

GALILEO: EL SISTEMA EUROPEO DE NAVEGACIÓN POR SATÉLITE

Federico YANGUAS GUERRERO



Introducción



URANTE siglos, los navegantes han dependido de la observación de los astros, del uso de la aguja magnética, de los hitos naturales o artificiales y de la medida del tiempo. A lo largo del último siglo, el desarrollo de las técnicas de radionavegación ha permitido crear nuevos medios, principalmente para la navegación marítima y la aérea, independientes de las condiciones meteorológicas y, por tanto, de la visibilidad de los astros o las referencias terrestres. La navegación por satélite constituye el último avance en el campo de la radionavegación. Mediante señales transmitidas desde diversos satélites y procesadas en un receptor, el usuario puede determinar su posición, velocidad y tiempo. Para ello, el receptor de navegación determina la distancia a los satélites emisores a partir de la medida del tiempo de viaje de la señal y aplica las mismas técnicas de triangulación en que se basaban las técnicas de navegación clásicas. Estas operaciones se han llevado a cabo hasta ahora con los sistemas GPS (*Global Position System*) y GLONASS (*Global Navigation Satellite System*).

GALILEO es la contribución Europea al Sistema de Satélites para la Navegación Global GNSS (*Global Navigation Satellite System*). Es una iniciativa de la Unión Europea (UE) y la Agencia Europea del Espacio (AEE). Tiene como fin el desarrollo, implantación y operación de un novedoso y avanzado sistema de navegación por satélite, de titularidad civil, cobertura mundial, barata y que mejora notablemente a los sistemas actuales. Se trata del segundo paso que efectúa Europa en el campo de la navegación por satélite. Previamente ha desarrollado el sistema EGNOS (*European Geo-Stationary Navigation Overlay Service*), promovido por la Comisión Europea, la AEE y Eurocontrol, con la finalidad de mejorar las prestaciones de los actuales sistemas GPS y GLONASS y tener un sistema independiente. Está claro entonces que el sistema GALILEO a través del sistema EGNOS (puente entre GPS/GLONASS y el propio sistema GALILEO), será el relevo natural en

Europa del sistema GPS y que estamos abocados a la adaptación al nuevo sistema en un corto periodo de tiempo. Veamos las características generales de todos los sistemas que componen GALILEO basado en el Datum WGS-84.

Plan de desarrollo GALILEO

Primera fase. Definición del proyecto (1999-2000) (concluida)

- Mediante el proyecto GALA se efectuó la evaluación de las necesidades presentes y futuras de los usuarios.
- Mediante el proyecto GALILEOSAT y dirigido por la AEE, se efectuó la arquitectura espacial y terrestre.
- Mediante el proyecto GEMINUS se efectuó la definición de los servicios, para poder orientar las aplicaciones.
- Mediante el proyecto INTEG FOR EGNOS se proyectó la integración de EGNOS en GALILEO.
- Mediante el proyecto SAGA se proyectó la normalización de servicios.
- Mediante el proyecto GUST se proyectó la especificación previa y la certificación de receptores.
- Mediante el proyecto SARGAL se diseñaron las aplicaciones del servicio de búsqueda y rescate SAR.

Segunda fase. Desarrollo y validación orbital (2001-2005) (en proceso)

- Mediante una definición detallada del sistema, satélites, componentes de tierra y receptores.
- La validación con la puesta en órbita de satélites prototipos y una mínima infraestructura terrestre.

Tercera fase. Despliegue de la constelación (2006-2007) (en un futuro)

- Puesta en órbita satélites operativos.
- Asegurar el desarrollo total de la infraestructura de tierra.

Cuarta fase. Operaciones comerciales (2008 en adelante)

Existen clientes futuros en la aviación, gestión de flotas, vigilancia, ocio, navegación por carretera, teléfonos móviles, sistemas de información geográfica, hidrografía, geodesia, geodinámica, topografía, coches, camiones y auto-

buses, policía, bomberos y ambulancias, sistemas integrados de comunicaciones personales, etcétera.

Servicios proporcionados por GALILEO

Los comités de los proyectos al reunirse y analizar las futuras prestaciones del sistema, exigieron el que tuviera:

- Una cobertura global en posición y en tiempo.
- Un servicio de carácter abierto.
- Un servicio de acceso controlado con garantía de disponibilidad.
- Que fuera completamente interoperable con otros GNSS, especialmente con GPS.

Hay extensas posibilidades de aplicación basadas, por un lado, en servicios ofrecidos de forma autónoma y, por otro lado, por servicios resultantes del uso combinado de GALILEO y otros sistemas, y que también compondrán el Sistema General. Estos servicios son:

Servicios proporcionados por satélites autónomos MEO (Medium Earth Orbit)

Dentro de esta clasificación, existen cuatro servicios de navegación, junto a otro de apoyo a las operaciones de búsqueda y rescate. Estos servicios se han desarrollado para cubrir las necesidades en el ámbito científico, comercial, operaciones de salvamento, así como en dominios de ámbito gubernamental regulados, etc... Los servicios proporcionados en este punto, serán de carácter mundial e independiente de otros sistemas, con la única combinación de los satélites MEO de GALILEO. Además, sus usuarios podrán disponer de la eliminación de las fuentes de error que provengan de perturbaciones intencionadas, interferencias de carácter excepcional, actividad troposférica e ionosférica de carácter excepcional, ángulo de enmascaramiento reducido a 10° y ambientes de bajo *multipath*. Estos son:

- *Servicio Abierto (Open Service) —OS—*: este servicio tiene como prioridad ofrecer la situación y el tiempo de forma gratuita (sólo habrá que comprar el receptor). La señal de tiempo estará sincronizada con UTC (*Universal Time Coordinate*) cuando se empleen receptores en localizaciones fijas. Se permitirá así su empleo, en usos científicos, en el control y sincronismo de redes, etc... Este servicio mejorará al que proporcionan los actuales sistemas GNSS y en un futuro será interope-

rable con otros GNSS, facilitando así otros servicios de carácter combinado.

Las señales de este servicio estarán separadas en frecuencia para que con las diferentes medidas en distancias realizadas por cada frecuencia se permita reducir los errores de carácter ionosférico. Cada frecuencia incluirá dos señales de código (en fase y en cuadratura) y la señal de datos será anexada a una de las señales de código.

- *Servicio Comercial* (Commercial Service) —*CS*—: este servicio tiene como prioridad ofrecer aplicaciones en el ámbito profesional (con datos de integridad, correcciones diferenciales para áreas locales). Estará basado en la diseminación de los datos a la velocidad de 500 bps. Dispondrá de las mismas señales que el servicio OS con el añadido de la encriptación de dos señales (códigos y datos) en la banda E6. Se facilitarán así las aplicaciones en las que se requiera una gran exactitud y aquellas en las que se disponga de mala cobertura. Dispondrá de:

- Señal de datos de difusión encriptada.
- Una precisión (< metro), usando señales abiertas (encriptadas o no) sobre el servicio PRS.
- La integración de las redes de posicionamiento GALILEO con redes de comunicaciones inalámbricas.
- Servicio de garantía de señal.

- *Seguridad Vida Humana* (Safety of Life) —*SoL*—: este servicio tiene como prioridad ofrecer operaciones de seguridad a los usuarios en el ámbito de la aviación y de la navegación de forma mundial. Tendrá como características principales ofrecer integridad en la señal y que esta señal se pueda autenticar (ej.: firma digital), para asegurar así al usuario que la señal que recibe procede del sistema GALILEO. Todo ello se efectuará de acuerdo con dos criterios: uno para la aviación (con un nivel crítico) y el otro en la navegación marítima (sin nivel crítico). Este servicio será ofrecido de forma abierta y las señales estarán en la banda E5a + E5b y L1 separadas en frecuencia para evitar interferencias y permitir correcciones por los errores inducidos por efectos ionosféricos, ya que puede discriminarlos por las diferentes medidas de distancia procedentes de las tres señales. Los datos de integridad se emitirán en L1 y E5b.

- *Servicio público regulado* (Public Regulated Service) —*PRS*—: este servicio tiene como prioridad ofrecer alta protección contra las posibles amenazas de interferencias (intencionadas o no) sobre las señales de GALILEO, a través de la mitigación de éstas. Tiene prestaciones semejantes al servicio SoL y permitirá ofrecer la situación y el tiempo

a los usuarios que requieran un servicio continuo de las señales SIS (*Signal in Space*). Serán usadas dos señales de navegación PRS con códigos y datos encriptados.

- *Servicio operaciones Búsqueda/Rescate —SAR—*: este servicio constituye la aportación europea a COSPAS-SARSAT, de acuerdo a la IMO (*International Maritime Organization*) y la ICAO (*International Civil Aviation Organization*). Permitirá mejorar la detección y precisión de localización de las balizas obligatorias y posibilitará pasar de la actual precisión de cinco kilómetros a una precisión de 10 m para las balizas equipadas con receptores GALILEO.

Servicios locales

Los servicios OS, CS, SoL y PRS, podrán ser incrementados, donde sea necesario, con la combinación de los elementos locales para aquellas aplicaciones en las que se requiera mayor exactitud en la posición, integridad, disponibilidad y comunicaciones sobre determinadas áreas locales, como es el caso de los aeropuertos, bahías, etc... Existirán cuatro categorías de servicios donde los elementos locales tomarán parte activa. Éstos son:

- Servicios de Navegación de Precisión Local.
- Servicios de Navegación de Alta Precisión Local.
- Servicios de Navegación Asistida Local.
- Servicios de Disponibilidad Aumentada Local.

Servicio EGNOS

El Servicio EGNOS constituye la contribución europea a la primera fase del GNSS y surge por la necesidad de mejorar las prestaciones de los sistemas de navegación GPS y GLONASS. Está considerado como uno de los tres sistemas de aumentación SBAS (*Satellite Based Augmentation System*) que se están desarrollando en el mundo y proporcionará:

- Telemetría adicional: los satélites geoestacionarios proporcionarán fuentes adicionales de señales a las procedentes de GPS /GLONASS.
- Correcciones diferenciales en áreas extensas (lo que mejorará la exactitud de la posición).
- Integridad: emisión de información sobre el estado de los diferentes satélites de las constelaciones GPS/GLONASS y GEO (*Geostationary Orbit*), con un incremento en la integridad del sistema hasta el nivel que sea requerido. Todo esto será controlado por un sistema de alarma.

Servicios combinados con otros sistemas

Al sistema GALILEO se le ha solicitado fundamentalmente que sea interoperable con todos los diferentes sistemas actuales, ya sean estos sistemas globales GNSS o no lo sean, por lo que se podrá usar como un servicio combinado.

Arquitectura del Sistema GALILEO

La arquitectura global del sistema consta de cinco componentes: Componente Global, Componente Local, Componentes EGNOS, Componente Usuario y, por último, Componentes Externos.

Componente Global

Este componente es el centro de la infraestructura del sistema GALILEO y contiene todos los elementos necesarios para dar el servicio que proporcionarán los satélites MEO. Está compuesto de:

— *Segmento Espacial:* compuesto por una constelación de 30 satélites en órbitas MEO, de los cuales tres satélites son reservas, en lo que se ha venido a llamar constelación Walker 27/3/1. Cada satélite tardará unas 14 horas en dar una vuelta completa a su órbita y pesará aproximadamente 110 kg. Tendrá una mayor potencia de señal, con lo que será menos interferible. Los equipos principales que cada satélite embarca incluyen:

- Cuatro relojes atómicos (XH-Maser y dosXrb).
- Un transpondedor de navegación, que transmite cuatro portadoras moduladas con códigos y datos.
- Un transpondedor para operaciones SAR.
- Una antena fija que apunta constantemente a la Tierra.

Cada satélite emitirá señales muy precisas de tiempo (debido a los relojes muy precisos de rubidio), junto con una señal de sincronización de reloj y efemérides de la órbita. La constelación de satélites seguirá las siguientes especificaciones:

- Órbitas circulares de semieje mayor de 29.994 km (23.616 km altitud).
- Tres planos orbitales espaciados con 56° de inclinación orbital.
- Nueve satélites por órbita, espaciados equidistantemente.
- Un satélite de reserva por cada plano orbital.

— *Segmento de Tierra*: las misiones principales de este segmento serán:

- El control del satélite, usando para ello, TT&C (*Telemetry Tracking & Command*).
- El control de la misión.

— *Señales y frecuencias SIS*: de acuerdo con la reglamentación de frecuencias dadas por la ITU (*International Telecommunication Union*) y para la eliminación de posibles interferencias con los sistemas GPS y GLONASS, las frecuencias previstas son:

- Cuatro señales en el margen de frecuencia de 1164 MHz a 1215 MHz.
- Dos señales centradas sobre 1207,140 MHz (E5b).
- Tres señales en el margen de frecuencia de 1260 MHz a 1300 MHz, centradas sobre 1278,750 MHz (E6)
- Tres señales del margen frecuencia de 1559 MHz a 1591 MHz, centradas sobre 1575,42 MHz (E2-L1-E1)

— *Códigos y datos*: las señales de los mensajes de los satélites constan de diferentes códigos y datos:

- *Los códigos* son unas secuencias de datos representados por -1 ó 1, que disponen de ciertas características en el tiempo y en la frecuencia. Hay una única secuencia para cada señal proveniente de cada satélite. Estos códigos son conocidos o son encriptados. Los diferentes códigos son de acceso abierto, códigos con encriptación comercial y códigos con encriptación gubernamental.
- *Los datos* que se transmiten con la señal son: (datos de navegación básico, de integridad, comercial, PRS y SAR). Además, estos datos pueden clasificarse de acceso abierto (datos de navegación básico, dato de integridad, dato SAR) o acceso protegido (usando encriptación comercial del dato comercial y usando encriptación oficial para el dato PRS).

— *Localización de Servicios/Señales*: cada servicio específico del sistema, precisa de una serie de datos y códigos, que dependiendo de su combinación determinará sus tipos.

Componente local

Este componente permitirá, donde sea requerido, la combinación de GALILEO con sistemas GNSS y otros sistemas de posicionamiento y comunicación terrestres, como son los servicios OS, CS, SoL y PRS, Loran C y UMTS. Los objetivos del componente local son satisfacer la demanda de los usuarios con relación a una alta exactitud, integridad, disponibilidad y comunicaciones del servicio para zonas locales, tales como aeropuertos, bahías, y aplicaciones en ámbitos científicos cuando sea requerida en la zona que se quiera trabajar. Para cada uno de los cuatro servicios locales son necesarios los siguientes Elementos Locales:

- *Elementos de Navegación de Precisión Local:* que proporcionarán señales locales de corrección diferencial satélite, a través la emisión de datos vía radio, RDS (*Radio Data System*), GSM (*Global System for Mobile communication*) o UMTS (*Universal Mobile Telecommunication System*). El receptor del usuario podrá entonces ajustar la distancia efectiva a cada satélite y corregir las efemérides, los errores del reloj y compensar errores de retraso troposféricos e ionosféricos. Además estos elementos locales, permitirán disponer de niveles de alarmas de integridad y de alarmas de tiempo asociadas o TTA (*Time To Alarm*), de hasta un segundo. Se conseguirán exactitudes mejores de un metro.
- *Elementos de Navegación de Alta Precisión Local:* parecido al sistema anterior, pero en este caso las correcciones diferenciales incluirán la TCAR (*Three Carrier Ambiguity*). El receptor del usuario podrá entonces ajustar la distancia efectiva a cada satélite y corregir las efemérides, los errores del reloj y compensar errores de retraso troposféricos e ionosféricos. Se conseguirá obtener situaciones con errores menores a 10 centímetros.
- *Elementos de Navegación Asistida Localmente:* se usa para lugares con mala propagación ambiental (ciudades, montañas, etc...). Se reduce la información que va a ser decodificada en el terminal del usuario, y así es posible mejorar la disponibilidad de SIS al mejorar el tiempo para la primera posición TTFF (*Time To First Fix*). Se obtiene de este modo un mejor seguimiento de los satélites.
- *Elementos de Navegación con Disponibilidad Aumentada Local:* proporcionan una transmisión local suplementaria a través de un *pseudolite*. Su funcionamiento consiste en que este aparato emite una señal similar a la de los satélites GALILEO. Por su posición sobre la tierra, incrementa enormemente la exactitud de la distancia a los

receptores usuarios, al tener una mayor calidad de señal y resultar ésta menos afectada por el medio ambiente. Incrementa especialmente la exactitud en la posición vertical.

Componente EGNOS

Constituye el Sistema Europeo de Aumentación Basado en Satélite, para la zona de Europa (SBAS). Se enmarca dentro del Programa Europeo de Navegación por Satélite, definido por el Grupo Tripartito Europeo, que está formado por la Unión Europea, Euro-control y la Agencia Europea del Espacio. El objetivo de dicho programa es la implantación de un sistema de navegación por satélite, bajo control europeo, para asegurar una interoperabilidad que permita la existencia de un único sistema de navegación por satélite para uso civil, de altas prestaciones y de cobertura mundial y compatible con los otros dos sistemas, de similares características, en los Estados Unidos (WAAS), y el otro, en Japón (MSAS) para la zona de Asia.

— *Arquitectura del sistema EGNOS*: cuenta con cuatro elementos básicos: segmento de tierra, espacial, usuario y soporte al sistema.

- El segmento de tierra consta de 34 estaciones de posición, repartidas por toda Europa y de cuatro centros de control, todos ellos interconectados. Se encargan de procesar las señales de satélites GPS, GLONASS y GEO.
- El segmento espacial: compuesto de tres satélites geoestacionarios GEO, dos satélites INMARSAT-3 AOR-E en 15°.5 W y el IOR en 65°.5 E, y los satélites ARTEMI de ESA en 21°.5 E; se encargarán de transmitir a los usuarios las correcciones calculadas por dicho segmento de tierra. El resultado será una mejora en las prestaciones de navegación sobre la zona europea.
- El segmento usuario tendrá un receptor estándar EGNOS que será utilizado por todos los usuarios en las diferentes aplicaciones. Es fácil comprender los grandes beneficios que proporcionará EGNOS a sus usuarios aeronáuticos, terrestres y marítimos.
- El sistema de soporte se encargará del desarrollo, operación y cualificación del sistema.

— *Las prestaciones de EGNOS*: de los tres grupos de usuarios a los que está destinado el sistema EGNOS, marítimo, terrestre 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*: mide el error con el que un usuario es capaz de conocer su posición.
- *Mensajes de integridad*: para ver si la capacidad del sistema de detectar la situación es apta o no para su uso.
- *Continuidad del servicio* mide la probabilidad de si el sistema está disponible al comenzar una operación.
- *Disponibilidad del servicio*: porcentaje del tiempo en el que el usuario es capaz de obtener un servicio de navegación que cumpla los requisitos anteriores.

— *La integración de EGNOS en GALILEO*: en marzo de 2003, el Consejo de Europa ha tomado la resolución de integrar el sistema EGNOS en el sistema GALILEO, mediante el programa INTEG. Entre otras razones, porque:

- Sirve de precursor a GALILEO.
- Facilita la entrada en servicio de GALILEO.
- Permite ahorro en los costes de explotación.
- Permite la interoperabilidad con el sistema GPS.
- Segmentos de EGNOS sirven a GALILEO.

Componente usuario

El mercado de los receptores, será uno de los mayores factores que determinará el triunfo de GALILEO, sobre otros sistemas. Para disponer de todas las posibilidades de los diferentes servicios ofrecidos por el sistema, los usuarios deberemos equiparnos con receptores multifunción. Entre otras funciones, deberán contener:

- Función primera: recibir directamente la señal GALILEO.
- Función segunda: tener acceso a servicios regionales y locales.
- Función tercera: ser interoperable con otros sistemas.

Componente externos

Entre los componentes externos debemos destacar los siguientes:

- Componentes regionales no europeos: consisten en segmentos de tierra dedicados a la determinación de la integridad de GALILEO sobre sus áreas específicas. El control y despliegue de estos componentes estará bajo responsabilidad de los proveedores generales de servicio. El dato de integridad regional, será comunicado al segmento tierra de GALILEO a través de *up-link* y así será retransmitido.
- Sistemas de búsqueda y rescate: estarán compuestos de un segmento usuario, un segmento espacial, un segmento tierra específico LUT (*Local User Terminal*) y de uso de centros de control de emisión.

Conclusiones

El proyecto GALILEO está destinado a crear el primer sistema europeo de posicionamiento y navegación por satélite, concebido con necesidades civiles, con aplicaciones rentables destinadas a multiplicarse en campos muy diversos y con utilidad tanto de ciudadanos como de empresas. Mediante un pequeño receptor se podrá determinar la posición exacta con un margen de error de un metro. Es crucial para Europa poder elegir y no quedar dependiente del monopolio actual del sistema americano GPS, menos avanzado, menos eficaz y menos seguro. Por todas estas razones, la Unión Europea desarrolla GALILEO, un sistema cuyo control esté en sus manos y que responda a las exigencias de precisión superior y constante a otros sistemas, fiabilidad superior, disponibilidad de servicio, continuidad de servicio público, resistencia a las interferencias e independencia de otros sistemas, coexistencia GALILEO/GPS/GLONASS.

Los sistemas de navegación por satélite protagonizarán la navegación en este primer cuarto de siglo XXI. De ahí, el trabajo efectuado por el sistema GPS para intentar adaptarse a estas nuevas exigencias, eliminando la disponibilidad selectiva S/A e intentando asegurar el mantenimiento de su servicio libre y estándar con el futuro GPS IIF. GALILEO, además de lo ya expuesto, tendrá la característica especial de poder adaptarse a las necesidades del mercado, gracias a la disposición de satélites flexibles, que modifiquen su señal por órdenes precisas de la Tierra. Algo que no puede realizar GPS por tener una tecnología anterior. Así pues, sin riesgo a aventurarnos, podemos concluir defendiendo la idea de que la brújula de hace varios siglos se convertirá en un preciso sistema de satélite denominado GALILEO en un futuro próximo. Futuro al que debemos sumarnos.

BIBLIOGRAFÍA

- GALILEO High Level Definition*. «Cambio 3», 23 de septiembre de 2002, editada por la Comisión Europea.
- WILEY, John y Sons, Ltd.: *International Journal of Satellite Communications*. Abril de 2001.
- El Proyecto europeo de radionavegación por satélite*. 26 de marzo de 2002, editada por la Comisión Europea de la Dirección General de Energía y Transportes.
- Status of GALILEO Frequency Signal Design*. Primer borrador de 2001 y segundo borrador, sept. 2002, de los miembros del grupo de trabajo «Señales GALILEO» de la Comisión Europea (Dr. Guenter W. Hein, Dr. Jeremy Godet, Dr. Jean-Luc Issler, Dr. Jean-Christophe Martín, Dr. Rafael Lucas-Rodríguez y Dr. Pratt).
- Diario Oficial de las Comunidades Económicas*. Núm. C 221, de fecha 3 de agosto de 1999. Comunicación de la Comisión Europea al Parlamento Europeo y al Consejo.
- La integración del programa EGNOS en el programa GALILEO*, 19 de marzo de 2003 de la Comunidad Europea.
- GALILEO: El sistema europeo de navegación por satélite*. Conferencia presentada en el Estado Mayor de la Armada por el ingeniero aeronáutico Santiago Hernández Ariño, de la empresa SENER, el 26 de noviembre de 2002.
- GALILEO*. «Alenia Spazio», de junio 2003.
- Jornadas «C3 EMACON-CIS», mayo 2002.
- GALILEO. The European Program for global navigation positioning and time satellite services*. «Hydro», septiembre 2002.
- EGNOS System Test Bed Evolution and Utilization*, sep. 2001, Grupo de trabajo H. Secretan, Dr. J. Ventura-Traveset, F. Toran (1), G. Solari (2) y Dr. S. Basker (3).
- Estrategia europea en los sistemas de posicionamiento y navegación por satélite. Los programas EGNOS y GALILEO*. Revista «DATUM XXI», junio 2002.
- GALILEO: Una estrategia europea en el espacio*. Revista Marina Civil, núm. 64, marzo 2002.