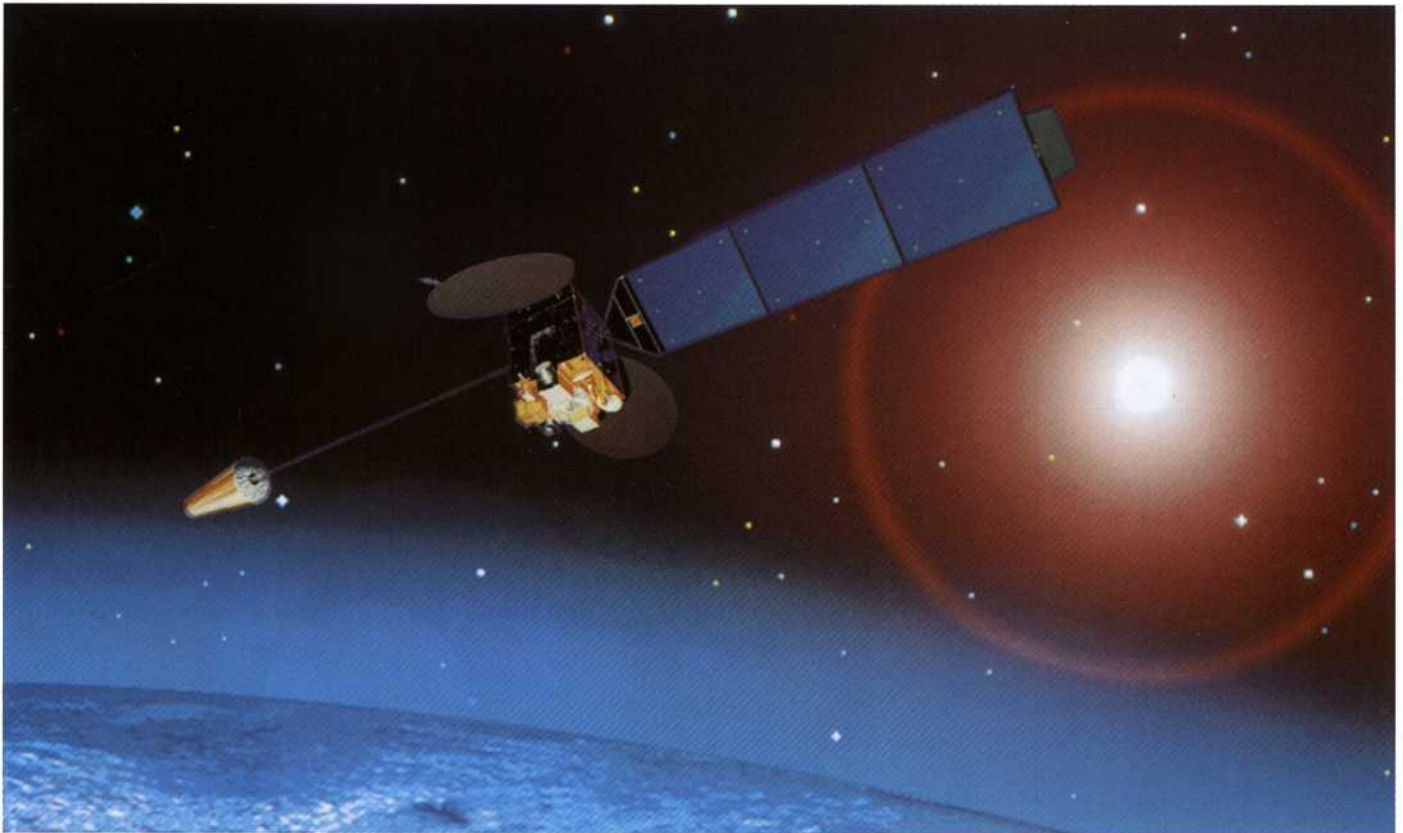


EGNOS, WAAS y MSAS

EGNOS, WAAS and MSAS



Introducción

Como ya se explicó en el número 4 de esta revista (Abril/Junio de 1995: *El Sistema Mundial de Navegación por Satélite*), los sistemas GPS y GLONASS no cumplen plenamente, por sí solos, los requisitos OACI de integridad, precisión, disponibilidad y continuidad de servicio y, por lo tanto, necesitan ser complementados mediante los denominados sistemas de aumentación.

Los sistemas de aumentación pueden ser de aeronave, de tierra (de área local) o por satélite (de gran área), y aportan diferentes niveles de aumentación.

Los sistemas de aumentación de aeronave (ABAS) utilizan el inercial de a bordo y/o complejos algoritmos residentes en el receptor GPS/GLONASS (denominados RAIM), que son capaces de detectar casi instantáneamente satélites en mal estado y, por tanto, aportar la integridad necesaria para operaciones de navegación en ruta, área terminal y aproximaciones de no precisión. Estos sistemas requieren un número mínimo de satélites a la vista y, por consiguiente, no son adecuados en ciertas situaciones.

Los sistemas de aumentación basados en tierra (GBAS) utilizan estaciones VHF para la transmisión de la información de

Introduction

As already said in number 4 of this review (April/June 1995: *The Global Navigation Satellite System*), GPS and GLONASS by themselves do not fully meet ICAO requirements on integrity, accuracy, availability and continuity of service, and therefore need to be complemented by means of the so-called augmentation systems.

The augmentation systems can be aircraft based, ground based (local area), or satellite based (wide area), and provide different levels of augmentation.

Aircraft Based Augmentation Systems (ABAS) utilise the on-board inertial system and/or the barometric altimeter together with complex algorithms.

Ground Based Augmentation Systems (GBAS) utilise VHF stations for the transmission of the augmentation data to aircraft. Their nominal range is 20 NM, are usually sited at airports, and can provide the integrity and accuracy required for precision approaches including even CAT III.

Satellite Based Augmentation Systems (SBAS) utilise communications geostationary satellites for the transmis-

aumentación a las aeronaves. Su alcance nominal es de 20 millas náuticas, se sitúan normalmente en los aeropuertos, y pueden aportar la integridad y precisión necesarias para aproximaciones de precisión, incluso hasta CAT III.

Los sistemas de aumentación por satélite (SBAS) utilizan satélites geoestacionarios para la transmisión de los datos de aumentación a las aeronaves. Son de gran cobertura (normalmente regional o continental), pero la precisión e integridad aportadas permiten solamente operaciones hasta CAT I.

Los Sistemas de Aumentación por Satélite (SBAS)

Un Sistema de Aumentación por Satélite (SBAS) consiste en una infraestructura de tierra que procesa y transmite a las aeronaves, vía uno o más satélites geoestacionarios (GEO) de comunicaciones, mensajes de integridad y corrección y una señal para la determinación de la distancia similar a la generada por los satélites GPS.

La infraestructura de tierra incluye un conjunto de receptores distribuidos geográficamente y situados en posiciones determinadas con mucha precisión. Estos receptores, que continuamente supervisan todos los satélites de navegación que tienen a la vista, se denominan, según los lugares, Estaciones de Referencia (RSs), Estaciones de Referencia Supervisoras (MRSS) o Estaciones de Referencia de Gran Área (WRSSs). Estas estaciones envían las medidas realizadas a lo que se denominan Estaciones de Control Maestras (MCSs), también llamadas en algunos lugares Estaciones Maestras de Gran Área (WMSs).

La Estación de Control Maestra (MCS) procesa las observaciones procedentes de las Estaciones de Referencia (RSs), con objeto de determinar cuatro correcciones por cada satélite supervisado. Una corrección es la del reloj del satélite y las otras tres de la posición de este. La MCS también calcula una serie de correcciones que se utilizan en la determinación de la distancia a los satélites para minimizar el error debido a la demora que sufre la señal a través de la ionosfera. Si alguna de las correcciones anteriores no puede determinarse con la suficiente garantía, la MCS genera una señal de "no utilizar" para el satélite afectado o para las correspondientes correcciones ionosféricas. Esta señal es un aviso de integridad.

Todas las correcciones y datos de integridad se empaquetan en un mensaje que se difunde a través de uno o más satélites

de la aumentación de datos a las aeronaves. Son de amplia cobertura (usualmente regional o continental), pero la precisión e integridad proporcionadas permiten solamente operaciones hasta CAT I como máximo.

Satellite Based Augmentation Systems (SBAS)

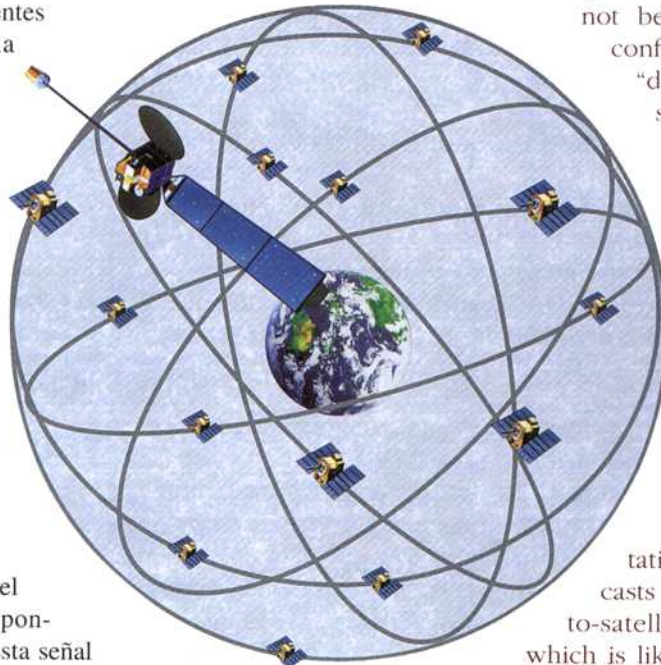
A Satellite Based Augmentation System consists of a ground infrastructure that computes and transmits to aircraft via one or more geostationary (GEO) satellites integrity and correction messages and a GPS-like ranging signal.

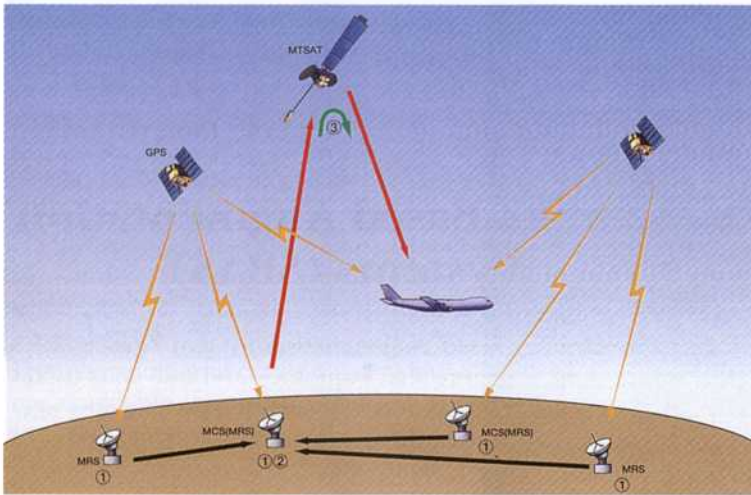
The ground infrastructure includes a geographically distributed set of receivers at precisely known reference locations. These receivers that continuously monitor all navigation satellites in sight are known depending on the places as Reference Stations (RSs), Monitoring Reference Stations (MRSSs) or Wide Area Reference Stations (WRSSs). These stations send their measurements to the so-called Master Control Stations (MCSs) also called in some places Wide Area Master Stations (WMSs).

The MCS processes the RS observations to determine four corrections for each monitored satellite. One correction is for the satellite clock and the other three are for the satellite location. The MCS also estimates a set of corrections to be used by aircraft during the aircraft-to-satellites distance determination process in order to minimize the error due to the delay suffered by the ranging signal during its journey through the ionosphere. If any of the corrections can not be determined with sufficient confidence, then the MCS sets a "don't use" flag for the troublesome satellite or for the corresponding ionospheric data. This flag is an integrity warning.

All corrections and integrity data are packed into a message, which is broadcast to aircraft through the geostationary satellites. The corrections are used to improve the accuracy of the measurements made by aircraft receivers.

As said before, each geostationary satellite also broadcasts a ranging signal for aircraft-to-satellite distance determination, which is like the one generated by GPS satellites. A difference with GPS is that the signal is generated at the MCS and not at the satellite itself. Of course, this additional ranging signal improves availa-





1. Supervisa la señal de los satélites.
- 2.- Determina el estado de salud ("utilizar /no utilizar") de los satélites.
 - Genera una señal igual a la del GPS de determinación de la distancia.
 - Calcula las correcciones diferenciales.
3. - Difunde información acerca del estado de salud ("utilizar/no utilizar") de los satélites.
 - Difunde la señal igual a la del GPS de determinación de la distancia.
 - Difunde las correcciones diferenciales.

1. Monitors signal from satellites.
2. Determines health status ("use/don't use") of satellites.
 - Generates GPS-like ranging signal.
 - Produces differential correction data.
3. Broadcasts information about health status ("use/don't use") of satellites.
 - Broadcasts GPS-like signal.
 - Broadcasts differential correction data

geoestacionarios a las aeronaves. Las correcciones son utilizadas para mejorar la precisión de las medidas realizadas en los receptores de a bordo.

Como se ha dicho anteriormente, cada satélite geoestacionario también transmite una señal para la determinación de la distancia de la aeronave a éste, que es igual que la transmitida por los satélites GPS. A diferencia de lo que ocurre con el GPS, la señal se genera en la MCS en lugar del mismo satélite. Evidentemente, esta señal adicional mejora la *disponibilidad*, al aumentar el número de satélites disponibles para la determinación de la posición.

Generalmente, la precisión de la posición horizontal (lateral) del GPS es de 100 metros al 95 por ciento de probabilidad, mientras que la precisión de la posición vertical del GPS es de 156 metros al 95 por ciento de probabilidad. Los errores reales pueden ser aún mayores, dependiendo de la posición de los satélites o de la altitud de la aeronave. Las correcciones diferenciales proporcionadas por el SBAS permiten a la aeronave satisfacer las precisiones especificadas por la OACI para aproximaciones de precisión CAT I, que son:

- Precisión de la posición horizontal al 95 por ciento de probabilidad = 16 metros
- Precisión de la posición vertical al 95 por ciento de probabilidad = entre 7,7 metros y 4 metros.

También, con objeto de cumplir con el requisito de integridad (tiempo de aviso) especificado por la OACI para CAT I, el SBAS debe notificar a la aeronave la existencia de error o fallo en no más de seis segundos.

Resumiendo, el fin del SBAS es mejorar el GPS y, en algunos casos, el GLONASS, con objeto de proporcionar un sistema de navegación por satélite para navegación de ruta, área terminal, aproximaciones de no precisión y aproximaciones de precisión CAT I. El SBAS proporciona integridad mediante el mensaje de "utilizar/no utilizar" para cada satélite de navegación, mejora la precisión mediante la aportación de las correcciones diferenciales, y, finalmente, mejora la disponibilidad y continuidad de servicio al aportar señales adicionales para la determinación de la distancia de la aeronave al/los satélite/s geoestacionario/s.

bility, due to the fact that the number of satellites available for ranging determination increases.

Generally, the horizontal position accuracy (lateral) of GPS is 100 metres at 95 per cent probability. The vertical position accuracy of GPS is 156 metres at 95 per cent probability. Actual errors may increase more depending on satellites positioning or the attitude of aircraft. The corrections provided by SBAS will allow aircraft to meet the accuracies specified by ICAO for CAT I precision approach, which are:

- Horizontal position accuracy at 95 per cent probability = 16 metres.
- Vertical position accuracy at 95 per cent probability = 7.7 metres to 4.0 metres.

Also in order to meet the integrity (time to alert) requirement specified by ICAO for CAT I, SBAS must notify aircraft of the occurrence of a failure within six seconds.

In summary, the goal of SBAS is to upgrade GPS and in some cases GLONASS to provide a navigation system for the en-route, terminal area, non-precision approach and CAT I precision approach modes of flight. It adds integrity by providing a use/don't use message for every navigation satellite; it improves accuracy by providing differential corrections; and finally, it improves availability and continuity of service by adding additional ranging signals to determine the distance from aircraft to the geostationary satellites.

Wide Area Augmentation System (WAAS)

The WAAS is the United States Satellite Based Augmentation System (SBAS). It consists of equipment and software that augments the Department of Defence Global Positioning System (GPS) Standard Positioning Service (SPS). The system provides a signal-in-space to support from en route navigation to CAT I precision approach. This signal provides two services:

- a) Corrections and integrity data for GPS and GEO satellites.

Sistema de Aumentación de Gran Área (WAAS)

El WAAS es el Sistema de Aumentación por Satélite (SBAS) de los Estados Unidos. Consiste en equipos y *software* que mejoran las prestaciones del Servicio de Posicionamiento Standard (SPS) del Sistema GPS del Departamento de Defensa. El Sistema proporciona una señal-en-el-espacio que permite soportar modos de navegación que van desde ruta hasta aproximaciones de precisión CAT I. Dicha señal proporciona dos servicios:

- a) Correcciones y datos de integridad para cada satélite GPS y GEO.
- b) Una señal adicional similar a la GPS que permite determinar la distancia de la aeronave a cada satélite GEO.

La arquitectura de la Fase I de implantación del WAAS consiste de 25 Estaciones de Referencia de Gran Área (WRSs), dos Estaciones Maestras de Gran Área (WMSs), y dos Sistemas de Comunicaciones Geoestacionarios (GCSs). Cada GCS está formado por dos Subsistemas de Generación de Señal (SGSs), dos Subsistemas Ascendentes de Radio Frecuencia (RFU) soportados cada uno por una Estación Terrena de Tierra (GES) y un satélite GEO INMARSAT 3. La situación de las WRSs y WMSs aparece reflejada en la Tabla 1.

Los objetivos de la Fase I son proporcionar, a principios de 1999, servicio como medio primario (necesita de otro sistema como *back up*) de navegación desde ruta hasta aproximaciones de no precisión, y servicio como medio primario de aproximación de precisión CAT I.

La Fase II del WAAS incluye 24 WRSs; cuatro WMSs; y seis GCSs adicionales, y sus objetivos son cumplir todos los requisitos de la especificación WAAS (FAA-E-2892B) y proporcionar servicio como medio único (sin necesidad de otro sistema) a finales del año 2001.

El volumen de servicio de la Fase II para navegación de ruta hasta aproximaciones de no precisión se trata de un volumen de forma irregular que va desde la superficie hasta 100.000 pies,

b) An additional signal like that of GPS to measure the distance from aircraft to the GEO satellites.

WAAS Phase 1 architecture consists of 25 Wide Area Reference Stations (WRSs), two Wide Area Master Stations (WMSs), and two Geostationary Communications Systems (GCSs). Each GCS consists of two Signal Generation Subsystems (SGSs), two Radio Frequency Uplink (RFU) subsystems supported each by one Ground Earth Station (GES) and one Geostationary Earth Orbiting (GEO) satellite. The location of WRSs and WMSs is in Table 1.

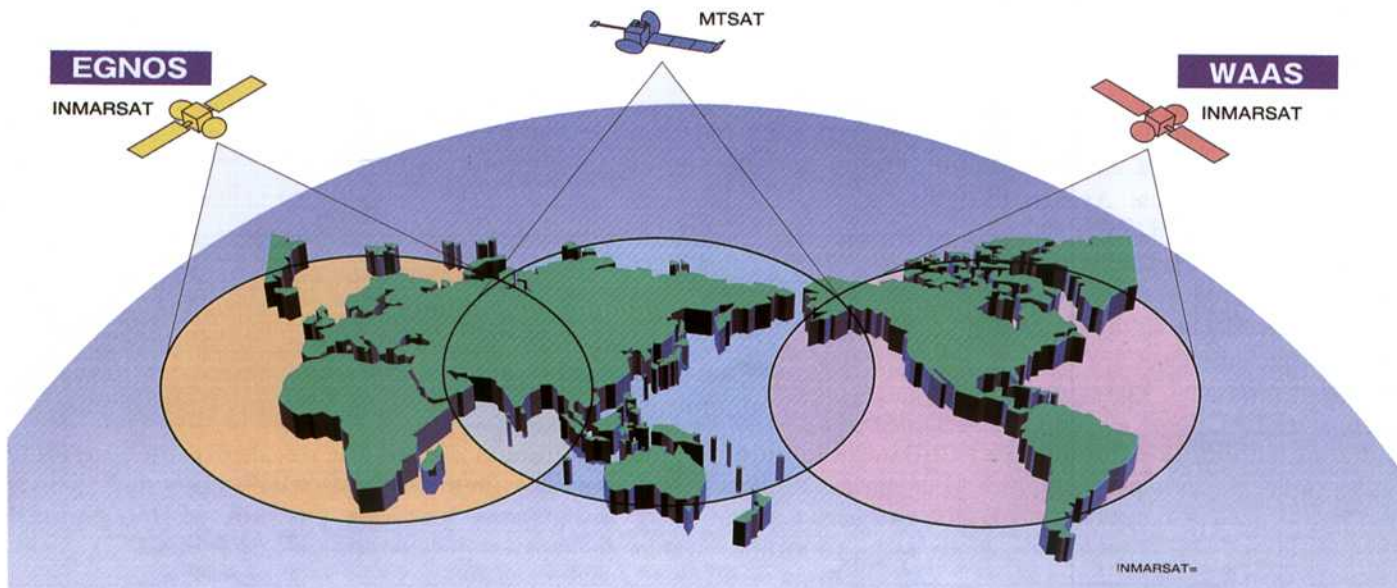
The objectives of Phase 1 are to provide an en-route navigation through non precision approach primary means (needs a back up system) capability and a CAT I precision approach primary means capability by early 1999.

WAAS Phase 2 will include additional components of up to 24 WRSs, four WMSs, and six GCSs. The objectives of Phase 2 are to meet all of the requirements of WAAS specification (FAA-E-2892B) and provide a sole means (does not need a back up system) capability by the end of 2001.

The Phase 2 en route through non precision approach service volume includes an irregular shaped volume from the surface to 100,000 feet covering the Continental United States (CONUS), Hawaii, Puerto Rico, Alaska and the ocean areas between. The Phase 2 precision approach service volume covers the CONUS, Hawaii, Puerto Rico, and Alaska (except for the Alaskan peninsula west of 160 degrees and outside of the limits of the GEO satellite broadcast coverage). The Phase 1 service volume includes only a 50 per cent of CONUS.

MSAS

MSAS is the Japanese Satellite Based Augmentation System (SBAS) for GPS. Once in operation it will assure full navigation services for aircraft in all phases of flight within



abarcando la parte Continental de Estados Unidos (CONUS), Hawaii, Puerto Rico, Alaska y áreas oceánicas intermedias. El volumen de servicio de aproximación de precisión CAT I de la Fase II cubre el CONUS, Hawaii, Puerto Rico, y Alaska (excepto la parte al oeste de los 160 grados y fuera de los límites de la cobertura del satélite GEO). El volumen de servicio de la Fase I incluye solamente un 50 por ciento del CONUS.

MSAS

MSAS es el Sistema de Aumentación por Satélite (SBAS) de Japón, y su objetivo es mejorar las prestaciones del GPS. Una vez en operación, proporcionará servicios de navegación completos a aeronaves en todas las fases de vuelo dentro del FIR de Japón. MSAS utilizará satélites MTSAT (Satélite de Transportes Multi-Funcional) que serán lanzados por el Ministerio de Transportes de Japón.

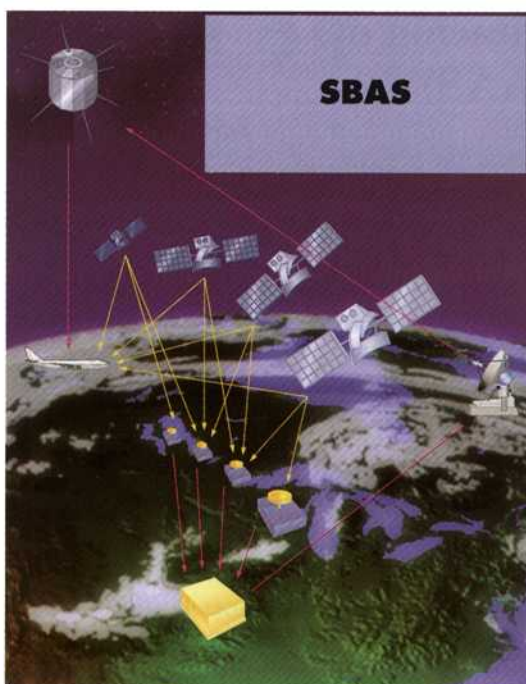
La Fase I de MSAS utilizará el MTSAT-1, cuyo lanzamiento está previsto para 1999. El uso operacional del MSAS en áreas oceánicas comenzará en el 2001. La Fase I del sistema MSAS consiste en el MTSAT-1 y el segmento de tierra, que comprende MCSs en Kobe y Ibaraki, cuatro GMSs en ACCs y dos MRSs en Australia y Hawaii. La Fase II de MSAS utilizará también el MTSAT-2, que será lanzado en el año 2004. Se espera que la operación de MSAS, que utilizará el MTSAT-1 y el MTSAT-2, comience en el año 2005. El volumen de servicio se ampliará con la entrada en funcionamiento de GMSs adicionales.

EGNOS

EGNOS es el Sistema de Aumentación por Satélite (SBAS) Europeo que mejorará las prestaciones del GPS y GLONASS. EGNOS se implantará en dos fases: la primera llamada Capacidad Operacional Avanzada (AOC), y la segunda Capacidad Operacional Final (FOC).

Los objetivos de la fase AOC, que estará operativa en el año 2005, son proporcionar servicio de navegación como sistema primario (necesita de un sistema *back up*) desde ruta continental hasta aproximaciones de no precisión, y servicio de aproximación de precisión CAT I como sistema primario en aquellas áreas de la CEAC donde se reciba la señal de dos GEO.

La arquitectura de la Fase AOC de EGNOS consiste en 44 Estaciones de Referencia de Gran Área (denominadas RIMSs) distribuidas por toda Europa (cuatro de ellas estarán en España localizadas en Santiago, Palma de Mallorca, Málaga o Melilla,



the Japanese FIR. MSAS will use MTSAT (Multi-functional Transport Satellite) satellites to be launched by the Japanese Ministry of Transport.

MSAS Phase 1 will use MTSAT-1 scheduled for launch in 1999. In 2001 operational use of MSAS is expected to begin in oceanic areas. The Phase 1 system consists of MTSAT-1 and a ground segment comprising MCSs in Kobe and Ibaraki, four GMSs within the ACCs and two MRSs in Australia and Hawaii. MSAS Phase 2 will use also MTSAT-2 scheduled for launch in the year 2004. Operation of MSAS using MTSAT-1 and MTSAT-2 is expected to commence in the year 2005. The service area will be expanded with additional GMSs.

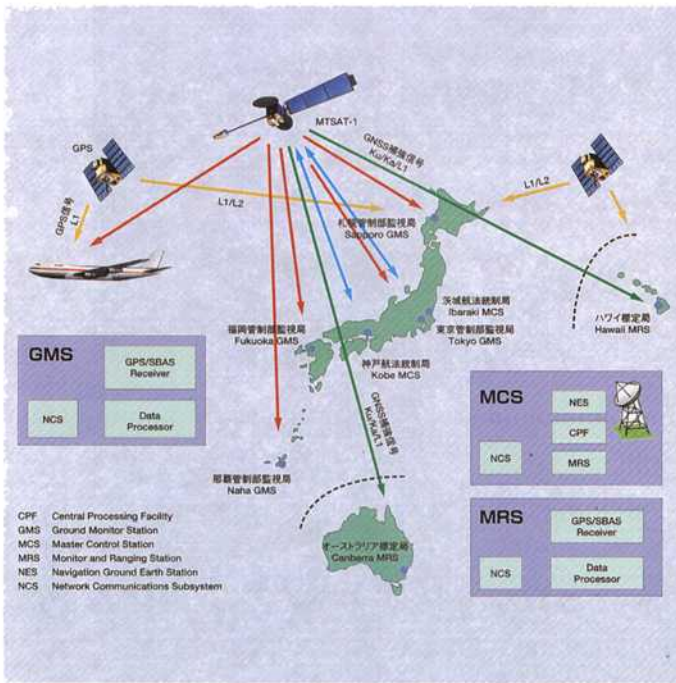
EGNOS

EGNOS is the European Satellite Based Augmentation System (SBAS) for GPS and GLONASS. EGNOS will be implemented in two phases, the first called Advanced Operational Capability (AOC), and the second Final Operational Capability (FOC).

The objectives of the AOC phase, expected to be operational in 2005, are to provide a primary means (a back up system is required) navigation service for continental en route through non precision approach and primary means CAT I precision approach in that area of the CEAC where two GEO signals will be received.

The EGNOS AOC Phase architecture will consist of: 44 Wide Area Reference Stations (called RIMS) spread all over Europe (four of them will be in Spain at Santiago, Palma de Mallorca, Malaga or Melilla, and Las Palmas); four Wide Area Master Stations (called MCCs) to be located at Torrejon (Spain), Gatwick (U.K), Langen (Germany), and Ciampino (Italy); and three redundant Geostationary Communications Systems (called NLESS) with equipment to be located at Aussaguel (France), Goonhilly (U.K), Raisting (Germany), Fucino (Italy) and Torrejon (Spain).

Aena is deeply involved together with other few European countries in EGNOS system development (see article by the director of Air Navigation, Mr. Alejandro Aldanondo Arnau, in page 3 of Aena's Review of October 1998). To this purpose, and due to the importance of the project, Aena has created the so-called EGNOS OFFICE, which counts with the support of the Direction of Systems and Installations and the Division of International Management.



Fase 1 de MSAS.
MSAS Phase 1

y Las Palmas), cuatro Estaciones Maestras de Gran Área (denominadas MCCs), que se emplazarán en Torrejón (España), Gatwick (Reino Unido), Langen (Alemania) y Ciampino (Italia), y tres Sistemas de Comunicaciones Geostacionarios (denominados NLESs y que son redundantes), cuyo equipo estará situado en Aussaguel (Francia), Goonhilly (Reino Unido), Raisting (Alemania), Fucino (Italia) y Torrejón (España).

Aena está profundamente involucrada, junto con unos pocos países europeos, en el desarrollo del sistema (ver página 3 del número 22/Octubre 1998 de la Revista de Aena, artículo del director de Navegación Aérea, D. Alejandro Aldanondo Arnau). A tal efecto, y dada la relevancia del proyecto, Aena ha creado la denominada Oficina EGNOS, que cuenta con el apoyo de la Dirección de Sistemas e Instalaciones y de la División de Gestión Internacional.

Recientemente, el director general de Aena, D. Francisco Cal Pardo, ha expresado su entusiasmo y fuerte apoyo a la implantación de esta nueva tecnología. Sin lugar a dudas, la participación de Aena en primera línea de la implantación de la navegación por satélite en Europa está garantizada.

Rogelio Román Ortiz y David Diez Fernández

David Diez Fernández, actualmente en la División de Requisitos Operativos de la División de Control, ha participado desde 1994 a 1998 en el desarrollo de las especificaciones del SBAS dentro del Panel GNSSP de OACI.

Rogelio Román Ortiz, actualmente Jefe de la División de Proyectos de Sistemas Aeronáuticos Avanzados, está involucrado, junto con la Oficina EGNOS, en el desarrollo e implantación del sistema.

Tabla 1

Table 1

OAKLAND, CA ARTCC	WRS
JACKSONVILLE, FL ARTCC	WRS
HOUSTON, TX ARTCC	WRS
MIAMI, FL ARTCC	WRS
FORT WORTH, TX ARTCC	WRS
ALBUQUERQUE, NM ARTCC	WRS
SAN JUAN, PR CERAP	WRS
LOS ANGELES, CA ARTCC	WRS/WMS
CHICAGO, IL ARTCC	WRS
DENVER, CO ARTCC	WRS
WASHINGTON, DC ARTCC	WRS/WMS
SALT LAKE CITY, UT ARTCC	WRS
ATLANTA, GA ARTCC	WRS
SEATTLE, WA ARTCC	WRS
MEMPHIS, TN ARTCC	WRS
HONOLULU, HI AFSS	WRS
NEW YORK, NY ARTCC	WRS
BILLINGS, MT TRACON	WRS
BOSTON, MA ARTCC	WRS
ANCHORAGE, AK ARTCC	WRS
CLEVELAND, OH ARTCC	WRS
COLD BAY, AK FSS	WRS
MINNEAPOLIS, MN ARTCC	WRS
JUNEAU, AK FSS	WRS
KANSAS CITY, MO ARTCC	WRS

Recently, the director general of Aena, Mr. Francisco Cal Pardo, has expressed his enthusiasm and strong support for the implementation of this new technology. No doubt, the participation of Aena in the front line of satellite navigation in Europe is guaranteed.

Rogelio Román Ortiz and David Diez Fernández

David Diez Fernández, currently working at the Division of Operational Requirements of the Control Division, participated between 1994 and 1998 in the development of the SBAS specifications within the GNSS Panel of ICAO.

Rogelio Román Ortiz, current Head of the Aeronautical Advanced Systems Projects Division, is involved together with the EGNOS OFFICE in the development and implementation of the EGNOS system.