor, seguro y familiares localizables.

También se utiliza para llevar información personal en pacientes que padecen Alzheimer y que al salir olvidan cómo se llaman o dónde viven.

Una discoteca en Barcelona ha encontrado otros usos para el chip. El Baja Beach Club ofrece a sus clientes la posibilidad de dejar todas sus tarjetas en casa a cambio de llevar un chip implantado que valide su identidad y sirva para pagar sus consumos.

### **MICROCHIPS PARA LA IDENTIFICACIÓN DE ANIMALES Y MASCOTAS**

Estos implantes ya **SE ENCUENTRAN A LA VENTA** en veterinarias, y los municipios aprueban legislaciones obligatorias para que sus dueños deban colocárselas bajo la piel a sus animales. Ya se han hecho demostraciones en TV, promoviendo el uso de estos identificadores con el argumento de ordenar el padrón de perros, gatos y animales de campo susceptibles de extraviarse o ser robados. Otra aplicación sugerida es la de identificación obligatoria de cabezas de ganado (cuya carne es de consumo humano) a fin de evitar la evasión fiscal en el proceso de distribución y venta.



### Simplified Representation of Nominal GPS Constellation

### OTROS EQUIPOS DE SEGURIDAD RELACIONADOS CON GPS

### LOCALIZADOR PERSONAL PORTÁTIL



495,95€



## CONCLUSIONES

Como ya es de notarse la ciencia cada vez da pasos más grandes y esto nos lleva a darnos cuenta de varios puntos:

La moneda impresa desaparecerá, este es un proceso MUNDIAL, en el que la gente se va acostumbrando poco a poco, a prescindir del efectivo circulante y se busca que ello sea tomado naturalmente, como fruto de un avance tecnológico que, dicen ellos, "nos ahorrará disgustos e inconvenientes". Un instrumento de pago que se promueve hoy en día es la TARJETA DE CRÉDITO AUTOMÁTICO. Cuando se presenta esta tarjeta en caja, la empleada la pasa por un explorador electrónico interconectado al banco. En cuestión de segundos, el importe se deduce de la cuenta y se acredita a la de la tienda. También existen las TARJETAS INTELIGENTES, o de cajero automático, que tienen instalado un microchip.

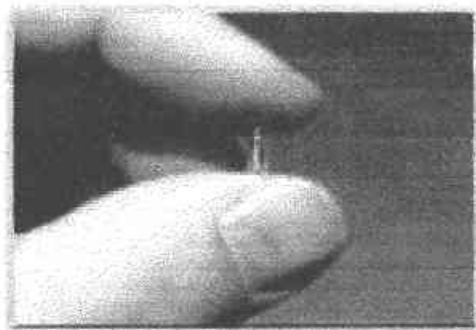
Muchos hemos oído hablar de estos dispositivos electrónicos que no solo permiten el acceso a CUENTAS BANCARIAS, sino que además contienen nuestra IDENTIFICACIÓN, HISTORIA CLÍNICA, CARNET DE CONDUCTOR, FOTOGRAFÍAS, DATOS DE LA ASISTENCIA SOCIAL, y toda suerte de información. Estas tarjetas ya se encuentran en etapa avanzada de experimentación en varios países. Ya se han perfeccionado varios sistemas de filiación muy seguros, como el LECTOR DE HUELLAS DIGITALES. El único problema que presentan estos aparatos es su alto costo. Para organizar una sociedad en la que no se utilice dinero en efectivo, tendría que haber uno de estos aparatos en cada punto de venta, y cada una de estas terminales de identificación cuestan miles de dólares. En cambio los microcircuitos que contienen las tarjetas electrónicas, valen unos pocos dólares.

Ahora supongamos que en lugar de instalar el chip en la tarjeta, se le implanta a su dueño DEBAJO DE LA PIEL. Una vez colocado, el chip puede ser leído por un SCANNER muy económico parecido al del supermercado. De aplicarse esta técnica sencilla y barata, usted mismo suplantaría la tarjeta electrónica, con lo que se ahorraría el costoso proceso de determinar que el portador de la misma es, en efecto, su titular.



**Algunos argumentos esgrimidos para su colocación en humanos:**

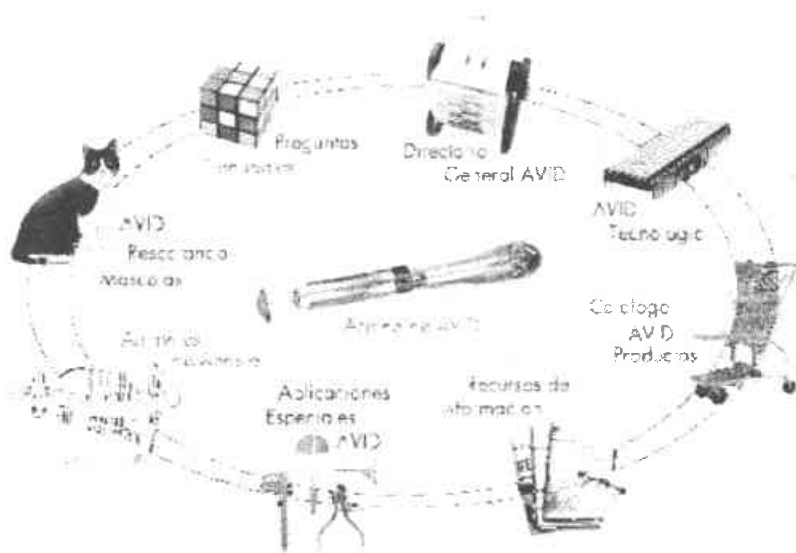
- **Basta de robos y crímenes! (pues no hay efectivo circulante)**
- **Terminaremos con el robo y el tráfico de bebés**
- **Liquidaremos el tráfico de drogas y armas (pues no hay dinero negro)**
- **Eliminaremos el déficit fiscal (todos pagarán impuestos, no habrá más evasión)**
- **Acabaremos con la falsificación de billetes impresos**
- **Combatiremos el terrorismo (ubicación satelital de las personas)**
- **Ordenaremos el mundo económico y financiero (bolsas y presupuestos)**
- **Protegeremos el medio ambiente, instituyendo la armonía del reino mineral, vegetal y animal**



**"Imagen en tamaño real del microchip"**

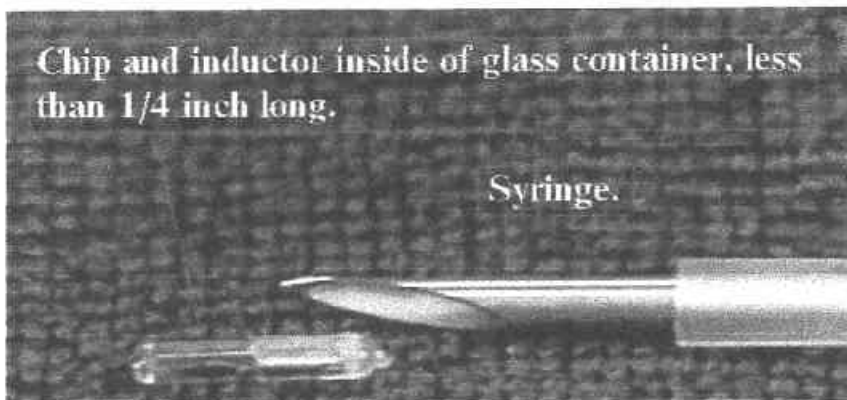
El chip va a contener entre otros datos:

- Nombre y edad.
- Dirección.
- Fotografía del rostro.
- Huellas digitales
- Ocupación
- Historia familiar.
- Registro de ingresos económicos.
- Número de seguridad social.



Con todas estas ventajas que nos proporciona este chip es fácil entender por que es futuro de la seguridad es cada ves mas claro, aun que muchos grupos lo ven como una restricción a los derechos de privacidad de cada individuo.

Tenemos que entender que cada día somos mas y que no siempre se puede tener el control de todo pero dando este paso en la etapa del biochip todo seria mas fácil y se podría vivir con mas seguridad y armonía que es lo que se busca siempre al final de cuentas en cualquier país o ciudad en donde se quiera vivir.



"Imagen del biochip y su jeringa aplacadora"

El GPS tiene mucho tiempo con nosotros a un que no estemos acostumbrados a utilizarlo, las ventajas con las que cuenta, nos ayudan a tener en un par de segundos la información que estamos buscando de manera fácil y casi exacta y lo mas importante, de manera económica.

En la seguridad podría ser la base de todo hasta que se pueda diseñar algo mas eficiente y barato pero mientras tanto es la punta de la tecnología con la que contamos y es la que nosotros consideramos la mejor.

## **BIBLIOGRAFIA**

"Global Positioning System : theory and practice "

Hofmann-Wellenhof, Bernhard

"Applied mathematics in integrated navigation systems"

Rogers, Robert M

"Navigation : Land, sea, air & space / Ed. and with comprehensive introd. "

Myron Kayton

"El sistema de posicionamiento global (GPS)"

Martinez Rosique, Juan Antonio

"Global positioning systems, inertial navigation, and integration "

Grewal, Mohinder S.

"Integrated geospatial technologies : a guide to GPS, GIS, and data logging"

Thurston, Jeff

[http://gutovnik.com/como\\_func\\_sist\\_gps.htm](http://gutovnik.com/como_func_sist_gps.htm)

[http://www.una.ac.cr/prmvs/telesig/curso\\_gps.htm](http://www.una.ac.cr/prmvs/telesig/curso_gps.htm)

<http://www.secuestroexpress.com.ar/estadisticas.htm>

<http://axxon.com.ar/not/114/c-114InfoNineraSatelital.htm>

[http://www.noticias.com/sitemap/ntema/Tecnologia/Telefonia\\_movil](http://www.noticias.com/sitemap/ntema/Tecnologia/Telefonia_movil)

<http://www.secuestroexpress.com.ar/gps.htm>

<http://www.adsx.com/prodservpart/verichip.html>

<http://www.mundogps.com/monograficos/articulos.asp?tipo=1>

<http://www.sistemasgps.com.mx>