

# **SISTEMA DE POSICIONAMIENTO GLOBAL (GPS): DESCRIPCIÓN, ANÁLISIS DE ERRORES, APLICACIONES Y FUTURO**

A.Pozo-Ruz\*, A.Ribeiro, M.C.García-Alegre, L.García, D.Guinea, F.Sandoval\*

Instituto de Automática Industrial  
Consejo Superior de Investigaciones Científicas  
28500 Arganda. Madrid

\* Dpto. de Tecnología Electrónica  
E.T.S. Ingenieros de Telecomunicación. Universidad de Málaga

Palabras clave: Sistema de posicionamiento global, errores GPS, aplicaciones GPS.

## **RESUMEN:**

*El sistema de posicionamiento global mediante satélites (GPS: Global Positioning System) supone uno de los más importantes avances tecnológicos de las últimas décadas. Diseñado inicialmente como herramienta militar para la estimación precisa de posición, velocidad y tiempo, se ha utilizado también en múltiples aplicaciones civiles. Por razones de seguridad, las señales GPS generadas para uso civil se someten a una degradación deliberada, al tiempo que su emisión se restringe a una determinada frecuencia. A pesar de ello, las aplicaciones civiles siguen proliferando a un ritmo exponencial gracias a la incorporación de las técnicas diferenciales (DGPS). En este artículo se introducen los principios que rigen el funcionamiento del sistema GPS, los principales errores que afectan a la localización y las técnicas de corrección de los mismos. Se presenta un conjunto de aplicación actuales y futuras con gran repercusión económica y social para finalizar con comentarios sobre la posible evolución de los sistemas de posicionamiento global.*

## 1. INTRODUCCIÓN

El Sistema de Posicionamiento Global (GPS) es un sistema de localización, diseñado por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos con fines militares para proporcionar estimaciones precisas de posición, velocidad y tiempo; operativo desde 1995 utiliza conjuntamente una red de ordenadores y una constelación de 24 satélites para determinar por triangulación, la altitud, longitud y latitud de cualquier objeto en la superficie terrestre [1]-[2].

En el ámbito civil y alegando razones de seguridad sólo se permite el uso de un subconjunto degradado de señales GPS. Sin embargo la comunidad civil ha encontrado alternativas para obtener una excelente precisión en la localización mediante las denominadas técnicas diferenciales. Gracias a ellas las aplicaciones civiles han experimentado un gran crecimiento y actualmente existen más de 70 fabricantes de receptores GPS.

Un sistema de navegación similar llamado GLONASS (*GLOBAL NAVIGATION SATELLITES SYSTEM*) se desarrolló en la antigua Unión Soviética. El sistema, también diseñado con fines militares, reservó un subconjunto de señales sin codificar para las aplicaciones civiles. Actualmente la responsabilidad del sistema es de la Federación Rusa. De los 24 satélites, distribuidos en tres planos orbitales inclinados  $64.8^\circ$  a 19100 Km. de altitud y periodo 11 h. 15 min. sólo funcionan 14. A pesar del beneficio que supone la ausencia de perturbación en la señal GLONASS, la incertidumbre sobre su futuro ha limitado su demanda, sin embargo se han comercializado receptores que combinando las señales GPS y GLONASS, mejoran la precisión de las medidas.

## 2. EL SISTEMA GPS

### 2.1 Arquitectura del sistema GPS

El sistema se descompone en tres segmentos básicos, los dos primeros de responsabilidad militar: segmento espacio, formado por 24 satélites GPS con una órbita de 26560 Km. de radio y un periodo de 12 h.; segmento control, que consta de cinco estaciones monitoras encargadas de mantener en órbita los satélites y supervisar su correcto funcionamiento, tres antenas terrestres que envían a los satélites las señales que deben transmitir y una estación experta de supervisión de todas las operaciones (Fig. 1); y segmento usuario, formado por las antenas y los receptores pasivos situados en tierra. Los receptores, a partir de los mensajes que provienen de cada satélite visible, calculan distancias y proporcionan una estimación de posición y tiempo.

Fig. 1. Situación de las estaciones monitoras y de la estación de control maestra

### 2.2 Principios de funcionamiento del sistema GPS

El sistema GPS tiene por objetivo calcular la posición de un punto cualquiera en un espacio de coordenadas (x,y,z) [3], partiendo del cálculo de las distancias del punto a un mínimo de tres satélites cuya localización es conocida. La distancia entre el usuario (receptor GPS) y un satélite se mide multiplicando el tiempo de vuelo de la señal emitida desde el satélite por su velocidad de propagación. Para medir el tiempo de vuelo de la señal de radio es necesario que los relojes de los satélites y de los receptores estén sincronizados, pues deben generar simultáneamente el mismo código. Ahora bien, mientras los relojes de los satélites son muy precisos los de los receptores son osciladores de cuarzo de bajo coste y por tanto imprecisos. Las distancias con errores debidos al sincronismo se denominan *pseudodistancias*. La desviación en los relojes de los receptores añade una incógnita más que hace necesario un mínimo de cuatro satélites para estimar correctamente las posiciones (Fig. 2).

Fig. 2. Principio de funcionamiento del sistema GPS

En el cálculo de las *pseudodistancias* hay que tener en cuenta que las señales GPS son muy débiles y se hallan inmersas en el ruido de fondo inherente al planeta en la banda de radio. Este ruido natural está formado por una serie de pulsos aleatorios, lo que motiva la generación de un código pseudo-aleatorio artificial por los receptores GPS como patrón de fluctuaciones. En cada instante un satélite transmite una señal con el mismo patrón que la serie pseudo-aleatoria generada por el receptor. En base a esta sincronización, el receptor calcula la distancia realizando un desplazamiento temporal de su código pseudo-aleatorio hasta lograr la coincidencia con el código recibido; este desplazamiento corresponde al tiempo de vuelo de la señal (Fig. 3). Este proceso se realiza de forma automática, continua e instantánea en cada receptor.

Fig. 3. Medida de la distancia a los satélites

La utilización de estos códigos pseudo-aleatorios permite el control de acceso al sistema de satélites, de forma que en situaciones conflictivas se podría cambiar el código, obligando a todos los satélites a utilizar una banda de frecuencia única sin interferencias pues cada satélite posee un código GPS propio.

Aunque la velocidad de los satélites es elevada (4 Km./s), la posición instantánea de los mismos puede estimarse con un error inferior a varios metros en base a una predicción sobre las posiciones anteriores en un período de 24 a 48 horas. Las estaciones terrestres revisan periódicamente los relojes atómicos de los satélites, dos de cesio y dos de rubidio, enviando las efemérides<sup>1</sup> y las correcciones de los relojes, ya que la precisión de los relojes y la estabilidad de la trayectoria de los satélites son claves en el funcionamiento del sistema GPS.

### 2.2.1 Cadenas de Código GPS

El código pseudo-aleatorio transmitido se compone de tres tipos de cadenas:

- El código C/A (*C*oarse/*A*cquisition), con frecuencia 1.023 MHz., utilizado por los usuarios civiles.
- El código P (*P*recision Code), de uso militar, con una frecuencia 10 veces superior al código C/A.
- El código Y, que se envía encriptado en lugar del código P cuando está activo el modo de operación anti-engaños<sup>2</sup>.

Los satélites transmiten la información en dos frecuencias (Fig.4):

- Frecuencia portadora L1, a 1575.42 MHz., transmite los códigos C/A y P.
- Frecuencia portadora L2, a 1227.60 MHz., transmite información militar modulada en código P.

Fig. 4. Señales transmitidas por los satélites GPS

El satélite transmite además una señal de 50 Hz. en ambas portadoras L1 y L2, que incluye las efemérides y las correcciones por desviación de sus relojes.

### 2.2.2 Niveles de Servicio GPS

El sistema GPS proporciona dos niveles diferentes de servicio que separan el uso civil del militar:

- Servicio de Posicionamiento Estándar (SPS, *S*tandard *P*ositioning *S*ervice). Precisión normal de posicionamiento civil obtenida con la utilización del código C/A de frecuencia simple.
- Servicio de Posicionamiento Preciso (PPS, *P*recise *P*ositioning *S*ervice). Este posicionamiento dinámico es el de mayor precisión, basado en el código P de frecuencia dual, y solo está accesible para los usuarios autorizados.

---

<sup>1</sup> Las efemérides son las predicciones de la posición actual de los satélites que se transmite al usuario en el mensaje de datos

<sup>2</sup> El modo anti-engaños, operativo desde 1994, impide que fuerzas hostiles generen y transmitan una señal igual a la de los satélites GPS.

### 3. FUENTES DE ERROR EN LOS GPS

A continuación se describen las fuentes de error que en la actualidad afectan de forma significativa a las medidas realizadas con el GPS:

- **Perturbación ionosférica.** La ionosfera está formada por una capa de partículas cargadas eléctricamente que modifican la velocidad de las señales de radio que la atraviesan.
- **Fenómenos meteorológicos.** En la troposfera, cuna de los fenómenos meteorológicos, el vapor de agua afecta a las señales electromagnéticas disminuyendo su velocidad. Los errores generados son similares en magnitud a los causados por la ionosfera, pero su corrección es prácticamente imposible.
- **Imprecisión en los relojes.** Los relojes atómicos de los satélites presentan ligeras desviaciones a pesar de su cuidadoso ajuste y control; lo mismo sucede con los relojes de los receptores.
- **Interferencias eléctricas imprevistas.** Las interferencias eléctricas pueden ocasionar correlaciones erróneas de los códigos pseudo-aleatorios o un redondeo inadecuado en el cálculo de una órbita. Si el error es grande resulta fácil detectarlo, pero no sucede lo mismo cuando las desviaciones son pequeñas y causan errores de hasta un metro.
- **Error multisenda.** Las señales transmitidas desde los satélites pueden sufrir reflexiones antes de alcanzar el receptor. Los receptores modernos emplean técnicas avanzadas de proceso de señal y antenas de diseño especial para minimizar este error, que resulta muy difícil de modelar al ser dependiente del entorno donde se ubique la antena GPS.
- **Interferencia "Disponibilidad Selectiva S/A".** Constituye la mayor fuente de error y es introducida deliberadamente por el estamento militar.
- **Topología receptor-satélites.** Los receptores deben considerar la geometría receptor-satélites visibles utilizada en el cálculo de distancias, ya que una determinada configuración espacial puede aumentar o disminuir la precisión de las medidas. Los receptores más avanzados utilizan un factor multiplicativo que modifica el error de medición de la distancia (*dilución de la precisión geométrica*)

Las fuentes de error pueden agruparse según que dependan o no de la geometría de los satélites. El error debido a la Disponibilidad Selectiva y los derivados de la imprecisión de los relojes son independientes de la geometría de los satélites, mientras que los retrasos ionosféricos, troposféricos y los errores multisenda dependen fuertemente de la topología. Los errores procedentes de las distintas fuentes se acumulan en un valor de incertidumbre que va asociado a cada medida de posición GPS.

#### 3.1 Cuantificación de la incertidumbre en localización GPS

Debido a las múltiples fuentes de error anteriormente comentadas, los receptores GPS posicionan con un cierto grado de incertidumbre. Ofrecen una estimación de la posición, valor medio, a lo largo de un intervalo de tiempo con una determinada dispersión. De forma estándar se puede caracterizar esta dispersión mediante el error cuadrático medio (ECM) definido como la raíz cuadrada de la media de los errores al cuadrado, pudiendo referirse a una, dos o tres dimensiones.

En receptores GPS/GLONASS y DGPS los errores de posicionamiento, en un intervalo de horas se ajustan a una distribución normal, no ocurriendo así con el GPS en modo absoluto debido al error S/A. En los dos primeros casos, el error en las medidas sigue una distribución de probabilidad normal en cada eje, por lo que se pueden deducir las probabilidades asociadas a los mismos. Para análisis unidimensional, el valor de una medida se encuentra en el intervalo [valor medio  $\pm 2\sigma$ ] en el 95% de los casos<sup>3</sup>. En el caso bidimensional (ejes norte y este), el porcentaje de dispersión que está dentro de un círculo de radio ECM depende de la distribución, siendo del 98% en el caso circular.

Para las medidas GPS y GPS/GLONASS la distribución es elíptica, por lo que se aproxima a una distribución unidimensional, con probabilidad asociada del 95% [4].

---

<sup>3</sup> Siendo  $\sigma$  la desviación típica de la distribución

Los fabricantes de GPS definen la precisión de las medidas de posición obtenidas con sus receptores mediante el Error Circular Probable (CEP), que se define como el radio del círculo en el que se encuentra la estimación más probable de la posición en un porcentaje del 95% o CEP 95%, en asociación con el ECM y del 50% o CEP 50%.

### 3.2 Corrección de errores mediante técnicas diferenciales (DGPS)

En aplicaciones que no requieren gran precisión se puede utilizar un receptor con un único canal y bajo coste, que calcula la distancia a cuatro satélites en un intervalo de 2 a 30 segundos. Ahora bien, la precisión de las medidas se ve afectada por el movimiento del satélite durante el cómputo y por el tiempo que se tarda en obtener las posiciones, debido a lecturas repetitivas de todos los mensajes de la constelación

El requerimiento de una localización precisa y continua en tiempo real, ha conducido al desarrollo de receptores con un mayor número de canales (8-12) capaces de disminuir al máximo el error de localización utilizando los métodos de posicionamiento diferencial. Así, un receptor GPS ubicado en una posición conocida de la Tierra calcula su distancia a un conjunto de satélites; la diferencia entre la posición calculada y la localización exacta del receptor constituye el error en la medida. Este error se transmite en un código predefinido (RTCM *Radio Technical Commission Maritime*) y cualquier usuario-receptor con capacidad de corrección diferencial puede acceder a él para corregir su posición. Esta técnica elimina prácticamente los errores S/A siempre que el receptor diferencial esté próximo a la base emisora de la corrección.

Las correcciones pueden enviarse desde una estación base propiedad de los usuarios, desde una estación base virtual (por ejemplo el servicio Omnistar) y vía estaciones de radio comerciales (Rasant). En todos estos casos el modo de operación del DGPS se denomina de área global (WADGPS) ya que el error debido a cada satélite se procesa de modo individual.

## 4. APLICACIONES DE LOS GPS

Son múltiples los campos de aplicación de los sistemas de posicionamiento tanto como sistemas de ayuda a la navegación, como en modelización del espacio atmosférico y terrestres o aplicaciones con requerimientos de alta precisión en la medida del tiempo. A continuación se detallan algunos de los campos civiles donde se utilizan en la actualidad sistemas GPS:

- **Estudio de fenómenos atmosféricos.** Cuando la señal GPS atraviesa la troposfera el vapor de agua, principal causante de los distintos fenómenos meteorológicos, modifica su velocidad de propagación [5]. El posterior análisis de la señal GPS es de gran utilidad en la elaboración de modelos de predicción meteorológica.
- **Localización y navegación en regiones inhóspitas.** El sistema GPS se utiliza como ayuda en expediciones de investigación en regiones de difícil acceso y en escenarios caracterizados por la ausencia de marcas u obstáculos. Un ejemplo son los sistemas guiados por GPS para profundizar en el conocimiento de las regiones polares o desérticas [6].
- **Modelos geológicos y topográficos.** Los geólogos comenzaron a aplicar el sistema GPS en los 80 para estudiar el movimiento lento y constante de las placas tectónicas, para la predicción de terremotos en regiones geológicamente activas. En topografía, el sistema GPS constituye una herramienta básica y fundamental para realizar el levantamiento de terrenos [7] y los inventarios forestales y agrarios [8]-[9].
- **Ingeniería civil.** En este campo se utiliza la alta precisión del sistema GPS para monitorizar en tiempo real las deformaciones de grandes estructuras metálicas o de cemento sometidas a cargas [10].
- **Sistemas de alarma automática.** Existen sistemas de alarma conectados a sensores dotados de un receptor GPS para supervisión del transporte de mercancías tanto contaminantes de alto riesgo como perecederas (productos alimentarios frescos y congelados). En este caso la generación de una alarma permite una rápida asistencia al vehículo[1].
- **Sincronización de señales.** La industria eléctrica utiliza el GPS para sincronizar los relojes de sus estaciones monitoras a fin de localizar posibles fallos en el servicio eléctrico [11]. La localización del origen del fallo se realiza por triangulación, conociendo el tiempo de ocurrencia desde tres estaciones con relojes sincronizados.
- **Guiado de disminuidos físicos.** Se están desarrollando sistemas GPS para ayuda en la navegación de invidentes por la ciudad [12]. En esta misma línea, la industria turística estudia la incorporación del sistema

de localización en guiado de visitas turísticas a fin de optimizar los recorridos entre los distintos lugares de una ruta.

- **Navegación y control de flotas de vehículos.** El sistema GPS se emplea en planificación de trayectorias y control de flotas de vehículos [13]. La policía, los servicios de socorro (bomberos, ambulancias), las centrales de taxis, los servicios de mensajería, empresas de reparto, etc. organizan sus tareas optimizando los recorridos de las flotas desde una estación central. Algunas compañías ferroviarias utilizan ya el sistema GPS para localizar sus trenes, máquinas locomotoras o vagones [14], supervisando el cumplimiento de las señalizaciones [15].
- **Sistemas de aviación civil.** En 1983 el derribo del vuelo 007 de la compañía aérea coreana al invadir cielo soviético, por problemas de navegación, acentuó la necesidad de contar con la ayuda de un sistema preciso de localización en la navegación aérea. Hoy en día el sistema GPS se emplea en la aviación civil tanto en vuelos domésticos, transoceánicos, como en la operación de aterrizaje [16]. La importancia del empleo de los GPS en este campo ha impulsado, como se verá en la siguiente sección, el desarrollo en Europa, Estados Unidos y Japón de sistemas orientados a mejorar la precisión de los GPS.
- **Navegación desasistida de vehículos.** Se están incorporando sistemas DGPS como ayuda en barcos para maniobrar de forma precisa en zonas de intenso tráfico [17], en vehículos autónomos terrestres que realizan su actividad en entornos abiertos en tareas repetitivas, de vigilancia en medios hostiles (fuego, granadas, contaminación de cualquier tipo) [18] y en todos aquellos móviles que realizan transporte de carga, tanto en agricultura como en minería o construcción [19]-[23]. La alta precisión de las medidas ha permitido importantes avances en el espacio en órbitas bajas y así tareas de alto riesgo de inspección, mantenimiento y ensamblaje de satélites artificiales pueden ahora realizarse mediante robots autónomos [24].

## 5. EL FUTURO DE LOS SISTEMAS DE POSICIONAMIENTO GLOBAL

En 1996 la normativa de regulación de los sistemas GPS determinó la supresión, en el 2006, de la Disponibilidad Selectiva y la incorporación de una frecuencia más para uso civil. Esto significa que dentro de unos años los satélites GPS transmitirán código civil en las frecuencias L2 y L1, redundancia que permitirá estimar los errores ionosféricos, proporcionando una precisión en modo absoluto similar a la obtenida con técnicas diferenciales. La señal en la frecuencia L1 permanecerá invariable, lo que permitirá a los actuales receptores seguir operativos.

El segmento de control se mejorará con la puesta en marcha de un nuevo sistema de control, actualmente en fase de diseño, para la estación experta que contempla hasta un total de veinte estaciones monitoras, lo que supondrá un control más preciso de las efemérides y de los relojes de los satélites.

Con los sistemas de navegación actuales GPS, GLONASS, GPS/GLONASS no es posible cumplir los estándares rigurosos de seguridad que algunas aplicaciones civiles, como la navegación aérea, requieren. En concreto, la notificación de errores al usuario sobre el funcionamiento del sistema puede llevar desde un segundo, cuando el error se produce en el satélite, hasta varias horas, en aquellos casos en los que es el segmento control el que detecta el fallo. Con el fin de resolver estos inconvenientes, Europa está desarrollando EGNOS (*European Geostationary Navigation Overlay Service* [25]) que estará operativo en el año 2003. Este sistema reducirá los errores en posicionamiento para alcanzar los estándares de seguridad en la navegación aérea con la instalación en tierra de una red de 34 antenas receptoras fijas (RIMS) que recibirán las señales GPS enviándolas a un centro de control donde se calibrará la información del satélite midiendo el posible error para corregirlo y enviarlo de nuevo a 10 estaciones en tierra. Además se enviarán estas señales a dos nuevos satélites INMARSAT geoestacionarios situados a una altura de 35000 Km., que actuarán como repetidores enviando las señales a los usuarios. Servicios similares se están desarrollando en Estados Unidos (WAAS: *Wide Area Augmentation System*) y en Japón (MTSAS: *MTSAT Satellite Based Augmentation System*). Así mismo, Europa pondrá en marcha un sistema global de navegación por satélite (GNSS-1: *Global Navigation Satellite System 1*) que integrará los servicios de GPS, GLONASS y de las redes EGNOS, WAAS y MTSAS. Este será el paso inicial hacia la consecución de un sistema europeo de posicionamiento (GNSS-2 o Galileo) que utilizará una constelación de satélites europeos.

Por último puntualizar que en los próximos cinco años GPS y GPS/GLONASS serán los únicos sistemas de posicionamiento basado en satélites que se encontrarán operativos.

### Agradecimientos

- Unión Europea: Financiación del proyecto de investigación "Multitrack: Supervisión inteligente de mercancías en transporte abierto e intermodal". Programa Telematics for Transport. Proyecto 2304
- CICYT. Financiación de los proyectos de investigación: TAP98-0781 "Arquitectura multiagente para generación de comportamiento complejo en un robot de fumigación en exteriores" y TIC98-0562 "Sistema de Exploración Autónomo basado en Visión Activa y Foveal".
- Fundación Ramón Areces: beca de investigación

## Referencias

- [1] T. A. Herring, "The Global Positioning System", *Scientific American*, 1996, pág. 32-38.
- [2] J.A. Fernández Rubio, G.Seco Granados, "Sistemas de posicionamiento: de GPS a GNSS", *Mundo Electrónico*, 1997, 280, pp.46- 52.
- [3] G. J. Sonnenberg, *The Global Positioning System, Radar and Electronic Navigation*, Butterworths, 1988.
- [4] *Understanding GPS: Principles and Applications*, Editor Elliot D. Kaplan, Artech House, 1996.
- [5] R. Ware, S. Businger, "Global Positioning Finds Application in Geosciences Research", Universidad Navstar Consortium, Boulder, Universidad de Hawaii, Honolulu, 1995.
- [6] J. Murphy, "The Atacama Desert Trek", 1997, [Online], W.W.W: [http://www.cs.cmu.edu/afs/cs/project/Iri-13/www/atacama-trek/nomad\\_4\\_kids/kids\\_instruments.html](http://www.cs.cmu.edu/afs/cs/project/Iri-13/www/atacama-trek/nomad_4_kids/kids_instruments.html)
- [7] O. Martínez- Robaina, "Carreteras sobre el mar: una aplicación en Cuba del GPS para levantamientos topográficos", *Geoconvergencia: Aplicaciones de Tecnologías Integradas Geográficas*, 1998, pág. 30-34.
- [8] M. Guevara M, "Protegiendo los Nevados Andinos y la Amazonía ecuatoriana", *Geoconvergencia: Aplicaciones de Tecnologías Geográficas Integradas*, 1998, pág. 12-18.
- [9] F. Manzano-Agugliaro, J. E. Mero-o, M. Pérez, M. López, V. Ortiz, "Ayudas de superficie y política agraria con una aplicación GPS", *Geoconvergencia: Aplicaciones de Tecnologías Geográficas Integradas*, 1998, pág. 38-44.
- [10] D. J. Ruegg, "A Towering Achievement: Keeping the Auckland Sky Tower on the Straigh and Narrow", 1998, [Online], W.W.W.: <http://www.gpsworld.com/feature/0298ruegg/0298feature.html>
- [11] W. Lewandowski, J. Azoubib, W. J. Klepczynski, "GPS: Primary Tool for Time Transfer", *Proceedings of the IEEE*, vol. 87, no. 1, 1999, pág. 163-172.
- [12] J. Borenstein, I. Ulrich I, "The GuideCane: A Computerized Travel Aid for the Active Guidance of Blind Pedestrians", in *Proc. IEEE International Conference on Robotics and Automation*, Albuquerque, NM, 1997, pág.1283-1288.
- [13] D. Guinea and G. S. Mezquita, "Networking Intelligent Sensing for Transport Monitoring", in *Proc. EUROSENSORS XII* (Ed. N. M. White). Southampton, U.K., pp. 949-952. September 1998.
- [14] J. L. Infiesta, J. Roca, J. L. Pérez, "Sobre el carril con los trenes de Cataluña", *Geoconvergencia: Aplicaciones de Tecnologías Geográficas Integradas*, 1998, pág. 20-29.
- [15] A. Filip, "Signals of Change: Czech Rails: DGPS Train Locator Trials", *GPS World Magazine*, 1998, pág. 34-43.
- [16] F. H. Bauer, E. G. Lightsey, J. McCullough, J. O'Donell, R. Schnurr, "GADACS: A GPS Attitude Determination and Control Experiment on a Spartan Spacecraft", *Control Eng. Practice*, vol. 3, 1995, pág. 1125-1130.
- [17] H. Loeb, S. Ygorra, M. Monsion, "High Precision Autopilot Design for Small Ships", in *Proc. IFAC ICASAV-95*, vol 1. Tolouse, Francia, 1995, pag. 123-127.
- [18] T. Schönberg, M. Ojala, J. Suomela, A. Torpo, A. Halme, "Positioning an Autonomous Off-Road Vehicle Using Fused DGPS and Inertial Navigation", in *Proc. 2<sup>o</sup> IFAC Conference on Intelligent Vehicle*, Finlandia, 1995, pág. 226-231.
- [19] R. Jarvis, "An All-Terrain Intelligent Autonomous Vehicle with Sensor-Fusion-Based Navigation Capabilities", *Control Eng. Practice*, vol. 4, no. 4, 1996, pág. 481-486.
- [20] K. Rintanen, H. Mäkelä, K. Koskinen, J. Puputti, M. Sampo, M. Ojala, "Development of an Autonomous Navigation System for an Outdoor Vehicle", *Control Eng. Practice*, vol. 4, no. 4, 1996, pág. 499-505.
- [21] N. Miyake, T. Aono, K. Fujui, Y. Matsuda, S. Hatsumoto, "Position Estimation and Path Control of an Autonomous Land Vehicle", in *Proc. IEEE International Conference on Intelligent Robots and Systems*, 1997, pág. 690-969.
- [22] T. Aono, K. Fujui, S. Hatsumoto, T. Kamiya, "Positioning of Vehicle on Undulating Ground Using GPS and Dead-Reckoning", in *Proc. IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation*, (Leuven, Belgium), 1998, pág. 3443-3448.
- [23] M.C.García-Alegre and D. Guinea "Building an Architecture for a Farming Robot", in *Proc. International Workshop on Robotics & Automated Machinery for Bio-Robotics* (F.Yuste et al. Eds) BIO-ROBOTICS97, Gandia (Spain), Sept. 1997, pág. 255-260.
- [24] Zimmerman K. R. and R.H. Cannon, "GPS Based Control for Space Vehicle Rendezvous", *Proc. IEEE International Conference on Robotics and Automation*, San Diego, USA, 1994.
- [25] ESA, "European Geostationary Navigation Overlay Service (EGNOS) Bilateral Agreement Signed", 1999, [Online], W.W.W.: <http://www.esa.int/Press/99/press04.html>



Figura 1

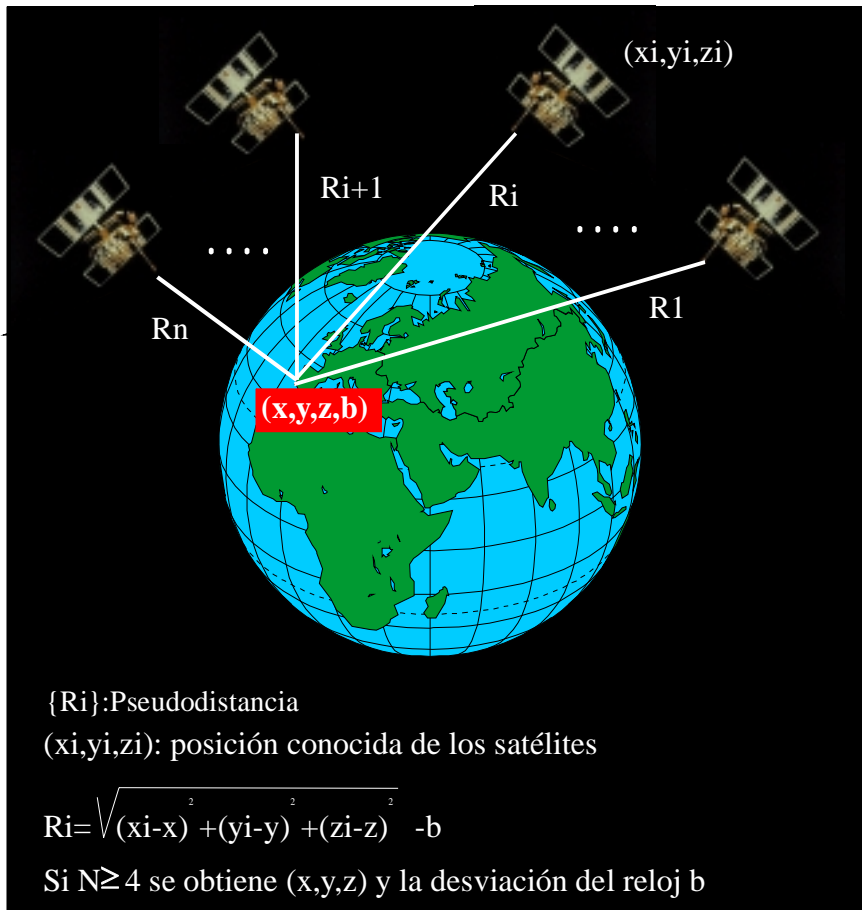
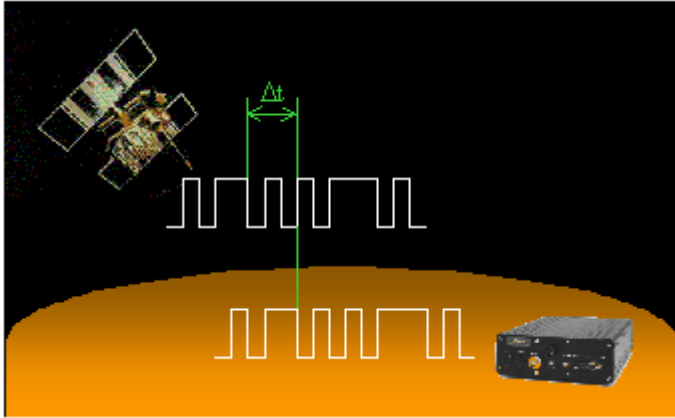
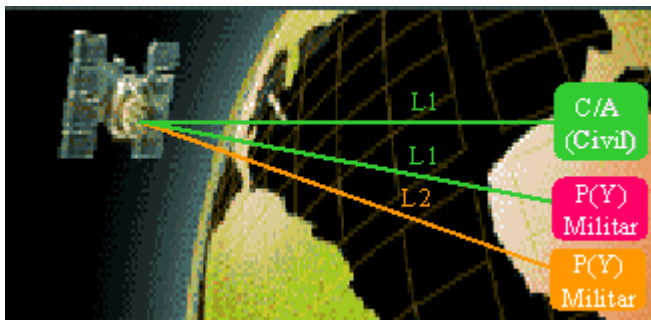


Figura 2





**Figura 3**



**Figura 4**