

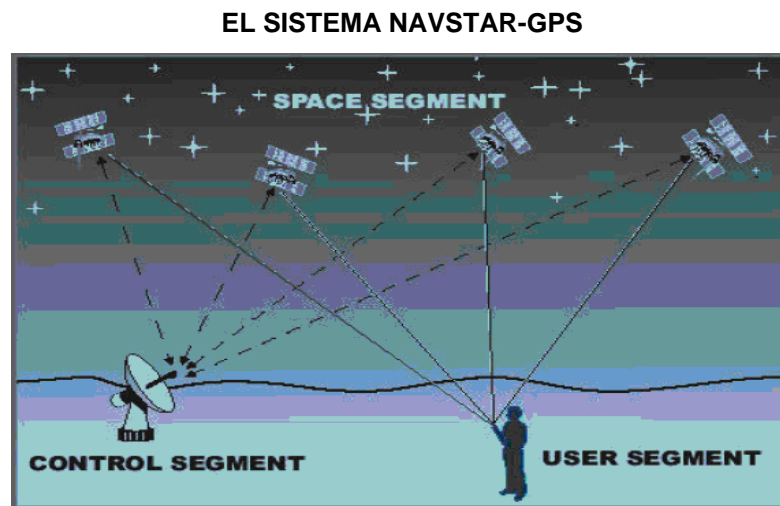
CAPITULO 2

SISTEMAS DE NAVEGACION GLOBAL

2.1 EL SISTEMA NAVSTAR-GPS

El sistema NAVSTAR-GPS se basa en la medida simultánea de la distancia entre el receptor y al menos 4 satélites. (Ver Figura N.06)

FIGURA N. 06



FUENTE: <http://catarina.udlap.mx>

2.1.1 Introducción

El sistema de posicionamiento global NAVSTAR/GPS (Navigation System Using Timing and Ranging/Global Positioning System) es el proyecto espacial más caro de la historia de la humanidad y fue desarrollado por el Departamento de Defensa de los EE.UU. Su finalidad era meramente militar, y perseguía dotar a las tropas y dispositivos militares de una referencia espacial y temporal precisa. Se trata de un sistema de posicionamiento perfecto que ofrece servicio en toda la superficie del planeta y durante 24 horas al día.

2.1.2 Historia del NAVSTAR-GPS

En 1963 la Fuerza Aérea de los EE.UU. inició un ambicioso proyecto conocido por "Proyecto 621B" para desarrollar un sistema de navegación tridimensional basado en satélites artificiales.

Poco después la Marina de los EE.UU. emprendió otro proyecto similar conocido como "Timation". Ambos proyectos convergieron finalmente en el sistema NAVSTAR-GPS, el 17 de Agosto de 1974.

El objetivo inicial era la consecución de un sistema exclusivamente militar, pero el excesivo coste obligó a que se permitiera el uso civil del sistema para que fuera aprobado el presupuesto por el Congreso de los EE.UU. (El costo final del proyecto ascendió a unos 10.000 millones de dólares)

Aunque el proyecto incluía 24 satélites, ciertos recortes presupuestarios los redujeron a 18 y 3 de reserva. Posteriormente se decidió completar el sistema con todos los satélites previstos. La serie se inició con el lanzamiento un sólo satélite, el 22 de febrero de 1978. En 1986 se dio luz verde al desarrollo completo del sistema y aunque en 1991 el sistema NAVSTAR-GPS aún no estaba operativo al 100% demostró su potencialidad en la Guerra del Golfo Pérsico que constituyó un campo de pruebas inmejorable. El enorme éxito que obtuvo el sistema en aquel conflicto (el mundo entero se sorprendió de la precisión con que se dirigían los misiles a sus objetivos) aceleró el desarrollo final del proyecto.

2.1.3 Servicio Ofrecido por el sistema

Las características del sistema GPS se pueden agrupar en unos pocos puntos:

- Determinación de la posición tridimensional. Con tres coordenadas: latitud, longitud, altura sobre el nivel del mar, o cualesquiera.
- Determinación tridimensional de la velocidad.

- Determinación del tiempo exacto con un error de un microsegundo.
- Cobertura global las 24 horas del día.
- Alta fiabilidad.
- Independencia de transmisores terrestres.
- Gran precisión en todo tipo de condiciones atmosféricas.
- Evaluación de la precisión conseguida.
- Versátil y válido para todo tipo de usuarios.

El sistema GPS es capaz de precisiones asombrosas: en teoría se podría conocer la situación con un error de 3 cm. mediante técnicas de enganche en fase. Para vehículos estas técnicas son complejas de conseguir, por lo que se usa el método "estándar" de enganche al código transmitido; de esta manera se podrían conseguir precisiones de 3 m. (Autor, www.tel.eva.es/capitulo3.hym1, 2006).

La generalización del acceso a esta precisión supone un compromiso para la seguridad nacional, por lo que se procedió a modificar el sistema en varios aspectos. Para adaptar el sistema GPS a los usuarios civiles se crearon dos tipos de servicio:

- SPS (Standard Positioning Service)
- PPS (Precise Positioning Service)

La diferencia entre ambos es que el SPS permite 10 veces menor precisión y fiabilidad que el PPS. Ésta limitación es inherente al sistema.

Las primeras pruebas demostraron que el sistema era mejor de lo que se diseñó en un principio, por lo que se decidió empeorar las características de forma premeditada transmitiendo información falsa desde los satélites para permitir una precisión en el servicio SPS de unos 100 metros el 90% del tiempo, lo que es suficiente para navegación pero no para dirección de armas.

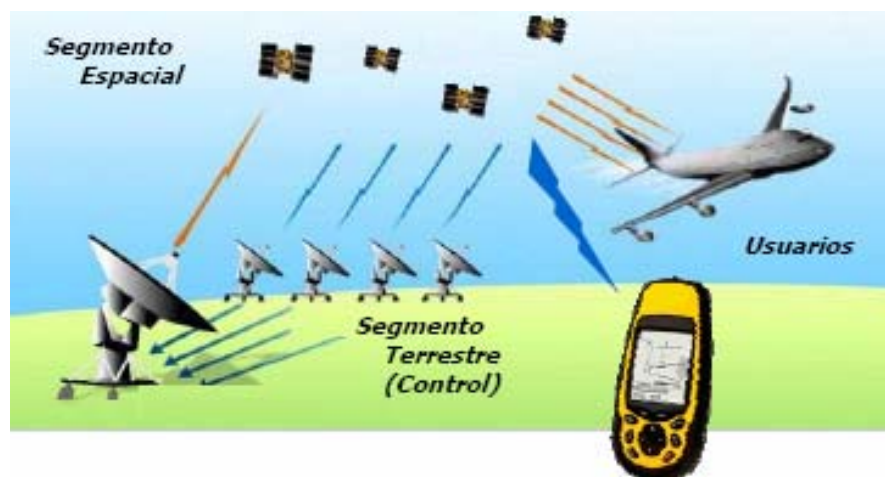
2.1.4 Configuración del Sistema

En el sistema NAVSTAR-GPS, como es común en los sistemas de satélites, se pueden distinguir varios "segmentos" que agrupan a los elementos con características comunes.

Cada uno de los segmentos es claramente distinto (ver Figura N.07) y tienen responsabilidades y objetivos distintos. El segmento más costoso es el segmento espacial, mientras que el responsable de que todo se ajuste a lo planificado es el segmento de control. Al final el segmento de usuario es el que recoge a los "clientes" que son el objetivo final de todo el sistema. Son los que se benefician de las estimaciones de posición para una gran multitud de aplicaciones.

FIGURA N. 07

SEGMENTOS DEL SISTEMA NAVSTAR-GPS



FUENTE: sistemasdeposicionamientoporsatelite.pdf Cordova-Argentina,2006

2.1.5 Segmento Espacial

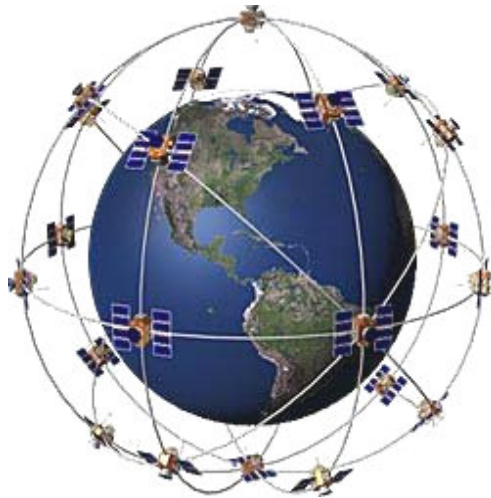
Los satélites GPS se sitúan en 6 órbitas circulares (excentricidad de 0.03) semisíncronas (de 11 horas 58 minutos) con 4 satélites en cada órbita separados

por 90° . Cada órbita está a una altitud de 20.169 Km sobre la Tierra con una inclinación de 55° respecto del ecuador. Esos planos orbitales están separados entre sí 60° (ver Figura N. 08).

De esta forma se asegura una cobertura global no interrumpida que permite la visibilidad (con más de 5° de elevación sobre el horizonte) de un mínimo de 4 satélites.

FIGURA N. 08

SEGMENTO ESPACIAL DEL SISTEMA NAVSTAR-GPS



FUENTE: <http://www.andarines.com/gps/gps1.htm>

Segmento de Control

Consiste en tres partes principales.

- La estación central en Colorado Springs (EE.UU.) que reúne la información de las estaciones de monitorización repartidas por todo el mundo. Realiza los cálculos correspondientes para que todo se desarrolle según la planificación y que todos los parámetros estén dentro de las tolerancias. Genera el mensaje de navegación y lo retransmite a los satélites para que éstos los difundan a los usuarios.

- Estaciones de monitorización. Distribuidas por todo el mundo. Disponen de precisos relojes atómicos y equipos receptores especiales que les permiten detectar derivas en los relojes o modificaciones en la calidad de los datos.
- Antena terrena del enlace "*up-link*", comunica con los satélites en la banda S.

Segmento de Usuario

El segmento de usuario consiste en los aparatos receptores sobre la Tierra. El equipo de usuario es un dispositivo pasivo en el sentido de que sólo recibe información de los satélites, cuya misión es obtener la señal de los satélites, la de modelar y extraer la información de efemérides de los satélites, de correcciones, y presentan la información al usuario final.

El sistema GPS permite que la localización de cada usuario la conozca solamente el usuario debido a que no se emite ningún tipo de señal, con lo que la privacidad del servicio se garantiza.

2.1.6 Funcionamiento

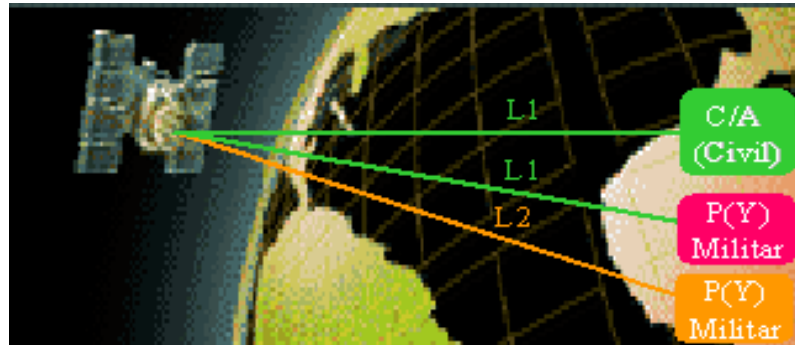
El sistema GPS consigue su cometido mediante la determinación de las distancias respecto a unos puntos móviles que son los satélites. Los otros sistemas basados en distancias relativas utilizaban siempre señales emitidas por estaciones de referencia muy bien conocidas. Además se utilizan referencias temporales absolutas, en el sentido de que se necesitan conocer exactamente los estados de los relojes de los satélites, no basta con medir el retardo relativo entre dos señales.

2.1.7 Señales empleadas

Los satélites transmiten la información en dos frecuencias (ver Figura N.09): 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.

FIGURA N. 09

SEÑALES TRANSMITIDAS POR LOS SATÉLITES GPS



FUENTE: A.Pozo-Ruz*, A.Ribeiro, M.C.García-Alegre, L.García, D.Guinea, F.Sandoval*Instituto de Automática Industrial Consejo Superior de Investigaciones Científicas Arganda. Madrid, pdf, 2007

Esas portadoras van moduladas según la técnica SSM (Spread Spectrum Modulation) por razones de seguridad y resistencia frente al ruido.

La información dura 12.5 minutos de ciclo y se transmite a una velocidad de 50 bps, pero se ensancha en frecuencia por medio de códigos pseudoaleatorios. Por lo que los 50 bps de datos se encuentran ocupando un ancho de banda de 1 MHz con el código C/A y de 10 MHz con el código P.

Esta técnica de modulación obliga a que los receptores conozcan la forma de generar la misma secuencia pseudo aleatoria y además conocer cual es su fase (en qué periodo de bit está en cada instante).

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

- El código C/A (*Coarse/Acquisition*), con frecuencia 1.023 MHz., utilizado por los usuarios civiles.
- El código P (*Precision 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. (Autor, www.tel.uva.es, 2006)

Características técnicas y performance del GPS

(Autor, <http://wikimediafoundation.org>,2007)

Segmento Espacial

1. Satélites en la constelación: 24 (4 X 6 órbitas)
 - Altitud: 20,200 km
 - Período: 11 h 56 min
 - Inclinação: 55 grados (respecto al ecuador terrestre).
 - Vida útil: 7,5 años
2. Segmento de Control (estaciones terrestres)
 - Estación principal: 1
 - Antena de tierra: 4
 - Estación monitora (de seguimiento): 5
3. Señal RF
4. Frecuencia portadora:
 - Civil - 1 575.42 MHz (L1). Utiliza el Código de Adquisición Aproximativa (C/A)
 - Militar – 1227.60 MHz (L2). Utiliza el Código de Precisión (P), cifrado.
5. Nivel de potencia de la señal: -160 dBW (en superficie tierra)
6. Polarización: circular dextrógira
7. Exactitud Posición: aproximadamente 15 m (el 95%), Hora: 1
8. Cobertura: mundial
9. Capacidad de usuarios: ilimitada
10. Sistema de coordenadas: Sistema Geodésico Mundial 1984 (WGS 84) centrado en la Tierra, fijo.
11. Integridad: tiempo de notificación 15 min o mayor. NO SUFICIENTE PARA LA AVIACION CIVIL.

12. Disponibilidad: 24 satélites - 70 % y 21 satélites - 98 % NO SUFICIENTE COMO MEDIO PRIMARIO DE NAVEGACIÓN.

El GPS está evolucionando hacia un sistema más sólido (GPS III), con una mayor disponibilidad y que reduzca la complejidad de las aumentaciones GPS. Algunas de las mejoras previstas comprenden:

- Incorporación de una nueva señal en L2 para uso civil.
- Adición de una tercera señal civil (L5): 1176.45 MHz
- Protección y disponibilidad de una de las dos nuevas señales para servicios de Seguridad para la Vida (SOL).
- Mejora en la estructura de señales.
- Incremento en la potencia de señal (L5 tendrá un nivel de potencia de -154 dB).
- Mejora en la precisión (1 – 5 m).
- Aumento en el número de estaciones monitoras: 12 (el doble)
- Permitir mejor interoperabilidad con la frecuencia L1 de GALILEO

El programa GPS III persigue el objetivo de garantizar que el GPS satisfaga requisitos militares y civiles previstos para los próximos 30 años. Este programa se está desarrollando para utilizar un enfoque en 3 etapas (una de las etapas de transición es el GPS II) muy flexible, permite cambios futuros y reduce riesgos. El desarrollo de satélites GPS II comenzó en 2005, y el primero de ellos estará disponible para su lanzamiento en 2012, con el objetivo de lograr la transición completa de GPS III en 2017. Los desafíos son los siguientes:

- Representar los requisitos de usuarios tanto civiles como militares en cuanto a GPS.
- Limitar los requisitos GPS III dentro de los objetivos operacionales.
- Proporcionar flexibilidad que permita cambios futuros para satisfacer requisitos de los usuarios hasta 2030.
- Proporcionar solidez para la creciente dependencia en la determinación de posición y de hora precisa como servicio interna

2.1.8 Fuentes de Error

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.
- **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-satélite.** 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*). En la Tabla Nro. 01, se tiene un resumen de las fuentes de error.

TABLA N.01

FUENTES DE ERROR

Fuente	Efecto
Ionosfera	± 5 m
Efemérides	$\pm 2,5$ m
Reloj satelital	± 2 m
Distorsión multibandas	± 1 m
Troposfera	$\pm 0,5$ m
Errores numéricos	± 1 m o menos

FUENTE: <http://www.tel.uva.es>,2006)

Las fuentes de error pueden agruparse según 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.

2.2 EL SISTEMA GLONASS

2.2.1 Introducción

El sistema GLONASS es un sistema de navegación por satélite similar al GPS pero con importantes diferencias. El sistema está administrado por las Fuerzas Espaciales Rusas para el Gobierno de la Confederación Rusa y tiene importantes aplicaciones civiles además de las militares.

Al igual que en el sistema GPS, existen dos señales de navegación: la señal de navegación de precisión estándar (SP) y la señal de navegación de alta precisión (HP). La primera está disponible para todos los usuarios tanto civiles como militares que deseen emplearla en todo el mundo, y permite obtener la posición horizontal con una precisión de entre 57 y 70 metros (99.7% de probabilidad), la posición vertical con una precisión de 70 metros (99.7% de probabilidad), las componentes del vector velocidad con precisión de 15 cm/s (99.7% de probabilidad) y el tiempo con precisión 1seg. (99.7% de probabilidad). Estas características pueden ser mejoradas empleando sistemas diferenciales similares a los empleados con GPS y utilizando métodos especiales de medida (medida de fase). (Autor, <http://glonass.html>,2007).

La constelación completa está formada por 21 satélites activos y 3 de reserva situados en tres planos orbitales separados 120° . Esto permite que sobre el 97% de la superficie terrestre se vean al menos 4 satélites de forma continua, frente a los 5 satélites (al menos) que pueden ser vistos en el 99% de la superficie terrestre si la constelación es de 24 satélites (GPS). De los 24 satélites de la constelación GLONASS, periódicamente se seleccionan los 21 que resultan dar la combinación más eficiente y los 3 restantes son dejados en reserva. Se ha planteado la posibilidad de aumentar la constelación a 27 satélites, de los cuales 24 estarían activos. Si uno de los 21 satélites operativos se avería, el sistema baja al 94.7% su probabilidad de éxito.

El sistema de mantenimiento de la constelación prevé la activación de uno de los satélites en reserva o el lanzamiento de 3 satélites para sustituir a los averiados o ser dejados en reserva para usos futuros.

2.2.2 Historia del GLONASS

El primer satélite del sistema GLONASS fue lanzado al espacio y puesto en órbita circunferencial el 12 de octubre de 1982 y el sistema completo comenzó a operar oficialmente el 24 de septiembre de 1993. Este sistema se compone de 24 satélites (21 activos y 3 de reserva), distribuidos en tres planos orbitales con una separación entre sí de 120°. Cada satélite gira en una órbita circular a 19100 km de altura de la Tierra y da una vuelta completa a la órbita cada 11 horas y 15 minutos, aproximadamente.

En Diciembre de 1993, GPS completo su Capacidad Operativa Inicial logrando cobertura mundial en cuatro dimensiones, con 24 satélites operativos en órbita. Estos satélites no han tenido ningún problema y han superado su vida útil planeada de 5 años, llegando incluso a los 11 años de vida útil. Ellos continúan lanzándose periódicamente y cada vez con nuevas características que robustecen al sistema GPS. Sin embargo, GLONASS ha tenido problemas importantes con la prematura pérdida de servicio de sus satélites, y el tamaño de la constelación ha quedado en cerca de 12 satélites. La red de satélites GLONASS comenzó en el año 1993 con 13 satélites operativos, luego se añadieron 3 nuevos satélites en un lanzamiento ese mismo año, pero conforme transcurrió el tiempo y la vida útil de los satélites se cumplía, el número de satélites ha ido reduciéndose.

Los 24 satélites del sistema GLONASS están distribuidos en sus respectivas órbitas de forma tal que siempre existen entre 4 ó 5 de ellos a la vista de los receptores, cubriendo el 97% de toda la superficie terrestre.

Existen actualmente receptores duales que trabajan tanto con el sistema GPS como con el sistema GLONASS.

La Federación Rusa implantó el sistema GLONASS para ofrecer señales desde el espacio (en la banda L: 1602 Mhz) para la determinación precisa de posición, velocidad y tiempo, con una cobertura continua alrededor del globo terrestre y en toda clase de tiempo meteorológico.

2.2.3 Configuración del Sistema GLONASS

En la Figura Nro. 10 se puede visualizar los distintos segmentos con los que opera el Sistema GLONASS.

Segmento del espacio.- Está constituido por 24 satélites colocados en tres planos orbitales con una inclinación de 64.8 grados con relación al ecuador terrestre, y con 8 satélites en cada plano a una altitud de 10,313 millas náuticas. El período orbital de cada uno de estos satélites es de 11 horas y 15 minutos.

Segmento de control.- Incluye una estación maestra de control, estaciones de seguimiento de los satélites y las estaciones para enviar mensajes de navegación y control.

Segmento del usuario.- Consiste de los receptores GLONASS, los mismos que están compuestos de un receptor-procesador y un sistema de antena.

FIGURA N. 10

SEGMENTOS DEL SISTEMA GLONASS



Fuente: html.glonass.com, 2007

2.2.4 Acciones futuras para el GLONASS

- Las mejoras de este sistema radicarán en:
- Incrementar la vida de servicio de cada satélite: 5 años (versus 3).
- Reducir el tiempo requerido para reemplazar los satélites fallados, incluyendo 6 satélites de reserva en órbita (2 por plano orbital).
- Mejorar la precisión de efemérides.
- Mejorar la estabilidad de los relojes abordo.
- Habilitar el código C/A broadcast en las frecuencias L1 y L2.

El sistema Glonass estima 18 satélites dentro del 2007, y tendrá que alcanzar el número de 24 satélites hasta el 2010.

Actualmente la constelación está compuesta de:

- Los satélites GLONASS
- Los satélites GLONASS-M
- GLONASS-K
- GLONASS-KM

En el 2008 se pondrán en la órbita los satélites de nueva generación y más funcional el GLONASS-K. Que tendrá una vida útil de 10 a 12 años.

La señal L3 de GLONASS-K tiene prevista su implementación para el 2008, y tendrá división de frecuencias en los canales y ocupará una anchura de banda de 26 MHz en la banda de 1189-1215 MHz (L3).

La constelación GLONASS se maneja por el Centro de Mando de Sistema (SCC).

2.2.5 GPS versus GLONASS

En la tabla N.02 que se adjunta, se puede ver las diferencias entre las dos constelaciones, la estructura de la señal y las especificaciones del GPS y

GLONASS para un posicionamiento preciso. Como se observará, los dos sistemas son muy similares.

En Diciembre de 1993, GPS completo su Capacidad Operativa Inicial logrando cobertura mundial en cuatro dimensiones, con 24 satélites operativos en órbita. Estos satélites no han tenido ningún problema y han superado su vida útil planeada de 5 años, llegando incluso a los 11 años de vida útil. Ellos continúan lanzándose periódicamente y cada vez con nuevas características que robustecen al sistema GPS. Sin embargo, GLONASS ha tenido problemas importantes con la prematura pérdida de servicio de sus satélites, y el tamaño de la constelación ha quedado en cerca de 12 satélites. La red de satélites GLONASS comenzó en el año 1993 con 13 satélites operativos, luego se añadieron 3 nuevos satélites en un lanzamiento ese mismo año, pero conforme transcurrió el tiempo y la vida útil de los satélites se cumplía, el número de satélites ha ido reduciéndose. (Autor, html.glonass.com, 2007).

GPS y GLONASS son los sistemas muy similares, pero algunas diferencias son significantes:

- Las órbitas de los dos tipos de satélite son similares:
- Los satélites GLONASS giran en 3 planos orbitales separados por un ángulo de 120° .8 satélites para cada plano dejado atrás entre ellos por un ángulo de 45° e identificó por varios hendidura que define el plano orbital y la posición dentro del piano(es.1/01 - 1/02 - 3/23)
- Los satélites GPS giran en 6 planos, 4 para cada llanura.
- La inclinación de los planos orbitales comparado con el plano del Ecuador es de: 64.8° en los GLONASS y 55° en el GPS.
- Las órbitas son ambos redondos:
- La altitud es de: 19.140 km (GLONASS) y cada satélite completa una órbita en 11h 15m.
- 20.180 km (GPS) y cada satélite completa una órbita en 11h 58m.
- Cada satélite GLONASS tiene las propias frecuencias y transmite L1 y " L2.

- La ventaja que deriva del uso coordinado de ambas constelaciones se caracteriza por el hecho que se observan más satélites contemporáneamente y las precisiones serán más exactas y se ahorra el tiempo en adquisición.
- EL DATUM PZ-90 , WGS-84

TABLA N. 02

TABLA COMPARATIVA DEL SISTEMA GPS Y GLONASS.

	GPS	GLONAS
nº de satélites	24	24
nº de planos orbitales	6	3
satélites/plano orbital	4	8
inclinación orbital	55°	64.8°
excentricidad nominal	0	0
radio orbital	26560 km	25510 km
periodo orbital	11h 58min	11h 15min
	Señales	
separación señales	CDMA	FDMA
portadora	L1: 1575.42 Mhz	L1: 1602.56-1615.5 Mhz
	L2: 1227.60 Mhz	L2: 1246.43-1256.5 Mhz
código C/A (L1)	1.023 Mhz	0.511 Mhz
código P (L1,L2)	10.23 Mhz	5.110 Mhz
	Elementos de Kepler	Coord. cartesianas geocéntricas,
efemérides	modificados	velocidades y aceleraciones
	General	
referencia temporal	UTC (USNO)	UTC (SU)
coord. espaciales	WGS 84	SGS 85

FUENTE: <http://www.glonass.it/>

2.2.6 Uso del GPS y el GLONASS conjuntamente

Los receptores duales GPS-GLONASS ofrecen mejor performance que los receptores individuales de cada sistema. Con los dos sistemas integrados se tiene una mayor rapidez de recepción de señales debido al mayor número de satélites en un tiempo dado y en cualquier parte. Asimismo se tiene una mayor cobertura en ambientes de muchas obstrucciones.

El GLONASS con tres planos orbitales, el GPS con seis, y la diferente inclinación de sus planos orbitales, ofrecen una disponibilidad complementaria en función de latitud. Con el GLONASS se favorecen las latitudes extremas debido al alto grado de inclinación de sus planos orbitales, mientras que con el GPS se favorecen las latitudes medias.

Un receptor con capacidad de operar con los dos sistemas ofrecerá lo mejor de ambos. En adición al aumento del número de satélites disponibles, y a la mejora de la geometría.

FIGURA N. 11

GLONASS EN SERVICIO DE NAVEGACION

<ul style="list-style-type: none"> • Señal de Precisión Estándar (SP) <ul style="list-style-type: none"> • Usuarios civiles • Código SP (0.511 MHz) en L1 (1602 MHz) • Servicio de Alta Precisión (HP) <ul style="list-style-type: none"> • Uso militar • Código HP (5.11 MHz) en L1 y L2 (1246 MHz) • Frecuencia portadora: <ul style="list-style-type: none"> • L1: 1602 MHz +n×562.5 kHz • L2: 1246 MHz +n×437.5 kHz <ul style="list-style-type: none"> – n = -7 a 12 (Hasta 2005) – n = -7 a 6 (Desde 2005) 	<table border="1"> <thead> <tr> <th>PRECISIÓN</th> <th>SP</th> <th>PPS</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Horizontal</td> <td>50 – 70 m (99.7%)</td> <td>10 –15 m</td> </tr> <tr> <td>Vertical</td> <td>70 m (99.7%)</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Tiempo</td> <td><1 ms (99.7%)</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Velocidad</td> <td><0.15 m/s</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Sistema Coordenadas</td> <td colspan="2">PZ-90</td> </tr> <tr> <td>Referencia Temporal</td> <td colspan="2">Tiempo Moscú (UTC+3h)</td> </tr> </tbody> </table>	PRECISIÓN	SP	PPS	Horizontal	50 – 70 m (99.7%)	10 –15 m	Vertical	70 m (99.7%)		Tiempo	<1 ms (99.7%)		Velocidad	<0.15 m/s		Sistema Coordenadas	PZ-90		Referencia Temporal	Tiempo Moscú (UTC+3h)	
	PRECISIÓN	SP	PPS																			
Horizontal	50 – 70 m (99.7%)	10 –15 m																				
Vertical	70 m (99.7%)																					
Tiempo	<1 ms (99.7%)																					
Velocidad	<0.15 m/s																					
Sistema Coordenadas	PZ-90																					
Referencia Temporal	Tiempo Moscú (UTC+3h)																					
	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block;"> REAL: 30 0m (95%) </div>																					

FUENTE: www.glonass-center.ru

Características técnicas y performance del GLONASS

(Autor, <http://www.mappinginteractivo.com>,2007).

1.- Segmento Espacial:

- Satélites en la constelación: 24 (8 X 3 órbitas)
- Altitud: 19 100 km
- Período: 11 h 15 min
- Inclinación: 64,8 grados y separación de 120 grados
- Vida útil: 3 - 5 años

2.- Segmento de Control (Estaciones terrestres)

- Estación principal: 1
- Antena de tierra: 4
- Estación de seguimiento láser: 1
- Estación monitora: 2

3.- Señal RF

- Frecuencia portadora: 24 frecs. de L1: 1 602,5625 MHz (C1) (FDMA).
Transmite códigos P y C/A.
- Nivel de potencia de la señal: -160 dBW (en superficie tierra)
- Polarización: circular dextrógira

4.- Exactitud

- Posición: 50-70 m (99,7%) (1999)
- Hora: 1

5.- Cobertura: mundial

6.- Capacidad de usuarios: ilimitada

7.- Sistema de coordenadas:

- Parámetros de la Tierra 1990 (PE-90)
- centrado en la Tierra, fijo en la tierra

El segmento orbital del sistema GLONASS actualmente es incompleto. En Septiembre de 2005, existían solo 12 satélites GLONASS en operación (con 3 años de vida útil), y 2 satélites GLONASS-M (2da generación) con 7 años de vida útil (1 operacional y otro en fase de pruebas).

En agosto de 2001, el Gobierno de la Federación de Rusia adoptó un programa especial federal a largo plazo “Sistema Mundial de Navegación” por 10 años. Los principales objetivos del programa son:

- Restablecer el segmento orbital del sistema GLONASS a 24 satélites para el período 2007-2008;
- Modernizar los satélites de navegación, comenzando con la segunda generación de satélites (GLONASS-M) que tienen mejor performance y una vida útil que se ha elevado a siete años. Se incorpora en estos satélites la señal L2 en 2005.
- Después de 2007 (se prevé completar la constelación en 2012), remplazar gradualmente los satélites con los de la tercera generación (GLONASS-K) que, junto con una mejor performance y una vida útil de 10 a 12 años, tendrán la posibilidad de emitir la señal de navegación en la frecuencia L3 (además de L1 y L2) por la banda de radionavegación aeronáutica.
- Proveer al GLONASS con capacidades de Búsqueda y Salvamento (SAR) a partir de GLONASS-Km de manera similar al sistema COSPAS –SARSAT.

Los satélites de segunda generación GLONASS-M, además incorporar la nueva señal civil L2 (mejorando con esto la exactitud y fiabilidad de la navegación y mejora la inmunidad frente a interferencias en el receptor para uso civil), posee radio enlaces entre satélites para realizar el control en línea de la integridad del sistema y aumentar la duración de la operación autónoma de la constelación de satélites sin pérdida de la exactitud de navegación.

Los satélites de tercera generación GLONASS-K tendrán parámetros de tamaño y masa considerablemente mejores. Su masa no excederá de 700 kg, lo que permitirá lanzar estos satélites empleando el vehículo de lanzamiento Proton con seis satélites en un solo lanzamiento; a su vez, esto permitirá restablecer el segmento orbital en un corto período de tiempo y el vehículo de lanzamiento Soyuz, con dos satélites en un lanzamiento, permitirá mantener el segmento orbital en el futuro. Estas capacidades permitirán reducir varias veces los costos de despliegue y mantenimiento del segmento orbital del sistema GLONASS.

La señal L3 de GLONASS-K tiene prevista su implementación para el 2008, y tendrá división de frecuencias en los canales y ocupará una anchura de banda de 26 MHz en la banda de 1189-1215 MHz (L3).

El programa prevé también realizar tareas de investigación científica y de diseño experimental para el desarrollo de la nueva generación de satélites, a fin de modernizar el complejo de control de tierra del sistema GLONASS y para iniciar la producción de equipo de usuario, aumentaciones y un sistema de vigilancia del estado del segmento orbital.

El uso del sistema GLONASS con otros sistemas de navegación por satélite permitirá aumentar considerablemente la performance del GNSS: la precisión, el acceso, la integridad y continuidad de los servicios de navegación para los usuarios de la aviación.

2.2.7 Errores del GLONASS

Los sistemas GPS y GLONASS están sujetos a varios errores que afectan la precisión de la posición calculada. Estos errores en conjunto pueden estar en el rango de 10 á 25 metros, dependiendo del tipo de receptor, la posición relativa del satélite y la magnitud de otros errores.

Error ionosférico.- El error más significativo se ocasiona durante el paso de la señal del satélite a través de la ionosfera de la Tierra. La ionosfera es una capa de partículas cargadas eléctricamente, que cubre a la tierra entre aproximadamente 130 y 190 Km. Sobre la superficie. Al desplazarse las señales de radiofrecuencia a través de la ionosfera, se hacen más lentas en una magnitud que varía dependiendo de la hora del día, la actividad solar y otros factores.

Disponibilidad selectiva.- Desde la puesta en servicio del sistema GPS, el DoD de los Estados Unidos ha introducido intencionalmente un error en el sistema, llamado *disponibilidad selectiva (SA)*, con el objeto de negar los beneficios de la exactitud del sistema GPS en situaciones bélicas (error de ± 100 mts.). A partir del 01-Mayo-2000 el gobierno de los Estados Unidos de América decidió retirar esta disponibilidad selectiva por lo que el error de posición ahora esta en el rango de 10 á 25 metros para cualquier usuario y teniendo la capacidad de activar la disponibilidad selectiva para que afecte a una determinada región del mundo, en caso de ser necesario.

Error del receptor.- El receptor de a bordo puede introducir una cierta cantidad de error durante las diversas etapas del procesamiento de las señales recibidas de los satélites. Estos errores pueden ser causados por el ruido térmico, la precisión del software, y el error de vías entre canales de recepción.

Error de efemérides (posición) del satélite.- Este error se refiere a que un satélite puede estar realmente en una posición un poco distinta a la que viene transmitiendo hacia los receptores.

Dilución de Precisión (DOP) por Posición.- La geometría posicional de los satélites que se están utilizando para determinar la ubicación del receptor influyen grandemente en la exactitud de los cálculos de la posición.

Cuando se requiere de mayor exactitud se recurre a diferentes técnicas de corrección diferencial (o aumentación), los cuales comparan la posición calculada

versus la posición real de un punto de referencia (medido) obteniéndose una cantidad de error que es retransmitida (generalmente por radiofrecuencias) a los usuarios para que se hagan los ajustes del caso.

Dependiendo de la técnica utilizada (tiempo real, post-proceso, etc.) y las condiciones de utilización (por ejemplo estático, baja velocidad, etc.) se pueden obtener exactitudes hasta el orden de los centímetros.

Error de multitrayectoria.- Los efectos de la multitrayectoria de la señal GPS ocurren cuando la señal no solo es recibida directamente desde el satélite sino desde las superficies cercanas a la antena del receptor debido a la reflexión de la señal. La señal de multitrayectoria se superpone con la señal directa y produce errores de fase, los cuales traen como consecuencia medidas erradas de las distancias a los satélites. Estos efectos tienen características periódicas y pueden llegar a causar errores que alcancen amplitudes de algunos metros con las técnicas tradicionales de medida del pseudorange. Con receptores especiales que usan técnicas diferentes (carrier phase) estos errores se reducen a unos cuantos centímetros, también se puede evitar este efecto utilizando diseños de antenas apropiadas.

2.3 EL SISTEMA GALILEO

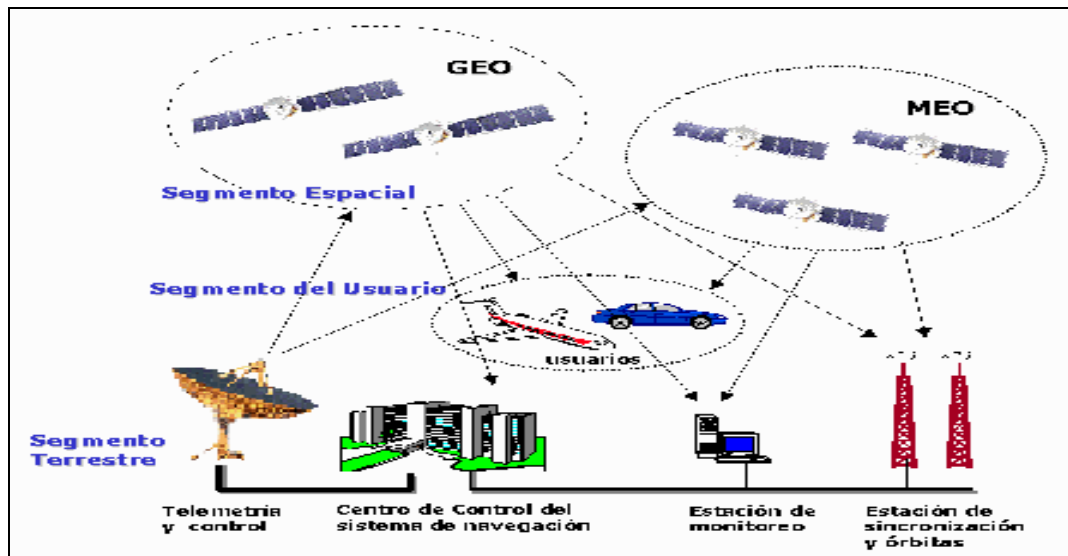
2.3.1 Introducción

Galileo es una iniciativa de la Unión Europea (UE) y de la Agencia Europea del Espacio (AEE), destinada al desarrollo, implantación y operación de un avanzado sistema de navegación por satélite, de titularidad civil y cobertura global (ver Figura N. 12).

Galileo es el segundo paso de Europa en el campo de las tecnologías de navegación por satélite. El primero es el servicio de aumento EGNOS (*European Geo-stationary Navigation Overlay Service*), promovido por el Grupo Tripartito, que incluye a la Comisión Europea, a la AEE y a Eurocontrol. EGNOS permite mejorar las prestaciones de los sistemas militares existentes, GPS y GLONASS, sobre su área de cobertura.

FIGURA N. 12

SEGMENTOS DEL SISTEMA GALILEO



FUENTE: www.madrimasd.org/htm

Galileo comprende una constelación de 30 satélites divididos en tres órbitas circulares, a una altitud de aproximadamente 24.000 Km, que cubren toda la superficie del planeta. Éstos estarán apoyados por una red mundial de estaciones terrestres. El primer satélite fue lanzado el 28 de diciembre de 2005 y se espera que el sistema esté completamente operativo a partir de 2010 (dos años más tarde de lo inicialmente previstos). Galileo será compatible con la próxima generación de NAVSTAR-GPS que estará operativa antes del 2012. Los receptores podrán combinar las señales de 30 satélites de Galileo y 28 del GPS, aumentando la precisión de las medidas. (Autor, <http://es.wikipedia.org/wiki/Sistema,2007>)

La infraestructura de tierra para Galileo incluirá una red de estaciones de vigilancia, así como los sistemas de control y las estaciones de tierra asociadas a la operación de los satélites. Galileo se diseñará con una arquitectura abierta, ínter operable con el sistema GPS y dispuesta para la incorporación de sistemas de aumento, de acuerdo con los requisitos de servicio que definan.

Situación del programa Galileo

El programa Galileo está estructurado en tres fases:

- Fase de desarrollo y validación (2002-2005)
- Incluye la consolidación de los requisitos de misión, el desarrollo de satélites y de componentes de tierra y la validación del sistema en órbita.
- Fase de despliegue (2006-2007)
- Fase de funcionamiento (a partir de 2008)

La fase preliminar de concepción del sistema Galileo ya ha terminado, por lo que, recientemente, la Agencia Espacial Europea ha celebrado los contratos para el pleno desarrollo del sistema. En esta fase, la financiación procede conjuntamente de la Comunidad Europea y de la Agencia Espacial Europea (ver Figura N. 13), en donde se puede justificar la inversión.

Las fases de despliegue y funcionamiento discurrirán en el marco de una asociación entre el sector público y el sector privado. Está actualmente en curso el proceso de selección del concesionario de Galileo.

FIGURA N. 13



FUENTE: www.intelligentroads.org

2.3.2 Historia del Sistema GALILEO

Galileo, es un Sistema Global de Navegación por satélite desarrollado por la Unión Europea (UE), con el objeto de evitar la dependencia de los sistemas GPS y GLONASS, entre otros motivos porque el sistema de defensa estadounidense (GPS), de carácter militar, se reserva la posibilidad de introducir errores de entre 15 y 100 metros en la localización y si hay algún accidente debido a estos errores no acepta ningún tipo de responsabilidad.

Se ha logrado que el Galileo, de uso civil, sea operativo con la señal abierta emitida por el sistema estadounidense GPS.

El 28 de diciembre de 2005 se lanzó el satélite Giove-A (Galileo in-orbit validation element), primero de este sistema de localización por satélite, desde el cosmódromo de Baikonur, en Kazajistán. El segundo de los satélites de prueba, el Giove-B debería haberse lanzado en abril de 2006, pero su lanzamiento fue retrasado hasta mediado o final de 2007 por fallos en su computador de a bordo.

GALILEO es la iniciativa europea para desarrollar un sistema de navegación por satélite (GNSS) que satisfaga las necesidades de la comunidad civil internacional. La componente principal del sistema es una constelación de satélites con una cobertura mundial. Dirigido por la Unión Europea (UE) en estrecha colaboración con la Agencia Espacial Europea (ESA), la Fase de Definición del sistema comenzó en junio de 1999, estimándose su despliegue inicial en 2005 y la Fase Operativa en 2008. (Autor, <http://www.galileosworld.com/>, 2007)

2.3.3 Servicio Ofrecido por el sistema GALILEO

Servicios

El sistema Galileo tiene tres componentes que representan tres niveles de desempeño:

- Global: ofreciendo cobertura mundial
- Regional: típicamente ofreciendo cobertura europea
- Local: típicamente para aeropuertos o cobertura urbana

Además, tres tipos de servicios son definidos:

- Servicio con acceso abierto: servicio básico gratuito y abierto para todo el público.
- Servicio con acceso controlado de nivel 1 (SAC 1): servicio con pago de tarifa con acceso controlado para aplicaciones comerciales y aplicaciones profesionales que necesitan niveles de desempeño superior y una garantía de servicio.

- Servicio con acceso controlado de nivel 2 (SAC 2): servicio con pago de tarifa con acceso controlado para aplicaciones de alta seguridad las cuales no deberán sufrir cualquier interrupción o distorsión por razones de seguridad.

En los últimos años, han aparecido nuevas y prometedoras aplicaciones. El eje del mercado se ha desplazado desde las más tradicionales en aviación y navegación marítima, hacia las aplicaciones de transporte por carretera y de infomovilidad. Más del 77% del volumen de mercado está ya en este segmento. Las aplicaciones marítimas, ferroviarias y de aviación civil suponen un porcentaje mucho menor, pero la certificación de los servicios ofrecidos por Galileo hará aumentar su peso relativo.

2.3.4 Configuración del Sistema

La propuesta para Galileo está basada en una constelación de satélites de órbita media (MEO, Medium Earth Orbit) y satélites geoestacionarios (GEO, Geosynchronous Earth Orbit) combinados con la apropiada infraestructura terrestre y sistemas de soporte (ver Figura N.14). El segmento espacial incluye la constelación de satélites que proveen las señales a los usuarios. El segmento terrestre consiste de las estaciones de telemetría y control requeridas para los subir y recibir datos de los satélites Galileo; por otra parte, el centro de control de satélites es responsable de monitorear y controlar cada uno de los satélites.

El segmento misión comprende las diversas aplicaciones y sistemas necesarios para administrar y controlar el sistema. El segmento misión abarca el MCC (Mission Control Centres), el ICC (Integrity Control Centres), el OSS (Orbitography and Synchronisation Stations) y el RIMS (Ranging and Integrity Monitoring Stations).

El MCC desempeña las siguientes tareas: generar todos los parámetros de referencia a ser usados por el sistema (tiempo, parámetros de sincronización,

calendarización), monitoreo, validar y controlar las otras partes del segmento; archivar datos; evaluar y monitorear el desempeño del sistema; administrar el sistema de navegación de Galileo.

Más allá del MCC, el ICC monitorea y valida el desempeño de las señales de los satélites Galileo en el espacio, usando datos de las estaciones de control y medición (tales como el RIMS y OSS). El OSS forma una red global de estaciones que proveen datos que permiten computación a bordo de ephemeris (posiciones orbitales de los satélites) y parámetros para sincronizar los relojes de los satélites Galileos con el tiempo de Galileo. Los RIMS son estaciones remotas que actúan como sitios de colección de datos de la señal en el espacio.

El segmento del usuario comprende los diferentes tipos de receptores encargados de procesar las señales de los satélites Galileo y de otros sistemas como el EGNOS (European Geostationary Navigation Overlay Service), GPS y GLONASS.

FIGURA N. 14

ARQUITECTURA DEL SISTEMA GALILEO



FUENTE: www.galileoju.com

2.3.5 Señales Empleadas

Según los acuerdos alcanzados en junio de 2000 en Estambul, GALILEO transmitiría en tres bandas asignadas a Servicios de Radio Navegación por Satélite (RNSS, en acrónimo inglés) (Radionavegation Satellite Services).

Las bandas asignadas son la de 1164-1215 Mhz (E5a y E5b), la banda de 1260-1300 Mhz (E6) y la banda 1559-2591 (E2-L1-E1).

Las señales de navegación estarán disponibles en el receptor mediante la modulación de los códigos de “ranging” y datos en portadoras de radiofrecuencia que serán transmitidas por las cargas de navegación de los satélites. El grupo de frecuencias de referencia para las diferentes portadoras, así como la porción de espectro alrededor de cada frecuencia, y que será necesario para la transmisión de las señales de navegación, se conoce como plan de frecuencias GALILEO, el cual se está desarrollando de acuerdo a las regulaciones y acuerdos alcanzados en el ámbito de la UIT (Unión Internacional de Telecomunicaciones).

La descripción de las diferentes bandas (ver Figura N. 15), corresponde a:

- E5 y L5, cubriendo entre ambas un espectro de 1164 MHz a 1215 MHz. Dentro de esta banda, el uso de 24 MHz del espectro centrado en la frecuencia seleccionada, se está evaluando, dependiendo de cómo evolucione la interoperabilidad entre E5 y L5, y la coexistencia con otros sistemas y los requerimientos de independencia de GALILEO.
- En este sentido, se están evaluando una frecuencia centrada en 1202 o 1207. E6, cubriendo de 1260 a 1300. Dentro de esta banda se está considerando el uso de 30 MHz de espectro al objeto de acomodar las señales para un Servicio Público Regulado y el Servicio Abierto.
- E2, cubriendo de 1559 a 1563. Esta banda podría acomodar una señal para el Servicio Público Regulado.

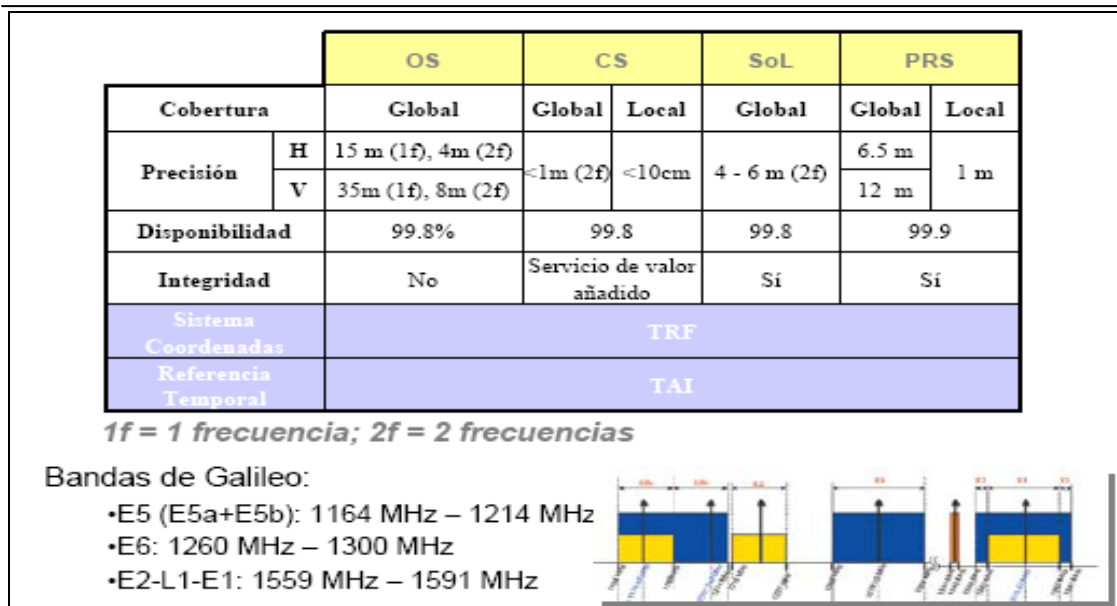
- E1, cubriendo de 1587 a 1591. Esta banda podría acomodar los servicios abiertos.

Planes de frecuencia (Autor, <http://www.galileosworld.com/2006>)

Durante los meses de mayo y junio del 2006 se llevó a cabo en Estambul, Turquía la reunión de la WRC (World Radiocommunication Conference) - organismo que se encarga de la asignación de frecuencias de radio. Después de un mes de debates y tomas de decisiones se dio una respuesta final. Esta decisión permite la asignación de espectro suficiente tanto para el sistema estadounidense (GPS) como para el sistema europeo (Galileo), lo cual permite a ambas entidades establecer su sistema global de navegación por satélite (GNSS, Global Navigation Satellite System). En la figura Nro. 15 tenemos en resumen del manejo de las frecuencias.

FIGURA N. 15

BANDAS, FRECUENCIAS Y CARACTERISTICAS DEL SISTEMA GALILEO



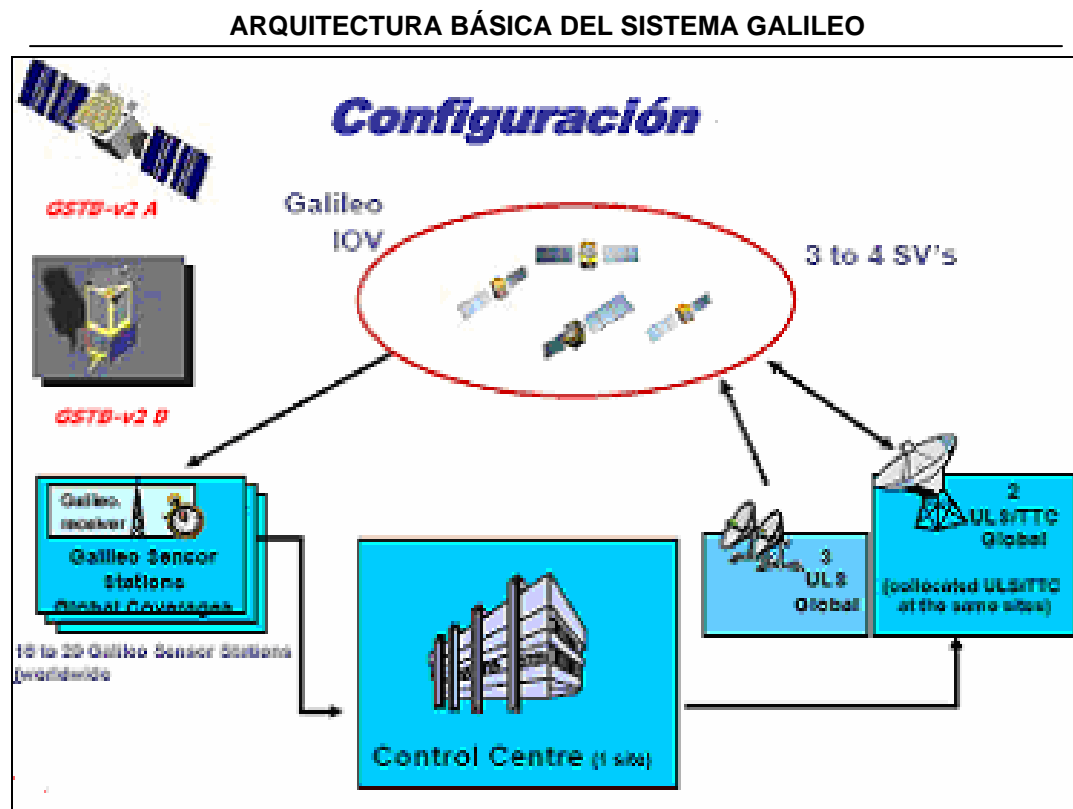
FUENTE: <http://www.coit.es/especial3.htm>

- Servicio abierto (**OS**)
- Servicio relativo a la seguridad de las vidas humanas (**SoL**)
- Servicio comercial (**CS**)
- Servicio público reglamentado (**PRS**)

2.3.6 Segmento Espacial

La arquitectura básica del sistema está articulada entorno a una constelación de satélites de órbita media MEO que constituyen su Componente Global, algunos satélites geoestacionarios GEO como Componente Regional y los correspondientes segmentos de control y usuario (ver Figura N. 16).

FIGURA N. 16



FUENTE: <http://www.inta.gov.ar/scaramuzza.pdf>

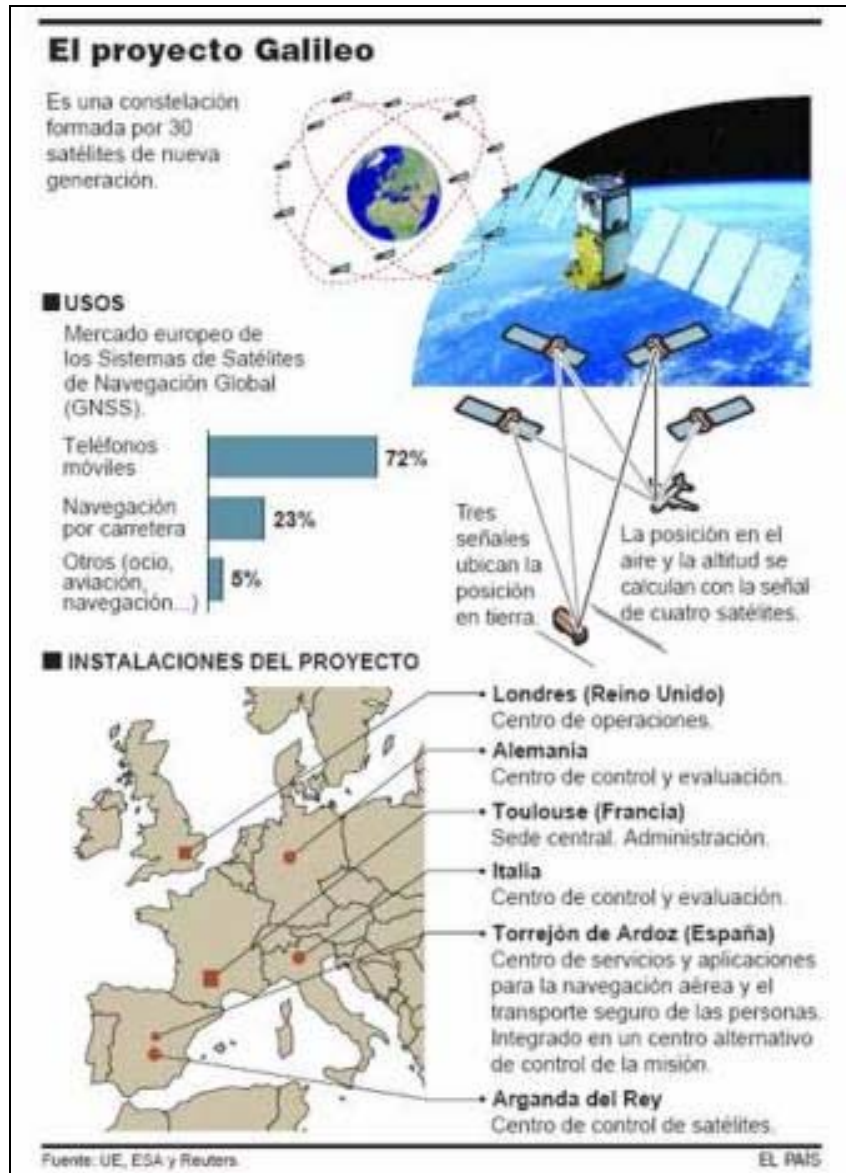
2.3.7 La compatibilidad e Interoperabilidad con los otros Sistemas.

La compatibilidad en radiofrecuencias es esencial para hacer que los sistemas actuales, GPS, GLONASS y Galileo sean ínter operable y compatible entre sí. Las recientes asignaciones de frecuencias por la WRC hacen posible esto. Las transmisiones de Galileo no deberán crear interferencia que de alguna manera degrade el desempeño de los receptores de GPS y viceversa. Será vital la coordinación de frecuencias y niveles de potencia transmitida para la coexistencia de los tres sistemas. Esto hace presuponer que los fabricantes producirán receptores de modo dual (o modo triple) capaces de tomar en cuenta la diferencia en el "tiempo del sistema" entre GPS y Galileo, y operar con referencias geodésicas compatibles.

Se añade la participación en el proyecto de otros países, interesados en el desarrollo de Galileo, como son Australia, Canadá, Corea del Sur, India, Israel o países sudamericanos. El socio más importante, sin embargo, es China, que incluso ha sido invitada a participar en la Empresa Común. Todos estos países aportarían dinero para el programa, que debería traducirse en contratos industriales y su participación en una infraestructura estratégica. En este sentido, la ESA ha creado una lista limitada de tecnologías que podrían suministrar los terceros países. (Ver Figura N. 17)

FIGURA N. 17

PROYECTO GALILEO

FUENTE: www.esa.int/esaNA/galileo.html

2.3.8 Fuentes de Error

La tabla N.03, muestra las especificaciones de las prestaciones del servicio de navegación.

TABLA N. 03

ESPECIFICACIONES DE LAS PRESTACIONES DEL SERVICIO DE NAVEGACIÓN.

Componente	Global	Regional	Local
Cobertura	90S-90N	70S-70N	70S-70N
Precisión (95%)			
Horizontal	50m	10m	0.8m
Vertical	50m	10m	0.8m
Integridad	No	Si	Si
Riesgo		10^{-7} /hora	10^{-9} /hora
Limite de alarma:			
Horizontal		30m	3m
Vertical		30m	3m
Aviso de Alarma		6s	1s
Continuidad	No	Si	Si
Riesgo		10^{-5} /150seg	10^{-7} /150seg
Disponibilidad	>0.999	>0.999	>0.99999

FUENTE: www.galileoju.com

2.4 EL SISTEMA EGNOS

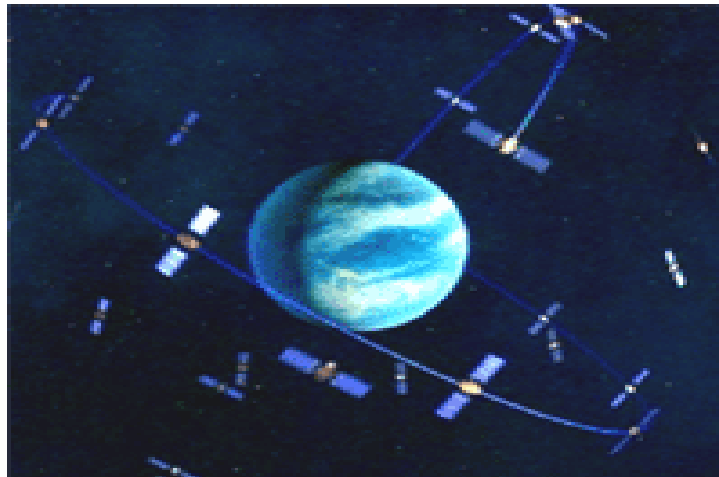
2.4.1 Introducción

El sistema **EGNOS** (European Geostationary Navigation Overlay System) es un sistema de navegación por satélite desarrollado por la ESA Agencia Espacial Europea, la Comisión Europea (institución de la Unión Europea) y Eurocontrol. Está ideado como un complemento para las redes GPS y GLONASS para proporcionar una mayor precisión y seguridad en las señales, permitiendo una precisión en la posición menor de dos metros.

Consiste en una red de tres satélites geoestacionarios (ver Figura N.18) y en una red de estaciones terrestres encargadas de monitorizar los errores en las señales de GPS y actualizar los mensajes de corrección enviados por EGNOS.

FIGURA N. 18

RED DE TRES SATÉLITES GEOESTACIONARIOS



FUENTE: <http://www.eitb.com/>

El sistema empezó a emitir de formal operacional (initial operation phase) en julio de 2005 mostrando unas prestaciones excelentes en términos de precisión y disponibilidad. El sistema debería ser cualificado para uso en aplicaciones de

seguridad (safety of life) en el año 2008 por la Agencia de supervisión GNSS (GNSS Supervisory Agency).

El sistema EGNOS es completamente compatible con el sistema de Estados Unidos llamado WAAS, operativo desde el año 2003. También existe otro igual en Japón llamado MSAS, que va a empezar a operarse en el año 2007, y la Agencia India del Espacio (ISRO) está actualmente desarrollando el sistema GAGAN.

EGNOS constituye la primera etapa, llamada «GNSS 1», de la política definida por la Unión Europea respecto al sistema mundial de navegación por satélite (GNSS, (Global Navigation Satellite System)); la segunda etapa, llamada «GNSS 2», es el programa GALILEO y el envío al espacio de una nueva constelación de satélites de radionavegación. EGNOS debería ser plenamente operativo.

Además, EGNOS representa la contribución europea al sistema mundial de radionavegación por satélite elaborado por la Organización de la Aviación Civil Internacional (OACI), que se basa en la tecnología de un sistema espacial de mejora de las señales de radionavegación (SBAS, Space-Based Augmentation System). Acabada su implantación en abril de 2004, EGNOS constituye un importante elemento regional de este sistema, que cubrirá el mundo entero gracias a una extensa red y que tiene por objeto mejorar las señales de radionavegación por satélite de modo que satisfagan las exigencias de fiabilidad formuladas por algunas categorías de usuarios. Los sistemas que pertenecen a esta red, basados en la tecnología **SBAS**, son EGNOS en Europa, WAAS (Wide Area Augmentation System) en los Estados Unidos, MSAS (Multi Satellite Augmentation System) en Japón y Extremo Oriente.

Hay que señalar que la superficie de utilización de EGNOS puede extenderse fuera de Europa y cubrir regiones como Sudamérica, India, África, etc., si la red de las instalaciones terrestre se amplía consecuentemente.

2.4.2 Historia del EGNOS

El concepto de EGNOS apareció por primera vez en la Comunicación de la Comisión Europea de 14 de junio de 1994 y fue adoptado por el Consejo de la Unión Europea en su Resolución de 19 de diciembre de 1994 sobre el desarrollo interior de la política comunitaria de comunicaciones por satélites, así como en su reunión del 14 de marzo de 1995, en la que instó concretamente a la Comisión a adoptar todas las medidas necesarias para el alquiler de las cargas útiles de navegación Inmarsat para EGNOS. Además, desde 1996, el Parlamento Europeo y el Consejo incluyen la radionavegación por satélite en las orientaciones comunitarias para el desarrollo de la red trans europea de transporte.

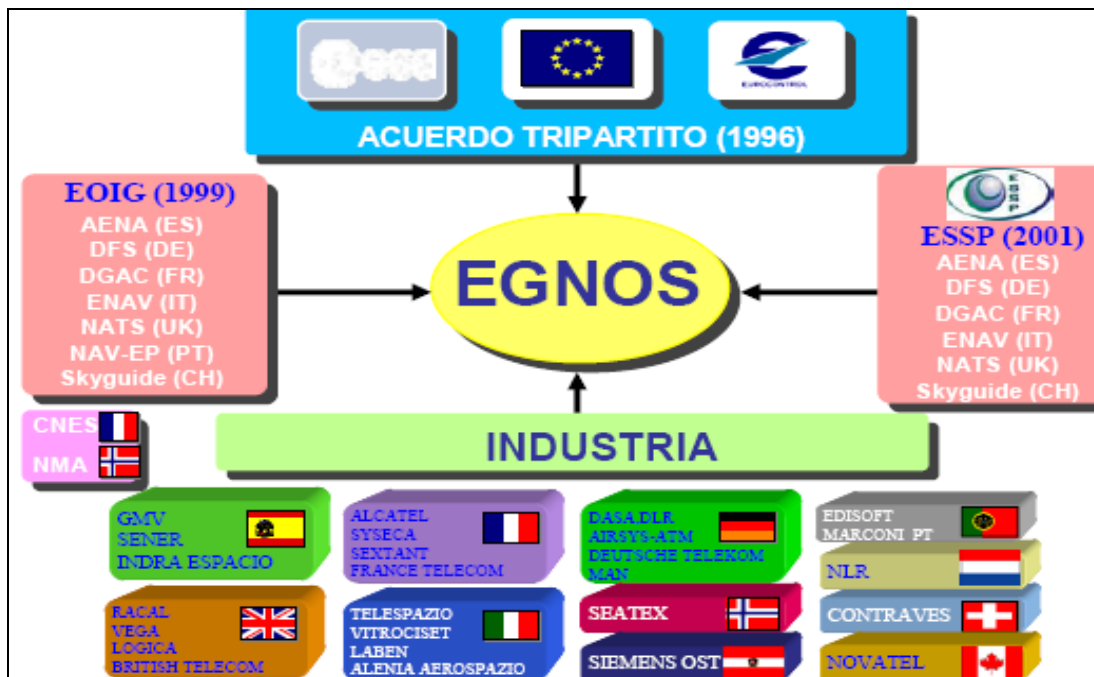
El desarrollo de EGNOS se basa en un acuerdo tripartito (ver Figura N. 19), firmado entre la Comunidad Europea, representada por la Comisión Europea (CE), la Agencia Espacial Europea y Eurocontrol. Según este acuerdo, aprobado por el Consejo de la Unión Europea el 18 de junio de 1998.

Las tres partes se comprometieron así a diseñar, desarrollar y desplegar EGNOS hasta la terminación de la primera fase de aplicación operativa, que incluye el funcionamiento de al menos dos cargas útiles en órbita geoestacionaria. El acuerdo no abarca la fase siguiente, que debería acompañar durante varios años el período inicial de explotación de GALILEO e integrarse en el programa GALILEO.

En la Figura N.19, se muestra la cooperación de las diferentes agencias espaciales y centro de investigación espacial representando a cada país en el acuerdo tripartito.

FIGURA N. 19

MARCO INSTITUCIONAL DE EGNOS

FUENTE: www.corpac.gob.pe/.htm

2.4.3 Servicio Ofrecido por el sistema EGNOS

De los tres grupos de usuarios a los que está destinado el sistema EGNOS, es decir, terrestre, marítimo y aeronáutico, los requisitos impuestos por la aviación civil son los más exigentes, marcando el diseño del sistema.

Los requisitos, y por tanto las prestaciones, de EGNOS se expresan mediante cuatro conceptos básicos. Aunque su definición exhaustiva es compleja, se comenta a continuación una descripción simple de su significado:

- **Precisión**, que mide el error con el que un usuario es capaz de conocer su posición.
- **Integridad**, que mide la capacidad que tiene un usuario de detectar cuando el sistema no es apto para el uso.

- **Continuidad**, que mide la probabilidad de que si el sistema está disponible al comenzar una operación, también lo esté al finalizarla.
- **Disponibilidad**, porcentaje del tiempo en el que el usuario es capaz de obtener un servicio de navegación que cumpla los requisitos anteriores.

Estas prestaciones son dependientes del lugar donde se encuentre el usuario y del tiempo. Un ejemplo de la precisión vertical esperada en instante dado dentro del área de cobertura se muestra en la siguiente figura.

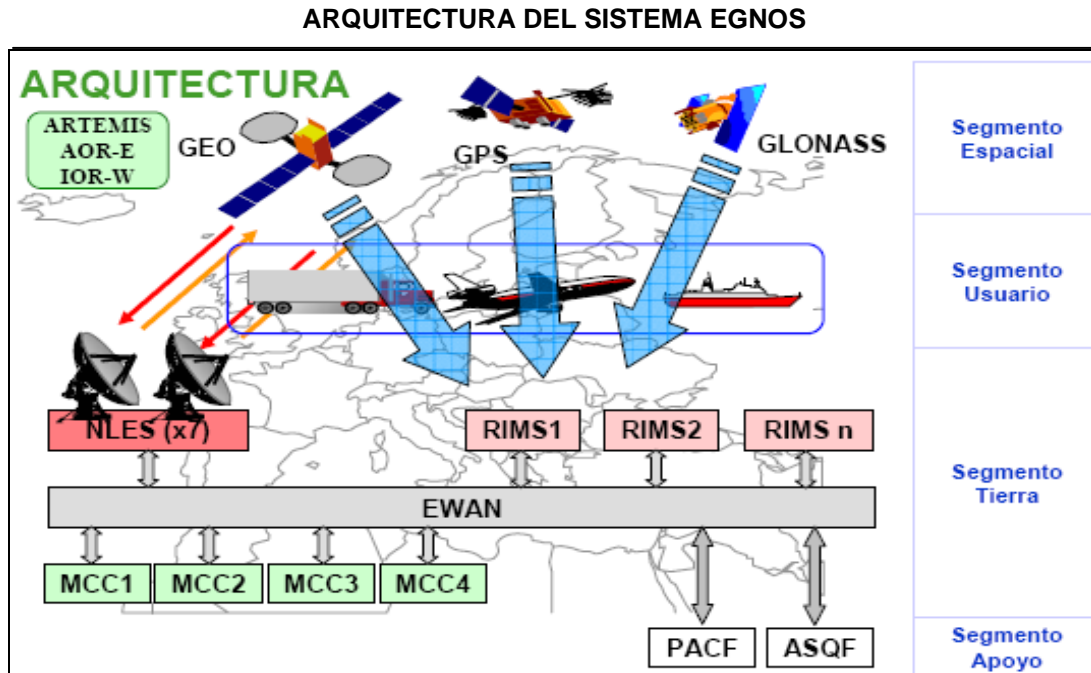
El sistema EGNOS se implementará en dos fases: Advanced Operational Concept (AOC) y Final Operational Concept (FOC). El primero se encargará de proporcionar todos los servicios previstos para el sistema pero con una disponibilidad menor de la requerida, aspecto que será cubierto con la segunda fase (FOC), en la que la introducción de más RIMS y más GEO hará que se cumplan los requisitos de disponibilidad deseados.

2.4.4 Configuración del Sistema

EGNOS es la sigla de «European Geostationary Navigation Overlay Service» (sistema europeo de navegación por complemento geoestacionario). Ofrece a todos los usuarios de la radionavegación por satélite un servicio de navegación y posicionamiento muy eficaz, mejor que el disponible actualmente en Europa.

El sistema utiliza las señales de las constelaciones de satélites de los sistemas estadounidense GPS y ruso GLONASS (ver Figura N. 20), pero, a diferencia de estos últimos, su finalidad es puramente civil y no militar. Consta de varias cargas útiles de navegación instaladas en satélites en órbita geoestacionaria y de una red terrestre con 34 estaciones de posicionamiento y 4 centros de control, todo ello interconectado. Estos equipos aumentan la fiabilidad de los servicios ofrecidos por las señales GPS y GLONASS en una zona geográfica que cubre Europa, los océanos Atlántico e Índico, Sudamérica, África, Oriente Medio y Asia central.

FIGURA N. 20



FUENTE: www.mappinginteractivo.com/

Ranging and Integrity Monitoring Stations (**RIMS**)

Mission Control Center (**MCC**)

Performance Assessment and system Check-out Facility (**PACF**), que se usará durante la operación y mantenimiento del sistema y que será básico para la investigación de posibles anomalías.

Application-Specific Qualification Facility (**ASQF**), que proporcionará a las autoridades de Aviación Civil y de certificación las herramientas para la cualificación y validación del sistema.

2.4.5 Señales Empleadas

Las estaciones de referencia RIMS

Como parte del segmento terrestre del sistema EGNOS, las estaciones RIMS constituyen la red de monitorización y recogida de datos sobre los satélites GPS, GLONASS y Geoestacionarios con carga útil de navegación (Inmarsat III y Artemis). Se instalarán 34 estaciones RIMS repartidas por todo el mundo, con mayor concentración en Europa. La distribución de las estaciones está diseñada cubriendo dos objetivos fundamentales:

(1) proporcionar múltiples medidas sobre el mismo satélite desde localizaciones diferentes, con la máxima separación geográfica entre ellas, para el cálculo de correcciones sobre el reloj y la órbita del satélite.

(2) proporcionar una mayor concentración de medidas tomadas sobre Europa, más en concreto sobre la zona compuesta por los espacios aéreos de los países de la ECAC (European Civil Aviation Conference), para el cálculo más preciso posible del modelo de correcciones ionosféricas.

Las principales funciones de las estaciones RIMS son las siguientes:

- Recoger medidas de pseudorange y fase de portadora para todos los satélites visibles por encima de 5° en el horizonte, en las frecuencias L1 y L2 sobre GPS, L1 sobre GLONASS y L1 sobre GEO. Estos parámetros no son procesados en cada estación, sino que son ser transmitidos al centro de proceso con el mínimo filtrado e integración. Las RIMS también obtienen los datos contenidos en el mensaje de navegación proporcionado por los satélites.
- Monitorización y control del funcionamiento y de los equipos de la estación, tanto local como remotamente desde el centro de control. La operación remota es necesaria ya que las estaciones RIMS funcionan siempre desatendidas, excepto para operaciones de mantenimiento local.

- Comunicaciones con el centro de un control y proceso, transmitiendo un mensaje por segundo con los datos recogidos, a través de la red de comunicaciones de EGNOS. Las operaciones de la estación están controladas mediante comandos recibidos por la red desde el centro de control.

Los principales elementos en la arquitectura de las estaciones RIMS son:

- Un receptor de las señales de los satélites de navegación, con capacidad de seguimiento de hasta 8 satélites GPS en las frecuencias L1 y L2, 12 GLONASS L1 y 8 GEO L1.
- Una referencia de frecuencia estable (reloj atómico), que puede ser de Cesio o de Rubidio dependiendo de la ubicación geográfica de la estación RIMS.
- Un ordenador que recoge en tiempo real los datos proporcionados por el receptor y los entrega en un formato especial a la red de comunicaciones para su transmisión al centro de proceso. Lleva a cabo la monitorización y el control de todos los componentes de la estación.

2.4.6 Segmento Espacial y de Tierra

EGNOS cuenta con dos elementos básicos, el segmento de tierra y el segmento espacial, a los que hay que añadir otros dos no menos importantes: el segmento de usuario y los medios de soporte al sistema.

El segmento de tierra

Consta de los siguientes elementos:

- Ranging and Integrity Monitoring Stations (RIMS). Son estaciones distribuidas principalmente por Europa y cuyo propósito es el de recibir las señales provenientes de los distintos satélites.
- Mission Control Center (MCC), que incluye dos subsistemas: la Central Processing Facility (CPF), cuyo objetivo es el cálculo, distribución, validación y

transmisión de las correcciones y la Central Control Facility (CCF), encargada del control y monitorización del sistema.

- Navigation Land Earth Stations (NLES), que se encargan de enviar la información al satélite geostacionario (GEO) para que sea retransmitida a los usuarios.
- EGNOS Wide Area Network (EWAN). Es la red de comunicaciones entre los diferentes elementos del segmento de tierra.

El segmento espacial

Está formado por los satélites geostacionarios (GEO) encargados de transmitir a los usuarios las correcciones calculadas por el segmento de tierra.

El segmento de usuario viene dado por el desarrollo de un receptor standard EGNOS que será utilizado por todos los usuarios en las diferentes aplicaciones.

Finalmente, el último elemento, pero no por ello el menos importante, está formado por los sistemas de soporte para la desarrollo, operación y cualificación de las diferentes partes del sistema:

- **Development Verification Platform (DVP)**, que incluye todo un conjunto de elementos con el fin de validar y verificar los requisitos de EGNOS durante la fase de desarrollo. Entre ellos, destacan por su importancia el EGNOS End-To-End Simulator (EETES), cuyo propósito es el de proporcionar señales simuladas que puedan ser usadas para la validación del sistema, y el Early System Test-Bed (ESTB), un prototipo de EGNOS en tiempo real que permitirá las primeras pruebas con datos reales.
- **Performance Assessment and system Check-out Facility (PACF)**, que se usará durante la operación y mantenimiento del sistema y que será básico para la investigación de posibles anomalías.

- **Application-Specific Qualification Facility (ASQF)**, que proporcionará a las autoridades de Aviación Civil y de certificación las herramientas para la cualificación y validación del sistema.

2.4.7 Aplicaciones

El sistema EGNOS ofrecerá a los usuarios civiles de la navegación por satélite tres servicios añadidos sobre los sistemas GPS y GLONASS.

1. En primer lugar, la señal EGNOS permite medir el **rango** o distancia del usuario al satélite geoestacionario emisor, de idéntica forma a como se hace con los satélites GPS. Así, se dispone de una ecuación más (por cada satélite geoestacionario visible) para calcular la posición a cada instante, obteniéndose una mejor precisión y fiabilidad.

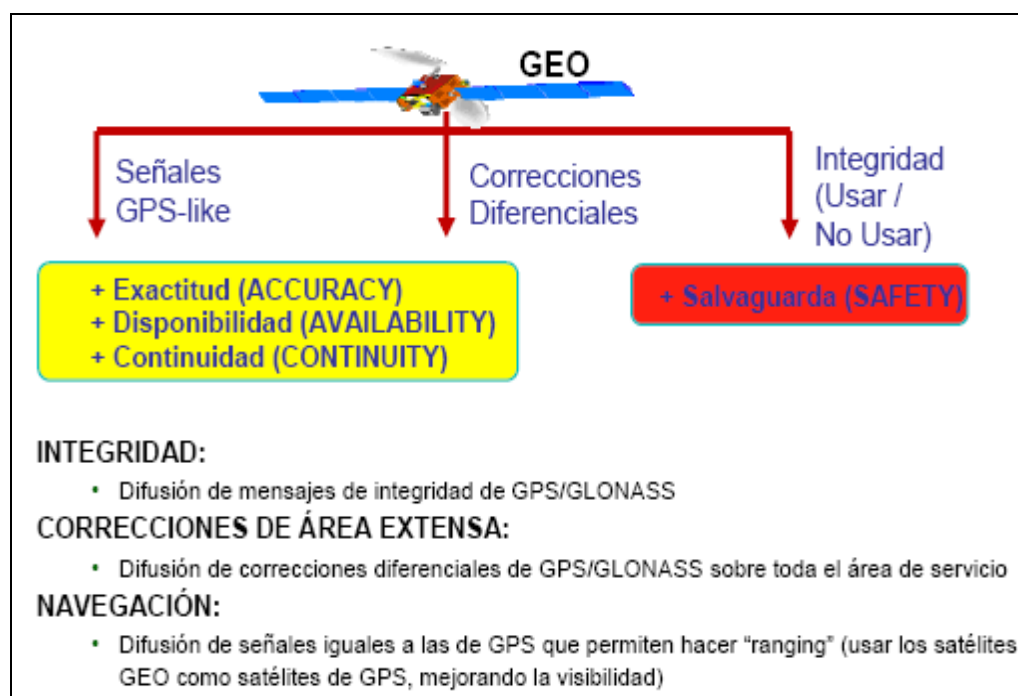
2. En cuanto a la información contenida dentro de los mensajes de EGNOS hay que destacar la de **integridad**. Este término hace referencia al grado de confianza en la fiabilidad de la información proporcionada por el sistema total. La integridad incluye la habilidad de un sistema de advertir periódicamente a los usuarios cuando el sistema no puede ser utilizado para la navegación. Se materializa mediante correcciones sobre los satélites GPS y GLONASS y dirá si uno o varios satélites no deben ser usados en caso de que estén introduciendo errores demasiado grandes. En definitiva, el servicio de integridad le dirá al usuario como de fiable es la posición que está calculando.

3. El tercer servicio está dedicado a la mejora de la precisión. Los mensajes contienen las llamadas **correcciones diferenciales de área extendida**, que son unos parámetros que modelan la ionosfera en tiempo real. Con ellos, el usuario puede corregir el retraso ionosférico de las señales de todos los satélites, mejorando su precisión.

Estos tres servicios (rango, integridad y correcciones diferenciales) (ver Figura N. 21), llegan al usuario por medio de las medidas que realiza en la señal de los satélites geoestacionario, junto a la información contenida dentro de los mensajes. El formato de los mensajes consiste en bloques de 250 bits, que contienen las diversas informaciones transmitidas.

FIGURA N. 21

FUNCIONALIDADES DE EGNOS



Fuente: www.essp.be

2.4.8 Fuentes de Error

En los sistemas diferenciales y en particular en el sistema EGNOS, la calidad de las medidas tomadas por las estaciones de referencia condiciona en primera instancia los errores en el posicionamiento del usuario final. Cada fuente de error independiente debe ser tratada por separado para ser corregida por el centro de

proceso, o mitigada en la estación RIMS para minimizarla. En particular, hemos visto que la selección de un preamplificador de bajo ruido ayudará a disminuir el error por ruido del receptor, así como el uso de espaciados estrechos en el correlador también disminuirá el ruido y el error debido al multicamino. Este último debe ser tratado en cualquier caso mediante el uso de antenas adecuadas, instaladas en lugares libres de reflexiones.

2.4.9 Aportaciones de EGNOS a GALILEO.

Al ofrecer el primer servicio europeo de radionavegación por satélite, EGNOS constituye un paso esencial para el desarrollo de esta tecnología en Europa. Ha facilitado a la industria europea progresar en el control de las técnicas necesarias, especialmente en los servicios vitales que permitirán a GALILEO distinguirse del GPS. La pericia técnica e institucional acumulada en el marco del programa EGNOS ha situado a Europa en buena posición para poner en marcha el ambicioso programa GALILEO. Entre los centenares de los ingenieros europeos que han trabajado en EGNOS, la mayoría se dedican a GALILEO. La experiencia adquirida durante las fases de validación y explotación de EGNOS será también muy útil para la implantación de GALILEO. EGNOS contribuye significativamente al éxito de GALILEO.

Sirve de precursor a GALILEO. (Autor, [http://gps.faa.gov. htm](http://gps.faa.gov.htm),2007)

EGNOS aumentará sensiblemente la confianza de los poseedores de receptores en la solidez y la fiabilidad de la política europea sobre radionavegación por satélite, que es coherente, por otra parte, con la política y las normas aceptadas a escala mundial. Los servicios prestados por EGNOS anuncian las futuras aplicaciones de GALILEO. Con EGNOS, Europa participa ya plenamente en la política mundial sobre radionavegación por satélite. En la mayoría de las regiones del mundo, gracias a EGNOS, los países interesados en la introducción de nuevas tecnologías podrán confiar en las ventajas de los sistemas avanzados de radionavegación por satélite que proporcionan un mensaje de integridad, entre los

que EGNOS es ahora un ejemplo y que GALILEO ofrecerá a escala mundial. Al facilitar desde este momento la aplicación de una política concreta de cooperación internacional en el ámbito de la radionavegación por satélite, EGNOS abre la vía al futuro reconocimiento internacional del sistema GALILEO.

2.5 EL SISTEMA WAAS

2.5.1 Introducción

El termino WAAS, (Wide Area Augmentation System) es básicamente un sistema de satélites y estaciones terrestres (ver Figura N. 22), que proporcionan correcciones de la señal GPS, proporcionando una mejor precisión en la posición. ¿Cuanto mejor?, pues de media unas cinco veces mejor. Un GPS que admita el sistema WAAS puede proporcionar una precisión en la posición de 3 metros el 95% del tiempo. Y no tienes que comprar equipamiento adicional ni pagar nada por utilizar WAAS.

FIGURA N. 22



FUENTE: <http://www.garmin.com.es/.htm>

Aunque actualmente, el sistema WAAS esta disponible sólo en Norte América, para operaciones de precisión, su señal es generalmente captada en España, por lo que es recomendable que los sistemas de navegación que se adquieran, dispongan de esta tecnología. Existen formatos compatibles, en otros continentes, como el MSAS en Asia o el EGNOS en Europa, que nos proporcionarán las precisiones y correcciones adecuadas en la localización, del WAAS.

2.5.2 Historia del WASS (Autor, <http://gps.faa.gov/Programs/WAAS/waas.htm>,2007)

La Federal Aviation Administration (FAA) y el departamento de transportes USA han desarrollado el programa WAAS para el uso en aproximaciones de vuelo de precisión. Actualmente en los USA el GPS por si solo no esta aceptado para por la FAA para la navegación, puesto que no cumple los requerimientos de precisión integridad y disponibilidad. El sistema WAAS corrige los errores de la señal causados por fluctuaciones en la ionosfera, y por los errores en las orbitas de los satélites y proporciona una información apropiada de cada uno de los satélites del sistema GPS. Aunque todavía el sistema WAAS no ha sido aprobado para aviación, el sistema esta disponible para usos civiles.

El origen de la tecnología WAAS, surgió de la necesidad de una mayor precisión en el aterrizaje de aeronaves. Esta tecnología está siendo desarrollada por la Administración Federal de Aviación (FAA) y el Departamento de Transportes Estadounidense (DOT).

Debido a que la tecnología GPS, no cubría las necesidades de precisión, se crea la tecnología WAAS, que es una corrección sobre la señal de GPS. Esta corrección es necesaria, debido a las perturbaciones atmosféricas, producidas en la ionosfera, a los posibles errores en la órbita de los satélites.

2.5.3 Servicio Ofrecido por el sistema

WAAS, consiste en unos 25 puntos de tierra, que monitorizan los satélites GPS, y los datos que estos envían, a lo largo del territorio de los Estados Unidos. Dos estaciones principales, recolectan datos de estaciones de referencia y por contraste, crean un informe de errores que puede tener la señal GPS, y lo mandan a los receptores que disponen de la capacidad WAAS. Esto se hace a través de satélites sobre el ecuador, o satélites geoestacionarios. Automáticamente, en los propios dispositivos, la señal es corregida, y así, la precisión, aumenta en el receptor, y el margen de error, disminuye.

2.5.4 Configuración del Sistema

WAAS se basa en 25 estaciones de referencia en Estados Unidos. Las cuales calculan constantemente:

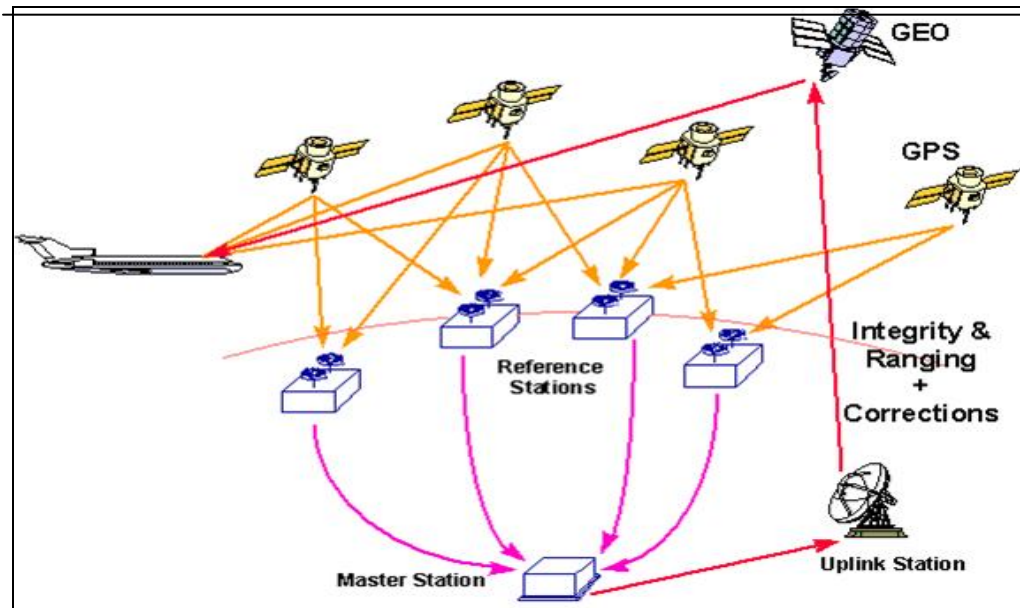
- Una lista de todos los satélites que están visibles en ese momento
- Una corrección exacta del cómputo del rango o distancia de cada satélite.
- Una referencia de tiempo de cada corrección

Estos cálculos son entonces transmitidos a la central de WAAS, quien los analiza y los compara unos con otros para determinar su validez e integridad. La central WAAS entonces manda a un satélite geoestacionario (ver Figura N. 23), esta información que entonces es propagada a todos los receptores del área de servicio del satélite geoestacionario. Con esta corrección ya predeterminada, los receptores de GPS la pueden usar para mejorar su localización.

Las 25 estaciones terrenas de referencia ubicadas a lo largo de los Estados Unidos monitorean la información de los satélites GPS. Dos estaciones principales, ubicadas en ambas costas recoleccionan información de las estaciones de referencia y elaboran un mensaje de corrección GPS. Esta corrección abarca la órbita del satélite y el reloj, además de las demoras de señal causadas por la atmósfera y la ionosfera. El mensaje diferencial corregido es entonces transmitido a través de uno de dos satélites geoestacionarios, o satélites con una posición fija sobre la línea ecuatorial. La información es compatible con la estructura básica de la señal GPS, lo que significa que cualquier receptor GPS con capacidad WAAS puede leer la señal.

FIGURA N. 23

FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA WASS



FUENTE: <http://www.geocities.com/GPS.html>

2.5.5 Señales empleadas

Actualmente, la cobertura satelital WAAS está solo disponible en Norte América. No existen estaciones terrenas de referencia en Sudamérica, de modo que, a pesar de que los usuarios GPS pueden recibir WAAS, la señal no ha sido corregida y, por tanto, no mejora la precisión de su unidad. Para algunos usuarios en los Estados Unidos, la posición de los satélites sobre el ecuador hace difícil la recepción de señales cuando la vista del horizonte es obstruida por árboles o montañas. La recepción de la señal WAAS es ideal para aplicaciones en terreno abierto y operaciones náuticas. WAAS proporciona una cobertura extensa en tierra y mar en comparación con el sistema terrestre DGPS (GPS diferencial). Otro ventaja del WAAS es que no requiere de equipo adicional de recepción, mientras que el DGPS sí.

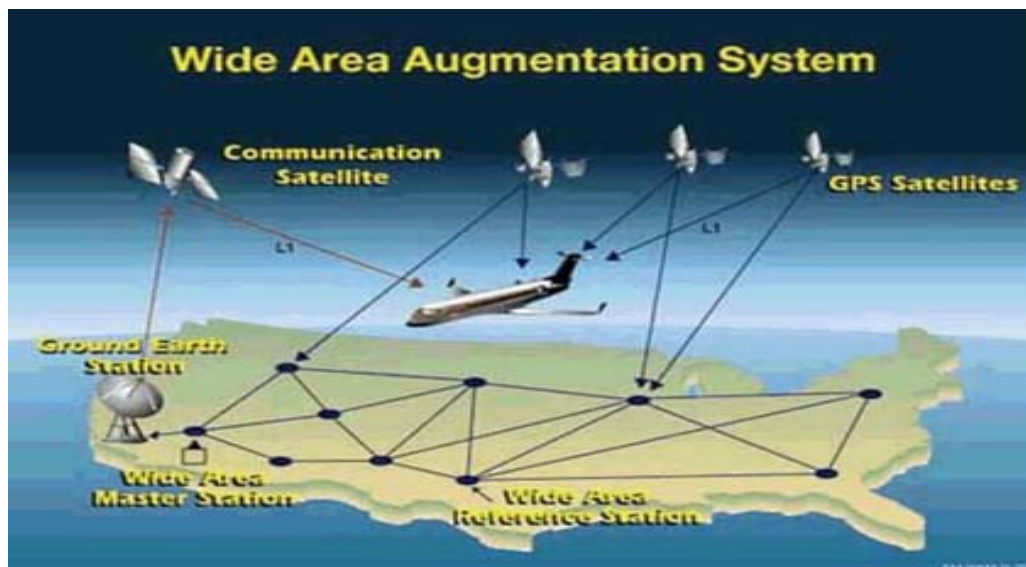
2.5.6 Aplicaciones

Actualmente la cobertura WAAS esta disponible con mayor porcentaje en Norte América (ver Figura 24). Como no hay estaciones terrestres de referencia en Sur América, aunque algunos usuarios GPS pueden recibir WAAS, la señal puede no ser completamente correcta con lo que no se garantiza la misma precisión que en los USA.

Debido a la posición de los satélites sobre el Ecuador algunos usuarios de algunas regiones USA pueden tener dificultades para recibir las señales cuando árboles o montañas obstruyen la vista del horizonte. La recepción de la señal WAAS es más fácil en sitios llanos o en el mar abierto.

FIGURA N. 24

EL SISTEMA WAAS EN SU APLICACIÓN EN EL CAMPO DE LA AVIACION



FUENTE: www2.jpl.nasa.gov/html

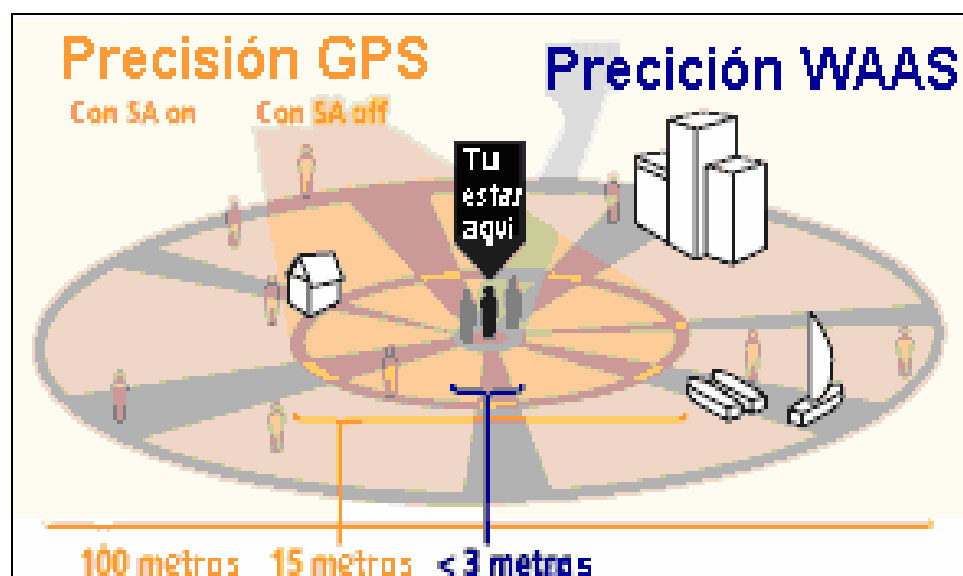
2.5.7 Fuentes de Error

Aun cuando el error del receptor dependerá de factores tales como ubicación, obstrucciones, presencia de rutas múltiples, hora del día y condiciones climáticas; las pruebas realizadas por usuarios utilizando el modo de operación WAAS indican que efectivamente este puede mejorar tanto la exactitud vertical como horizontal del receptor (ver Figura N. 25). Por ejemplo, se han obtenido errores planimétricos de 3 a 3.7m y de 6.0 m en elevación 95% del tiempo siempre y cuando el receptor estuviera libre del efecto de rutas múltiples. (Autor, <http://gps.faa.gov/Programs/WAAS/waas.htm>,2007)

A continuación se muestran los errores esperados bajo condiciones óptimas de trabajo (buena visibilidad y geometría de satélites, ausencia de neblina, sitio despejado). En la vida cotidiana estos errores pueden ser mayores debido a condiciones de visibilidad menos favorables del sitio.

FIGURA N. 25

PRECISION DEL WAAS



FUENTE: <http://www.garmin.com.es/info/waas/waas.htm>

- 100 m: Sistema GPS original (con SA).
- 15 m: Sistema GPS actual (sin SA).
- 3-5 m: Sistema GPS diferencial (DGPS).
- < 3 m: Precisión típica del sistema WAAS.

Error Valor (m)

Ionosfera 4.0 m.

Reloj 2.1 m.

Efemérides 2.1 m.

Troposfera 0.7 m.

Receptor 0.5 m.

Rutas múltiples 1 m.

Total 10.4 m.

La ionosfera es la principal fuente de error en la actualidad, seguida por el reloj atómico del satélite y su posición en el espacio (efemérides).

2.6 EL SISTEMA MSAS

2.6.1 Introducción

El sistema **MSAS** (Multi-functional Satellite Augmentation System) es un sistema de aumentación basado en el satélite multifuncional MTSAT, este es un sistema de navegación por satélite, el cual soporta DGPS, designado para mejorar la precisión de la señal del sistema GPS. Este sistema está operativo en Asia, principalmente en Japón.

En paralelo con el sistema WAAS de Estados Unidos y el EGNOS de Europa, Japón ha desarrollado este sistema basado en un satélite geoestacionario de transporte multifuncional (MTSAT), el cual tiene también una función meteorológica (además de la aeronáutica). El MTSAT-1 fue lanzado en el año 2000, y subsecuentes lanzamientos son programados cada cinco años.

Aunque el sistema de software del MSAS está basado en el WAAS presenta diferentes capacidades que los sistemas WAAS y del EGNOS, porque incluye dos modos de comunicación, voz y datos. Esta capacidad de comunicación será usada para brindar Vigilancia Automática Dependiente (ADS). Específicamente, MSAS está basado en el concepto FANS de la OACI, incluyendo GNSS para navegación y Servicio Satelital Móvil Aeronáutico (AMSS) para dos modos voz/datos con ADS.

La aplicación aeronáutica consistía en dos funciones: servicio móvil aeronáutico por satélite (SMAS) y sistema de aumentación basado en satélite (SBAS) del GNSS para proporcionar a las aeronaves información sobre aumentación GPS por enlace ascendente a partir de las instalaciones terrestres. La función MSAS del MTSAT cumpliría plenamente con las normas y métodos recomendados (SARPS) de la OACI. Los detalles técnicos no especificados en los SARPS se coordinaron mediante las actividades del Grupo Técnico de Trabajo sobre Interfuncionamiento (IWG) SBAS. Así, el MSAS permitía el pleno interfuncionamiento con otros servicios SBAS.

Después de haber fallado el lanzamiento del MTSAT-1 (el primer MTSAT), Japón adquirió otro satélite, MTSAT-1R, que se lanzaría a principios de 2004. El segundo MTSAT, MTSAT-2, se lanzaron en 2005. Una vez finalizada la certificación, el MSAS entraría en servicio y sería operacional utilizando únicamente el MTSAT-1R a partir de este año. El doble funcionamiento del MTSAT-1R y el MSAT-2 entró en servicio en el año 2006.

2.6.2 Elementos del sistema MSAS

Dos centros de satélites aeronáuticos se encargarán del control de los MTSAT. Las estaciones de control principales (MCS) del MSAS se han instalado en dos centros de satélites aeronáuticos. Con objeto de proporcionar servicio MSAS en la FIR (Región de Información de Vuelo) del Japón, se habían instalado estaciones de vigilancia de tierra (GMS) en cuatro centros de control de tránsito en rutas aéreas. Para garantizar una referencia amplia para una determinación exacta de la órbita de los MTSAT se instalaron dos estaciones de vigilancia y cronometría (MRS) en Hawaii (Estados Unidos) y Camberra (Australia). Cuenta también con una MRS en cada centro de satélites aeronáuticos.

En operaciones normales, los usuarios podrían recibir dos señales SBAS con diferentes códigos PRN. Cada señal se enviaría por enlace ascendente de una MCS diferente y por medio de un satélite diferente. Si falla uno de los satélites, la MCS que esté comunicando por enlace de datos por medio del satélite que haya fallado se conmutaría al otro satélite. Así, aún en estas condiciones anormales, la aviónica del usuario podría recibir las dos señales SBAS. Esta arquitectura garantiza un servicio SBAS sumamente redundante y fiable.

Dado que la señal MSAS sería objeto de radiodifusión por el MTSAT en la mayor parte de la Región Asia/Pacífico, el servicio MSAS podría ampliarse fácilmente si se instalaran GMS en la zona de cobertura del MTSAT y se conectaran líneas terrestres especializadas a las MCS. Japón ha ofrecido servicio MSAS gratuito a

los Estados de la Región Asia/Pacífico a fin de establecer en dicha región un sistema de navegación aérea fluido y más seguro y fiable.

(Autor, <http://es.wikipedia.org/wiki/MSAS>,2007)

2.7 EL SISTEMA GAGAN

2.7.1 Introducción

GAGAN (GPS and GEO Augmented Navigation) es un Sistema de Aumentación Basado en Satélites (SBAS) desarrollado por la Agencia India del Espacio (ISRO) y está ideado como un complemento para la red GPS para proporcionar una mayor precisión y seguridad en las señales de posicionamiento y navegación por satélite.

El fin es el de satisfacer los requisitos de precisión y seguridad en la navegación por satélite de las compañías aéreas y los proveedores de servicios de tráfico aéreo (ATS) en el espacio aéreo de la India, incluyendo el espacio del océano Índico, así como amplias partes de la Región Asia/Pacífico.

GAGAN se ha diseñado para satisfacer los SARPS de la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI) y que permita relacionarse con WAAS, EGNOS y MSAS.

2.7.2 Fases de implantación

El programa GAGAN se implantó en tres fases:

- Sistema de demostración de tecnología (TDS). Un sistema de configuración mínima que demuestra la capacidad del sistema para aproximaciones de precisión (Categoría I) en una región limitada del espacio aéreo de la India y constituye una prueba del concepto. La fase TDS concluyeron hacia el año 2007.

- Fase experimental inicial (IEP). En esta fase se amplía el TDS para abarcar todo el espacio aéreo de la India y se añaden al sistema las redundancias necesarias. La IEP finalizó un año después de desarrollarse el TDS.
- Fase operacional final (FOP). Se prevé que, durante esta fase, el programa GAGAN alcance su pleno desarrollo. El sistema sería objeto de amplios ensayos y se evaluaría respecto a los SARPS de la OACI antes de declarar que se ha alcanzado el nivel operacional. Se prevé que esta fase se termine un año después de la fase IEP.

Actualmente, habiendo llevado a cabo un examen detallado del diseño de la carga útil, la ISRO estaba en la etapa de adquisición de los componentes críticos para fabricar la carga útil de navegación que se instalará en el satélite GSAT-4, que se lanzo en 2005 en una órbita situada en 82° Este. Dado que la India está situada cerca de la línea del ecuador terrestre, las actividades ionosféricas tendrían un efecto importante en las señales GPS recibidas encima del espacio aéreo de la India.

Con objeto de evaluar adecuadamente el efecto de la ionosfera en las señales GPS y reducir su efecto, se ha iniciado la elaboración de un modelo ionosférico basado en los datos compilados en gran número de localidades durante un amplio período de tiempo. Teniendo presente lo expuesto, se preveía establecer 20 estaciones para compilar datos ionosféricos cubriendo la totalidad del país.

(Autor: "<http://es.wikipedia.org/wiki/GAGAN>", 2007)