

INFORME 1173

**CONSIDERACIONES SOBRE LOS ASPECTOS TÉCNICOS Y DE EXPLOTACIÓN
DE LAS COMUNICACIONES MÓVILES AERONÁUTICAS POR SATÉLITE**

(Cuestión 82/8)

1. Introducción

(1990)

La finalidad de este Informe es examinar los factores relacionados con las comunicaciones aeronáuticas por satélite en la banda 1,5 - 1,6 GHz.

1.2 En estos momentos sólo se dispone de redes de comunicaciones terrenales en ondas métricas y decamétricas para el servicio de tráfico aéreo (ATS), el control (OAC), las comunicaciones de administración aeronáutica de operaciones aeronáuticas (AAC) y las comunicaciones de pasajeros. Sin embargo, con las redes de comunicaciones terrenales, las aeronaves no siempre son capaces de comunicar de modo fiable con puntos en tierra, especialmente cuando se encuentran muy alejadas de tierra firme. Los servicios por satélite ofrecen la posibilidad de mejorar la capacidad de los canales y la calidad y la fiabilidad de las comunicaciones para las aeronaves en muchas zonas del mundo.

1.3 A principios y a mediados del decenio de 1970, se efectuaron numerosas pruebas experimentales y de demostración aeronáuticas en la banda 1,5 - 1,6 GHz para corroborar la viabilidad de comunicaciones móviles aeronáuticas por satélite y demostrar su capacidad operacional. Se han renovado los esfuerzos para llevar a cabo otros experimentos y pruebas de explotación con objeto de lograr una capacidad operacional a corto plazo.

1.4 ARINC/SITA y otros están proyectando introducir en 1990 servicios comerciales de comunicaciones aeronáuticas por satélite a través del segmento espacial de INMARSAT.

2. Situación actual y planes futuros

2.1 La comunidad de aviación civil internacional está trabajando con diligencia para conseguir la implantación de un servicio móvil aeronáutico por satélite (SMAS) que proporcione servicios de tráfico aéreo, de control operacional, de administración y de comunicaciones de los pasajeros. La OACI estima que, hacia fines de 1990, 53 aeronaves de transporte aéreo en todo el mundo estarán equipadas con equipos de aviónica del SMAS y que, para fines de 1994, más de 350 aeronaves, pertenecientes a la aviación general y comercial, utilizarán ese equipo. Algunas autoridades aeronáuticas están realizando mejoras fundamentales en el servicio de tráfico aéreo basadas en las comunicaciones por satélite, especialmente en las zonas oceánicas. Las fases iniciales entrarán en servicio hacia fines de 1990.

2.2 En apoyo a esa iniciativa de la comunidad aeronáutica, la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI), en cumplimiento de su responsabilidad de adoptar normas y prácticas recomendadas (SARP) para la aviación civil internacional, está desarrollando esas normas y prácticas para el SMAS(R). Las SARP en curso de elaboración se fundan en la arquitectura del sistema de satélites desarrollada por el Comité Especial del futuro sistema de navegación aérea (FANS) de la OACI, el Manual de definiciones del sistema de aviación de INMARSAT y las características de equipamiento del SMAS aprobadas por el Airline Electronic Engineering Committee (AEEC). El comité especial 165 de RTCA está elaborando características de equipos electrónicos de a bordo (aviónica) que se ajustan a las SARP estipuladas por la OACI.

2.3 Las SARP garantizarán que las aeronaves que funcionan en todo el mundo puedan recibir los servicios móviles aeronáuticos por satélite que cumplen los requisitos de aviación en cualquiera de las estaciones terrenas aeronáuticas que se ajusten a esas normas.

2.4 Japón está llevando a cabo experimentos de comunicaciones preoperacionales a través de un satélite INMARSAT a fin de demostrar y evaluar los servicios de facsímil y telefonía públicos utilizando un avión de pasajeros (Boeing 747) [Makita y otros, 1988]. Se utilizan vuelos de rutas transoceánicas entre Japón y América del Norte. En Canadá se están efectuando también pruebas preoperacionales de comunicaciones aeronáuticas por satélite con un satélite de INMARSAT. En 1988 el Reino Unido realizó pruebas de perfeccionamiento [Schoenenberger y McKinlay, 1988] en preparación de la introducción de servicios telefónicos para los pasajeros de aeronaves, utilizando satélites INMARSAT. En 1989 prosiguieron las pruebas, destinadas al establecimiento de un servicio comercial.

2.5 La Agencia Espacial Europea (ESA), Canadá, la República Federal de Alemania y otros países han llevado a cabo varios experimentos de comunicaciones de datos a baja velocidad [Rogard y Pinelle, 1987] [Neal y otros, 1987] [Wachira y otros, 1987]. Los experimentos aeronáuticos sobre propagación y transmisiones de datos a baja velocidad utilizando un satélite INMARSAT dentro del programa PRODAT de la ESA han proporcionado datos y resultados de gran utilidad.

2.6 En el Japón se halla en curso de realización un proyecto, denominado sistema móvil experimental por satélite, que utiliza el ETS-V (ETS-V/EMSS) cuyo objetivo, entre otros, es el de establecer la tecnología fundamental para las comunicaciones del SMAS [Hase y otros, 1986]. Este satélite fue lanzado en agosto de 1987 con el fin de establecer las tecnologías básicas del satélite geostacionario con estabilización triaxial y de las comunicaciones de aeronaves, barcos y vehículos terrestres por satélite. Los experimentos sobre las comunicaciones aeronáuticas por satélite en el sistema móvil experimental se llevan a cabo utilizando un avión comercial en rutas de vuelos transoceánicos y una aeronave privada en rutas de vuelos nacionales; estos experimentos incluyen transmisiones de datos a baja, media y alta velocidad, transmisiones de señal telefónica y transmisiones de posicionamientos [Ohmori y otros, 1986] [Niimi y otros, 1987].

2.7 Es preciso considerar la compartición de frecuencias con otros servicios primarios que funcionan en las bandas del SMAS. El Anexo I presenta un análisis preliminar de esta compartición con el servicio fijo terrenal.

2.8 En el Anexo III se describe un servicio móvil aeronáutico por satélite previsto (AIRCOM) y en el Anexo IV, el sistema aeronáutico de INMARSAT.

2.9 Por otra parte, cabe señalar que, aunque la arquitectura del sistema del SMAS de la OACI y las normas del AEEC indican las capacidades de recepción y transmisión de las comunicaciones del SMAS, respectivamente en las bandas de 1 544 - 1 545 MHz y 1 645,5 - 1 646,5 MHz destinadas a las operaciones de socorro, se deberá tomar precauciones para evitar toda emisión accidental de señales en esas bandas que pudiera interferir con la recepción de las señales de RLS por satélite o de otras comunicaciones por satélite de socorro y seguridad que se transmitan en esas bandas.

3. Aspectos técnicos

3.1 Características de sistema

En el Informe FANS/4 [OACI, 1988] se describe exhaustivamente la arquitectura del sistema. Las SARP que está elaborando la OACI se fundan en las aportaciones del AEEC y de INMARSAT, se publicarán en los correspondientes documentos de la OACI, y posteriormente en el Anexo 10 al Convenio de Aviación Civil Internacional una vez concluido el procedimiento de consulta de la OACI. Todos los sistemas que proporcionan un servicio a la aviación civil internacional deberán cumplir las normas y los procedimientos recomendados por la OACI. Para más detalle véanse los documentos pertinentes de la OACI sobre las características del servicio móvil aeronáutico por satélite.

3.2 Interfaces con los equipos de aviónica

3.2.1 Generalidades

La estación terrena de aeronave deberá estar preparada para recibir tres tipos de información:

- 1) información de control (por ejemplo, datos de vuelo, número de vuelo);
- 2) datos de usuario (por ejemplo, ATS, AOC, AAC y comunicaciones de pasajeros;
- 3) voz (de la cabina de los pasajeros y del piloto).

3.2.2 Procesamiento de datos

Los datos procederán de un cierto número de fuentes de la aeronave tales como el sistema de navegación inercial, los paneles de control manejados por la tripulación, etc. Debido a la amplia variedad de fuentes y a la imposibilidad de desarrollar un sistema completamente normalizado, es posible que estas entradas de datos sean procesadas previamente en una unidad de gestión de datos adecuada antes de su aplicación al sistema de comunicación por satélite. Los datos procedentes de tierra normalmente estarán impresos o serán presentados adecuadamente en una pantalla para su utilización por la tripulación. La OACI utiliza el concepto de Interconexión de Sistemas Abiertos (ISA) de la Organización de Normalización Internacional (ISO) para el intercambio de comunicaciones de datos [OACI, 1988].

3.2.3 Tráfico de señales vocales

El tráfico de señales vocales en la aeronave tiene su origen en dos fuentes: la cabina del piloto y la cabina de pasajeros. Es posible que sigan procedimientos diferentes; por ejemplo podrían utilizarse velocidades de codificación distintas para las señales vocales procedentes de la cabina del piloto y la cabina de los pasajeros. Varias instalaciones en el interior de la cabina podrían ser la fuente del tráfico de la cabina; será necesario elegir la fuente activa entre las que estén disponibles, posiblemente mediante una centralita de conmutación instalada en la propia aeronave.

3.3 Desvanecimiento debido a la propagación por trayectos múltiples

3.3.1 Los efectos del desvanecimiento debido a la propagación por trayectos múltiples, especialmente por reflexión en el mar, en las comunicaciones aeronáuticas por satélite constituyen un importante parámetro de canal que ha sido investigado desde principios del decenio de 1970. Entre los factores que deben tomarse en consideración cabe citar los siguientes:

- 1) el tiempo de retardo de propagación diferencial entre una señal directa y las señales reflejadas en la superficie del mar o de la tierra o en ambas (véase el Informe 1169);
- 2) el desvanecimiento selectivo en frecuencia causado por el vuelo de la aeronave a gran velocidad y en altitud elevada;
- 3) la evaluación de los efectos de los desvanecimientos teniendo en cuenta el emplazamiento de la antena en el fuselaje.

3.3.2 En la República Federal de Alemania se han efectuado recientes experimentos sobre los efectos debidos a la propagación por trayectos múltiples utilizando un satélite INMARSAT, que se resumen en el Informe 1169.

3.3.3 Actualmente Japón y muchos otros países están llevando a cabo experimentos de propagación aeronáutica por satélite. Los resultados y análisis de los mismos contribuirán en gran medida a la rápida introducción de comunicaciones aeronáuticas por satélite.

3.4 Efecto Doppler

El efecto Doppler es un factor importante para la sincronización del demodulador en las comunicaciones aeronáuticas por satélite. En Japón, se han llevado a cabo experimentos de comunicaciones aeronáuticas por satélite, con satélites ETS-V e INMARSAT utilizando un avión comercial en rutas de vuelos transoceánicos. [Hase y otros, 1989; Makita y otros, 1988]. Los resultados indican que el desplazamiento de frecuencia Doppler es de 1,2 kHz como máximo, y que su variación es de 1 a 4 Hz por minuto durante el vuelo de crucero, aunque cuando la aeronave cambia de dirección rápidamente, la variación del desplazamiento de frecuencia alcanza 15 Hz por segundo.

3.5 Modulación y codificación de la voz

Las técnicas digitales pueden utilizar eficazmente la potencia y anchura de banda limitadas de las señales. El Comité FANS de la OACI ha adoptado dos técnicas de modulación [OACI, 1988]. Para velocidades de datos de canal de radiofrecuencia hasta 2 400 bit/s inclusive, se utilizaría modulación por desplazamiento de fase binaria para aviación (MDPB-A). Para velocidades superiores a 2 400 bit/s, se utilizaría modulación por desplazamiento de fase en cuadratura para aviación (MDPQ-A). La MDPB-A se basa en la conformación y filtrado de impulsos optimizados aplicados a una forma de MDPB donde cada segundo símbolo se transmite en el canal en cuadratura. La MDPQ-A se basa en la conformación y filtrado de impulsos optimizados aplicados a una forma de MDPQ con desplazamiento de los trenes binarios sin filtrado. A partir de pruebas subjetivas, el foro de líneas aéreas internacionales, AEEC, eligió un vocoder de 9,6 kbit/s. Para la corrección de errores, el Comité FANS de la OACI [OACI, 1988] ha seleccionado la codificación de convolución con decodificación de Viterbi con $R = 1/2$ y $3/4$ y, con $K = 7$. Estas especificaciones se han incorporado a los requisitos de calidad técnica del sistema INMARSAT [INMARSAT, 1988].

3.6 Puntos comunes y compatibilidad entre redes terrenales y de satélite

Actualmente, las comunicaciones móviles aeronáuticas son proporcionadas por redes terrenales, por debajo de 1 GHz. A fin de simplificar los requisitos de la futura electrónica de a bordo, el Comité FANS de la OACI está considerando la posibilidad de utilizar componentes de aviónica comunes para las comunicaciones de seguridad móviles terrenales y por satélite. Los estudios iniciales de la OACI parecen indicar que resulta difícil integrar los sistemas terrenales y de satélite que funcionan en la misma banda y con equipos comunes.

3.7 Técnicas de acceso

El Comité FANS de la OACI [OACI, 1988] ha seleccionado las técnicas de Acceso Múltiple por División de Frecuencia (AMDF) y de Acceso Múltiple por División en el Tiempo (AMDT). Cuando se necesitan relativamente pocos canales de una aeronave, la técnica AMDF con un solo canal por portadora (SCPC) podría proporcionar una realización sencilla, eficaz y económica. En un sistema móvil aeronáutico por satélite, los factores importantes son el tamaño y el peso del equipo de comunicaciones a bordo y la disipación de potencia del transmisor, por lo que es preciso tener en cuenta la posibilidad de emplear una técnica de acceso múltiple. Por regla general, la utilización de AMDF SCPC para canales múltiples de APC puede exigir un amplificador lineal que trabaja en clase A cuando se utilizan múltiples portadoras.

3.8 Arquitectura del sistema

La arquitectura del sistema móvil aeronáutico por satélite de la OACI tiene por lo menos una capacidad de nivel 1 basada en el empleo de una antena de aeronave con un valor nominal de 0 dBi de ganancia, y se utilizará para proporcionar servicios básicos de datos a baja velocidad de ATS y AOC. La arquitectura tiene en cuenta el crecimiento evolutivo de las capacidades funcionales y de sistema que permitirán utilizar cuando sea necesario servicios de voz digital y de datos a velocidades más altas. Se exige que todas las aeronaves del sistema mundial tengan, como mínimo, una capacidad de nivel 1. Dicha capacidad utiliza enlaces MDTRF en el sentido Tierra-aire y una combinación de enlaces AMDT organizados y de acceso aleatorio en el sentido aire-Tierra, y en ambos sentidos se cursan servicios de datos en modo paquete. Entre las capacidades mejoradas se encuentran los servicios telefónicos en modo circuito, para los que se requiere una ganancia de la antena de aeronave de 12 dBi.

3.9 Vigilancia

En la aviación civil, la seguridad del vuelo es el factor más importante y, a estos efectos, la vigilancia es una función esencial. Se consideran dos tipos de vigilancia para satisfacer las necesidades de explotación. Uno de ellos es la vigilancia de dependencia automática (ADS) mediante la cual una aeronave transmite su posición, obtenida a partir de los datos del sistema de navegación de a bordo, a una estación terrena aeronáutica. Se estima que la implantación de la ADS constituya la base de la vigilancia del sistema de ATC en las amplias zonas oceánicas y permita un aumento de la densidad del tráfico aéreo en zonas remotas y oceánicas cuando esté disponible. El otro es la vigilancia independiente de cooperación (CIS), que es análoga al radar de vigilancia secundaria (SSR), y es en gran medida independiente del procesamiento de señales de la aeronave.

3.10 Tipos de antena de aeronave

3.10.1 Se definen dos tipos de antena:

- a) Ganancia baja - La antena tiene una ganancia suficiente para alcanzar un relación G/T en el subsistema de recepción no inferior a -26 dB/K en el volumen de cobertura, salvo en la región a +/-20 grados del cénit, donde se admite una relación G/T tan baja como -28 dB/K.
- b) Ganancia alta - La antena tiene una ganancia suficiente para alcanzar una relación G/T en el subsistema de recepción no inferior a -13 dB/K para no menos del 85% del volumen de cobertura.

3.10.2 Es posible que las estaciones terrenas de aeronave previstas para funcionar con velocidades superiores a 1 200 bit/s tengan que emplear un sistema de antena de ganancia alta según las características técnicas del sistema de satélite. Diferentes empresas en todo el mundo están desarrollando un número de tipos de antena que cumplen esos requisitos.

3.10.3 Volumen de cobertura

Se deberán instalar sistemas de antena que cumplan requisitos operacionales de calidad especificados para transmitir y recibir en un volumen de cobertura relativo al nivel de vuelo de la aeronave. El volumen de cobertura mínimo debe proporcionar una G/T de -26 dB/K para un azimut de 360 grados y de 10 a 90 grados de elevación a partir del plano horizontal, salvo en la región de +/-20 grados del cénit, donde se permite una G/T de tan solo -28 dB/K.

3.10.4 Las antenas de aeronaves no sólo han de satisfacer los requisitos eléctricos sino también los físicos relativos a resistencia a la vibración, resistencia térmica y resistencia mecánica. Además, conviene que las antenas de aeronave sean adecuadas para su instalación en el mayor número posible de aeronaves.

3.10.5 En estados Unidos de América, Canadá y la República Federal de Alemania ya se han llevado a cabo experimentos de comunicaciones aeronáuticas por satélite utilizando tipos de antenas de baja ganancia. En Japón, se están realizando experimentos utilizando tipos de antenas de alta, media y baja ganancia para hacer demostraciones de los sistemas ATS, AOC, AAC y comunicaciones de pasajeros mediante enlaces por satélite. Los experimentos realizados en Japón sobre comunicaciones aeronáuticas por satélite utilizando los satélites ETS-V e INMARSAT emplean aviones de línea comercial en rutas de vuelos transoceánicos. Los resultados contribuirán en gran medida a la rápida introducción de las comunicaciones aeronáuticas comerciales por satélite.

(Véase también el Informe 1047.)

4. Aspectos operacionales

4.1 Tipos de comunicaciones y prioridad

4.1.1 Comunicaciones relativas a la seguridad y regularidad

4.1.1.1 Las disposiciones especiales relativas a los tipos de comunicaciones del servicio móvil aeronáutico (R) y del servicio móvil aeronáutico por satélite (R) figuran en los números 3630 (MOB-87) y 3633 (MOB-87) del Reglamento de Radiocomunicaciones. Según el primero, las frecuencias atribuidas a esos servicios se reservan para "las comunicaciones relativas a la seguridad y

regularidad de los vuelos". Por el segundo, se prohíbe la correspondencia pública en las bandas de frecuencias destinadas con carácter exclusivo al servicio móvil aeronáutico o al servicio móvil aeronáutico por satélite. No obstante, la CAMR-MOB-87 aprobó la disposición RR 729A, por la que se autoriza la correspondencia pública con estaciones terrenas de aeronave en las bandas 1 545 - 1 555 MHz y 1 646,5 - 1 656,5 MHz.

4.1.1.2 La seguridad y la regularidad de los vuelos son conceptos operacionales que se estudian y definen en los documentos de la OACI, en particular, el Convenio de Aviación Civil Internacional, y los Anexos 6 y 10 de ese Convenio. En especial, el Artículo 37 del Convenio exige la adopción de normas y prácticas recomendadas acordadas internacionalmente relacionadas con la seguridad, la regularidad y la eficacia de la navegación aérea. Las circunstancias operacionales a las que se puede aplicar la definición de seguridad y regularidad también se enumeran en el Anexo 10, Volumen II. Las disposiciones citadas en el Anexo 10 son normas acordadas internacionalmente que deben cumplirse por lo general con carácter obligatorio, y de las que sólo pueden eximirse los Estados que hayan formulado una declaración de incumplimiento.

4.1.1.3 Las comunicaciones de seguridad y regularidad pueden dividirse en las dos categorías operacionales siguientes:

a) Comunicaciones del servicio de tráfico aéreo (ATS)

Según las disposiciones de la OACI, como se especifica en el Anexo 6 a su Convenio, y como se estipula en las reglamentaciones nacionales, un servicio de tráfico aéreo requiere que las aeronaves y las estaciones en tierra intercambien mensajes relativos al socorro, la urgencia, la seguridad y regularidad del vuelo y las condiciones meteorológicas. Esas comunicaciones son obligatorias en todo espacio aéreo promulgado por las autoridades nacionales como bajo control a efectos de tráfico aéreo, y tienen como fin específico garantizar la separación segura de las aeronaves en vuelo, y el aterrizaje y despegue seguros en los aeródromos.

b) Control aeronáutico operacional (AOC)

El ejercicio del control operacional por las organizaciones que explotan aeronaves es una práctica reconocida y necesaria, y está regulada por las normas acordadas internacionalmente que figuran en el Anexo 6 al Convenio mencionado. La definición de control operacional de ese documento contempla la ejecución del control sobre "el comienzo, la continuación, el desvío o la terminación de un vuelo en interés de la seguridad de la aeronave y la regularidad del vuelo. Ese control lo ejerce de ordinario la organización de explotación de la aeronave responsable del vuelo". Desde hace mucho tiempo se ha reconocido que las comunicaciones de control operacional pertenecen a la categoría de las comunicaciones de seguridad y regularidad comprendidas en el número RR 3630 (véase también la disposición 27/194A del Apéndice 27 Aer2 del Reglamento de Radiocomunicaciones).

4.1.2 Correspondencia pública aeronáutica (APC)

4.1.2.1 La correspondencia pública se menciona en el número RR 110 del Reglamento de Radiocomunicaciones (transcripción de la disposición 2004 del Convenio de la UIT). La definición no exclusiva de esos documentos especifica que el acceso por el público es una característica fundamental que se relaciona con esa categoría de correspondencia. En el contexto del servicio móvil aeronáutico y las disposiciones recientemente acordadas de acceso para la

correspondencia pública, se puede suponer que esa clasificación incluirá todas las comunicaciones que no satisfacen la definición de seguridad y regularidad del vuelo (Ref. párrafos 5.1.8.4 y 5.4.8.6 del Anexo 10, Volumen II de la OACI). Esas comunicaciones pueden ser de telefonía vocal, telefonía de datos u otros datos que se transmitirán por las redes públicas fijas, y pueden estar destinadas a las necesidades de los pasajeros, de la tripulación, o a los objetivos de la compañía aérea diferentes del control operacional propiamente dicho.

4.1.2.2 Dentro de la definición amplia de la APC se han mencionado o señalado los siguientes tipos de comunicación en los debates relacionados con la autorización de la correspondencia pública en el servicio móvil aeronáutico:

a) Comunicaciones de pasajeros de aeronave

Esta categoría comprendería todos los servicios de comunicaciones utilizados por los pasajeros para comunicarse con tierra mientras la aeronave está en vuelo. El elemento principal de esta categoría sería las comunicaciones telefónicas transmitidas por métodos analógicos o digitales; no obstante, también se puede considerar miembro de esta clase a las comunicaciones que responden a las necesidades personales de la tripulación o de otro personal de la compañía que se encuentran a bordo. Esta clasificación también abarcaría las comunicaciones no relacionadas con la navegación aérea efectuadas por los pasajeros y, o la tripulación de pequeños aviones para ejecutivos.

b) Comunicaciones administrativas aeronáuticas (AAC)

Las organizaciones que explotan aeronaves tienen necesidades de comunicaciones relacionadas con los aspectos comerciales del vuelo y el servicio de transporte aéreo. Esas comunicaciones no caen dentro del ámbito de la categoría de control operacional y pueden estar relacionadas con una diversidad de objetivos, tales como la reservas de transporte aéreo y terrestre, el desplazamiento de la tripulación y la aeronave, la organización de los servicios y existencias para los viajes de ida y vuelta o cualquier otro objetivo logístico que sirva para mantener o mejorar la eficacia de toda la operación de vuelo. Un requisito básico sería que el objetivo estuviera asociado con la aerolínea, la aeronave, la tripulación o los pasajeros, y un vuelo (o vuelos) particular(es).

4.2 Requisitos de comunicación para los servicios aeronáuticos de seguridad

4.2.1 Esos requisitos se pueden describir así:

- a) Dada la indole mundial de la aviación civil, por la que en cuestión de horas el mismo avión puede estar en partes muy diferentes del mundo, es preciso contar con normas (técnicas y operacionales) internacionales para las comunicaciones aeronáuticas de seguridad y regularidad de los vuelos.

- b) Los parámetros y las prácticas del sistema de comunicación deben garantizar un nivel muy alto de calidad, integridad, fiabilidad y disponibilidad. Las actividades internacionales de tráfico aéreo se realizan predominantemente mediante vuelos por instrumentos y están sujetas al control de tierra. En consecuencia, se precisan comunicaciones día a día y minuto a minuto para garantizar la separación de las aeronaves a efectos de seguridad así como para el logro de operaciones regulares y económicas. Son necesarios un acceso virtualmente inmediato y la garantía de que los mensajes no están sujetos a errores de comprensión, dado que a veces sólo se dispone de pocos segundos para evitar un accidente.
- c) Debido a las altas prestaciones indicadas en el b) anterior, resulta fundamental que esos servicios estén protegidos contra la interferencia perjudicial, de conformidad con la disposición RR 953 del Reglamento de Radiocomunicaciones.
- d) Dado el largo ciclo de vida de las aeronaves y de los equipos aeronáuticos de comunicaciones, resulta fundamental disponer del espectro adecuado para realizar los servicios a corto plazo y dar cabida a los futuros planes mundiales de crecimiento evolutivo manteniendo, como mínimo, el elevado nivel actual de seguridad.

4.2.2 El servicio móvil aeronáutico por satélite tiene varias características peculiares que resultan de los siguientes requisitos:

- a) el tiempo necesario para establecer una conexión debe ser extremadamente corto, no superior a 2-5 segundos; esto se relaciona con la necesidad de garantizar la seguridad de vuelo;
- b) la necesidad de transmitir grandes volúmenes de información altamente prioritaria (ATS, AOC);
- c) la baja p.i.r.e. de las comunicaciones por satélite de las estaciones de aeronave; y
- d) las considerables limitaciones relativas a la carga y las dimensiones totales de las estaciones de aeronave para comunicaciones por satélite, etc.

4.2.3 Prioridad

4.2.3.1 Cabe señalar que en la nota 729A (MOB-87) del Reglamento de Radiocomunicaciones se estipula que debe darse prioridad en todo momento a las comunicaciones necesarias para el funcionamiento de la aeronave (prioridades 1 a 6 del Artículo 51 del Reglamento de Radiocomunicaciones). Cuando todos los tipos de mensaje descritos más arriba se transmiten por un sistema común, se proporcionará un medio técnico para garantizar que los mensajes aeronáuticos con prioridades 1 a 6 no sufren retrasos ocasionados por mensajes de prioridad más baja.

4.2.3.2 Los servicios ATS y AOC cursan las comunicaciones de más alta prioridad relacionadas con la seguridad y regularidad de los vuelos. Las comunicaciones AAC y de pasajeros tienen baja prioridad, no pertenecen a la categoría de seguridad, y pueden ser desplazadas cuando se rebasa la capacidad del sistema o en situaciones de emergencia. Las comunicaciones de pasajeros y administrativas se pueden prohibir durante ciertas condiciones del vuelo y, en consecuencia, no siempre pueden estar disponibles para su uso.

4.2.4 Consideraciones sobre calidad de funcionamiento

La calidad de los canales depende de los tipos de comunicaciones y se considera que se necesita una proporción de bits erróneos de aproximadamente 10^{-5} para la comunicación de datos y de aproximadamente 10^{-3} para la voz. Pueden utilizarse técnicas de corrección de errores sin canal de retorno (FEC) y de entrelazado para reducir el efecto de los bits erróneos. En los canales de comunicación que exigen una alta integridad, puede aplicarse codificación de bloque adicional. Pueden utilizarse técnicas de petición automática de repetición (ARQ) para mejorar la probabilidad de transmisión de los mensajes.

4.3 Cobertura de servicio

4.3.1 La zona en la que deben estar disponibles los servicios proporcionados desde el satélite para las comunicaciones aeronáuticas depende de un cierto número de factores, entre los cuales se encuentra:

- 1) la ganancia efectiva de la antena de la aeronave orientada hacia el satélite durante la maniobra de la aeronave;
- 2) el nivel de señal recibido por el satélite procedente de la aeronave con la que se está comunicando; este nivel depende de las ganancias de las antenas del satélite y de la aeronave, y de las pérdidas del trayecto en dirección al satélite;
- 3) la p.i.r.e. de la señal emitida por el satélite;
- 4) el nivel de la señal recibida en la aeronave procedente del satélite con el que se está comunicando.

4.3.2 Una limitación fundamental de la zona de servicio es la de la geometría referente a la órbita del satélite geoestacionario. Ello conlleva una pérdida de cobertura en las regiones polares. Sería posible utilizar satélites en otras órbitas para cubrir las zonas no servidas por los satélites geoestacionarios. Estos sistemas se hallan actualmente en estudio.

4.4 Interconexiones de sistemas y de redes

Habrá que elaborar métodos de conexión con sistemas y redes públicos y privados, teniendo en cuenta el asesoramiento de los organismos apropiados.

5. Conclusión

El análisis de las comunicaciones aeronáuticas por satélite debe tener en cuenta las necesidades prioritarias del funcionamiento seguro de la aeronave. Es indispensable que la electrónica de a bordo cumpla los severos requisitos del entorno de la aeronave. Además, habrá que considerar la posibilidad de compatibilidad y de utilizar partes comunes con otros sistemas de comunicaciones por satélite tales como los sistemas de comunicaciones móviles marítimos y terrestres, a fin de aprovechar al máximo los aspectos de tales sistemas como la compartición de segmentos espaciales, etc. Los aspectos se analizan con más detalle en el Informe 1180, sobre aspectos de compartición entre los diferentes servicios móviles por satélite.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- DEMENT, D.K. [Junio, 1987] AvSAT: An Aeronautical Satellite Communications System, ICC'87.
- HASE, Y., OHMORI, S. y KOSAKA, K. [Mayo, 1986] Experimental Mobile Satellite System (EMSS) using ETS-V, 15th Int. Symp. on Space Technology and Science, Tokio.
- INMARSAT [1987] Inmarsat Aeronautical System Definition Manual. (40 Melton Street, Londres, NW1 2EQ Reino Unido.)
- NEUL, A., HAGENAUER, J., PAPKE, W. y DOLAINSKY [Junio, 1987] Propagation Measurements for Aeronautical Satellite Channel, 37th IEEE Vehicular Technology Conference, Florida.
- NIIMI, K., ITO, M., FUJITA, M., MIGAKI, M. y NASU, H. [Julio, 1987] Airborne Equipment for Navigation Experiment Using ETS-V, SANE87-12, Tech. Rep. of IEICE.
- OACI [1986] Report, ICAO Special Committee on Future Air Navigation Systems. Tercera reunión, 3-21 de noviembre de 1986. Doc. 9503 de la OACI, FANS/3, punto 5.2.3 y apéndices correspondientes.
- OHMORI, S., HASE, Y., KOSAKA, K. y TANAKA, M. [1986] Aircraft Earth Station for Experimental Mobile Satellite System, Toronto.
- ROGARD, R. y PINELLE, M. [junio de 1987] Produt Aeronautical Communication System: Overall architecture and preliminary test results. ICC'87.
- SCHOENENBERGER, J.G y McKINLAY, R.A. [1988] - An airline passenger telephone system - design development and early trials. Proc. IEE.
- SMITH, G.K. [Junio, 1987] INMARSAT Plans For Early Introduction of Aeronautical Satellite Communications, IEEE International Conference on Communications (ICC), Seattle.
- WACHIRA, M., SHOAMANESH, A. y AZARBAR, B. [Junio, 1987] Design Considerations for the Canadian First Satellite System, ICC'87.
- OACI [1988] - Report, ICAO Special Committee on Future Air Navigation Systems, cuarta reunión, mayo de 1988, Documento 9524 de la OACI, FANS/4.
- MAKITA, F., KOSAKA, K., MAEKITA, K., NAKAMURA, H., KASHIWABARA, S., y SAITOH, H., [octubre, 1988] - Field Trials of Aeronautical Satellite Communication System, 4th International Conference on Satellite Systems for Mobile Communications and Navigation.
- HASE, Y., TAIRA, S., WAKANA, H., y OHMORI, S., [junio, 1988] - ETS-V/EMSS Experiments on Aeronautical Communications, IEE International Conference on Communications (ICC 89), Boston, EE.UU., Conf. Record.

ANEXO I

CONSIDERACIONES DE COMPARTICIÓN DE FRECUENCIAS ENTRE EL SERVICIO
MÓVIL AERONÁUTICO POR SATÉLITE Y EL SERVICIO FIJO
TERRENAL EN LAS BANDAS DE 1,5 - 1,6 GHz

1. Introducción

En el Cuadro de atribución de bandas de frecuencias (Artículo 8) del Reglamento de Radiocomunicaciones (RR), modificado por la CAMR-MOB-87, se atribuyen a título primario al servicio móvil aeronáutico por satélite (R) las bandas 1 545 - 1 555 MHz (espacio-Tierra) y 1 646,5 - 1 656,5 MHz (Tierra-espacio). En las bandas de frecuencias 1 555 - 1 559 MHz y 1 656,5 - 1 660,5 MHz atribuidas al servicio móvil terrestre por satélite, se permiten las estaciones terrenas de aeronave con arreglo al RR 730A. La CAMR-MOB-87 permitió la correspondencia pública procedente de aeronaves en partes de estas bandas (RR 729B). Las bandas de frecuencias 1 550 - 1 559 MHz y 1 646,5 - 1 660 MHz están también atribuidas al servicio fijo a título primario dentro de las administraciones citadas en RR 730. Hay que señalar que la mayoría de las atribuciones al SMAS están compartidas con el servicio fijo que opera a título secundario (RR 727).

En el Cuadro I se indican los modos de interferencia potenciales entre el servicio fijo terrenal y el servicio móvil aeronáutico por satélite en las bandas 1,5 - 1,6 GHz, haciendo referencia a los puntos correspondientes de este anexo.

CUADRO I - Modos pertinentes de interferencia

<u>Estación interferente</u>	<u>Estación deseada</u>	<u>Banda de frecuencias</u>	<u>Punto del anexo I</u>
Fija	Satélite	1 646,5 - 1 660	2
Satélite	Fija	1 550 - 1 559	3
Estación terrena	Fija	1 646,5 - 1 660	4
Fija	Estación terrena	1 550 - 1 559	5

Como hasta el momento están sin definir o no se conocen muchas de las características fundamentales de los sistemas del SMAS, incluyendo los balances de ruido de éste, no es posible abordar totalmente las mencionadas interacciones. Tal como se señala en el cuerpo del Informe, se prevé que esta situación cambie en el próximo futuro. Por otra parte, el servicio fijo está ya muy establecido. El Informe 379 da las características de algunos sistemas representativos del servicio fijo y varias Recomendaciones de la Comisión de Estudio 9 definen y aplican, respectivamente, los balances de interferencia del servicio fijo respecto al servicio fijo por satélite. Se supone que este balance de interferencia del servicio fijo por satélite pueda ser también aplicable al SMAS.



2. Interferencia causada a receptores de estación espacial del SMAS por las transmisiones del servicio fijo

El Artículo 27 del Reglamento de Radiocomunicaciones estipula los límites de puntería de la antena, potencia de entrada a la antena y p.i.r.e. para las estaciones fijas de forma que queden protegidos los receptores de estación espacial indicados anteriormente. Estos límites se basan en la Recomendación 406 y se obtienen partiendo de consideraciones sobre los sistemas del servicio fijo por satélite que funcionan en frecuencias muy superiores a 1,6 GHz. Más adelante se examina la aplicación de estos límites al SMAS; no obstante, no puede realizarse un análisis definitivo hasta que se establezcan los balances de ruido e interferencia para el SMAS (para un ejemplo de análisis aplicado al servicio móvil marítimo por satélite, véase el Informe 917).

El Artículo 27 del Reglamento de Radiocomunicaciones desaconseja la utilización de una p.i.r.e. mayor de 35 dBW para una puntería de antena en un margen 2° de la órbita geoestacionaria. Cuando ésto no puede cumplirse, el límite es de 47 dBW para las antenas que apuntan en un margen de 0,5° de la dirección de la órbita geoestacionaria y se incrementa hasta 55 dBW cuando el ángulo respecto del eje aumenta hasta 1,5°. Estas restricciones de puntería, están concebidas aparentemente para los sistemas típicos de relevadores radioeléctricos que funcionan en frecuencias mayores en las que las anchuras de banda de potencia mitad son del orden de 1° o menos. No obstante, a 1 660 MHz, una anchura de haz de 1° requiere un diámetro de antena de 12,8 metros como mínimo. Una situación más probable puede ser aquella en que las antenas de los relevadores radioeléctricos que funcionan en 1,6 GHz tengan un tamaño entre 1 m y 3 m, y una anchura de haz entre 12,8° y 2,6°. Así pues, las actuales restricciones de puntería del Reglamento de Radiocomunicaciones que oscilan entre ángulos respecto del eje de 0,5° y 2°, no parecen tener mucho sentido.

Los límites anteriores en cuanto a la p.i.r.e. y la puntería, se obtuvieron de un análisis de las iluminaciones del satélite con el haz principal del radioenlace, suponiendo que había pocas de dichas intersecciones y que la mitad de la interferencia correspondiente a este modo, procedería de estas aportaciones "directas". Se suponía que la otra mitad de la potencia de interferencia calculada para este modo, procedía de contribuciones "indirectas" según las cuales las señales interferentes eran radiadas por lóbulos laterales distantes de la estación fija entrando en el haz principal del satélite (se consideraba que el acoplo de un lóbulo lateral a otro, era despreciable). El límite de 13 dBW de potencia de entrada a la antena que figura en el Artículo 27, se basa en un análisis de las contribuciones "indirectas" que puede suponerse que corresponden a p.i.r.e. hacia el satélite comprendidas entre 8 dBW y 13 dBW (el Informe 614 propone un valor de la ganancia de antena de la estación fija de -5 dBi para esta situación, aunque el diagrama de la antena de referencia en este caso, tiene una ganancia mínima de 0 dBi).

Algunos sistemas planificados del SMAS prevén utilizar valores de p.i.r.e. en la estación terrena móvil de aeronave, comprendidos entre unos 3 dBW y 26 dBW, dependiendo del tipo de servicio [AMSC, 1988; Smith, 1987]. Podría parecer, que los límites señalados en la actualidad por el Artículo 27 no son adecuados para proteger dicho sistema del SMAS al ser las p.i.r.e., y tal vez las densidades de potencia de las señales interferente y deseada, comparables. No obstante, la situación real de compartición puede ser aceptable de hecho, teniendo en cuenta lo siguiente:

- La puntería de la antena de la estación fija, los niveles de potencia de entrada, y las p.i.r.e. reales pueden limitarse suficientemente para impedir la interferencia perjudicial. (Un examen preliminar de las asignaciones pertinentes de frecuencia para el servicio fijo inscritas en la IFRB, indica que los niveles de la potencia de entrada en la antena van desde 3 dBW a 10 dBW y que los valores típicos de las p.i.r.e. oscilan entre 38 dBW y 40 dBW. Aunque estos valores están muy por debajo de los límites especificados en el Artículo 27 del Reglamento de Radiocomunicaciones, son no obstante, motivo de inquietud para el SMAS. Cabe la posibilidad de que las administraciones no notifiquen todas las asignaciones al servicio fijo, como por ejemplo las correspondientes a estaciones situadas muy al interior de sus fronteras territoriales y que las características mencionadas pueden no ser representativas de todos los sistemas en explotación.)
- Aunque pueden utilizarse muchos satélites del SMAS, puede que sea posible el que las estaciones fijas observen las restricciones adecuadas de puntería, respecto a las posiciones particulares de los satélites en oposición a las de la órbita geoestacionaria en general.
- En los casos en que una portadora residual de una estación fija, supere un límite adecuado de la p.i.r.e. o de la densidad de potencia, sin que lo haga el balance de la emisión, puede ser posible en los primeros años de la explotación del SMAS rebajar el límite para el caso de un sistema SMAS que utilice el AMDF (los sistemas del SMAS que utilizan el AMDT de banda ancha tal vez no estén en condiciones de ofrecer dicha posibilidad). Esto puede ser práctico siempre que el plan de frecuencias del sistema SMAS, no quede limitado de forma indebida, y que los niveles de intermodulación y de pérdida de potencia del transpondedor sean suficientemente bajos.

3. Interferencia causada a receptores del servicio fijo por transmisiones de estaciones espaciales del SMAS

El Artículo 28 limita la interferencia producida por satélites a estaciones terrenales fijando límites de la densidad espectral de flujo de potencia. Sin embargo, no existen límites de la DFP en las actuales disposiciones del Artículo 28 en relación con la banda de frecuencias indicada en la disposición RR 730.

Como ejemplo de la magnitud de las DFP actualmente esperadas en SMAS, se emplean los siguientes valores:

$$-165 \text{ dBW/m}^2 \cdot \text{Hz}$$

Estos valores se basan en la ecuación siguiente para la DFP requerida:

$$\text{DFP (dBW/m}^2 \cdot \text{Hz)} = E_b/N_o + T - 228,6 + 10 \log (R/B) - A_o + M \quad (1)$$

siendo:

- E_b/N_o - relación (en dB) entre la energía por bit y la potencia de ruido por Hz, necesaria para una proporción de errores en los bits especificada;
- T - temperatura de ruido del sistema receptor (en dBK);
- R - velocidad de datos (en bits por segundo) suponiendo una MDP-2;
- B - anchura de banda (en Hz) de la emisión procedente del satélite del SMAS (se supone que es la anchura de banda del lóbulo principal de la emisión que es el doble de la velocidad binaria para la MDP-2);
- A_o - superficie de la apertura efectiva en dB(m²) de la antena de la estación terrena móvil de aeronave;
- M - margen (en dB) para las pérdidas debidas a la propagación por trayectos múltiples, de polarización y otras degradaciones.

La OACI [OACI, 1986], ha especificado algunos de los parámetros necesarios para la ecuación (1), incluyendo una proporción de errores en los bits, no superior a 10^{-5} ; una G/T mínima del receptor de aeronave de -26 dB(K⁻¹), una ganancia de antena de 0 dBi, y una velocidad mínima de los datos de 600 bits por segundo. Con esto, se obtiene una E_b/N_o de 9,5 dB, suponiendo MDP-2, una T de 26 dBK (400 K) una R de 600 bits por segundo, una B de 1 200 Hz y siendo A_o -25,4 dB(m²). Como consecuencia, se necesita una DFP de -165 dBW/m²·Hz para tener un margen M de unos 6 dB que está entre los valores que se están considerando para varios sistemas operacionales del SMAS [Smith, 1987].

Aunque en el ejemplo anterior, la DFP del SMAS es considerablemente mayor que los límites obtenidos para el servicio fijo por satélite, los factores indicados a continuación pueden mejorar la situación de compartición.

- Algunos sistemas del SMAS pueden utilizar haces puntuales o subregionales desde la antena del satélite, con lo que se logra una discriminación hacia las estaciones fijas situadas fuera de la zona de cobertura.
- Se prevé que el número de satélites del SMAS será bastante menor que el número de satélites del servicio fijo que se han supuesto en el análisis de la DFP y sobre los que se basa el Artículo 28 del Reglamento de Radiocomunicaciones. En una zona dada cualquiera, no es probable que genere interferencias en la misma anchura de banda de referencia de 4 kHz más de uno de los canales de alta DFP mencionados. Esto queda prácticamente asegurado porque la antena de estación terrena de aeronave de 0 dBi que se ha supuesto no permite la reutilización de frecuencias en la misma zona en modo cocanal y copolar. Los canales del SMAS con una DFP inferior pueden generar dos contribuciones de interferencia en la misma anchura de banda de referencia de 4 kHz en la misma zona, pero tal vez den lugar a un nivel inferior de interferencia que el de un canal de alta DFP.

- Los sistemas fijos que funcionan en la banda de 12,5 GHz, podrán generalmente encuadrarse en circuitos con un número de enlaces considerablemente inferior que el supuesto para el circuito ficticio de referencia del servicio fijo. Son pocos los receptores del servicio fijo que puedan verse expuestos a la DFP del SMAS. Por tanto, la degradación total causada en los circuitos del servicio fijo por una DFP determinada en esta gama de frecuencias, puede ser inferior a la que se produce en frecuencias superiores en las que el circuito ficticio de referencia es el más representativo de las redes reales.

4. Interferencia causada a receptores del servicio fijo por transmisiones terrenas de aeronave

Las transmisiones de estaciones terrenas de aeronave pueden causar interferencia a receptores del servicio fijo, tal como se indica en el Informe 773. No obstante, en dicho estudio las mediciones mostraron que la interferencia era momentánea (y tal vez aceptable desde un punto de vista estadístico) debido a las pequeñas anchuras de haz de las antenas de estación fija que se consideraban (es decir, en las proximidades de 8 GHz). En la banda de 1,6 GHz hay que suponer anchuras de haz de la estación fija considerablemente más anchas. Los factores que minimizarán la posibilidad, duración y gravedad de esta interferencia perjudicial a 1,6 GHz son:

- La solución del problema de las estaciones fijas que interfieren con los satélites del SMAS si, por la planificación de frecuencias, se minimizan las posibilidades de que las estaciones terrenas de aeronave interfieran con las estaciones fijas. Las disposiciones en los planes de frecuencia que alivien un modo de interferencia, pueden mitigar también en cierta medida el otro modo si se utiliza el entrelazado de canales.
- Las distancias de separación a las que se produce la interferencia perjudicial, pueden no ser grandes, pues las p.i.r.e. del servicio fijo pueden ser considerablemente mayores que las de las estaciones terrenas de aeronave interferentes (véase el punto 2). Por tanto, este problema potencial puede ser motivo de coordinación y solución a nivel nacional, aunque no hay que prejuzgar que tenga que ser así.
- En el próximo futuro, las configuraciones geométricas en las que cabe esperar interferencia perjudicial, podrían corresponder a operaciones de aeronaves en las que se prevé una utilización relativamente limitada en algunas zonas del SMAS. Por ejemplo, en el caso de operaciones de aeronaves de ala fija para vuelos de baja altitud y baja velocidad. Por otra parte, algunas aeronaves tales como las de ala giratoria, pueden funcionar de forma característica en configuraciones en las que llegue a producirse interferencia perjudicial.

5. Interferencia causada a las estaciones terrenas de aeronave por transmisiones del servicio fijo

La probabilidad de interferencia causada por transmisiones del servicio fijo a la recepción de señales del SMAS a bordo de aeronaves es importante debido a los bajos valores de la p.i.r.e. procedentes de los satélites del SMAS y en consecuencia, los bajos niveles de la señal recibida, en comparación con los niveles de las p.i.r.e. y de la señal potencialmente interferente de las estaciones fijas. Además, las aeronaves que vuelan a gran altura posibilitan el hecho de interferencia procedente de transmisores terrenales distantes. Según

las geometrías de acoplamiento relativas de la antena transmisora del sistema de relevadores radioeléctricos y la antena de recepción por satélite de la aeronave, podría experimentarse una discriminación de antena de 0 dB. La distancia de visibilidad directa en la cual podría recibirse una señal desde el sistema de relevadores radioeléctricos terrenal es de hasta unos 400 km. Por tanto la señal no deseada recibida puede ser más de 30 dB mayor que la señal del satélite, en condiciones de visibilidad directa, dependiendo de las densidades de la p.i.r.e. espectral de la estación del satélite y la estación fija.

En las zonas por las que discurren rutas aéreas de gran densidad de tráfico puede aliviarse la interferencia potencial mediante: selección de las ubicaciones del servicio fijo, potencias reducidas del transmisor con trayectos más cortos, protección por el terreno, planificación de frecuencia y separación geográfica. La comprobación de la viabilidad de estas medidas exige ulterior estudio.

6. Resumen

Se ha efectuado una evaluación preliminar de la compartición de frecuencias entre el SMAS y el servicio fijo. Se ha visto que existen posibilidades considerables de que haya interferencia perjudicial entre estos servicios. No obstante, hay que proseguir los estudios acerca de los temas siguientes:

- balances de ruido e interferencia para el SMAS;
- densidades espectrales de potencia típicas en el servicio fijo;
- deducción de los límites de la puntería de la antena de la estación fija, de la potencia de entrada y de la p.i.r.e. necesarios para proteger los satélites del SMAS;
- obtención de los límites de la DFP del satélite del SMAS necesarios para proteger las estaciones fijas;
- interferencia entre estaciones terrenas de aeronave y estaciones fijas, incluyendo la aplicación de los principios de coordinación y de zona de protección del Informe 773.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMSC [1988] American Mobile Satellite Corporation - Application of the American Mobile Satellite Corporation to the Federal Communications Commission, 1 de febrero de 1988.

OACI [1986] Tercera Reunión de la Comisión Especial de la OACI sobre sistemas futuros de navegación aérea. FANS/3. Documento 9503, noviembre de 1986.

SMITH, G.K. [junio de 1987] INMARSAT plans for early-introduction of aeronautical satellite communications. IEEE International Conference on Communications, (ICC), Seattle, Estados Unidos de América, junio de 1987.

ANEXO II

SERVICIO MUNDIAL AIRCOM PREVISTO

1. Introducción

En el presente anexo se describe el servicio mundial aeronáutico móvil por satélite (AIRCOM) previsto, que se ofrecerá a las líneas aéreas comerciales y sus pasajeros.

En la planificación y el suministro del servicio AIRCOM participan OTC de Australia, Teleglobe de Canadá, France Telecom y SITA (Société Internationale des Télécommunications Aeronautiques).

Las características de red de este servicio serán plenamente compatibles con las especificaciones para el servicio aeronáutico móvil por satélite de INMARSAT y la especificación 741 del Airline Electronic Engineering Committee (AEEC).

2. Servicio AIRCOM por satélite

El sistema AIRCOM por satélite ofrecerá comunicaciones completas de datos aire-tierra con capacidades de telefonía de alta calidad aire-Tierra para las siguientes aplicaciones:

- control aeronáutico operacional (AOC),
- comunicaciones administrativas aeronáuticas (AAC), y
- comunicaciones aeronáuticas de pasajeros (APC).

El sistema también cursará comunicaciones relacionadas con los servicios de tráfico aéreo (ATS), incluidas la vigilancia dependiente automática, y las comunicaciones de voz y datos efectuadas entre la tripulación o sistemas de la aeronave y el personal o terminales de ATS.

Entre las ventajas que este servicio ofrecerá a los explotadores de aerolíneas y aeronaves se encuentran:

- Una red coordinada de estaciones terrenas para el acceso al segmento espacial disponible en tres regiones oceánicas: las regiones de los Océanos Atlántico, Índico y Pacífico.
- Plena compatibilidad con los servicios de comunicaciones aeronáuticas en ondas métricas, tanto en la aeronave como en tierra.
- Interfaces uniformes con las redes públicas para garantizar la conmutación completa y eficaz de llamadas telefónicas y de datos.
- Administración centralizada del servicio, incluida la facturación a los pasajeros por cuenta de las líneas aéreas.
- Asistencia a las líneas aéreas en la planificación e introducción del servicio, incluidas la coordinación y el apoyo durante los programas de prueba.

En lo que respecta a las comunicaciones de datos, se pueden considerar las siguientes aplicaciones típicas de AOC/AAC:

- Informes meteorológicos de aeronave enviados automáticamente a las estaciones meteorológicas en todo el mundo, destinados a otras aeronaves que vuelan en la misma zona.
- Acceso fácil y automatizado a las facilidades terrestres para los tripulantes técnicos, por ejemplo: planificación del vuelo, servicios meteorológicos de superficie y NOTAM "(Notice to Airmen)", semejantes a los disponibles en la base principal de la línea aérea.
- Análisis en tiempo casi real de los datos sintetizados mediante unidades digitales de adquisición de datos durante el vuelo (DFDAU) o sistemas de control de las condiciones de aeronave (ACMS).
- Comunicaciones administrativas aeronáuticas para abrir una nueva gama de servicios durante el vuelo, tales como reservas, asistencia y procedimientos de llegada, etc.

Desde el punto de vista técnico, las comunicaciones de datos AIRCOM por satélite estarán disponibles para las aeronaves que tengan las siguientes características:

- una antena de aeronave de ganancia baja (0 dBi), que permita cursar servicios de datos a baja velocidad, desde 600 bit/s, con la posibilidad de alcanzar 1200 bit/s con la futura generación de satélites; o
- una antena de ganancia alta (12 dBi), mediante la que el sistema puede cursar varios flujos de datos de hasta 10,5 kbit/s y comunicaciones vocales de alta calidad codificadas a 9,6 kbit/s.

En lo que respecta a las comunicaciones telefónicas, se ofrecerá lo siguiente:

- Comunicaciones telefónicas entre la tripulación de la aeronave y la Red Telefónica Pública con Conmutación (RTPC), las redes privadas de las líneas aéreas y los centros ATS, etc.
- Comunicaciones aeronáuticas de pasajeros (APC) con marcación directa desde la aeronave. Llamadas a cualquier lugar del mundo a través de las redes RTPC internacionales, con tarjetas de crédito y sin la asistencia del personal de cabina.

La aviónica y los equipos de estación terrena de superficie (GES) darán prioridad absoluta a las comunicaciones ATS y AOC de socorro y seguridad.

3. Características de red del sistema AIRCOM por satélite

La configuración del sistema consistirá inicialmente en cinco estaciones terrenas terrestres (GES) que abarcarán las tres regiones oceánicas. Esas estaciones trabajarán con el satélite en las bandas 3/6 GHz y 1,5/1,6 GHz, y proporcionarán el interfaz con la red terrenal de comunicaciones públicas y privadas de datos y voz.

Las estaciones terrenas de aeronave (AES) comunicarán con el segmento espacial en la banda 1,5/1,6 GHz, y servirán de interfaz con el equipo de aeronave para las comunicaciones de pasajeros y de tripulación.

En los Cuadros II, III y IV que siguen, se resumen las características principales del sistema aeronáutico, de la estación terrena terrestre típica y de la estación terrena de aeronave típica, respectivamente.

4. Resumen

La realización del servicio AIRCOM por satélite se prevé para mediados del decenio de 1990, y será uno de los primeros sistemas que proporcionará un servicio aeronáutico móvil por satélite mundial conforme a las normas de INMARSAT, la OACI y el AEEC. Se espera que el servicio contribuya significativamente en los próximos años a mejorar la seguridad y la economía del tránsito aéreo, y que proporcione servicios de comunicación a los pasajeros de las líneas aéreas.

CUADRO II - Principales características del sistema AIRCOM por satélite

<u>Características del sistema</u>	<u>Sistema plenamente operacional</u>
Ganancia de la antena de la estación terrena de aeronave	0 dBi y 12 dBi
Servicios de comunicaciones	
- ATS voz y datos	Aire-Tierra y Tierra-aire
- Correspondencia pública-voz	Aire-Tierra y Tierra-aire
- Correspondencia pública-datos	Aire-Tierra y Tierra-aire
- Operaciones de línea aérea	Aire-Tierra y Tierra-aire
Interconexión de la estación terrena terrestre	Interconexión plena dentro de las regiones oceánicas y entre ellas (o sea, enlaces entre estaciones terrenas terrestres y entre estaciones de coordinación de la red)
Asignación de canal	Preasignados, más reserva centralizada de la estación de coordinación de la red común
Velocidades de canales de datos y señalización:	Velocidades medias y velocidades altas
- Canales de ida	600, 1 200, 2 400, 4 800 y 10 500 bit/s (seleccionables)
- Canal de retorno	600, 1 200, 2 400 y 10 500 bit/s
Velocidad del canal vocal	Codificado a velocidad mitad: 21 000 bit/s
Anchura de banda del canal	2,5 - 17,5 kHz
Velocidad de codificación vocal:	9,6 kbit/s inicialmente (en el futuro se podrá disponer de otras velocidades binarias, por ejemplo, 2,4 a 16 kbit/s)

CUADRO II - (Cont.)

Técnicas de acceso al canal:

-	Voz	Un solo canal por portadora (SCPC)
-	Datos y señalización de ida	MDT
-	Datos y señalización de retorno	Acceso aleatorio (método Aloha ranurado) y AMDT-reserva

Modulación del canal/técnica de codificación:

-	Voz	MDPB-A con codificación FEC de relación 1/2 ó 3/4
-	Datos/señalización	MDPQ-A (MDPB-A con velocidades de canal superiores) Codificación FEC de relación 1/2 (la FEC consiste en codificación por convolución y decodificación de Viterbi con longitud k=7)

CUADRO III - Características de la estación terrena terrestre típica

G/T (ondas centimétricas)	32,0 dB(K ⁻¹) min
(ondas decimétricas)	2,0 dB(K ⁻¹) min
Ganancia de la antena	
(ondas centimétricas)	54 dBi min, transmisión
(ondas centimétricas)	50,5 dBi min, recepción
(ondas decimétricas)	29,5 dBi min, transmisión
	29,0 dBi min, recepción
Polarización	
(ondas centimétricas)	Polarización circular dextrógira en transmisión/polarización circular levógira en recepción
(ondas decimétricas)	Polarización circular dextrógira en transmisión y recepción
Bandas de funcionamiento	
(ondas centimétricas)	6 425 - 6 443,0 MHz (transmisión)
	3 600 - 3 623,0 MHz (recepción)
(ondas centimétricas) ⁽¹⁾	1 530 - 1 559 MHz (recepción)
	1 626,5 - 1 660,5 MHz (transmisión)
Sistema de seguimiento	
	SEGUIMIENTO ESCALONADO
	Precisión de 0,01 grados RMS o mejor

(1) Estas bandas estarán disponibles en la estación terrena de superficie sólo para las pruebas de control automático de frecuencia y a efectos de vigilancia.

CUADRO III - (Cont.)

Diagrama de lóbulo lateral en transmisión (ondas decimétricas)	$G = 32-25 \log \theta$ para $1^\circ \leq \theta \leq 48^\circ$ $G = -10$ para $\theta > 48$
(ondas decimétricas)	$G = 40-25 \log \theta$ para $6^\circ < \theta \leq 40^\circ$ $G = 0$ para $\theta > 40$
Equipo de terminal aeronáutico terrestre (AGT) (estaciones terrenas)	Conforme a las especificaciones de INMARSAT y la especificación 741 del AEEC

CUADRO IV - Características de la estación terrena de aeronave típica

G/T	-26 dB(K ⁻¹) con antena de ganancia baja -13 dB(K ⁻¹) con antena de ganancia alta
Ganancia de la antena: (recepción/transmisión)	0 dBi antena de baja ganancia 12 dBi antena de ganancia alta
Polarización:	Circular dextrógira para recepción y transmisión
Bandas de funcionamiento: ⁽¹⁾	1 530 - 1 559 MHz (recepción) 1 626,5 - 1 660,5 MHz (transmisión)
Volumen de cobertura:	Azimut, 360° Elevación, entre 5° y 90°
Equipo de comunicación de la aviónica de aeronave	Conforme a las especificaciones de INMARSAT y la especificación 741 del AEEC (variante AMDF)

(1) Las bandas 1 530 - 1 544 MHz y 1 626,5 - 1 645,5 MHz están disponibles para las estaciones a bordo de aeronaves únicamente para fines de socorro y correspondencia pública (RR 963 y 3571).

ANEXO III

RESUMEN DEL SISTEMA AERONÁUTICO POR SATÉLITE DE INMARSAT

Este anexo contiene un resumen técnico del sistema aeronáutico por satélite puesto en servicio por INMARSAT y sus signatarios.

1. Introducción

La descripción completa del sistema figura en el documento de INMARSAT: "Aeronautical System Definitio Manual, SDM" (Manual de definición del sistema aeronáutico) [INMARSAT, 1989].

INMARSAT garantiza que el SDM incluye los requisitos técnicos y operacionales del sistema para las comunicaciones relacionadas con la seguridad y regularidad de los vuelos, tal como las define el comité especial de la OACI sobre el futuro sistema de navegación aérea (FANS), las normas y prácticas recomendadas (SARPS) preparadas por el Panel de la OACI sobre el Servicio Móvil Aeronáutico por Satélite (SMAS) y las normas mínimas de calidad de funcionamiento (MOPS) de la RTCA.

El diseño del sistema de INMARSAT incorpora necesidades anticipadas para, por lo menos, los próximos diez años y, por tanto, incluye facilidades que no se introducirán inmediatamente. INMARSAT ha seleccionado un subconjunto, denominado "sistema inicial", de las capacidades del sistema para su introducción inicial. Constituyen las bases para que los usuarios del sistema hagan la compra inicial de equipo de Tierra y para las aeronaves. Conforme lo requiera la demanda de los usuarios, se irán introduciendo otras características de diseño del sistema. Las progresivas mejoras del sistema se incorporarán constituyendo el denominado "sistema mejorado".

INMARSAT ha hecho un diseño detallado de un sistema aeronáutico por satélite que puede utilizar los actuales satélites de INMARSAT así como los que se lanzarán en el periodo 1989/90. Además, este diseño tiene en cuenta las mejoras que se introducirán en futuros sistemas por satélite, tales como los haces puntuales. El sistema proporciona, inicialmente, servicios de voz y datos, estando preparado para futuras mejoras, como por ejemplo, facilidades para la navegación.

Está previsto que el sistema sea operativo a nivel global en 1989. Los usuarios de los servicios de voz y datos serán las líneas aéreas (para el control de operaciones y tráfico administrativo), los servicios de tráfico aéreo (para el control del tráfico aéreo y la diseminación de información de seguridad), los usuarios de aviones de empresas (para télex, facsímil y comunicaciones de computador a computador), así como los viajeros de líneas aéreas. Será posible utilizar a nivel mundial técnicas que son nuevas para la aviación, como por ejemplo, la vigilancia de dependencia automática (ADS - información automática de la posición de la aeronave).

2. Capacidades del servicio

2.1 Requisitos del servicio

El diseño del sistema se basa en los requisitos del tráfico de las comunicaciones aeronáuticas, tal como han sido definidos por usuarios potenciales del sistema. Estos requisitos se continuarán mejorando conforme sea

mayor el conocimiento de las comunicaciones aeronáuticas por satélite y se amplíe la experiencia de utilización de este tipo de comunicaciones. Todos los tipos de aeronaves precisan de estos servicios, desde las grandes líneas aéreas comerciales a las pequeñas aeronaves de empresas y de la aviación en general.

2.2 Comunicaciones operacionales y de tráfico aéreo

Las comunicaciones necesarias para satisfacer las necesidades operacionales y de control del tráfico aéreo incluyen lo siguiente:

- Comunicaciones de datos aire-Tierra. Los mensajes pueden enviarse automáticamente o cuando lo requiera la tripulación. La longitud típica de los mensajes es de 100 a 2 000 bits, con una tasa de errores de 10^{-9} o mejor. Las líneas aéreas precisan de 5 a 30 mensajes por hora, pero para el ADS el volúmen de tráfico puede ascender a dos mensajes por minuto, o incluso más en breves periodos de tiempo.

Es obligatorio establecer prioridad para el tráfico relativo a la seguridad, manteniendo un tiempo mínimo de procesado, y un tiempo máximo de 3 a 5 segundos entre la generación de un mensaje urgente y su recepción.

- Comunicaciones de datos Tierra-aire. En general, habrá menos mensajes y serán más cortos que en el sentido aire-Tierra. Los mensajes tendrán una longitud de 100 a 1 000 bits, de los que una proporción elevada serán interrogaciones o peticiones de sondeo. Habrá también un número importante de mensajes en modo difusión.
- Comunicaciones vocales. Las comunicaciones vocales de la tripulación para el control del tráfico aéreo (ATC) y para el control aeronáutico operacional (AOC) exigen una buena calidad (inteligibilidad elevada). Las comunicaciones han de ser dúplex, pudiendo ser necesario, en determinadas circunstancias, que dos miembros de la tripulación realicen sendas comunicaciones simultáneas.

2.3 Comunicaciones de pasajeros

Las comunicaciones de los pasajeros exigen los requisitos siguientes:

- Comunicaciones vocales. Comunicaciones telefónicas de calidad semejante a la de la RTPC, con conexión automática a la red telefónica conmutada internacional.
- Comunicación de datos. Posibilidad de transmitir y recibir datos, incluyendo télex y facsímil.

Se precisarán hasta seis canales de voz para pasajeros por cada aeronave.

2.4 Tipos de servicios

Hay disponibles varios tipos de servicios de datos. Estos incluyen: transmisión de mensajes/servicios sin conexión en modo paquete.



Servicio "orientado a la conexión" en modo paquete

Este modo se caracteriza por el intercambio de información durante el periodo de establecimiento del enlace entre el equipo de usuario llamante, el equipo del usuario llamado y las redes terrestre y por satélite que intervienen en la comunicación. Después del establecimiento inicial del enlace, todos los paquetes subsiguientes transportan información abreviada de dirección y control, con muchos menos encabezamientos que los paquetes sin conexión. Este tipo de servicio es adecuado para diálogos de pregunta/respuesta, no existiendo límite en la longitud de los mensajes individuales.

Servicios en "modo circuito"

Las conexiones de datos en modo circuito proporcionan un medio de transmisión de datos extremo a extremo a una velocidad binaria definida sobre la que el usuario aplica sus propios protocolos. La transmisión en modo circuito no proporciona por tanto ninguno de los interfaces normalizados de paquetes o de los procedimientos de control de errores, pero puede ser útil para ciertas aplicaciones como, por ejemplo, el facsímil.

2.5 Servicios de datos para aplicaciones específicas

Los servicios especiales de datos incluyen los servicios en modo sondeo y las técnicas asociadas a los mismos. En el caso del sondeo un usuario de tierra solicitará a una aeronave que informe sobre determinados datos, de una vez o a intervalos regulares. Un ejemplo de ello son los mensajes ADS (vigilancia de dependencia automática) y los Informes sobre el estado técnico de la aeronave.

Se espera que el sondeo constituya una aplicación básica de los servicios de control de tráfico aéreo. En su forma más sencilla, el sondeo permite que un controlador de tierra envíe a un avión una instrucción para que éste informe de su posición inmediatamente. Otras formas de operación con sondeo están basadas en la información periódica por parte de las aeronaves en una secuencia determinada. Las aeronaves también pueden informar de forma aleatoria. Como continuación de los estudios desarrollados en el FANS, se determinará la aplicación de cada uno de dichos modos de funcionamiento. El sistema diseñado por INMARSAT puede trabajar en cualquiera de los modos identificados por el FANS.

3. Capacidades de los servicios vocales

Los servicios vocales son adecuados para su utilización en la cabina de pilotaje y en la cabina del pasaje. Las llamadas vocales realizadas desde la cabina de pasajeros pueden ser interrumpidas o limitadas desde la cabina de pilotaje, a discreción del piloto.

El sistema transmite la voz en forma digital. La velocidad de codificación de la voz se ha establecido inicialmente a 9,6 kbit/s, aunque se permite una amplia gama de velocidades en función de la calidad deseada y de las posibilidades tecnológicas. El sistema de codificación de la voz empleado se describe con más detalle en los párrafos siguientes.

3.1 Telefonía pública aire-Tierra

Los usuarios de los aviones utilizan el teléfono público como un teléfono normal de oficina para llamadas internacionales. Una llamada internacional se realiza marcando en primer lugar el prefijo internacional seguido del código de país y del número llamado, el sistema por satélite establece entonces la llamada automáticamente. Tanto la parte llamante como la parte llamada tienen la misma sensación en la marcación y posterior seguimiento de la llamada que en el caso de llamadas terrestres. En el caso de una llamada de pasajeros de líneas aéreas, existirá un medio de pago asociado al teléfono; habitualmente se utilizará un lector de tarjetas de crédito. En este caso, el sistema transfiere a tierra los datos relevantes de la tarjeta, en donde se combinan con información relativa a la llamada con fines de facturación; la autorización y las pruebas de validez de la tarjeta puede realizarse en el avión o en tierra.

Para su utilización en la cabina de pilotaje (o en la cabina del pasaje en una aeronave de empresa), la tasación se acompaña de un registro de la utilización del satélite en la GES. Los principales parámetros son la identidad de la aeronave y la duración de la llamada, que se registran controlando las señales internas del sistema utilizadas en el establecimiento y liberación de las llamadas.

3.2 Telefonía pública, Tierra-aire

Aunque el sistema puede cursar llamadas de este tipo, las llamadas de correspondencia pública Tierra-aire no están actualmente permitidas para los pasajeros de líneas aéreas. Existen diversas razones para ello: la localización de la parte llamada en una aeronave, la falta actual de medios para identificar un vuelo/aeronave concreto mediante un número telefónico público, así como motivos de seguridad. Las llamadas Tierra-aire dirigidas a la cabina de pilotaje (o a la cabina de un avión que no es de líneas aéreas) se realizan por medio de líneas privadas o mediante disposiciones especiales desde la red pública (autenticación de la llamada por la GES).

4. Aspectos técnicos del diseño del sistema

En este punto se presentan los aspectos técnicos del diseño del sistema.

4.1 Antenas de aeronave

Los terminales de aeronave funcionan en las bandas 1,6/1,5 GHz. En las comunicaciones por satélite el balance del enlace es un factor fundamental, y en el caso de las aeronaves es preciso tener en cuenta limitaciones en la calidad de las antenas de las aeronaves debidas a problemas tales como el montaje, la resistencia al aire y el peso. Debe lograrse un compromiso entre la ganancia máxima de antena (que implica reducir el coste del segmento espacial) y una penalización aceptable por incluir el equipo adicional (costes del capital y de mantenimiento y mejora de los equipos).

De cara al diseño del sistema se ha supuesto que los servicios pueden agruparse en dos categorías: por un lado, la transferencia de datos ocasionales o mensajes vocales codificados a baja velocidad y en un volumen reducido, y por otro, una combinación de tráfico vocal y transferencia frecuente de datos.

En el primero de los casos, el propietario del avión debe de instalar la antena penalizando al mínimo su inclusión en la aeronave, dado que se puede incurrir en costes de utilización más elevados que instalando un sistema de antena de alta ganancia. Con una ganancia de antena mínima de 0 dBiC, que puede conseguirse con una pequeña antena no direccionable de avión, se garantiza la transferencia de datos a velocidades de 300 bit/s utilizando los satélites actuales y los satélites planificados para servicios móviles en banda L*.; por ello se ha adoptado dicho valor. Antenas con dicha ganancia pueden ser de tipo hélice, de placa o dipolo caído, con los radomos adecuados. Las dimensiones de una antena tipo placa pueden ser aproximadamente de 15 x 15 cm, y una de tipo hélice puede colocarse en un ala de 20 cm de altura. Un sistema de antena de este tipo puede satisfacer requisitos que son obligatorios o que se constituyen como reserva de seguridad, o bien, para otras situaciones en las que se espera que el tráfico no sea intenso.

En todos los satélites existentes y previstos, se pueden cursar servicios de datos de alta velocidad binaria y servicios vocales de buena calidad (casi idéntica a la de la RTPC). Dadas las características de dichos satélites, se trata de servicios que utilizan haces globales y en banda L*. Tras un prolongado Periodo de Estudios en el que se han considerado diversas alternativas, se ha acordado que una ganancia mínima de antena de 12 dBiC penalizará aceptablemente los nuevos servicios vocales y de datos, permitiendo un coste de utilización suficientemente bajo como para permitir una introducción satisfactoria del sistema. Los nuevos diseños de satélites que hacen uso de haces puntuales para cubrir zonas con alta densidad de tráfico, tienen la ventaja de potenciales reducciones en el coste de provisión de los servicios.

Las antenas con una ganancia de 12 dBiC tienen una anchura del haz de unos 60 grados y deben ser orientables para ser compatibles con el movimiento del avión (típicamente balanceo de +/- 30 grados y cabeceo de +/- 15 grados). Pueden construirse de diversas maneras: con elementos mecánicamente orientables, con una red de elementos en fase montados superiormente, o en un ala mediante redes múltiples de elementos en fase. Los diversos tipos tendrán aplicación en los distintos modelos de aviones.

Se espera cursar la mayoría de los servicios, especialmente las comunicaciones vocales de los pasajeros, mediante la antena de "alta ganancia" de 12 dBiC con polarización circular (relación axial mejor que 6 dBO y nivel de cresta de lóbulos laterales por debajo de 13 dB con respecto al haz principal en todas las condiciones de orientación y en la dirección de cualquier satélite separado 45 grados o más del satélite deseado).

4.2 Características del canal físico

El canal físico aeronáutico por satélite incluye enlaces en banda L* entre la aeronave y el satélite, así como los enlaces de conexión entre el satélite y las estaciones terrenas aeronáuticas. Debido a las limitaciones de la antena de las aeronaves, los enlaces en banda L* se caracterizan por unas relaciones señal/ruido térmico bajas, así como por la presencia de desvanecimientos multitrayecto. Los enlaces de conexión no sufren desvanecimiento multitrayecto, pero están sometidos al desvanecimiento debido a las precipitaciones, que son función de la frecuencia. Los enlaces de conexión en banda C** se ven menos afectados, mientras que los enlaces en banda Ku*** (11 - 14 GHz) pueden verse afectados de forma muy severa (el diseño del sistema actual supone enlaces de conexión en banda C** porque todos los satélites de INMARSAT están así equipados; no obstante, esta suposición no es esencial y podrían utilizarse enlaces de conexión en otras frecuencias).

* Banda 1,5/1,6 GHz.

** Banda 3/6 GHz.

*** Banda 11/14 GHz.

El multitrayecto en banda L* se debe a las reflexiones en el mar (lejos por tanto de tierra) o en la estructura del propio avión, habiéndose estudiado y medido a fondo durante los últimos 20 años [ESA, 1985; DFVLR, 1987]. Las conclusiones de éstos y otros estudios son que el efecto multitrayecto es significativo para ángulos de elevación de 15 grados o menores, y que el diseño del sistema debe de hacerse con relaciones portadora/ multitrayecto (C/M) de, aproximadamente, 10 dB, con anchuras de banda de desvanecimiento de 30 Hz y mayores.

4.3 Velocidades binarias de transmisión

A fin de acomodar la amplia variedad de requisitos de servicio así como los dos tipos de antena y las diferentes capacidades de los satélites que estarán disponibles conforme evolucionen los sistemas aeronáuticos, es necesaria una amplia gama de velocidades binarias. Una limitación básica es la de poder operar todos los servicios en satélites de haces globales, lo cual limita la velocidad de transmisión a unas decenas de kbit/s cuando se utilizan antenas de alta ganancia, y a unos pocos cientos de bit/s con antenas de aeronave de baja ganancia. En el sentido Tierra-aire, los canales pueden agruparse en un canal de alta velocidad con multiplexación en el tiempo pero ello supone un haz de tamaño fijo y el consumo de la correspondiente anchura de banda durante toda la vida útil del sistema, siendo por ello y por otras razones por lo que no se ha adoptado en la definición del sistema.

4.4 Calidad de la voz

La economía en la provisión del servicio de voz, tanto para los pasajeros como para la tripulación, impone una velocidad de transmisión en el margen de 4 800 - 9 600 bit/s. No existe ningún algoritmo normalizado por el CCITT ni por ningún otro organismo para dichas velocidades binarias, y por ello transcurrirán algunos años antes de que alguna de las técnicas de codificación de la voz se convierta en la norma para estas aplicaciones. Para la provisión inicial del servicio, INMARSAT ha adoptado un códec vocal con una velocidad binaria de 9 600 bit/s. Se ha expresado un notable interés en utilizar un algoritmo a 8 000 bit/s. El trabajo en este área continúa muy activamente y es posible que en los próximos 2-3 años aparezcan códecs a 4 800 bit/s con la calidad adecuada.

4.5 Modulación y codificación

Esto se corresponde con la "capa física" del enlace por satélite. Se han seleccionado dos técnicas de modulación para las gamas de velocidad binaria de 600 - 2 400 bit/s y superior a 2 400 bit/s respectivamente. Hasta 600 bit/s se prefiere un esquema binario por su robustez al ruido de fase, a la distorsión multitrayecto y a las imperfecciones de los filtros, incluso a expensas de la eficacia en términos de anchura de banda. Ello se debe a que es probable que dicha velocidad binaria se utilice principalmente para los procedimientos de acceso inicial o como reserva de canales de superior velocidad binaria (por ejemplo, en el caso de pérdida de la antena de alta ganancia). El esquema seleccionado es la MDPB diferencial "simétrica", en la cual se inserta y elimina sucesivamente con cada bit transmitido una fase de la portadora de 90 grados, a fin de eliminar las variaciones de la envolvente de la señal de RF [Winters, 1984]. Ello permite el filtrado de la señal antes del amplificador no lineal de potencia, al tiempo que limita la dispersión espectral después del amplificador. Cuando este método de modulación se combina con el filtrado de canal definido para estas velocidades binarias (raíz de coseno alzado del 40%), se denomina "modulación por desplazamiento de fase binaria para la aviación" (MDPB-A).

Por encima de 2 400 bit/s se ha adoptado una técnica de cuadratura para mejorar la eficacia de la anchura de banda, que es coherente con las características de desvanecimiento rápido del canal. Esta es una forma de MDP-4 desplazada [Fang, 1981] que, al igual que para el caso binario, limita las fluctuaciones de la envolvente de la señal de RF y permite utilizar un amplificador no lineal en el canal de transmisión. Se ha definido, para su utilización en aplicaciones aeronáuticas, un filtro de canal normalizado (raíz de coseno alzado del 100%), y el resultado ha sido una técnica que se ha normalizado bajo la denominación de "MDP4-A" (MDP en cuadratura para la aviación). El diseño de los moduladores MDPB-A y MDP4-A y sus correspondientes características de filtro de conformación de impulsos y límites de densidad espectral de potencia se ilustran en las figs. 4 a 9.

4.6 Codificación de canal y entrelazado

Constituye también parte de la capa física del enlace por satélite. Las ganancias disponibles de las antenas de las aeronaves (de 0 a 12 dBiC), junto con la necesidad de operar con antenas de satélite "globales" (anchura del haz de unos 17 grados, ganancia de, aproximadamente, 17,5 dBi en el borde de la zona de cobertura a -5 grados de elevación), da lugar a enlaces con márgenes muy bajos entre el satélite y el avión, de manera que se hace necesario proteger las transmisiones con métodos de corrección de errores sin canal de retorno. La futura disponibilidad de satélites con haces puntuales de alta ganancia permitirá aumentar dichos márgenes y permitirá un compromiso entre anchura de banda y potencia de transmisión, no obstante actualmente los canales de voz y de datos están protegidos con técnicas de FEC.

Se aplica la codificación convolucional de tasa $-1/2$, con limitación de la longitud a 7 y entrelazado, para tener en cuenta las características de ráfagas con que se producen los errores en los canales dominados por efectos multitrayecto. Está previsto poder modificar la codificación en situaciones no limitadas en potencia, aumentando la tasa de codificación a $3/4$ en situaciones intermedias.

El criterio de error para la transmisión extremo a extremo en el canal es diferente para señales vocales y para transmisión de datos. Los datos deben tener mayor integridad, lo cual implica una tasa de errores en los bits máxima de usuario de 1 en 10^5 después de la decodificación FEC. Por otro lado, para la voz se considera adecuada una tasa de error de 1 en 10^2 para obtener una calidad semejante a la de la RTPC (muchos codecs de voz trabajarán con una BER media de hasta 1 en 10^2 , ya que incluyen una protección contra errores en partes críticas de la trama de codificación de la voz; sin embargo, en dichas circunstancias la calidad de la voz no será semejante a la de la RTPC).

La codificación convolucional sólo funciona eficazmente si las ráfagas de errores de canal se aleatorizan por medio del entrelazado. Ello se ha adoptado en el diseño del sistema, permitiendo el diseño del enlace una amplia gama de velocidades binarias utilizando una estructura de entrelazado común para conseguir una "profundidad" (potencia de aleatorización) de entrelazado constante para todas las velocidades binarias empleadas en la transmisión de datos. Sin embargo, el entrelazado introduce un retardo del orden de un segundo, lo cual no es aceptable para la transmisión de voz, y por tanto en este caso se utiliza un retardo de entrelazado más corto, del orden de 30 ms, limitando la efectividad del mismo.

4.7 Formato de transmisión de la capa del enlace de datos Unidades de señal

Dada la naturaleza del canal con desvanecimiento multitrayecto, es fundamental diseñar el formato de transmisión de forma que se garantice la máxima resistencia a las interrupciones cortas y repetitivas. Ello implica realizar la detección de errores en el enlace y utilizar los procedimientos de recuperación asociados. Para ello, en el diseño del sistema y a nivel del enlace, se ha dado forma a todos los datos, incluyendo los de control y señalización del sistema y los datos de usuario, en paquetes normalizados de longitud predeterminada, denominados "unidades de señal". Este concepto es una técnica muy conocida y normalizada para el envío de mensajes de señalización entre centrales en las redes públicas terrestres.

En el contexto actual, una unidad de señal normalizada ofrece la ventaja de una característica de error controlable y aplicable a todos los datos, así como una técnica normalizada para desensamblar todos los paquetes de datos, independientemente de que transporten datos de usuario o información de señalización/control del sistema. Para unidades de señal de tamaño predeterminado, las características de error se hacen mucho más predecibles que para paquetes de longitud variable.

4.8 Aplicaciones de datos (Interfaz de capa de red)

Actualmente es un requisito normal que cualquier diseño de un enlace de datos soporte el modelo de transmisión en capas de la ISO. En la práctica, cuanto más flexibilidad se incluye en el diseño de un sistema para adaptarse a esta situación, más se penaliza en términos de encabezamientos para datos de dirección y control. La potencia y la anchura de banda son factores tan críticos en un enlace por satélite, que es necesario algún compromiso en el proceso de estratificación, al menos en la capa 4 y superiores del modelo. Se ha aceptado, como parte del diseño del sistema, que el modelo debe soportar la estructura de capas hasta la capa 3 (capa de red) inclusive. Ello se ha conseguido utilizando paquetes de longitud variable en la capa de red con el fin de transportar datos de usuario y de direccionamiento, así como mediante la capacidad de poder establecer circuitos virtuales. Esta capa normalizada de transporte/red del sistema cumple la norma ISO 8202.

CUADRO V - Principales parámetros en banda L* de los satélites
de la primera y segunda generación de INMARSAT

Satélite/ paquete	p.i.r.e. dBW	G/T dB/K
MARECS	34,5	- 11,2
MCS	33,0	- 13,0
MARISAT	27,0	- 17,0
INMARSAT 2	39,0	- 12,5

* Banda 1,5/1,6 GHz.

CUADRO VI - Resumen de las características de transmisión del canal

Velocidad binaria canal (bit/s)	Separación canales (kHz)	Modulación	Duración de símbolos de modulación	
			Microsegundos	Muestras/simb. con reloj a 5,04 MHz
25 000	22,5	MDP4-A ¹	71,43	360
21 000	17,5	MDP4-A	95,24	480
14 000	12,5	MDP4-A	142,86	720
10 500		MDP4-A	190,48	960
7 200	7,5	MDP4-A	277,78	1 400
6 000	5,0	MDP4-A	233,33	1 680
5 250	5,0	MDP4-A	380,95	1 920
4 800	5,0	MDP4-A	416,67	2 100
2 400	5,0	MDPB-A ¹	416,67	2 100
1 200	5,0/2,5 ²	MDPB-A	833,33	4 200
600	5,0/2,5	MDPB-A	1.666,67	8 400

1 - Véase el § 4.5.

2 - Es posible tener 2,5 kHz en la dirección aire-Tierra.

CUADRO VII - Balances de enlaces de canales P,R y T

Balance del enlace de ida para canales de datos
a 600 bit/s (canal P) a 5° de elevación

Satélite	MCS	MARECS	INM-II	Ejemplo Haz puntual
<u>Requisitos del enlace</u>				
C/No requerida (dBHz)	35,7	35,7	35,7	35,7
<u>Enlace ascendente (Estación terrena-satélite)</u>				
Frecuencia (GHz)	6,42	6,42	6,42	6,42
Elevación est. terrena (grados)	5	5	5	5
Pérdidas del trayecto (dB) (incl. atmosf.)	201,3	201,3	201,3	201,3
G/T del satélite (dBK)	-14,0	-14,0	-14,0	-14,0
p.i.r.e. est.terrena (dBW)	62,0	62,0	62,0	62,0
C/No enlace ascendente (dBHz)	75,3	75,3	75,3	75,3
<u>Satélite</u>				
Ganancia satélite (dB)	161,3	161,3	161,3	174,3
C/IMo satélite (dBHz)	67,8	67,8	67,0	48,0
<u>Enlace descendente (Satélite estación terrena de aeronave)</u>				
Frecuencia (GHz)	1,54	1,54	1,54	1,54
Elevación E.T. aeronave (grados)	5	5	5	5
Pérdidas del trayecto (dB) (incl. atmosf.)	188,9	188,9	188,9	188,9
G/T del satélite (dBK)	-26	-26	-26	-26
p.i.r.e. del satélite (dBW)	22	22	22	23
C/No enlace descendente (dBHz)	35,7	35,7	35,7	36,7
<u>Calidad del enlace</u>				
C/No obtenida (dBHz)	35,7	35,7	35,7	36,4
Margen (dB)	0,0	0,0	0,0	0,7

Observación - Cuando se recibe con una ET de aeronave con antena de alta ganancia y G/T de -13 dBK, el margen del enlace será significativamente mayor.



CUADRO VII (Cont.)

Balance del enlace de retorno para canales
de datos (R y T) a 5° de elevación

Satélite	MCS	MARECS	INM-II	Ejemplo Haz puntual
<u>Requisitos del enlace</u>				
C/No requerida (dBHz)	35,7	35,7	35,7	35,7
<u>Enlace ascendente (Estación terrena-satélite)</u>				
Frecuencia (GHz)	1,64	1,64	1,64	1,64
Elevación est. terrena (grados)	5	5	5	5
Pérdidas del trayecto (dB) (incl. atmosf.)	189,4	189,4	189,4	189,4
G/T del satélite (dBK)	-13,0	-11,0	-12,5	-3
p.i.r.e. est.terrena (dBW)	13,5	13,5	13,5	13,5
C/No enlace ascendente (dBHz)	39,7	41,7	40,2	49,7
<u>Satélite</u>				
Ganancia satélite (dB)	150,9	151,3	158,0	167
C/IMo satélite (dBHz)	43,8	46,5	59,8	60
<u>Enlace descendente (Satélite estación terrena de aeronave)</u>				
Frecuencia (GHz)	4,2	4,2	3,6	3,6
Elevación E.T. aeronave (grados)	5	5	5	5
Pérdidas del trayecto (dB) (incl. atmosf.)	197,6	197,6	197,6	196,3
G/T del satélite (dBK)	32,0	32,0	30,7	30,7
p.i.r.e. del satélite (dBW)	-25,0	-24,6	-17,9	-17,9
C/No enlace descendente (dBHz)	38,0	38,4	45,1	54,1
<u>Calidad del enlace</u>				
C/No obtenida (dBHz)	31,1	36,3	38,9	48,1
Margen (dB)	-0,6	0,6	3,2	12,4

CUADRO VIII - Balance del enlace de un canal C

Balance del enlace de ida para canales de datos
a 21 000 bit/s (canal-C) a 5° de elevación

Satélite	MCS	MARECS	INM-II	Ejemplo Haz puntual
<u>Requisitos del enlace</u>				
C/No requerida (dBHz)	47,9	47,9	47,9	47,9
<u>Enlace ascendente (Estación terrena-satélite)</u>				
Frecuencia (GHz)	6,42	6,42	6,42	6,42
Elevación est. terrena (grados)	5	5	5	5
Pérdidas del trayecto (dB) (incl. atmosf.)	201,3	201,3	201,3	201,3
G/T del satélite (dBK)	-14,0	-14,0	-14,0	-14,0
p.i.r.e. est.terrena (dBW)	62,0	62,0	62,0	62,0
C/No enlace ascendente (dBHz)	75,3	75,3	75,3	75,3
<u>Satélite</u>				
Ganancia satélite (dB)	161,3	161,3	161,3	161,3
C/IMo satélite (dBHz)	67,8	69,0	67,0	60
<u>Enlace descendente (Satélite estación terrena de aeronave)</u>				
Frecuencia (GHz)	1,54	1,54	1,54	1,54
Elevación E.T. aeronave (grados)	5	5	5	5
Pérdidas del trayecto (dB) (incl. atmosf.)	188,9	188,9	188,9	188,9
G/T del satélite (dBK)	-13,0	-13,0	-13,0	-13,0
p.i.r.e. del satélite (dBW)	22	22	22	22
C/No enlace descendente (dBHz)	48,7	48,7	48,7	48,7
<u>Calidad del enlace</u>				
C/No obtenida (dBHz)	48,6	48,6	48,6	48,6
Margen (dB)	0,7	0,7	0,7	0,7

CUADRO VIII (Cont.)

Balance del enlace de retorno para canales de datos
a 21 000 bit/s (canal-C) a 5° de elevación

Satélite	MCS	MARECS	INM-II	Ejemplo Haz puntual
<u>Requisitos del enlace</u>				
C/No requerida (dBHz)	47,9	47,9	47,9	47,9
<u>Enlace ascendente (Estación terrena-satélite)</u>				
Frecuencia (GHz)	1,64	1,64	1,64	1,64
Elevación est. terrena (grados)	5	5	5	5
Pérdidas del trayecto (dB) (incl. atmosf.)	189,4	189,4	189,4	189,4
G/T del satélite (dBK)	-13,0	-11,0	-12,5	-3
p.i.r.e. est.terrena (dBW)	25,5	25,5	22,5	13,5
C/No enlace ascendente (dBHz)	51,7	53,7	49,2	49,7
<u>Satélite</u>				
Ganancia satélite (dB)	150,9	151,3	158,0	167
C/Imo satélite (dBHz)	55,0	57,5	60,8	60
<u>Enlace descendente (Satélite estación terrena de aeronave)</u>				
Frecuencia (GHz)	4,2	4,2	3,6	3,6 (?)
Elevación E.T. aeronave (grados)	5	5	5	5
Pérdidas del trayecto (dB) (incl. atmosf.)	197,6	197,6	196,3	196,3
G/T del satélite (dBK)	-32,0	-32,0	-30,7	-30,7
p.i.r.e. del satélite (dBW)	-13,0	-12,6	-8,9	-8,9
C/No enlace descendente (dBHz)	50,0	50,4	54,1	54,1
<u>Calidad del enlace</u>				
C/No obtenida (dBHz)	47,0	48,2	47,8	48,1
Margen (dB)	-0,9	+0,3	-0,1	+0,2

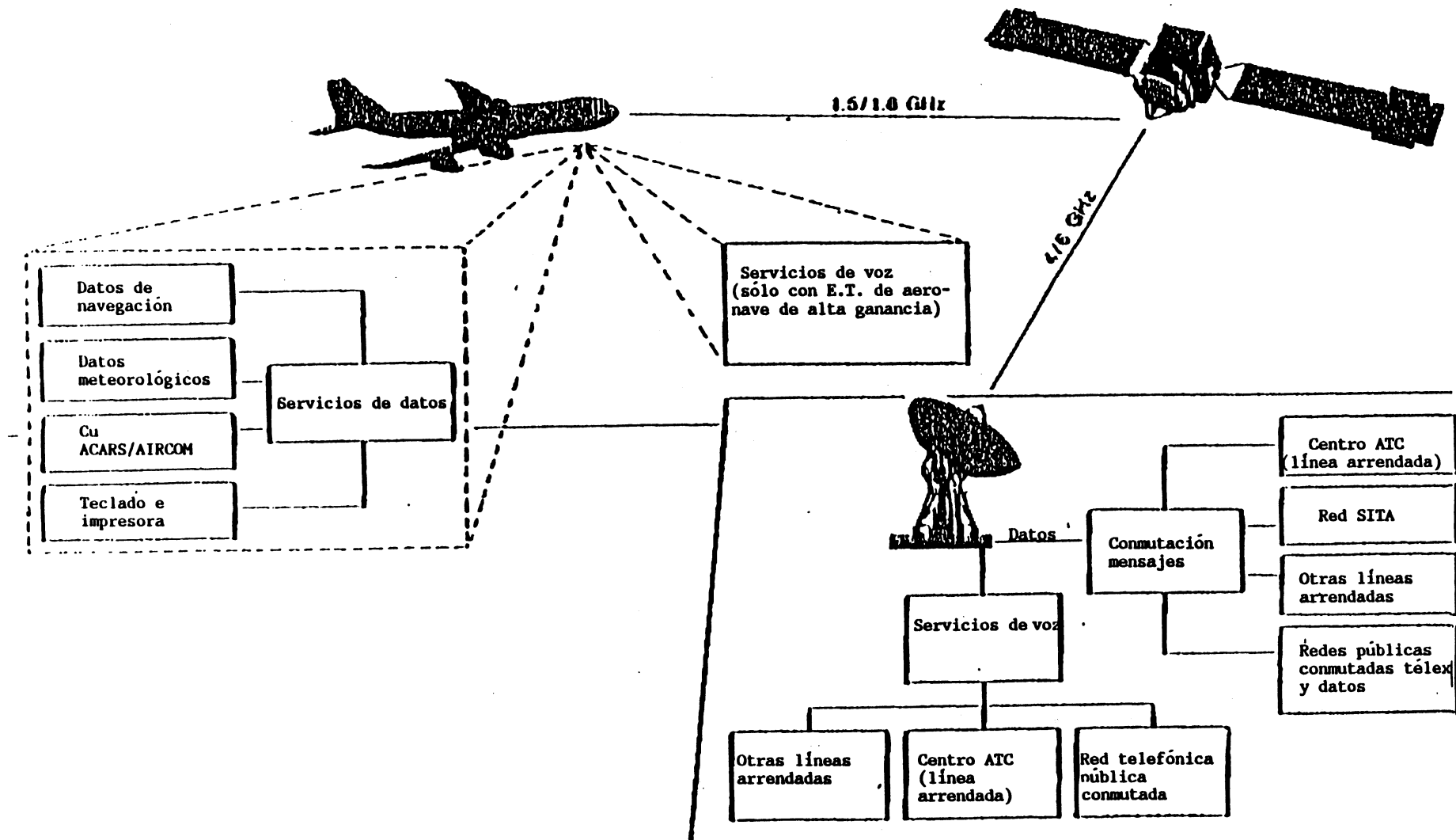


FIGURA 1

Sistema aeronáutico por satélite

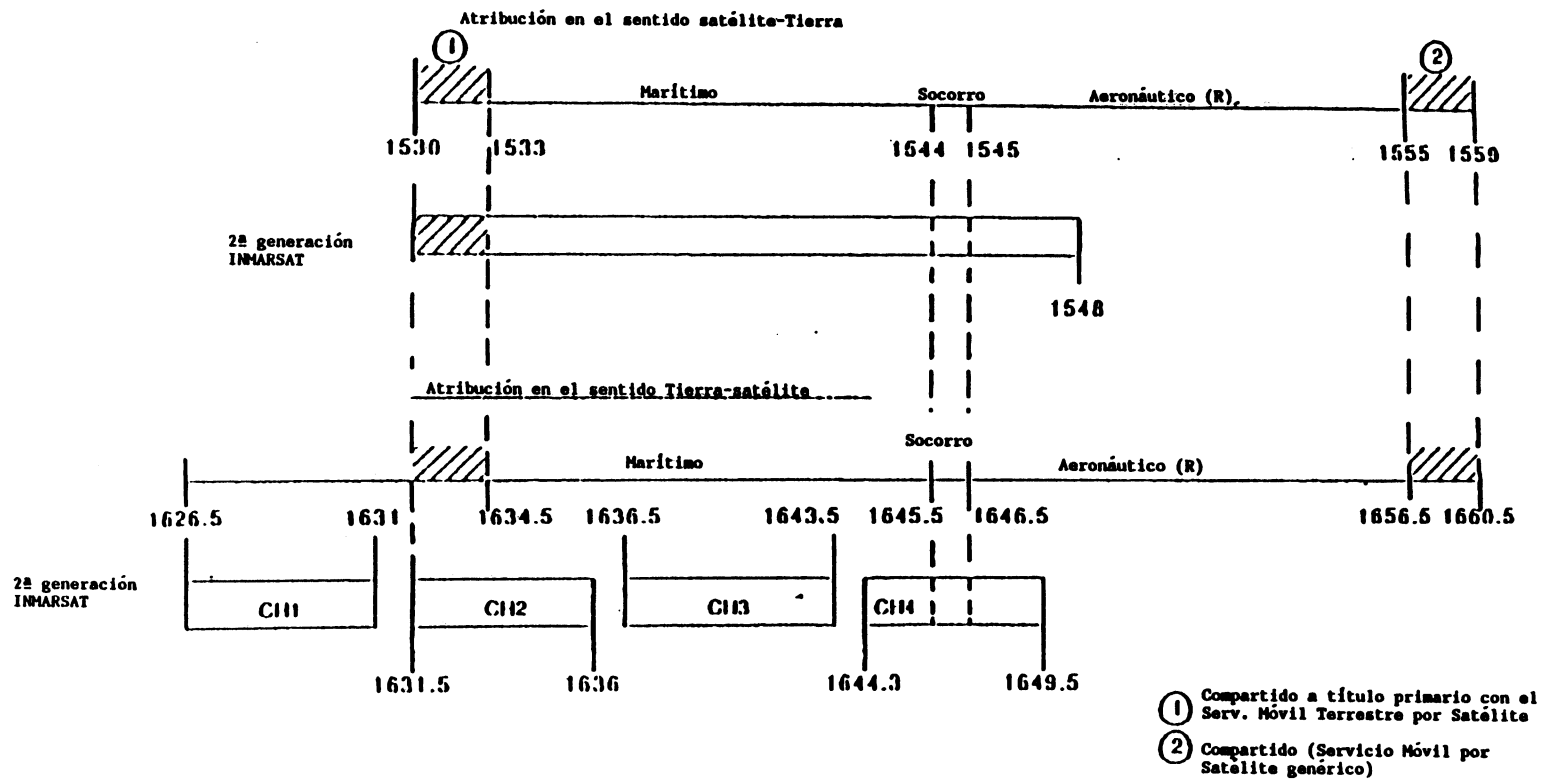


FIGURA 2
Espectro de frecuencias del servicio aeronáutico
 (Unidades en GHz)

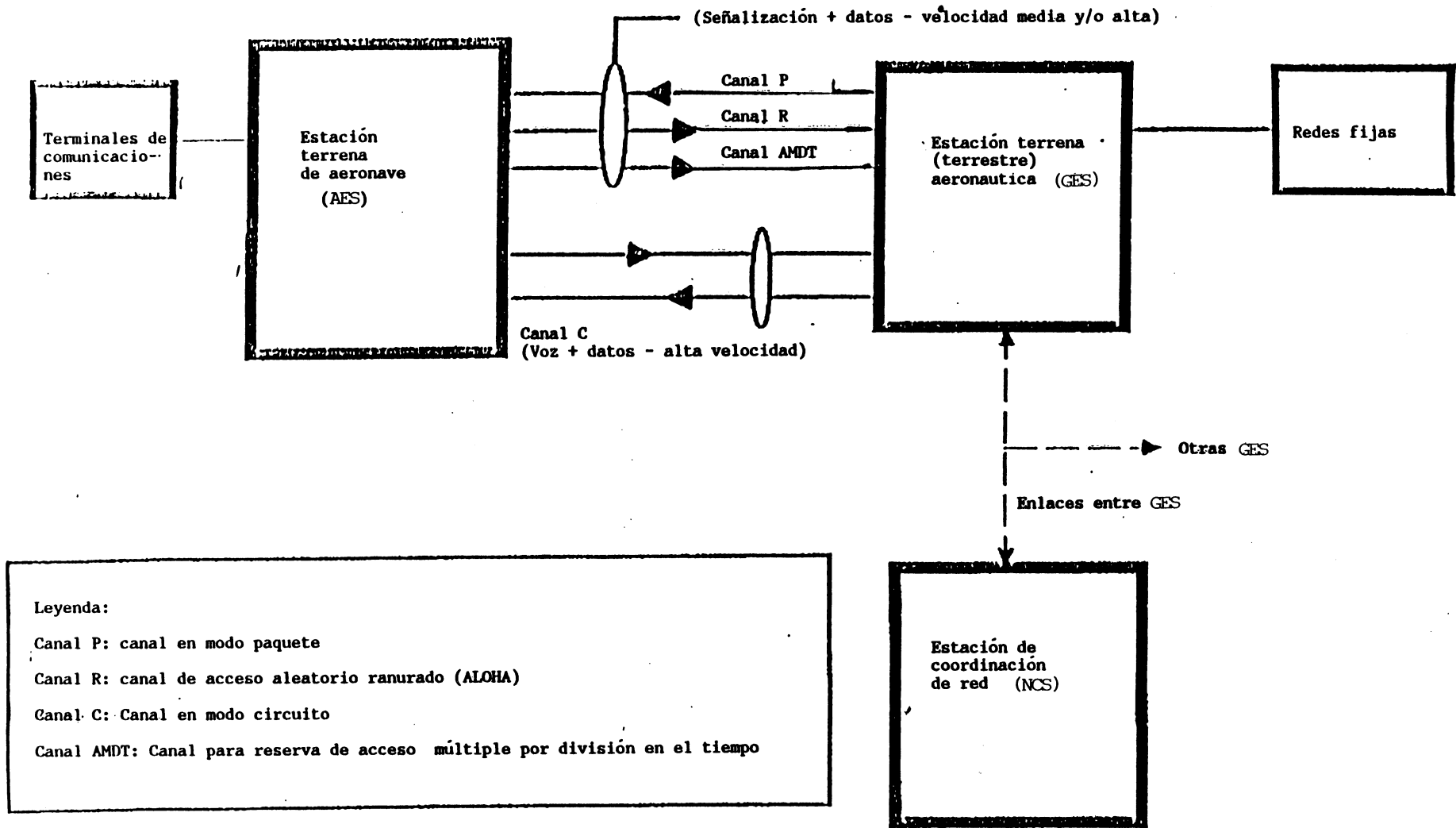
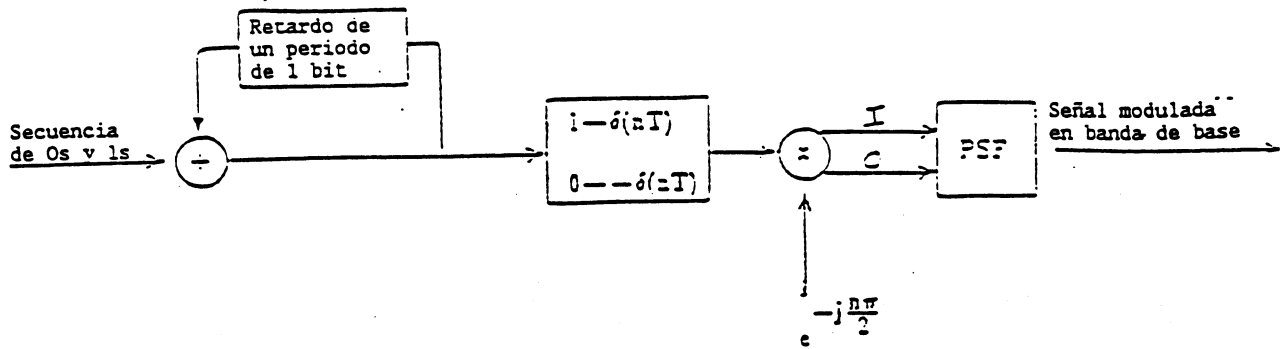
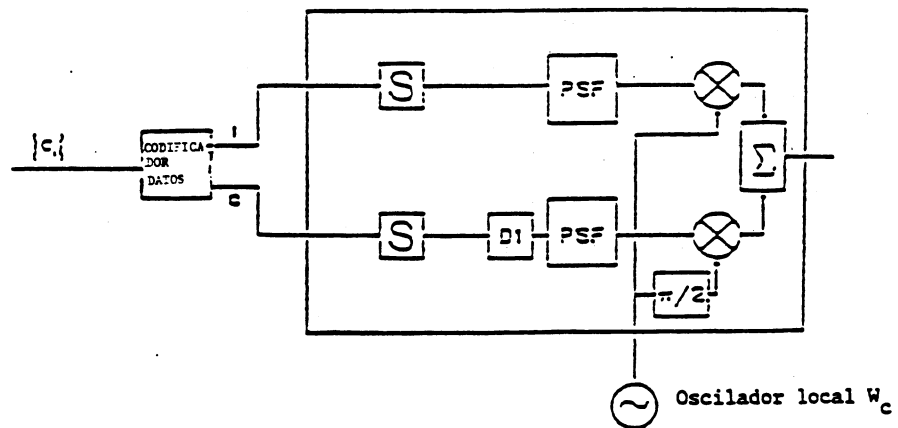


FIGURA 1
Configuración de red de comunicaciones aeronáuticas.
Sistema ampliado



⊕ suma en módulo 2
 PSF filtro de conformación de impulsos
 $\delta(z)$ impulso ideal

FIGURA 4
Modulador MDPB-A



$\{c_i\}$ es la secuencia de datos de entrada. Velocidad binaria = $2/T$ para MDPB-A.

$\{c_i\}$ se hace corresponder con dos secuencias de bits en las líneas I y Q, cada una con velocidad binaria $1/T$.

El muestreador S está sincronizado con los bits de datos de I y Q, generando impulsos ideales a una velocidad de $1/T$.

Retardo $D1 = T/2$ para MDPC-A

FIGURA 5
Modulador MDPC-A

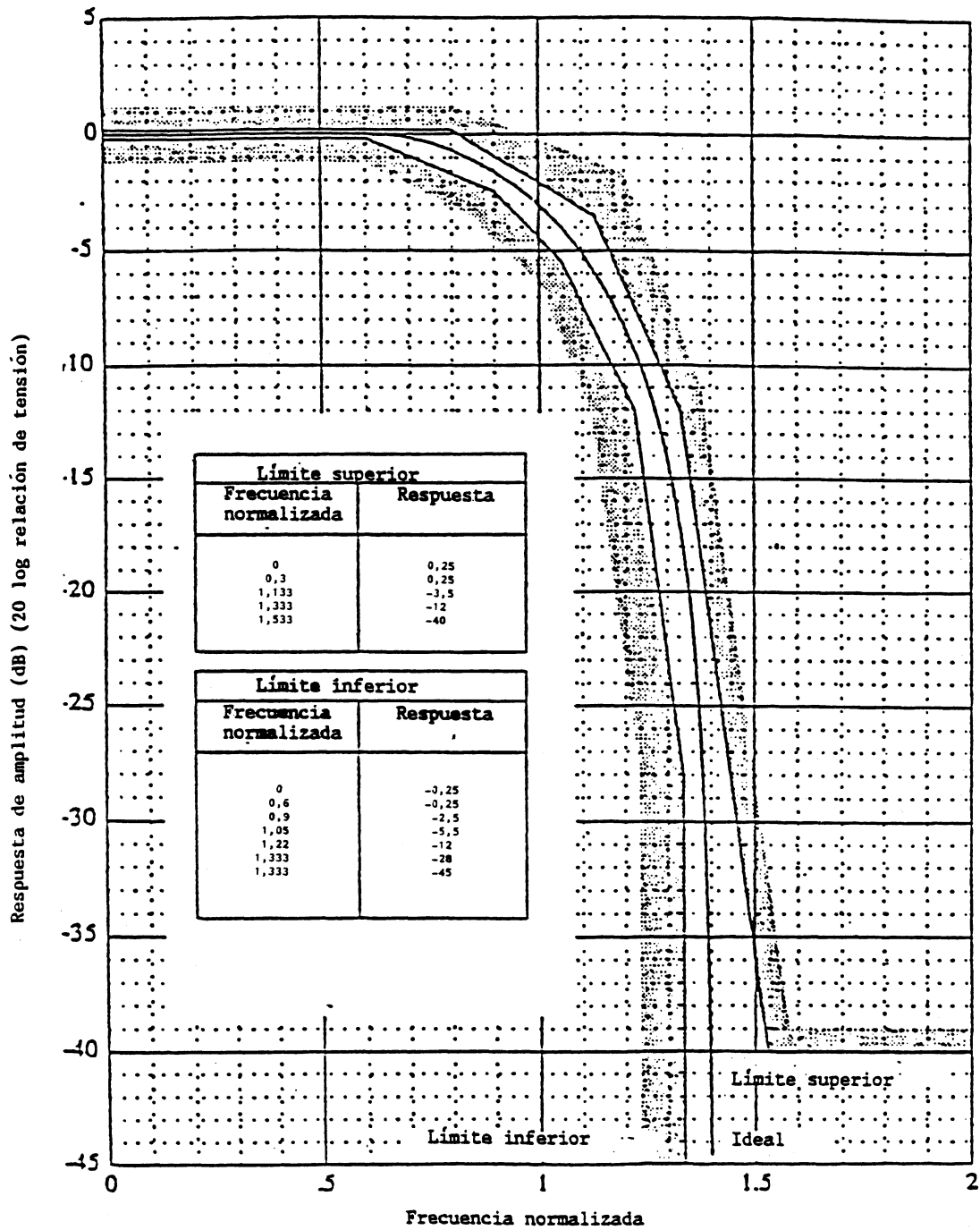


FIGURA 6

MDP4-A: Límites de la característica de amplitud de la respuesta en frecuencia del filtro de conformación de impulsos

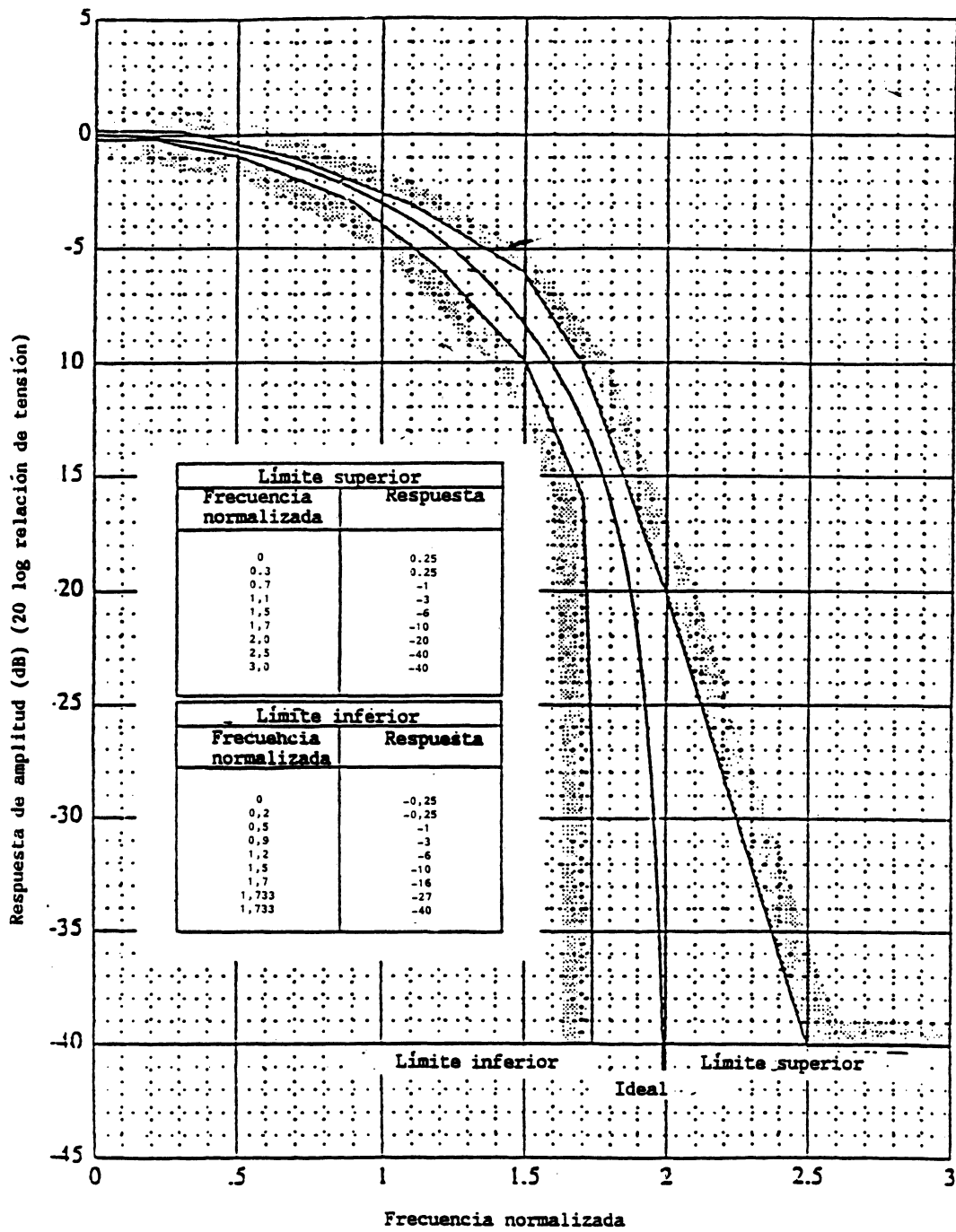


FIGURA 7

MDPB-A: Límites de la característica de amplitud de la respuesta en frecuencia del filtro de conformación de impulsos

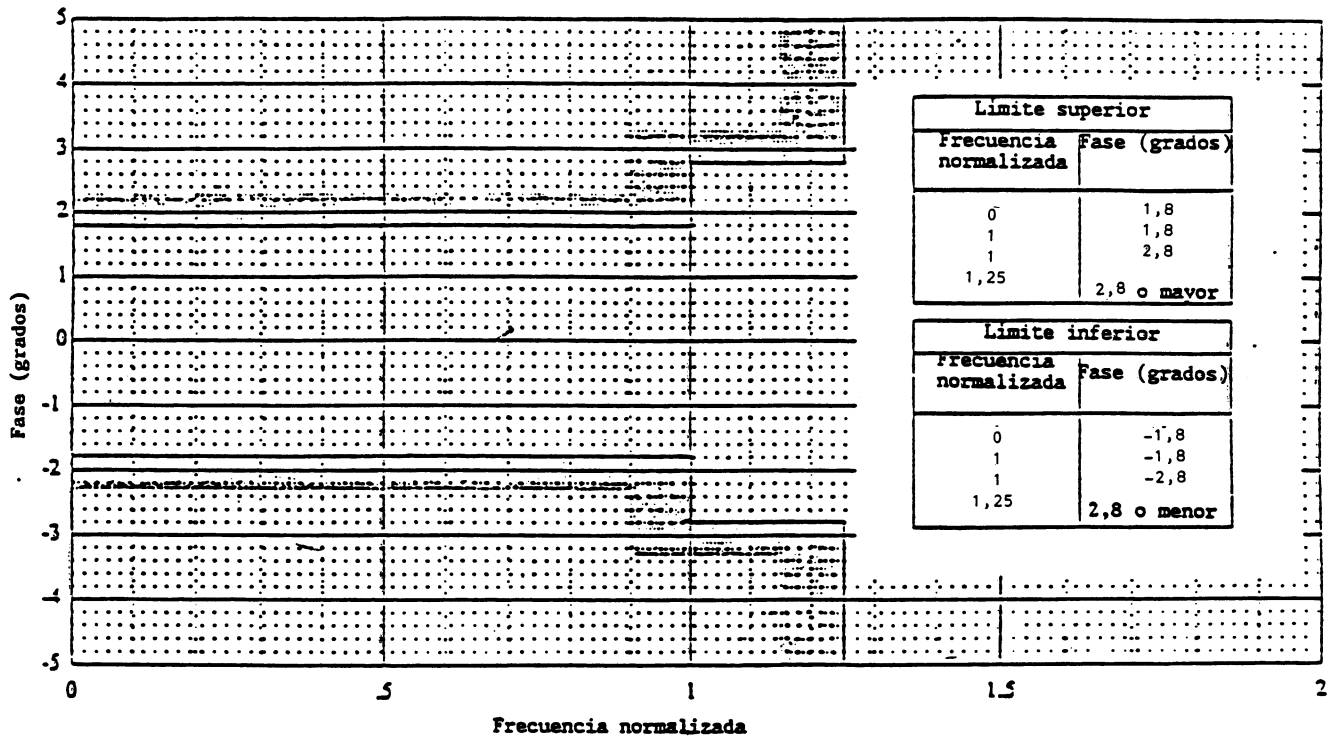


FIGURA 8

MDPB-A y MDP4-A: Límites de la desviación de fase con respecto a la linealidad de la respuesta en frecuencia del filtro conformador de impulsos

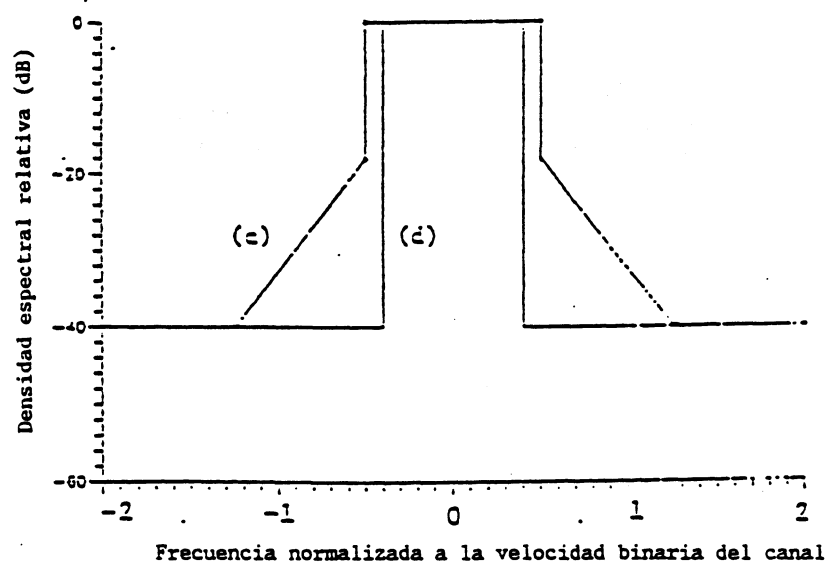
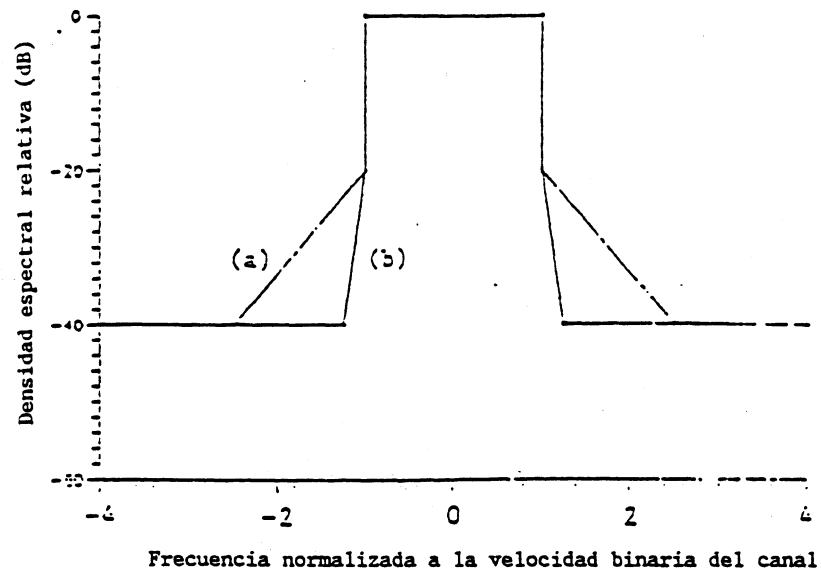


FIGURA 9

Límites de la densidad espectral de potencia radiada

- a) MDPB-A transmitida desde la aeronave
- b) MDPB-A transmitida desde tierra
- c) MDP4-A transmitida desde la aeronave
- d) MDP4-A transmitida desde tierra

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

WINTERS, Jack H. [1984, enero] Differential detection with intersymbol interference and frequency uncertainty. IEEE Transactions on Communications, Vol COM-32 No.1, 25-33.

DFVLR (German Aerospace Research Establishment): Final Report on Characterization of the Aeronautical Satellite Communication Channel, mayo, 1987.

ESA (European Space Agency) [1985] Final Report on the PROSAT Phase 1 experiments.

Inmarsat Aeronautical System Definition Manual, Module 1, Version 1.12 (julio, 1989): System Definition.

FANG, Russell J.F. [1981, mayo] Quaternary transmission over satellite channels with cascaded nonlinear elements and adjacent channel interference. IEEE Transactions on Communications, Vol COM-29, No.5, 567-581.

 INFORME 1180

**DISEÑO DE SISTEMAS MÓVILES POR SATELITE QUE PROPORCIONAN
SERVICIOS AERONAÚTICOS, TERRESTRES Y MARÍTIMOS
UTILIZANDO RECURSOS COMPARTIDOS**

(Cuestión 82/8)

(1990)

1. Introducción

1.1 Los sistemas de radiocomunicaciones terrenales permiten establecer comunicaciones de diversos tipos entre unidades móviles y puntos fijos (normalmente una torre radioeléctrica). En algunos sistemas, el alcance de servicio viene fijado por la línea de visibilidad directa radioeléctrica a dicha torre fija. Estos tipos de sistemas terrenales presentan limitaciones importantes a la hora de cubrir zonas extensas o zonas marítimas, así como para lograr una cobertura económica en zonas de población dispersa o en zonas geográficas donde la demanda de comunicaciones sea escasa y en el establecimiento de servicios a escala mundial. La utilización de las técnicas de satélite puede solventar estos problemas.

1.2 Hay tres servicios que pueden ofrecerse mediante sistemas móviles por satélite: el servicio aeronáutico, el servicio terrestre y el servicio marítimo. Aunque estos servicios son distintos presentan aspectos comunes. Los sistemas móviles por satélite que suministran servicios a cada una de estas tres amplias categorías pueden ofrecer la posibilidad de mejorar la eficacia en la utilización del espectro radioeléctrico y de lograr una mayor economía en los servicios.

1.3 En este Informe se examinan las necesidades del usuario y las características de diseño de los sistemas móviles por satélite que proporcionan los servicios aeronáutico, terrestre y marítimo.

Se incluyen cinco anexos:

Anexo I: Visión global de los sistemas INMARSAT

Anexo II: Sistemas móviles por satélite nacionales propuestos en América del Norte

Anexo III: Esquema preliminar de condiciones técnicas para la compartición de transpondedores