

A silhouette of an airplane is shown in flight against a sky transitioning from a pale blue at the top to a warm orange and yellow glow near the horizon, suggesting a sunset or sunrise. The airplane is positioned in the upper half of the frame, flying from left to right. The tail fin is prominent on the left side of the aircraft's body.

# **El GNSS como alternativo a la navegación aérea convencional y su certificación**

JOSÉ LUIS DELPON RAMOS  
*Comandante CIETO*



**E**n el año 1999 se llevó a cabo en Madrid la reunión correspondiente del grupo TRNSG (Testing Radio Nav aids Study Group) de OACI (Organización de Aviación Civil Internacional) del que España es miembro junto con Alemania, Australia, Canadá, Estados Unidos, Nueva Zelanda y Reino Unido, con motivo de continuar los progresos en la certificación de las futuras operaciones basadas en la información de la constelación de satélites denominada GPS (Global Position System). Las reuniones tuvieron lugar en la sede de AENA (Aeropuertos Españoles y Navegación Aérea) que intervino como patrocinador además de apoyar con un experto de la oficina GNSS (Global Navigation Satellite System) al representante de España para esa reunión. Las operaciones a certificar son las desarrolladas con información GPS y aumentaciones SBAS (Satellite Based Augmentation System) y GBAS (Ground Based Augmentation System), conceptos que originan una situación actual muy importante, dado que es el momento de transición de las ayudas convencionales a las de nuevo concepto basadas en información satelital.

En Europa y dado que el sistema GPS está controlado por el DoD (Department of Defense) de los Estados Unidos de Norteamérica, se han propuesto dos sistemas:

– Un primer sistema denominado EGNOS (European Geostationary Navigation Overlay System) equivalente al WAAS de los Estados Unidos.

– Y un segundo sistema denominado Galileo, que pretende disponer de una constelación propia, independiente del GPS y bajo control civil.

OACI (Organización Aviación Civil Internacional) y miembros de la comunidad de aviación civil, han reconocido que los recursos primarios para la radionavegación en el siglo XXI estarán basados en un sistema global de navegación por satélites (GNSS). En septiembre de 1991, los Estados Unidos de Norteamérica ofrecieron formalmente el

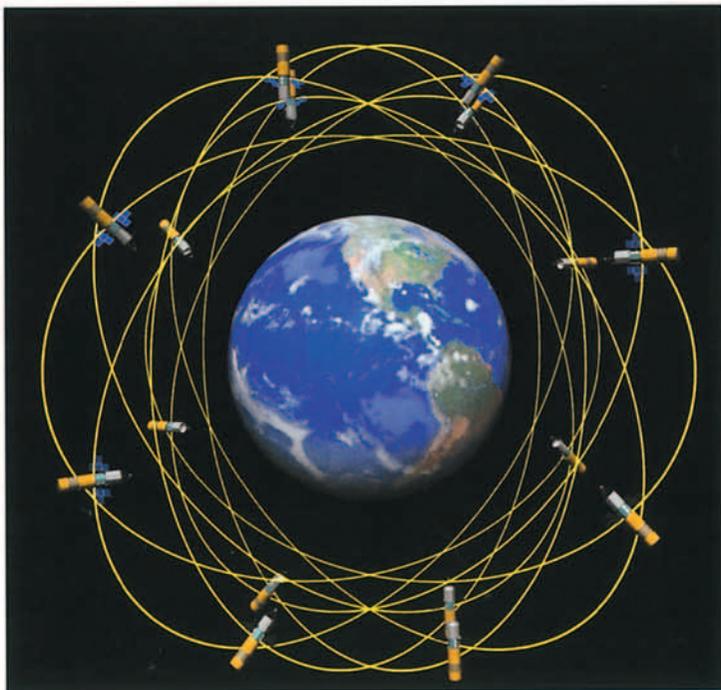
Global Positioning System (GPS) como un elemento del GNSS a lo ancho del mundo y con un compromiso de no aplicar cargas por un periodo de 10 años. El DOD declaró la "capacidad operacional inicial" (IOC) del GPS en fecha 8 de diciembre de 1993.

El GPS provee dos niveles de servicio: uno de posicionamiento normalizado (SPS) y otro de posicionamiento de precisión (PPS). El SPS proporciona a los usuarios una exactitud de posicionamiento horizontal de 100 metros, o menos, con una probabilidad del 95% y 556 metros con una probabilidad del 99,99%. El nivel PPS es más exacto que el SPS, sin embargo la utilización del PPS está limitada a los usuarios autorizados por el gobierno de U.S. y militares aliados.

La operación GPS está basada en el concepto de distancia y triangulación desde un grupo de satélites en el espacio, los cuales actúan como puntos precisos de referencia. El receptor GPS requiere al menos cuatro satélites para producir una posición tridimensional (latitud, longitud y altitud) y una resolución de tiempo. El receptor GPS computa valores de navegación, tales como distancia y rumbo a un "way-point", o determina la velocidad respecto al suelo, utilizando las coordenadas correlativas entre dos puntos medidos y el tiempo transcurrido entre ambos.

El GPS proporciona un punto de partida para el desarrollo del GNSS. Existen diferentes niveles de normativas de más o menos obligado cumplimiento hasta la fecha, que permiten utilizar el GPS para dirigir operaciones oceánicas, rutas domésticas o terminales en vuelos IFR (Instrument Flight Requirements) bajo ciertas provisiones y limitaciones. Sin embargo, tal como está diseñado el

GPS, desarrollado y desplegado por el Departamento de Defensa de Estados Unidos, no satisface totalmente a los requerimientos de la Aviación Civil para navegación y aterrizaje. Para una utilización sin restricción en la aviación civil, serán necesarios añadidos para mejorar la exactitud GPS en aproximaciones de precisión ofreciendo integridad, precisión y continuidad en todas las fases del vuelo, proporcionando la disponibilidad necesaria para satisfacer los requeri-



mientos de los recursos primarios para la radionavegación. Estos añadidos están basados en los conceptos de GPS diferencial.

En estos añadidos, un paso es el concepto SBAS, el cual está diseñado para proporcionar navegación GPS para todas las fases del vuelo incluidas aproximaciones de precisión CAT I dentro del Sistema de Navegación Aérea (SNA). Otro paso es el GBAS, el cual está siendo diseñado para complementar al SBAS y satisfacer las misiones GNSS. En términos prácticos, el concepto añadido GBAS al GPS es para situaciones donde no es posible coordinar los requerimientos de navegación y aterrizaje en el concepto SBAS, tales como la disponibilidad. En suma,

GBAS cumplirá los más estrictos requerimientos de aproximación de precisión en CAT II/III. Los conceptos sBAS y GBAS operarán independientes siendo completamente compatibles entre sí.

Esto permitirá al GBAS proporcionar soporte de los satélites, con capacidad independiente complementaria al servicio SBAS.

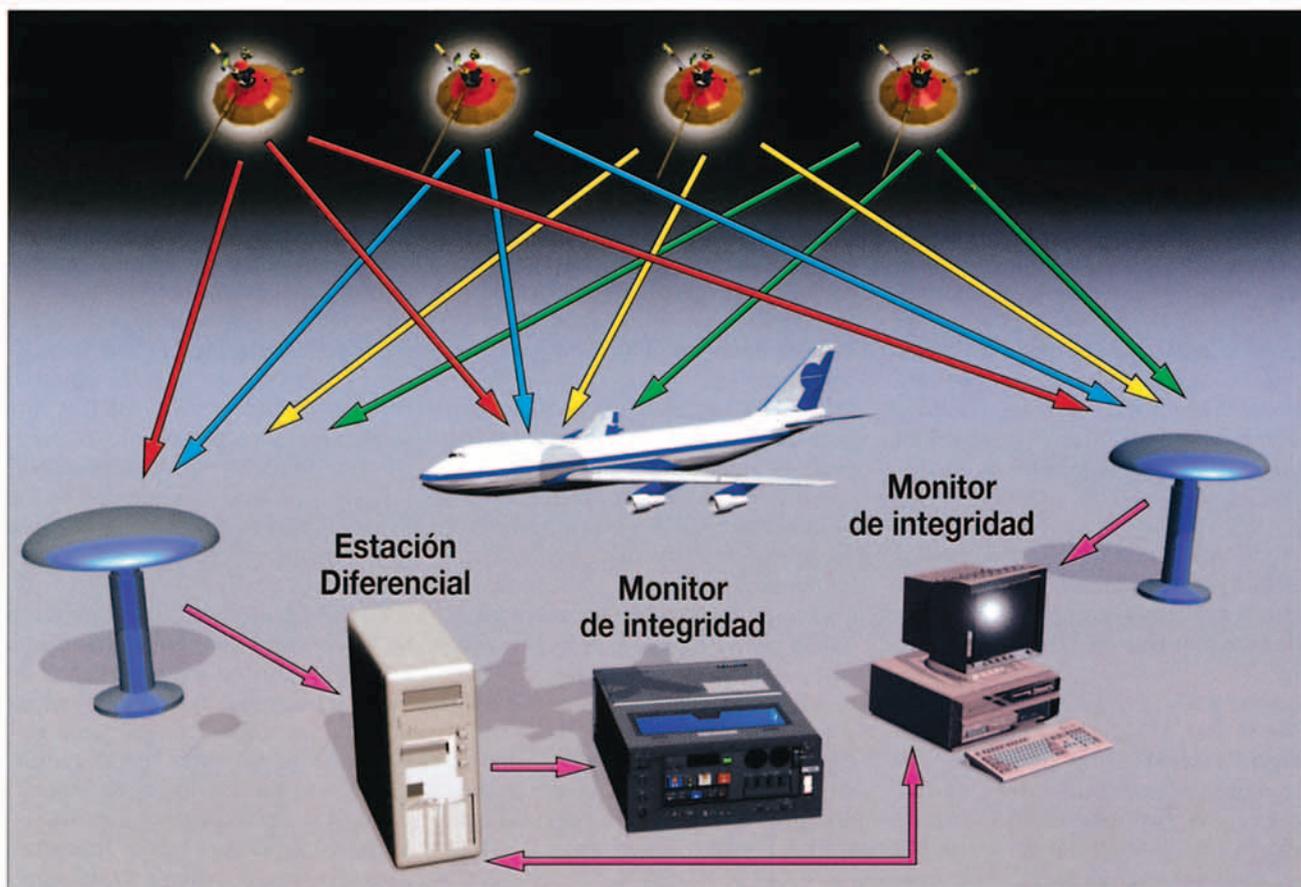
El concepto GBAS permitirá operaciones avanzadas en áreas terminales y puede ser utilizado para opera-

ciones más allá del volumen de servicio normalizado mediante la definición de un volumen de servicio expandido. Posición, velocidad y tiempo proporcionado por GPS/GBAS, cuando esté integrado dentro del sistema de navegación de área básica (RNAV) del avión, permitirá a la aeronave volar procedimientos de aproximaciones de precisión, salidas y frustradas, dirigiéndose a una mayor eficiencia en la utilización del espacio aéreo en terminales congestionadas. El concepto GBAS también puede proporcionar operaciones en tierra, tales como movimientos de aeronaves, pudiendo actuar como una

aportación a los futuros sistemas de A-SMGCS.

El plan de implantación GPS a nivel mundial, presenta una transición a los sistemas de navegación por satélite. La guía de navegación proporcionada actualmente por sistemas basados en tierra, está siendo proporcionada por sistemas basados en satélites, que con subsistemas añadidos (palabra "augmentation"), proporcionan la precisión, disponibilidad, integridad y continuidad necesaria para todas las fases del vuelo y operaciones de aproximaciones de precisión.

Las metas operacionales para la implantación de la navegación por satélites en el S.N.A. son, proveer:



• **SBAS (Satellite Base Augmentation System)**, denominación OACI para los sistemas de aumentación basados en satélites (EGNOS, WAAS, MSAT).

- Una capacidad 3D/4D BRNAV/PRNAV dentro del SNA.
- Guía vertical para todas las operaciones de aproximación a áreas terminales.
- Alta integridad de la información de la posición para el futuro CNS/ATM e implementación de la navegación de superficie (A-SMGCS).

El continuo crecimiento de la demanda de usuarios de la aviación civil en el espacio aéreo, trae como consecuencia la necesidad de una óptima utilización del mismo disponible. Estos factores junto con los requerimientos de una operación eficaz y la exactitud en los sistemas actuales de navegación, han desembocado en el concepto RNP (Required Navigation Performance), que como tal se aplica a las características de la navegación dentro de un espacio aéreo y, por lo tanto, afecta tanto al espacio aéreo como a la aeronave. Las caracte-

terísticas de la navegación incluyen todos los elementos de precisión, integridad, disponibilidad y continuidad en el servicio, cuya combinación es la "prestación requerida de navegación". Se puede anticipar que la mayor parte de las aeronaves en el futuro ambiente del concepto RNP, transportarán algún tipo de equipo para RNAV (navegación de área), el cual será exigido en algunas regiones o Estados.

La constelación GPS de 24 satélites está diseñada de forma que un mínimo de 5 satélites están siempre a la vista para un usuario situado en cualquier lugar de la Tierra. El receptor utiliza datos de un mínimo de cuatro satélites situados por encima del ángulo de máscara, que es el más bajo ángulo por encima de la horizontal en el cual se puede utilizar un satélite. Corrientemente, los receptores GPS que cumplen la TSOC129 verifican la integridad de las señales mediante una función denominada RAIM.

Agencias como la FAA (Federal Aviation Administration) de EE.UU., ha convenido en aprobar, para los operadores en ese país, la utilización de equipos GPS como un medio primario de navegación en el espacio aéreo oceánico y ciertas áreas remotas. El equipo GPS certificado puede ser utilizado como un medio suplementario de navegación IFR para rutas domésticas, operaciones terminales y procedimientos de aproximación de no-precisión GPS publicados.

Antes de seguir adelante para introducirnos en el área de la certificación operacional de procedimientos de vuelo basados en información de los satélites, trataremos de aclarar algunos conceptos que son de muy común utilización, tales como,

• **GNSS (Global Navigation Satellite System)**, es un sistema de cobertura mundial que determina posición, velocidad y tiempo utilizando una o más constelaciones de satélites.

• **GPS (Global Position System)**, es un sistema de radionavegación operado por el Departamento de Defensa (DOD) de los EE.UU. basado en satélites, que consta de los segmentos espacio, control y usuarios. El segmento espacio lo componen 24 satélites en seis órbitas planas. El segmento control consta de cinco estaciones monitoras, tres antenas en tierra y una estación de control maestra. El segmento usuario, consta de antenas y receptores-procesadores que derivan tiempo y computan una posición y velocidad con los datos transmitidos desde los satélites.

• **SBAS (Satellite Base Augmentation System)**, denominación OACI para los sistemas de aumentación basados en satélites (EGNOS, WAAS, MSAT).

• **WAAS (Wide Area Augmentation System)**, es un sistema de aumentación basado en satélites que mejora los parámetros del GNSS de exactitud, disponibilidad, integridad y continuidad en el servicio para rutas, terminal, aproximaciones de no-precisión, aproximaciones de precisión y frustradas de las fases del vuelo. Esta mejora se consigue con estaciones de tierra WAAS que reciben las señales de los satélites y calculan las correcciones de error y verifican la integridad. Esta información está enlazada a satélites de órbita geostacionaria con la Tierra y retransmitida a los usuarios.

• **EGNOS (European Geostationary Navigation Overlay System)**, es un sistema europeo equivalente al WAAS, desarrollado por la ESA (European Space Agency) y participado por las CAAs (Agencias de Aviación Civil) europeas (DFS, STNA, AENA, NATS, ENAU, NAVPortugal, Swiss-control).

• **GBAS (Ground Based Augmentation System)**, denominación OACI para los sistemas de aumentación basados en tierra (LAAS) que permitirán operaciones de aproximaciones de precisión en CAT I, II y III.

• **LAAS (Local Area Augmentation System)**, es un sistema de aumentación basado en tierra, el cual proporciona capacidad de aproximación de precisión y aterrizaje. El sistema integrado GPS/LAAS, está definido como tres segmentos separados: la instalación en tierra LAAS (LGF), el espacio y el subsistema a bordo. La LAAS proporciona correcciones diferenciales, parámetros de integridad y emisión de datos de puntos de senda en aproximaciones de precisión vía VDB (Very High Frequency Data Broadcast) al subsistema a bordo para su procesamiento. El segmento espacio proporciona al subsistema de a bordo la información GPS con parámetros orbitales. El subsistema a bordo aplica las correcciones LAAS a las señales de distancia GPS para obtener más exactitud en la determinación de la posición. La posición corregida diferencialmente es utilizada, junto con los datos de puntos de senda, para proporcionar señales de desviación a los sistemas de dirección de la aeronave proporcionando aproximaciones de precisión en CAT I, II y III.

• **ABAS (Airbone Based Augmentation System)**, denominación OACI para los sistemas de aumentación basados en el equipamiento de a bordo de la aeronave. Se indican dos tipos: el RAIM basado en el propio receptor GPS y el AAIM basado en el equipamiento de a bordo (IRS, baroaltímetro).

Pensando, como es lógico, en cómo influye en cabina este nuevo concepto de navegación, tocamos otro campo de estudio en el que se deben de emitir "órdenes técnicas normalizadas" que permitan la utilización del instrumento CDI instalado actualmente en las aeronaves, pero adaptado al GNSS y con una interpretación igual a la de la navegación actual, ayudado por presentaciones de software como complemento.

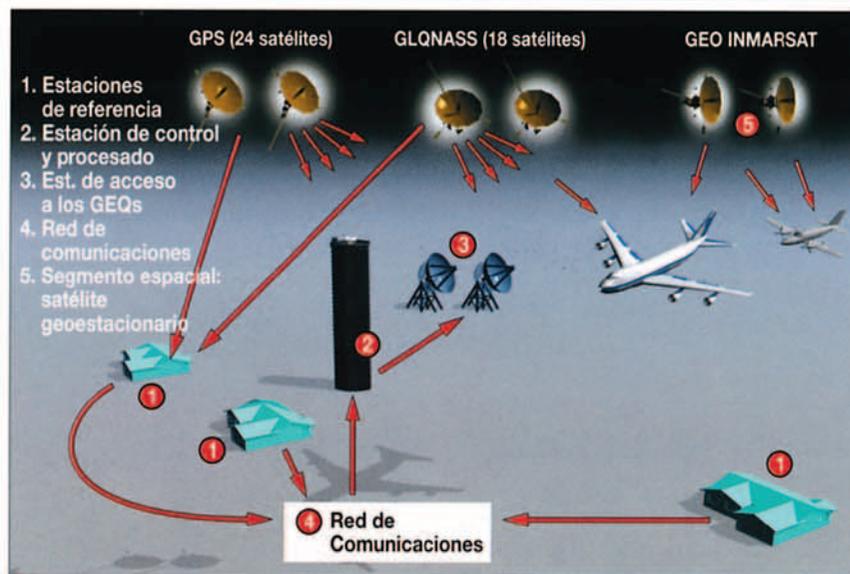
Llegado a este punto y esperando haber despertado el interés en el lector por haber conseguido exponer, muy resumidamente, el cambio tan sustancia de tecnología para un futuro que ya está aquí, seguidamente se hace una exposición del problema que es necesario resolver para ofrecer

al usuario una seguridad en la utilización del espacio aéreo, como mínimo, igual a la que se viene ofreciendo con las ayudas convencionales. Para ello, la OACI crea una serie de grupos de trabajo, entre los que se cuenta el TRNSG mencionado al inicio, con el objeto de estudiar, definir y consensuar los parámetros a calibrar e inspeccionar, con todo lo que ello conlleva (sistemas de referencia a utilizar, herramientas de ajuste, sistemas patrones, etc.), cuyo objetivo final es certificar unos medios que serán utilizados por todos los usuarios que lo requieran. La responsabilidad de certificar la seguridad de los espacios aéreos soberanos es, según el Convenio de Chicago, de los propios estados.

La navegación, con la utilización de los satélites, es significativamente diferente a los conceptos de guía de vuelo tradicional, basado en sistemas de radionavegación terrestre. Sin embargo no se diferencia en la necesidad de regulares vuelos de inspección, en orden a asegurar que los sistemas cumplen sus especificaciones características y calibrar los sistemas si es necesario, verificando la posibilidad de utilización de procedimientos de vuelo individuales.

Comparando la información proporcionada por las ayudas a la radionavegación terrestre convencionales, con la proporcionada por las constelaciones de satélites, la diferencia es sustancialmente diferente. Por lo tanto, también los procedimientos de inspección en vuelo tienen que considerar estas diferencias, de las que sobresalen:

• Cada ayuda a la radionavegación convencional está instalada de tal forma que proporciona rutas específicas o procedimientos de aproximaciones de vuelo instrumental. Así mismo, la localización de la ayuda y el correspondiente procedimiento de operación se encuentran muy estrechamente relacionados en un área relativamente pequeña. Por el otro lado, la información de los satélites proporciona una cobertura global y la relación con la localización está establecida solamente por procesos matemáticos y software.



- Las señales de navegación de las ayudas convencionales son radiadas con potencia relativamente alta, siendo la distancia entre la estación transmisora y la aeronave usuaria del orden de unas pocas millas a cien millas, aproximadamente. Comparando con la señal de los satélites, éstas son débiles en la antena emisora y receptora y la distancia a los transmisores es mucho más grande. Debido a este hecho, los problemas de interferencias serán más frecuentes.

- Las ayudas convencionales a la radionavegación proporcionan un constante e invariable conjunto de equipos de navegación. En contraste, la constelación de satélites GPS y GLONASS (constelación de satélites similar de Rusia) están variando y el número de transmisores recibidos cambian durante la operación.

- Una diferencia adicional a tener en cuenta está relacionada con la importancia del vuelo de inspección de procedimientos de navegación basados en satélites. Para éstos, la inspección en vuelo no tiene la posibilidad de tomar influencia directa sobre la características de los parámetros locales del sistema, mientras que en la inspección en vuelo convencional a las ayudas a la radionavegación incluye la calibración (correcciones) de los sistemas, basándose en los resultados de la inspección, en orden a op-

timizar las características. La inspección en vuelo de un sistema de satélites se encamina solamente a los procedimientos de navegación y valora las características locales del cumplimiento del diseño, de lo cual y como una consecuencia, pueden resultar modificaciones en los procedimientos publicados.

Como resultado de estas diferencias y características tan especiales, surgen algunas consecuencias a tener en cuenta en los vuelos de inspección. Una muy importante es que es necesario el desarrollo de un modelo de simulación que pueda determinar la mejor y la peor situación de la geometría de los satélites. Esta simulación debe ser muy estudiada y completa, ya que ha de considerar la posición geográfica del aeropuerto, así como los posibles efectos de enmascaramiento debido a edificios, terreno, etc. Además, se deben idear métodos o parámetros que nos permitan conocer el grado de fiabilidad y seguridad del procedimiento, tales como comprobar la exactitud de puntos de control (waypoint) por cada ruta publicada, procedimientos de aproximación o terminales. Otro parámetro de control puede ser determinar la cobertura de la señal en volúmenes de servicio determinados, así como las posibles interferencias de la señal en ese espacio. El propio volumen de servicio es un tema

abierto en cuanto a su definición, ya que desde el punto de vista de navegación por satélites, el volumen donde se encuentran posibles usuarios es global. Otra consecuencia es la extremada exactitud en las bases de datos a utilizar, tanto por parte de la inspección en vuelo como de los propios usuarios, sobre todo en las coordenadas que se usan y el grado de exactitud si se utiliza la transformación de la referencia en el origen de este dato.

La monitorización o vigilancia de la estación de tierra conjuntamente con las técnicas de simulación aplicadas a la grabación de datos, se pueden utilizar para evaluar determinadas localizaciones o zonas, pero durante todos los procedimientos de pruebas, la inspección en vuelo tiene que asegurar que el nivel de interferencias no excede los valores de tolerancias que han de ser determinados, a su vez, por los diversos grupos de trabajo antes mencionados.

Si bien las técnicas de simulación pueden proporcionar la evaluación de diferentes constelaciones, es de pensar que será necesario efectuar una inspección de los procedimientos diseñados con cada una de ellas, tratando de conocer la cobertura óptima, la mínima o la considerada como normalizada, por lo menos en los vuelos de "dada de alta" de un procedimiento o estación en tierra. El resto de la clasificación de "tipos de vuelo" definidos en los documentos de OACI, también han de ser estudiados en cuanto a su aplicación o no, o si se han de modificar.

Sobre este tema, que se ha tratado de presentar de una forma muy general y resumida, pero con la intención de despertar el interés por el mismo y por la importancia que tiene, diremos que está programado que la transición comience en el año 2005 hasta el 2015 con el desmantelamiento de las ayudas convencionales. Si bien esta programación de hecho puede tener modificaciones, sí es cierto que el nuevo concepto de navegación se implantará en un futuro muy próximo, pero la tecnología que permite esa implantación es un presente. ■