

EL Servicio Móvil Aeronáutico por Satélite (SMAS)

DAVID DIEZ FERNANDEZ
Miembro del Comité FANS

LAS COMUNICACIONES VOZ ACTUALES

El sistema más adecuado para comunicaciones voz con aeronaves ha sido durante muchos años el VHF o de muy alta frecuencia. Al ser este un sistema con un receptor / transmisor emplazado en tierra y capaz sólo de propagarse en línea de visión, su alcance está limitado debido a la curvatura de la tierra y, además, puede presentar zonas ciegas cuando la orografía del terreno obstaculiza su propagación. Su alcance limitado hace impracticable el poder suministrar cobertura en áreas oceánicas, desérticas o poco pobladas, sin embargo, en aquellos lugares donde las comunicaciones VHF han podido ser implantadas, éstas suministran un servicio de comunicaciones voz simple y fiable, aunque la congestión de frecuencias se está convirtiendo en un serio problema en áreas de alta densidad de tránsito. Fig. 2 Fig. 3

El sistema de comunicaciones de largo alcance que se ha utilizado en áreas oceánicas, desérticas y poco pobladas, ha sido durante muchos años el HF o de alta frecuencia. Sin embargo, este presenta problemas de precisión y fiabilidad debido a la variabilidad de sus características de propagación. Como consecuencia de la complejidad de su operación, prácticamente todas las estaciones aeronáuticas HF que trabajan con enlaces móviles son responsabilidad de un operador especializado experto en evitar interferencias producidas por tormentas, etc. Al menos tres personas, el piloto, el operador especializado y el controlador de tránsito aéreo están involucrados en la mayoría de los mensajes. En una estación aeronáutica HF bien gestionada, la demora existente entre un mensaje de petición y el mensaje respuesta es normalmente de uno a tres minutos. Para mensajes que hayan de ser retransmitidos a través de una red punto a punto, el tiempo de transferencia puede llegar incluso hasta los doce minutos. A velocidad normal de crucero, una aeronave recorrería más de 100 millas náuticas desde que hace una petición hasta que recibe la respuesta si el mensaje tiene que ser retransmitido de una estación aeronáutica

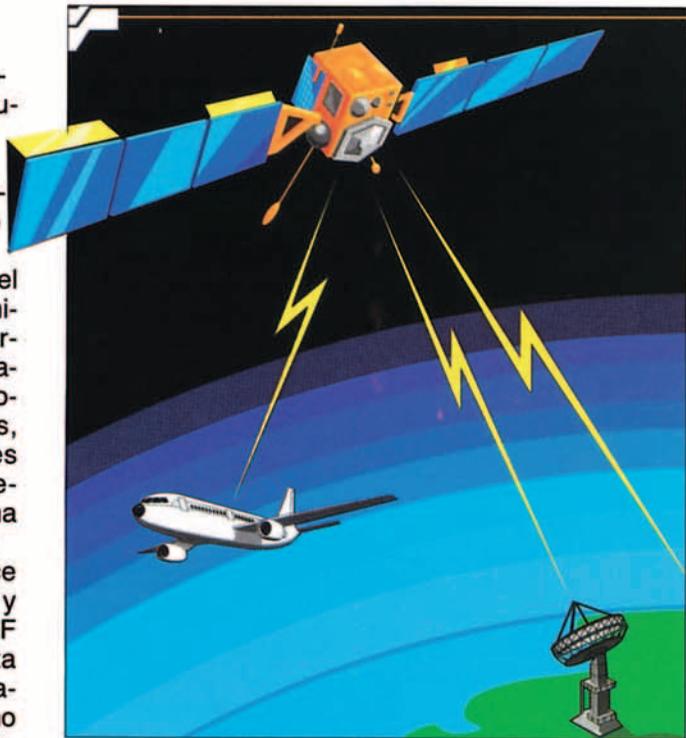


Fig. 1

TRANSMISIONES EN LINEA DE VISION (EFECTO DE OBSTACULOS)

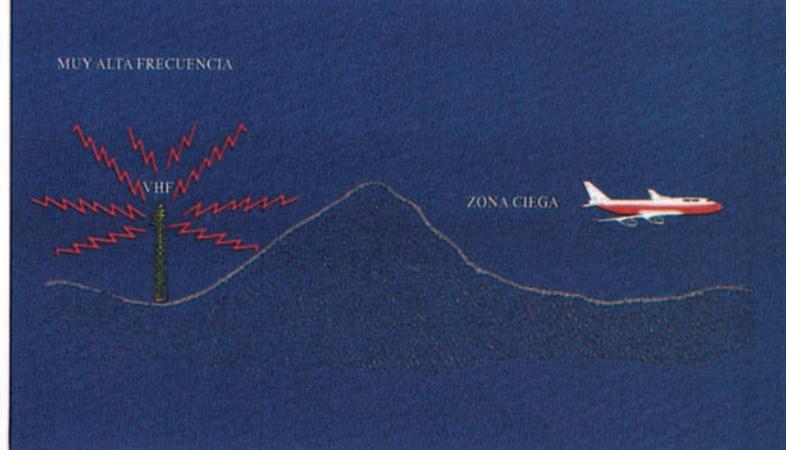


Fig. 2. La orografía del terreno puede dar lugar a zonas ciegas donde se pierde la comunicación con la aeronave.

TRANSMISION EN LINEA DE VISION (EFECTO CURVATURA TERRESTRE)

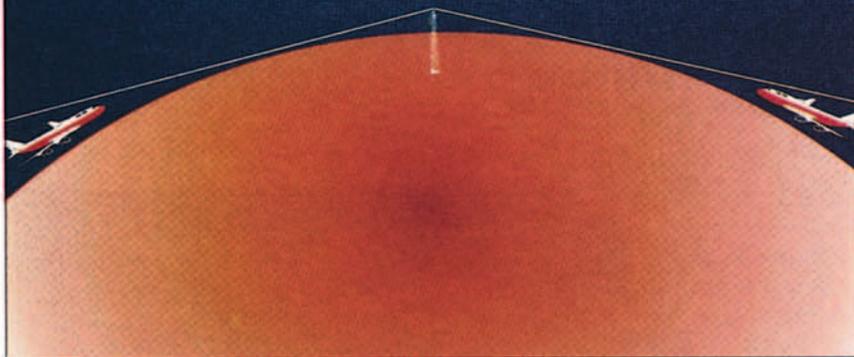


Fig. 3. La curvatura de la tierra limita el alcance del VHF al quedar las aeronaves por debajo del horizonte y no poder comunicar con ellas.

tanto del sistema actual de comunicaciones voz aire/tierra en VHF, como de la capacidad del controlador de tránsito aéreo para manejar un alto número de aeronaves.

Las limitaciones del actual sistema de comunicaciones aire/tierra en VHF incluyen:

a) Saturación de los canales de voz;

b) Dificultades de lenguaje o malentendidos entre controlador y piloto, fraseología pobre o no normalizada, interpretación errónea y deterioro de mensajes; y

c) No permitir directamente el intercambio de datos entre los ordenadores de tierra y de a bordo. Los ordenadores tendrán como misión reducir la carga de trabajo del controlador por aeronave, descargándole de gran parte de las tareas y comunicaciones rutinarias, y permitiéndole concentrarse en resolver problemas concretos. Al reducirse de esta manera la carga de trabajo por aeronave, el controlador podrá manejar un número mucho mayor de éstas.

Con objeto de superar las limitaciones mencionadas, las comunicaciones voz serán reemplazadas progresivamente por las de datos digitales y por consiguiente será necesario un enlace de datos de altas prestaciones. Se entiende que la demora de acceso (tiempo necesario para pasar un mensaje) con este enlace de datos, no deberá ser superior a la de los sistemas actuales de comunicaciones voz. Este nuevo sistema de comunicaciones digital, si es que va a

reemplazar al actual sistema de comunicaciones voz, y ha de operar con concentraciones de tráfico muy elevadas, deberá permitir comunicaciones casi instantáneas entre la aeronave y tierra. Las comunicaciones voz continuarán utilizándose para mensajes no rutinarios y de emergencia.

La tecnología actual permite la implantación de tres tipos de enlace de datos diferentes: el enlace de datos VHF, el del radar Modo S y el de satélite.

Los dos primeros por ser sistemas basados en tierra y de propagación en línea de visión, tienen las limitaciones de alcance y cobertura que se han descrito anteriormente para el VHF.

El radar Modo S, sistema con la doble funcionalidad de comunicación de datos y vigilancia (detección de aeronaves), debido a la direccionalidad de

ca a otra. Aunque este último es un caso extremo da una idea clara de los problemas que presentan las comunicaciones actuales de largo alcance.

Esta complejidad y lentitud de las comunicaciones HF en áreas oceánicas y remotas, origina que las operaciones aéreas en estas áreas se realicen en base a planteamientos estratégicos, con muy poca flexibilidad en cuanto a rutas y niveles, y con unos costes más altos de operación.

LA NECESIDAD DE UN ENLACE DIGITAL DE DATOS

En áreas de alta densidad de tránsito aéreo, la capacidad y eficiencia del control de tránsito (ATC) depende en gran medida de las limitaciones,

Fig. 4. Satélite de comunicaciones INMARSAT 2

su antena giratoria, y por tanto tener que esperar a que ésta apunte a la aeronave para poder transferir un mensaje, tiene las siguientes limitaciones importantes que el VHF y el satélite no tienen:

a) El tiempo necesario para transferir un mensaje desde/hacia una aeronave puede llegar a ser tan grande como el tiempo necesario para la ejecución de una vuelta de antena completa (8 segundos si se trata de un radar de ruta), siendo por lo tanto inadecuado para la transmisión inmediata de mensajes de control de tránsito aéreo;

b) tiene un tiempo muy limitado por vuelta de antena, para la transferencia de datos (aproximadamente 32 milisegundos), ya que el giro de ésta es uniformemente secuencial y no permite tiempos de iluminación variables sobre determinados blancos;

c) no puede utilizarse eficientemente, debido a que la antena tiene que perder el tiempo barriendo áreas donde a veces no existen aeronaves o no requieren intercambio de mensajes;



Fig. 5. El SMAS incluye también telefonía de pasajeros

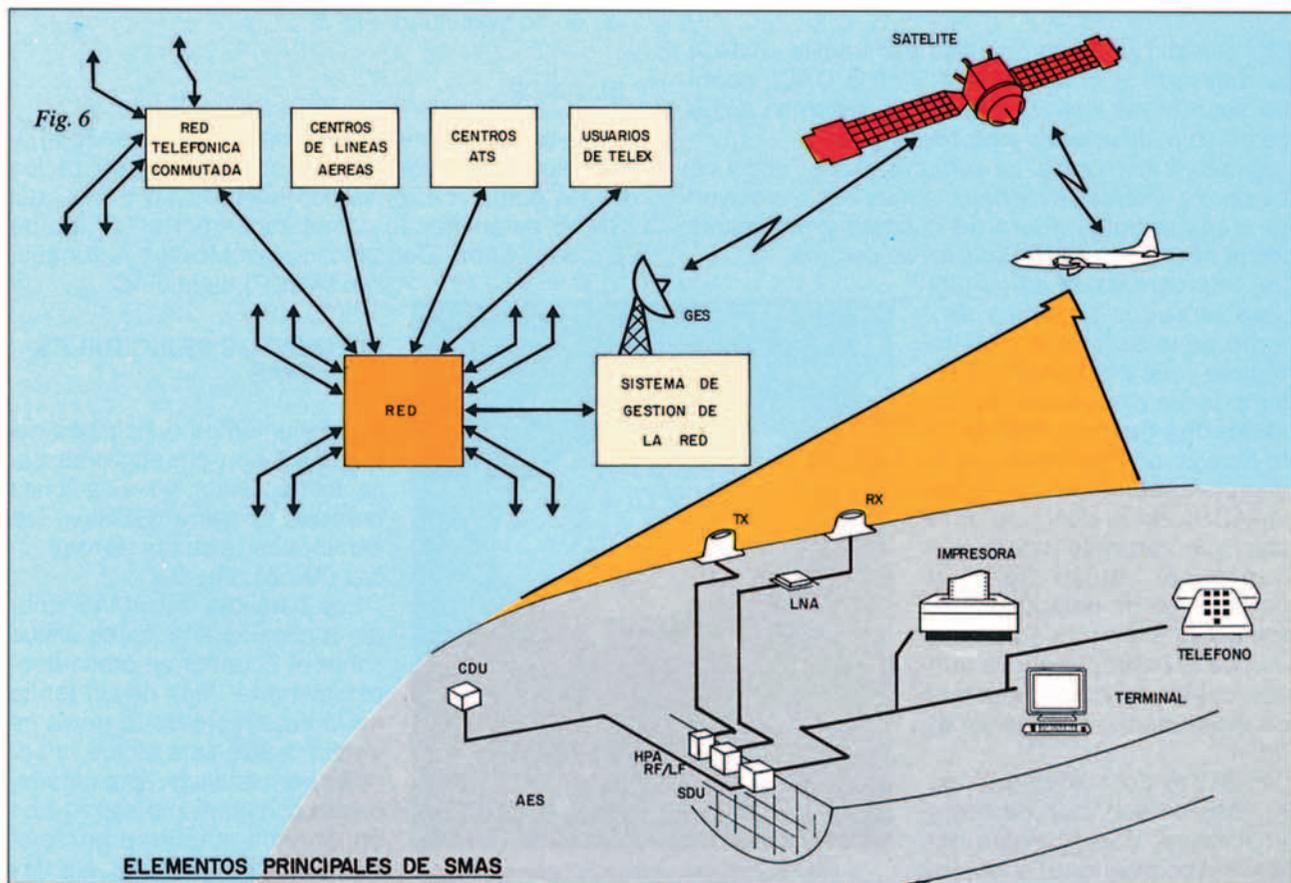
d) los mensajes no pueden transmitirse ordenados en base a su prioridad, ya que la antena no puede dirigirse a cualquier dirección a voluntad y mantenerse en ella hasta que la transferencia del mensaje se haya completado. Han de transmitirse en el orden establecido por el barrido de la antena.

EL COMITÉ FANS Y SU CONCLUSIÓN

El Comité FANS fue establecido por el Consejo de la OACI a finales de 1983 con la misión de estudiar, identificar y evaluar los nuevos conceptos y la nueva tecnología, incluida la de satélites, en el ámbito de la navegación aérea, y preparar recomendaciones para el desarrollo de la navegación aérea

para un período de unos 25 años.

El Comité FANS llegó a la conclusión de que la explotación de las comunicaciones por satélite es la única solución actualmente viable que permitirá superar las deficiencias de los sistemas de comunicaciones, navegación y vigilancia actuales y satisfacer



ELEMENTOS PRINCIPALES DE SMAS

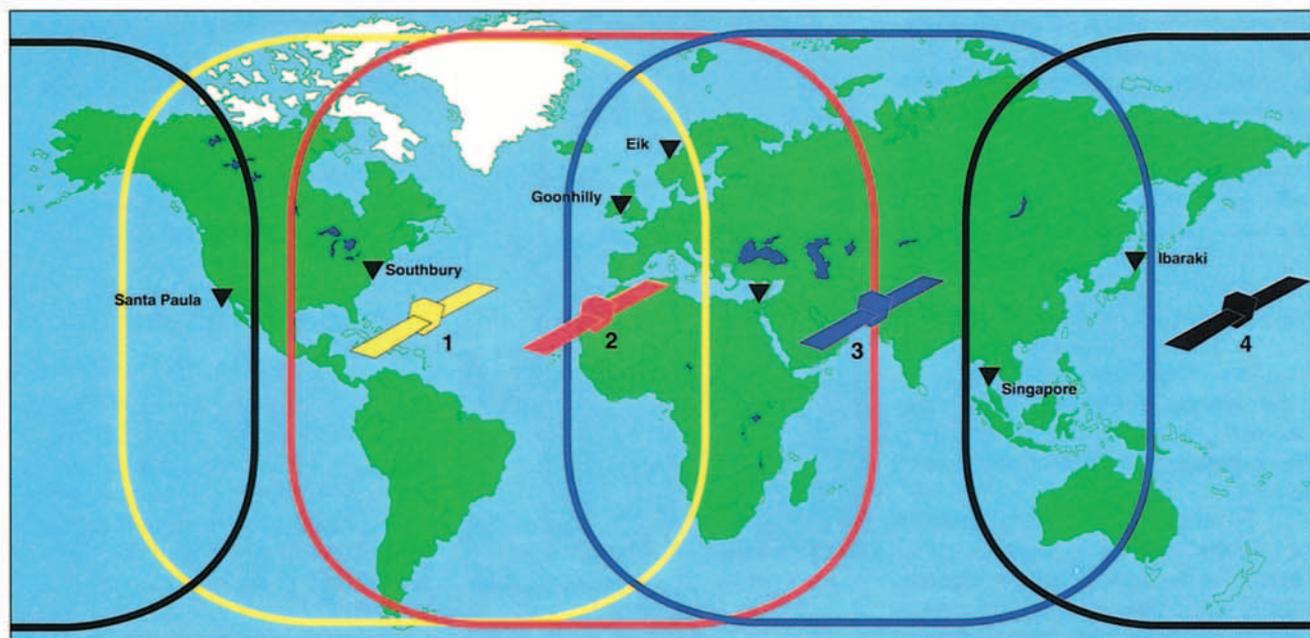


Fig. 7. Cobertura satélite de INMARSAT

las necesidades y requisitos del futuro previsible a escala mundial (pág. 3, resumen de ejecución, Informe FANS/4, Doc 9524 de la OACI).

EL SMAS

El servicio móvil aeronáutico por satélite (SMAS), definido por el Comité FANS de la OACI, permitirá superar las limitaciones de los sistemas actuales de comunicaciones y proporcionará:

a) cobertura mundial de comunicaciones voz y datos desde altitudes muy bajas a muy altas, incluyendo áreas remotas, fuera de la costa y oceánicas, con la excepción de algunas áreas polares;

b) intercambio de datos digitales entre los sistemas de a bordo de la aeronave y los terrestres, que posibilitará el poder explotar plenamente las capacidades de automatización de ambos; una aplicación, la vigilancia dependiente automática (ADS), en la cual una aeronave que transmite automáticamente, por enlace digital de datos, datos de posición extraídos de su sistema de navegación de a bordo, aportará también cobertura de vigilancia en las áreas especificadas en a). Fig. 4

El SMAS proporcionará cuatro tipos de servicios de comunicaciones, dos de seguridad (de mayor prioridad) y dos de

no seguridad (de menor prioridad). El control de tránsito aéreo (ATC), y el control de las operaciones aeronáuticas (AOC), son los de seguridad. La comunicación aeronáutica administrativa (AAC) y la comunicación aeronáutica de pasajeros (APC) son las de no seguridad. Fig. 5

EL AMCP

Las normas y métodos recomendados (SARPs), y material orientativo necesarios para la utilización de las comunicaciones por satélite ATC y AOC del SMAS están siendo completados por el "Grupo de Expertos sobre Comunicaciones Móviles Aeronáuticas (AMCP) de la OACI.

ELEMENTOS PRINCIPALES DEL SMAS

Los elementos principales del SMAS son el segmento espacial (satélites), las estaciones terrenas de tierra (GESs) y las estaciones terrenas aeronáuticas (AESs). Fig. 6

Los satélites del SMAS operan a unos 35.900 km de altitud sobre el Ecuador en órbita geoestacionaria. Más de un tercio de la superficie de la tierra es visible desde esta altitud, y por tanto tres satélites aproximadamente con la misma separación en longitud pueden proporcionar cobertura mundial. No hay



Fig. 8. Estación terrena de tierra (GE)

cobertura radio en línea de visión desde los satélites geoestacionarios a las regiones polares, donde a latitudes superiores a aproximadamente 80 grados la trayectoria hacia el satélite se aproxima al horizonte.

Aparte del segmento especial de INMARSAT, que se describe más adelante, ciertas Administraciones nacionales como USA, Canadá, Australia, Japón, etc. tienen previsto situar satélites geoestacionarios operando en la banda del SMAS sobre su territorio.

Algunas organizaciones están planificando el poner en órbitas inclinadas (no geoestacionarias) satélites que proporcionarán cobertura en las regiones polares. El primero de éstos deberá estar operacional a finales de los 90, proporcionando cobertura en la región Polar Norte. No se prevé que en el período de tiempo contemplado por el FANS exista cobertura satélite continua en la región Polar Sur extrema. Fig. 7

Una estación terrena de tierra (GES) está compuesta de una antena de plato y del equipo electrónico necesario para comunicarse a través del satélite hacia y desde la aeronave. Proporciona la interfase entre el satélite y las redes fijas de voz y datos tales como la CIDIN, la red pública telefónica conmutada, redes privadas, y líneas dedicadas que pudieran ser utilizadas para aplicaciones en las que el tiempo es crítico. Una GES podrá estar o no situada en una dependencia ATS, dependiendo de los requisitos operacionales y de los acuerdos establecidos entre el suministrador del servicio satélite y la autoridad de aviación civil.

La antena de una GES normalmente tiene de 9 a 13 metros de diámetro y opera en la banda C (4/6

Fig. 9. Equipo de comunicaciones satélite de a bordo (AES)

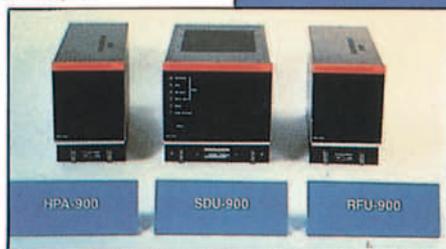


Fig. 10. Cabina de Boeing 747-400 con equipo de comunicaciones por satélite.

GHz desde/hacia el satélite). Otras frecuencias alternativas de enlace, por ejemplo en la banda KU 13/14 GHz), permiten utilizar antenas más pequeñas y además están libres de posible interferencias terrenas, pero a costa de un aumento en el efecto de atenuación por lluvia. Fig. 8

Una AES (terminal aeronáutica montado a bordo de la aeronave) está compuesta de una unidad

CONFIGURACION DE CANALES SMAS

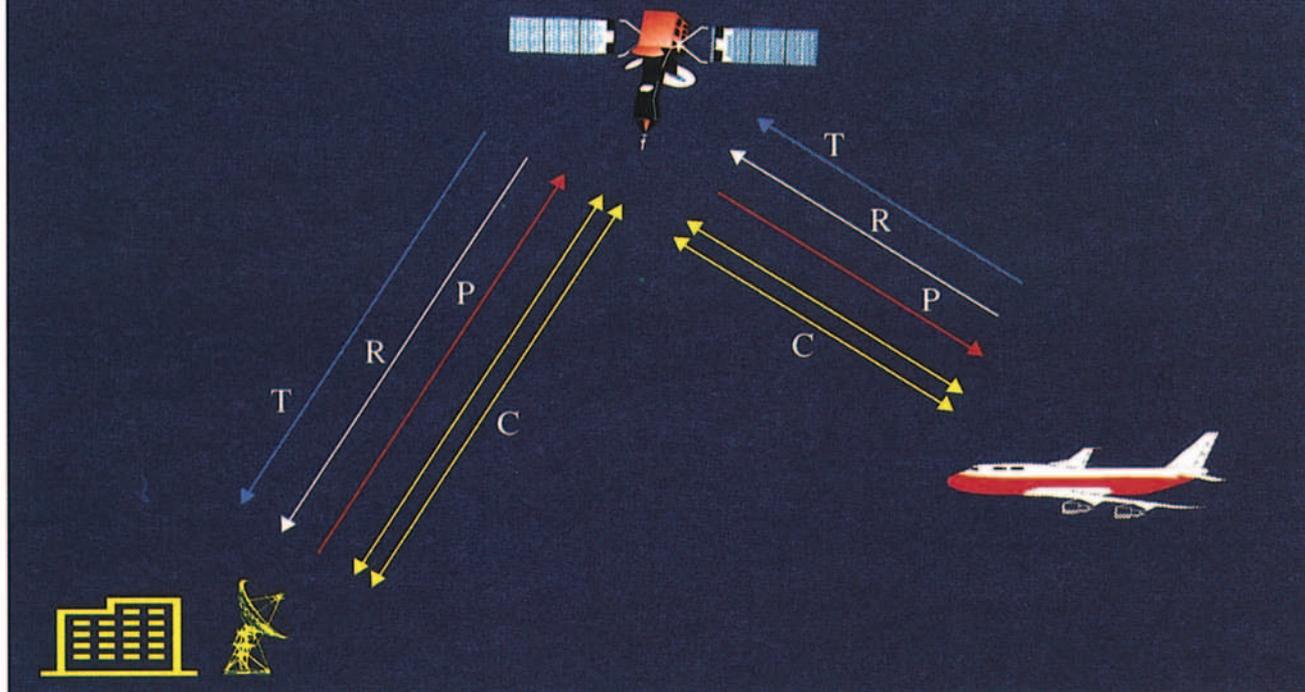


Fig. 11

BANDA Y CANALES DEL SMAS

Las comunicaciones entre la aeronave y el satélite operan en la banda de frecuencia de 1,5-1,6 GHz, asignada para este propósito por sus características radio más adecuadas. Actualmente hay adjudicados 10 MHz para uso exclusivo del SMAS en cada dirección:

1.545 - 1.555 MHz del satélite a la aeronave

1.646,5 - 1.656,5 MHz de la aeronave al satélite

El espaciado entre canales es tal que proporciona separación suficiente para reducir la interferencia entre canales adyacentes y asegurar la sintonización de canal en presencia del efecto Doppler debido a la velocidad relativa entre la aeronave y el satélite.

Los incrementos de sintonización del transmisor y receptor son normalmente de 2,5 MHz, siendo por tanto el número de canales disponibles en 10 MHz unos 4.000. Los canales podrán reutilizarse con mayor efectividad cuando se utilicen satélites con haces puntuales.

Los enlaces radio entre el satélite y la aeronave han sido implementados utilizando tres tipos de canales en modo paquete a los que se les ha designado con las letras P, R y T; y un cuarto, llamado canal-C, el cual designa un canal en modo circuito para voz y datos.

Los canales P, R y T trabajan a velocidades que van desde 600 bits/segundo a 10.500 bits/segundo, utilizando modulación A-BPSK para velocidades de canal de 2.400 bits/segundo e inferior, y modulación A-QPSK para velocidades de canal superiores a 2.400 bits/segundo. Los canales C trabajan a velocidades que van desde 6.000 bits/segundo a 21.000 bits/segundo.

El canal P es un canal de datos continuo en modo paquete conmultiplexación por división en el tiempo que va de la GES a la AES portando señalización y datos de usuario. Las aeronaves deben escuchar continuamente este canal una vez hecha la conexión a una GES.

El canal R es un canal de acceso múltiple, utilizado en la dirección de la AES a la GES, que lleva señalización y datos de usuario. Utiliza el protocolo de "períodos aloha" para permitir el acceso aleatorio de varias aeronaves. Este protocolo presenta el problema de que los mensajes originados por una aeronave pueden colisionar con los de otra, por lo que estos canales deben de estar poco sobrecargados, al objeto de reducir las colisiones entre mensajes al mínimo.

El canal T es un canal de acceso múltiple por distribución en el tiempo (TDMA) utilizado sólo en dirección de las AESs a las GESs. Una GES que recibe una petición de una AES a través del canal R pidiendo utilizar un canal T, reserva períodos de tiempo para que transmita la AES de acuerdo con la longitud del mensaje. La AES transmite entonces mensajes en los períodos de tiempo reservados y de acuerdo con la prioridad de ellos, evitándose así el que puedan estos colisionar con mensajes transmitidos por otras AESs.

El canal C es un canal continuo, de acceso múltiple por división de frecuencia, de dos direcciones, utilizado para voz digitalizada y datos, y se adjudica (a través del canal P) a petición de la AES realizada a través de un canal R, o se asigna directamente por la GES.

transmisora/receptora de a bordo que incluye moduladores, demoduladores, procesadores de señal y codificador de voz; controladores internos; uno o más amplificadores de potencia de frecuencia, y el subsistema de antena. La AES conecta con la telefónica de a bordo, interfaces para el intercambio de mensajes digitales, télex, etc. Fig. 9. Fig. 10.

APLICACIONES DEL SMAS

Las comunicaciones telefónicas de pasajero se están implantando actualmente a pasos agigantados.

El intercambio de mensajes digitales controlador-piloto, acceso de éste último a bases de datos meteorológicas, etc. y la vigilancia dependiente automática, serán probablemente las primeras aplicaciones relacionadas con el servicio de tránsito aéreo del SMAS, especialmente en áreas oceánicas y remotas.

En áreas continentales de alta densidad de tráfico aéreo, la utilización conjunta de datos radar y datos de la vigilancia dependiente automática permitirá mejorar la función de vigilancia, al proporcionar cobertura a bajas altitudes y en zonas ciegas, mejorar el seguimiento de las aeronaves, aumentar el nivel de redundancia y permitir controlar la integridad del sistema de navegación. El SMAS permitirá el intercambio digital de datos directamente entre los ordenadores de a bordo y los sistemas expertos de tierra, que aumentarán la capacidad de utilización del espacio aéreo, en especial en áreas de alta densidad de tránsito, pudiéndose así hacer frente a la demanda prevista para los próximos años (las previsiones para Europa central muestran que en el año 2000 el movimiento de aeronaves será un 100 por ciento mayor que en 1987).

ESTADO DE IMPLANTACION DEL SMAS

En diciembre de 1991, 93 instalaciones en aeronaves habían sido ya certificadas por INMARSAT y utilizaban el sistema a diario.

Las primeras instalaciones de voz están ya en operación, la mayor parte de ellas en aviones Gulfstream.

EL SEGMENTO ESPACIAL DE INMARSAT

INMARSAT fue fundado en 1979 para ofrecer servicios de comunicaciones por satélite a embarcaciones civiles. Está formado por 55 Estados miembros, siendo el signatario por parte de nuestro país la Compañía Telefónica Nacional de España con el 1,99% de las acciones. Aproximadamente hay instalados unos 9.000 terminales de comunicaciones por satélite a bordo de barcos por todo el mundo. Ultimamente INMARSAT presta también servicios a la aviación y al transporte terrestre.

Satélites de primera generación

Actualmente INMARSAT opera siete satélites de esta generación para comunicaciones marítimas. Son geostacionarios y suministran cobertura mundial con excepción de las regiones polares extremas. Uno de ellos, el MARECS-B2 fue utilizado dentro del programa PRODAT/PROSAT de comunicaciones con aeronaves en el que la Dirección General de Aviación Civil Española ha participado.

Satélites de segunda generación

En la actualidad están en órbita tres satélites de segunda generación, cada uno de ellos con una capacidad en la banda aeronáutica, de 3MHz en la dirección de las aeronaves. El primero de estos satélites fue lanzado el 30 de octubre de 1990, estando actualmente en operación en su órbita sobre el Océano Índico en posición 064,5 grados Este. El segundo fue lanzado a la posición 015,5 grados Oeste sobre el Atlántico el 8 de marzo de 1991. El tercero fue lanzado el 3 de diciembre de 1991 para prestar su servicio sobre el Océano Pacífico (179,5 grados Este). Está previsto que sea lanzado en febrero/marzo de 1992 un cuarto satélite para ser situado sobre el Océano Atlántico (55,0 grados Oeste).

Satélites de tercera generación

Está prevista una tercera generación en la banda aeronáutica, que dispondrá de haces puntuales e incluso portará una carga de navegación al objeto de complementar al GPS y Glonass. El primero de estos satélites será puesto en órbita en 1996.

Un Boeing 747 de British Airways ofrece a los pasajeros telefonía por satélite desde hace más de un año. Un Boeing 747-400 de Japan Airlines la tiene instalada en pruebas. Singapore Airlines opera

EL SEGMENTO ESPACIAL DE INMARSAT

REGION OCEANICA	SATELITE	POSICION	LANZAMIENTO	ESTADO	POTENCIA (EIRP)
	* Inmarsat 2-F4	055,0° OESTE	Feb/Mar 1992	A SER LANZADO	39 dBW
ATLANTICO OESTE	Marecs-B2	055,5° OESTE	9 noviembre 1984	OPERACIONAL	35 dBW
	* Inmarsat 2-F2	015,5° OESTE	8 marzo 1991	OPERACIONES	39 dBW
ATLANTICO ESTE	Intelsat V-MCS B	018,5° OESTE	19 mayo 1983	RESERVA	33 dBW
	Marisat-F1 1	06,0° OESTE	19 febrero 1976	RESERVA	25 dBW
	* Inmarsat 2-F1	064,5° ESTE	30 octubre 1990	OPERACIONAL	39 dBW
INDICO	Intelsat V-MCS A	066,0° ESTE	22 septiembre 1982	OPERACIONAL	33 dBW
	Marisat-F2	072,5° ESTE	14 octubre 1976	RESERVA	25 dBW
	Intelsat V.MCS D	180,0° ESTE	4 marzo 1984	OPERACIONAL	33 dBW
PACIFICO	Marisat F3	176,5° ESTE	9 junio 1976	RESERVA	25 dBW
	* Inmarsat-2 F3	179,5° ESTE	3 diciembre 1991	A SER LANZADO	39 dBW

* Dispone de 3MHz, en cada sentido, en la banda aeronáutica reservada al SMAS.



Fig. 12. El PRODAT/PROSAT

un sistema de voz en uno de sus Boeing 747-400, y tiene previsto instalarlo a toda su flota.

INMARST recibe peticiones casi a diario para la certificación de sistemas de datos, la mayor parte para Boeings 747-400. Estas corresponden a aeronaves operadas por United Airlines, QANTAS, Japan Airlines, Air France, UTA, Canadian Airlines y la FAA (Boeing 727).

United Airlines, Northwest Airlines, Japan Airlines y Qantas han firmado un acuerdo con las autoridades de aviación civil de USA, Australia y Japón para participar en pruebas en el Pacífico, estando éstas en fase de ejecución. Francia, Nueva Zelanda y Fiji también tienen interés en participar. Autoridades de aviación civil europeas, entre ellas la del Reino Unido y España, están planificando la realización de pruebas similares.

INMARSAT estima que habrá 350 aeronaves equipadas con comunicaciones por satélite a finales de 1992 y unas 1.800 en el año 1995.

En cuanto a estaciones terrenas de tierra (GES) existen actualmente doce en operación, prestando servicio a aeronaves por todo el mundo. INMARSAT ha autorizado Goochilly en el Reino Unido, EIK en Noruega, y Sentosa en Singapur para prestar a nivel mundial el servicio de voz denominado "Skypho-

ne", el cual se encuentra operacional desde septiembre de 1990. El servicio de voz se presta también a través de France Telecom (Aussaguel), OTC (Perth, Australia), Teleglobe (Laurentides, Canadá), IDBA (Niles Canyon, USA), KDD (Yamaguchi, Japón) y Comsat (Southbury y Santa Paula, USA). El servicio de datos se presta a través de Southbury y Santa Paula (USA), Laurentides (Canadá), Perth (Australia) e Ibaraki (Japón). Otros Signatarios de INMARSAT que han notificado sus intenciones de operar GESs son la URSS, Portugal, Alemania e Italia.

EL PRODAT/PROSAT

El Programa PRODAT/PROSAT de la Agencia Europea del Espacio tenía por objeto la experimentación de las comunicaciones por satélite con aviones, barcos y camiones. En su parte aeronáutica participó la Dirección General de Aviación Civil Española (DGAC) y la Autoridad de Aviación Civil del Reino Unido (CAA), incorporándose posteriormente EUROCONTROL. Este Programa fue pionero en experimentar las comunicaciones por satélite con móviles aeronáuticos y se detalla más adelante al tratar la vigilancia dependiente automática. Fig. 12 ■