

INFORME 1051-1

SERVICIO TELEFÓNICO MÓVIL PÚBLICO CON AERONAVES

(Cuestión 74/8)

(1986-1990)

1. Introducción

1.1 Este Informe trata de los principios generales del servicio telefónico móvil público con aeronaves y, en particular, de las características operacionales y técnicas que tienen importancia para un funcionamiento satisfactorio.

1.2 Los sistemas telefónicos móviles públicos considerados en este Informe se definen como sistemas de aeronaves para correspondencia pública, que se conectan a la red telefónica pública internacional con conmutación (RTPC).

1.3 Varios sistemas están en explotación o sujetos a examen por diferentes administraciones para proporcionar este servicio. Los sistemas terrenales ofrecen varias ventajas sobre los sistemas basados en satélites; en cambio, los sistemas de satélites encuentran su mayor aplicación sobre grandes extensiones de agua o de tierra a las que no se puede dar servicio con sistemas terrenales. La reutilización de frecuencias en un sistema terrenal que adopte una disposición celular puede proporcionar muchos más canales que la cobertura por satélite, aun suponiendo que los satélites utilicen haces puntuales múltiples. En las zonas densamente pobladas donde un alto tráfico local de aeronaves exige una elevada capacidad de canales, los sistemas terrenales ofrecen la solución más práctica.

1.4 En el Anexo I se indican las características del sistema terrenal desarrollado en Japón.

1.5 En el Anexo II se exponen las características del sistema terrenal experimental actualmente explotado en los Estados Unidos y Canadá, y propuesto para implantación en Australia.

1.6 En el Anexo III se presentan las principales características del sistema terrenal seleccionado para uso provisional en el Reino Unido, el cual constituye uno de los métodos que está revisando el Instituto Europeo de Normas de Telecomunicación (ETSI) para utilización en Europa.

2. Aspectos operacionales de carácter general para el servicio telefónico móvil público con aeronaves

- 2.1 El sistema deberá ser totalmente compatible con la red telefónica pública internacional con conmutación, ofrecerá la posibilidad de efectuar interfaz con ésta y tendrá un funcionamiento sencillo.
- 2.2 Deberá proporcionarse un número de canales adecuado para satisfacer la demanda previsible del servicio.
- 2.3 El diseño del sistema deberá ser modular y disponer de la capacidad de adaptarse a las características de sistemas monocanales y de canales múltiples.
- 2.4 Deberá proporcionarse una calidad de servicio comparable a la de la red pública con conmutación (telefonía y datos).
- 2.5 El sistema deberá proporcionar, en la máxima medida posible, una cobertura ininterrumpida a través de las zonas de servicio previstas con la posibilidad de un funcionamiento coordinado a través de fronteras nacionales.
- 2.6 Es deseable que puedan efectuarse llamadas desde las aeronaves, y hacia ellas.
- 2.7 Deberá preverse el establecimiento automático de las llamadas hacia las estaciones móviles y desde ellas, así como su tramitación administrativa.
- 2.8 El sistema no deberá tener influencia adversa alguna en la seguridad de funcionamiento de la aeronave.

3. Características técnicas del sistema para el servicio telefónico móvil público con aeronaves

3.1 Banda de frecuencias

3.1.1 La CAMR-MOB-87, en su Nota 731B, atribuyó a título primario las bandas de frecuencia 1 593 - 1 594 MHz y 1 625,5 - 1 626,5 MHz al servicio aeronáutico móvil en la Región 1, (excepto en Siria y Túnez), y a título secundario en las Regiones 2 y 3 (y Siria y Túnez). El servicio está limitado a la correspondencia pública con aeronaves y se subordina a las condiciones señaladas en las Notas 731A y 731D, en el sentido de que no reclamará protección contra estaciones del servicio de radionavegación aeronáutica ni del servicio de radionavegación por satélite, según proceda, ni les causará interferencia perjudicial, ni tampoco causará interferencia perjudicial a las estaciones del servicio fijo que funcionan en los países enumerados en la Nota 730. (Véase también Recomendación No.408 MOB-87.)

3.1.2 Aunque la CAMR-MOB-87 atribuyó la banda de 1 593 - 1 594 MHz y la de 1 625,5 - 1 626,5 MHz en ciertas condiciones a sistemas terrenales, la Recomendación 408 señaló que estas frecuencias serían adecuadas para sistemas preoperacionales y experimentales y que causarían considerables dificultades en algunos países. Además, la Recomendación 408 invitaba al CCIR a identificar las bandas de frecuencias alternativas preferidas desde el punto de vista técnico para un futuro sistema terrenal de ámbito mundial. En virtud de ello, el punto 4.6 de la Decisión 81 ordena al GIT 8/14 que determine las bandas de frecuencias alternativas técnicamente preferidas susceptibles de atribución a este sistema.

3.1.3 La Recomendación No.408(MOB-87) invitaba asimismo al CCIR a que estudiara urgentemente los criterios de compartición necesarios entre los sistemas de Correspondencia Pública con Aeronaves (CPA) terrenales que operen en las bandas 1 593 - 1 594 MHz y 1 625,5 - 1 626,5 MHz y otros servicios que utilicen las mismas bandas de frecuencias y bandas adyacentes.

3.1.4 Los aspectos de interferencia con el sistema mundial de determinación de la posición (GPS) están tratados en el Informe 766 y en lo relativo al SRDS en el Informe 1050, Anexo II.

3.1.5 Los sistemas terrenales mencionados en los puntos 1.4 y 1.5 y descritos en el Anexo I y Anexo II funcionan en la banda 9 dentro del margen de frecuencias de 800 MHz a 900 MHz.

3.1.6 El sistema terrenal a que se refiere el punto 1.5 y que se describe en el Anexo III utiliza la banda de frecuencia definida en el punto 3.1.1.

3.2 Modulación

3.2.1 Se han propuesto diversos tipos de modulación, por ejemplo, MF, MP, BLU-CA (BLU con expansión), BLU-MA, MDM-G (Modulación de desplazamiento mínimo con filtro gaussiano) y MDP-4-DLB (MDP4 con desplazamiento limitado por la banda) con una opción AMDT. Cada método tiene sus ventajas e inconvenientes en cuanto a calidad de la comunicación, eficacia de utilización del espectro y economía. Se requieren nuevos estudios para facilitar un acuerdo internacional sobre los tipos de modulación que deban utilizarse.

3.3 Señalización

3.3.1 Un sistema telefónico móvil público completamente automático a utilizar con aeronaves requiere un método de señalización avanzado para control de las llamadas y adquisición de canal.

3.3.2 El Informe 742 contiene ejemplos de los sistemas de señalización antes mencionados.

3.4 Codificación telefónica y de datos

3.4.1 Pendientes de determinar.

3.5 Equipo de a bordo

3.5.1 El tamaño y peso del equipo deberán reducirse al mínimo.

3.5.2 De ser posible, el equipo deberá poder atender otras funciones de comunicación.

3.5.3 El equipo de a bordo deberá ser compatible electromagnéticamente con otros sistemas de aeronave, de conformidad con las disposiciones reglamentarias adecuadas.

3.5.4 El sistema deberá ejercer una influencia mínima sobre la mecánica, mantenimiento y operaciones de la aeronave.

3.6 Aspectos de propagación y del desplazamiento por efecto Doppler

3.6.1 El Anexo IV presenta un análisis de los aspectos de propagación y del desplazamiento Doppler.

4. Conclusión

4.1 Se reconoce que este Informe representa sólo una etapa inicial en la definición de los factores operacionales y técnicos que deben tenerse en cuenta al considerar un servicio telefónico móvil público con aeronaves. Se requieren ulteriores estudios sobre muchos aspectos del sistema propuesto con objeto de facilitar el establecimiento de normas internacionales.

4.2 Los sistemas de CPA que funcionan en la banda 1 559 - 1 625,5 MHz pueden causar interferencia a los sistemas GPS, GLONASS y SRDS, así como la recepción de señales en el servicio de radionavegación que funciona en la misma banda. Este asunto requiere un estudio más detallado.

4.3 Los sistemas de CPA que funcionan en la banda 850 - 895 MHz en la Región 1 podrían causar interferencia a la red de radiocomunicaciones celular digital paneuropea (GSM). No obstante, esta banda no puede utilizarse en la Región 2 para los sistemas CPA.

ANEXO I

SISTEMA TELEFÓNICO MÓVIL PÚBLICO CON AERONAVES EN EL JAPÓN

1. **Introducción**

En el Japón, se ha desarrollado un sistema telefónico móvil público con aeronaves. Este sistema se ha realizado de forma económica mediante una explotación parcial conjunta con la red telefónica móvil terrestre (celular). Además está configurado bajo la forma de un sistema integrado de comunicaciones móviles.

2. **Características de explotación**

Las características de explotación son las siguientes:

- funcionamiento totalmente automático con marcación directa en conexión con la red telefónica pública conmutada (RTPC),
- transeúntes: registro de la posición y acceso distante a archivos,
- conmutación de llamada en curso,
- servicio telefónico y no telefónico,
- servicio no sólo para las compañías aéreas sino también para la utilización de la aviación en general,
- cobertura de casi todas las rutas aéreas regulares nacionales.

3. **Funciones del sistema**

La configuración del sistema se muestra en la fig. 1.

Las funciones del sistema son las siguientes:

- El sistema se compone de una estación móvil instalada a bordo de la aeronave y de una estación en tierra.
- El equipo de la estación de tierra consta de los siguientes elementos:
 - transmisores y receptores para la transmisión de diferentes señales a través del trayecto radioeléctrico,
 - equipo de la estación de control del servicio móvil para controlar el establecimiento del trayecto de conversación,
 - central de conmutación para conectar la red móvil y la (RTPC).
- La estación móvil de control y el equipo de conmutación se utilizan en común con el sistema telefónico móvil terrestre.
- El control del establecimiento del trayecto de conversación para las llamadas tanto aire-tierra como tierra-aire se realiza mediante un radiocanal único y los mensajes de control están totalmente digitalizados.
- La calidad de la conversación cumple los requisitos del servicio telefónico público.

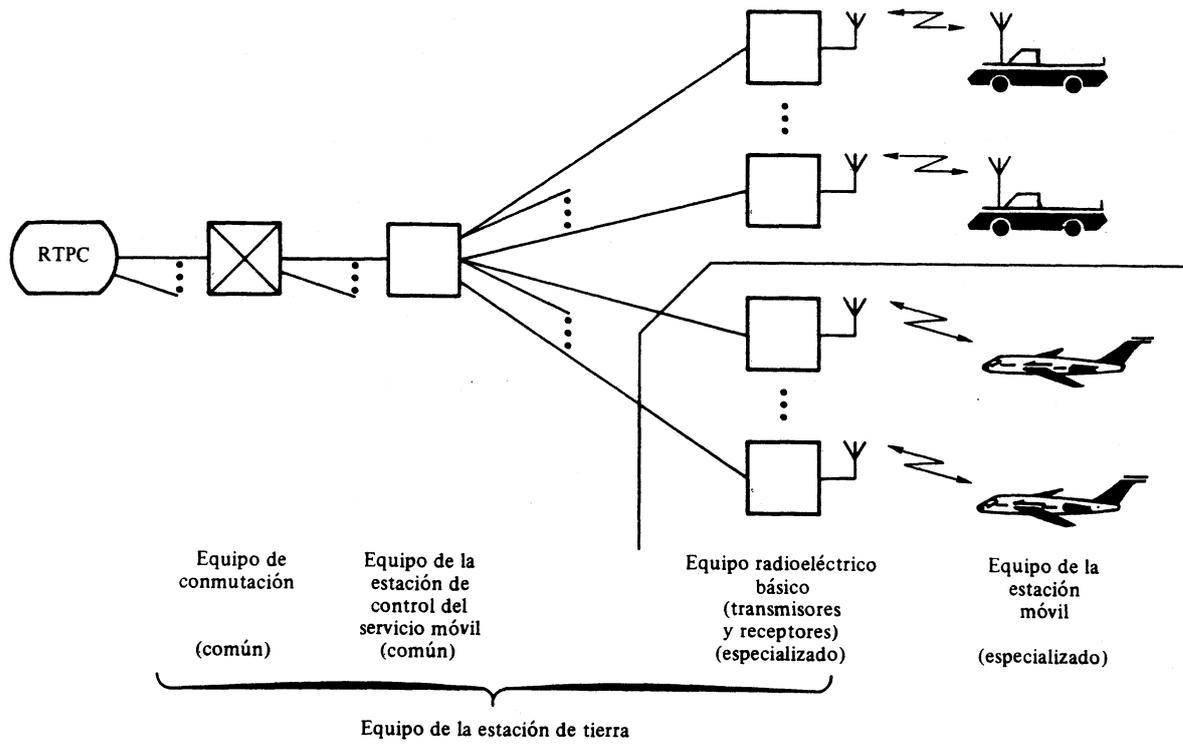


FIGURA 1 – Configuración del sistema

4. Características técnicas

Las características técnicas se basan en el teléfono móvil terrestre (celular) (véase el Informe 742-1 y Ogawa, 1987).

Las características principales se indican en el cuadro I.

CUADRO I – Características técnicas

Banda de frecuencia (MHz)		800-900
Separación entre canales (kHz)		25
Número total de canales dúplex		80
Tipo de modulación		MP
Potencia de salida (W)	Estación de base	40
	Estación móvil	10

Se utilizará la modulación de fase, que resulta superior a la BLU-MA, ya que se necesita una potencia de entrada al receptor más baja, especialmente para la transmisión digital de señales no telefónicas. Igualmente, la degradación de la calidad de transmisión debido al efecto Doppler es despreciable y el coste del equipo es bajo.

5. Operación

Este sistema entró en servicio en 1986.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

OGAWA, K. [octubre de 1987]. Present and future mobile communications services. JTR, páginas 65-93.

ANEXO II

Correspondencia pública con las aeronaves comerciales en
Estados Unidos de América y Canadá

1. Introducción

En Estados Unidos de América y Canadá se está explotando actualmente un sistema terrenal avanzado de correspondencia pública tierra-aeronave en la banda de ondas decimétricas, basándose en acuerdos de servicio entre las compañías aéreas nacionales de Estados Unidos y Canadá que dan servicio a más del 90% del mercado de pasajeros de líneas aéreas de América del Norte. En diciembre de 1988, había aproximadamente 900 aeronaves comerciales equipadas para el servicio de comunicaciones con tierra mediante dos transceptores en las aeronaves de cabina estrecha o cuatro transceptores en las de cabina ancha, por término medio. Para 1989 están previstas unas 600 instalaciones más. La experiencia de este sistema terrenal aeronave-tierra facilitará el desarrollo de directrices operacionales para los servicios de comunicación ofrecidos a los pasajeros de líneas aéreas y pondrá de manifiesto la demanda de los pasajeros en cuanto a tales servicios. A continuación se señalan los detalles técnicos de dicho sistema.

2. Aspectos técnicos2.1 Arquitectura del sistema2.1.1 Reutilización de frecuencias

La utilización de una banda de 4 MHz en el sistema de telefonía pública con tierra se divide en dos bandas de 2 MHz, una para el enlace aire-tierra y otra, separada 45 MHz, para el enlace tierra-aire. Cada una de las dos bandas se divide en 10 sub-bandas de 200 kHz que dan un total de 310 canales y 10 frecuencias piloto con bandas de guarda. Las 10 sub-bandas se utilizan en una matriz que da cobertura al territorio continental de Estados Unidos y a las rutas aéreas principales de Canadá.

El sistema ha sido configurado para reutilizar las frecuencias de una manera similar a la acostumbrada en el servicio radiotelefónico celular. No obstante, mientras que la reutilización en el servicio móvil terrestre ha de respetar la limitación funcional que impone la interferencia, la disposición geométrica en el caso de transmisión aire a tierra y la variación, comparativamente lenta, de la pérdida del trayecto con respecto a la distancia exige que la reutilización en los sistemas de aire a tierra se apoye en un control de la interferencia limitado por el horizonte y no limitado por la potencia.

El tamaño y la separación de las células vienen impuestos por las alturas de vuelo mínima y máxima de la aeronave a la que se da servicio. Para una altitud aproximada de 3.000 metros o 10.000 pies, el radio máximo de la célula estaría próximo a 240 km o 150 millas. Cada estación de tierra tiene un radio operativo extendido a la distancia del horizonte radioeléctrico que depende de la altura de la aeronave (por ejemplo, para 13.700 metros o 45.000 pies dicha distancia es aproximadamente 480 km o 300 millas), y de manera habitual atribuye los canales telefónicos que satisfagan la demanda creada por las rutas de vuelo de las compañías aéreas.

Las separaciones reales de las células se ven influidas por aspectos complementarios como son las altitudes de las estaciones terrenas y las alturas de las antenas, los márgenes de propagación, el conocimiento de las posiciones de las aeronaves y las condiciones topográficas. La combinación de estos aspectos con los requisitos del tráfico analizados permite la elaboración de un plan de frecuencias eficaz merced al cual diferentes grupos de células puedan compartir las mismas frecuencias con un modelo adecuado de reutilización de frecuencias.

2.1.2 Modulación en sistemas radioeléctricos de concentración de enlaces

El sistema utiliza modulación en Banda Lateral Unica (BLU) para todas las comunicaciones telefónicas y de datos en un canal de 6 kHz.

2.1.3 Selección de canal en sistemas radioeléctricos de concentración de enlaces

La red telefónica nacional aire-tierra ha sido posible gracias a una serie de estaciones en tierra instaladas a lo largo del país. Cada estación de tierra tiene un diámetro operativo aproximado de 500 millas y puede cursar hasta 31 llamadas simultáneas. Cada estación lleva los datos de facturación de todas las llamadas pasadas por ella. Las estaciones comprueban también todos los equipos de a bordo y, si se detecta cualquier funcionamiento incorrecto de un componente, la estación lo notifica automáticamente al emplazamiento central de forma que pueda subsanarse el problema rápidamente.

El sistema consta de dos subsistemas:

- a) Los componentes activos del equipo de a bordo que incluyen la unidad de cálculo de a bordo (UCA), la unidad común (CMN), los transceptores aire-tierra (RT), el soporte del microteléfono de cabina (SMC) y los microteléfonos sin cordón.
- b) Estaciones de base situadas en tierra que constan de una unidad de control de tierra (CCU), un interfaz con la red pública conmutada y los transceptores tierra-aire (RT).

A cada estación de tierra se le asigna una de las diez sub-bandas de 200 kHz que a su vez se dividirá en 31 subcanales más un único canal piloto.

Cada estación de base incorpora un transmisor de canal piloto en continuo funcionamiento, el cual difunde constantemente una lista de los canales telefónicos disponibles en el grupo dentro del cual está situado el canal piloto. Cuando un transceptor de aeronave "captura" un canal disponible para hacer una llamada, la estación de base suprime ese canal de la lista que está radiando.

El sistema está concebido de manera que los transceptores de tierra funcionen siempre en frecuencias fijas; los transceptores de la aeronave poseen agilidad de frecuencia y están sintonizados a la par con una frecuencia de transceptor de tierra, bajo el control de una unidad de cálculo de a bordo (UCA).

En una aeronave equipada con teléfono las frecuencias piloto se exploran regularmente para encontrar una señal de estación de base que inicie el siguiente proceso de llamada telefónica. Esta exploración se produce cada tres minutos, y solamente requiere unos pocos segundos para completarse. Uno de los transceptores instalados en cada aeronave se utiliza para la exploración; si todos los transceptores estuvieran ocupados en conversaciones telefónicas, un nuevo acceso a la red telefónica pública conmutada debería esperar a que se quedara libre un transceptor para iniciar una exploración.

La elección del canal de la estación de base al que ha de accederse viene determinada por la evaluación de las intensidades de la señal en todos los canales piloto detectados y además por la medición de sus desplazamientos Doppler. Una aeronave que se está acercando a una estación de base recibirá la señal piloto a una frecuencia superior a la frecuencia real; en cambio, si se está alejando de la estación recibirá una señal de frecuencia inferior a la real. La UCA compila un cuadro de intensidades de señal y de desplazamientos de frecuencia Doppler, y selecciona la estación de tierra más apropiada conforme a un algoritmo de selección programado con anterioridad que asegura un tiempo de conexión máximo para el usuario, el cual suele oscilar entre 20 y 40 minutos. Es muy raro que se pierda una llamada por volar una aeronave fuera del alcance de una estación de base.

Para captar de forma precisa los desplazamientos Doppler las normas en cuanto a frecuencia del sistema (una en cada aeronave y una en cada estación de base) deben ser muy exactas. El desplazamiento de frecuencia Doppler es aproximadamente de 1 Hz por MHz para velocidades de aeronave de 965 km/hora (ó 600 mph); un reactor que vuele directamente hacia una estación en tierra o alejándose de ella percibirá un desplazamiento Doppler de unos 800 Hz en la banda de 900 MHz. El desplazamiento Doppler aproximado se determina mediante una detección MF (en el transceptor) de la portadora piloto de la estación de base.

Cada estación de base tiene un alcance operativo de aproximadamente 320 km (200 millas) que depende de la altura de vuelo. La conmutación de llamadas en curso de una estación de tierra a la siguiente no se proporciona actualmente; el sistema está diseñado para no tener que transferir una conversación, sino más bien establecer llamadas de acuerdo con las preferencias determinadas por un algoritmo de selección que eleve al máximo el tiempo de conexión.

Es necesario controlar eficazmente la potencia de los transmisores de la aeronave para mantener los productos de intermodulación y evitar que las aeronaves que se encuentren próximas a los receptores de estación de tierra enmascaren otras señales más débiles procedentes de las transmisiones de aeronaves más alejadas en subcanales adyacentes. En la aeronave se utiliza el CAG y el CAF para ajustar la ganancia y corregir el desplazamiento Doppler de sus propios receptores y transmisores. Como consecuencia de ello, los receptores de tierra no necesitan tener CAF y sólo en pequeña medida el CAG porque el control del desplazamiento Doppler y de la potencia se realizan en el transceptor de a bordo para el enlace aire-tierra.

El sistema de telefonía pública aire-tierra permitirá la misma marcación directa y acceso a la información de las guías que los que dispone un teléfono en tierra. El usuario de a bordo podrá efectuar una llamada utilizando cualquier tarjeta de crédito importante. El sistema no está actualmente configurado para admitir llamadas entrantes a la aeronave a fin de evitar la perturbación de los procedimientos y servicios normales de cabina de las líneas aéreas.

2.2 Soporte físico del sistema

En la aeronave se utilizan antenas monopolo normales de tipo lámina. Una antena servirá para dos transceptores; por tanto en las aeronaves de cabina estrecha sólo se requiere una. El montaje óptimo para la antena está en la parte inferior del fuselaje, centrada a lo largo de una línea definida por las alas, actuando el fuselaje como plano de tierra ya que sus dimensiones son equivalentes a varias longitudes de onda en cualquier dirección.

2.2.1 Microteléfonos sin cordón

La UCA se instala en el bastidor de equipos electrónicos de la aeronave. La UCA contiene un microprocesador utilizado para control y un conjunto de canales radioeléctricos de estación de base que se transmiten a los microteléfonos sin cordón de la aeronave a una frecuencia de 1,7 MHz y 90 milivatios, y reciben a una frecuencia de 49 MHz. La UCA convierte las frecuencias utilizadas por las estaciones radioeléctricas del microteléfono sin cordón o por microteléfonos alámbricos a las frecuencias de los canales aire-tierra. El microprocesador de la UCA ejecuta otras funciones de control, vigila el equipo de a bordo y recoge datos sobre el comportamiento.

El Soporte de Microteléfono de Cabina (SMC) es una unidad de montaje en pared que sostiene el microteléfono sin cordón. En cada soporte se ajusta un microteléfono. Los soportes de microteléfono de cabina pueden estar situados en posiciones adecuadas dentro de ésta. Llevan un lector de tarjetas de crédito, un microprocesador y un cargador de baterías. El SMC lee la tarjeta de crédito del usuario y transmite la información a la UCA, que a su vez verifica la tarjeta de crédito y envía una señal de "liberación" al SMC. Este sujeta mecánicamente la tarjeta de crédito y deja libre el microteléfono sin cordón al usuario. Cuando más tarde se vuelve a colocar el microteléfono, el SMC, en comunicación con la UCA, señala que se ha vuelto a colocar el microteléfono correcto, lo sujeta en su sitio y libera la tarjeta de crédito. El SMC no utiliza en sí radiofrecuencias, sino que se comunica mediante el transceptor del microteléfono sin cordón con la UCA. Cada SMC tiene una visualización alfanumérica que va guiando al usuario y da mensajes visuales de error cuando procede.

2.2.2 Microteléfonos de respaldo de asiento

Con el fin de facilitar el acceso de los pasajeros al teléfono durante el vuelo, se instalan microteléfonos en los respaldos de los asientos. Estos microteléfonos están directamente cableados a la UCA. La inserción de una tarjeta de crédito libera el microteléfono de su soporte, y una vez liberado se pasa la tarjeta de crédito por un lector de banda magnética incorporado en el dorso del microteléfono. Las características del tratamiento de llamada son semejantes a las de los microteléfonos sin cordón detallados anteriormente.

La CMN contiene los circuitos de RF y la fuente de alimentación para todo el equipo aire-tierra del bastidor de electrónica de la aeronave. Lleva una fuente de alimentación trifásica que funciona a partir del sistema de alimentación de la aeronave a 400 Hz. Unos fusibles y circuitos redundantes protegen el sistema de alimentación de la aeronave y garantizan que en el sistema no se producen fallos de alimentación de punto único.

El Cuadro II muestra las especificaciones del sistema de correspondencia pública aire-tierra.

CUADRO IICaracterísticas técnicas

	<u>Estación de aeronave</u>	<u>Estación de tierra</u>
Potencia de salida del transmisor	+40 dBm	+40 dBm
Pérdidas del filtro del transmisor	1 dB	1 dB
Pérdidas del alimentador de antena	1 dB	3 dB
Ganancia de la antena	0 dB	3 dB
Factor de ruido máximo del receptor	5 dB	5 dB
Pérdidas del diplexor del filtro	1 dB	NA
Combinador del transmisor	4 dB	NA
Frecuencia del transmisor**	895 MHz \pm 1 MHz	850 MHz \pm 1 MHz
Pérdidas del trayecto*	141 dB	140,5 dB
Nivel de la señal de recepción	-103,5 dBm	-108 dBm
Nivel de ruido (6 kHz de anchura de banda)	-136 dBm	-136 dBm
Señal/ruido	27,5 dB	23 dB

* Altitud 9.000 m
Distancia 300 km

** Estas bandas de frecuencia se utilizan actualmente en Estados Unidos y Canadá a título provisional. Actualmente estas bandas no se pueden utilizar en la Región 1

ANEXO III

Método del Reino Unido para el servicio telefónico móvil público
de comunicación con aeronaves1. Introducción

Se han desarrollado estudios en el Reino Unido sobre los métodos de proporcionar un servicio telefónico público con aeronaves, y estos métodos han conducido a elegir un sistema cuya finalidad es utilizar eficazmente el espectro de frecuencias, ofrecer una extensa zona de cobertura, permitir la máxima continuidad de las llamadas y proporcionar acceso desde cada aeronave a un máximo de 8 circuitos telefónicos (con ampliación a 32), al tiempo que se mantengan en niveles mínimos el peso, la potencia y la disipación de calor del equipo de a bordo. Además de estos factores operacionales, la concepción del sistema es tal que será posible mejorarlo de una manera fácil para incorporar códecs de voz de velocidad inferior. A continuación se describen las características técnicas y operacionales.

2. Principio del sistema

El sistema tiene que utilizar las dos bandas de 1 MHz (1 593 - 1 594 MHz y 1 625,5 - 1 626,5 MHz) atribuidas por la CAMR-MOB-87. Cada una de estas bandas se dividirá en 39 canales de 25 kHz, lo cual deja unas bandas de guarda de 12,5 kHz a uno y otro extremo de cada banda de 1 MHz.

La modulación será aproximadamente a 38 kbit/s, con MDT en el enlace tierra a aire y AMDT en el enlace aire a tierra.

Cada canal será capaz de transportar cuatro circuitos telefónicos de 9,6 kbit/s.

El sistema tendrá la facultad de cambiar el funcionamiento a 4,8 kbit/s en los canales necesarios en las aeronaves equipadas con códecs de voz de velocidad inferior cuando ya se disponga de ellos. Esto proporcionará una capacidad máxima de 312 circuitos/MHz. En el futuro más cercano las técnicas de reducción de datos pueden también multiplicar por dos la capacidad.

2.1 Desplazamiento Doppler

La velocidad de radiación electromagnética es aproximadamente un millón de veces la velocidad de crucero probable de las aeronaves que utilicen el sistema. El desplazamiento Doppler de la señal es pues de 1 Hz/MHz (es decir, 1,6 kHz) en una aeronave que se mueve radialmente con respecto a una estación de tierra. Esta cifra se reduce si la trayectoria no es radial o si el alcance es del mismo orden que la altitud.

El sistema no hará ningún intento de corregir el desplazamiento Doppler ya que este desplazamiento es una pequeña parte de la separación de canales de 25 kHz, ni tampoco se desplaza el filtro de recepción al centro de la señal puesto que el funcionamiento en AMDT implica que cada canal puede ser utilizado por más de una aeronave, cada una con un desplazamiento Doppler asociado diferente.

La cantidad de información de la señal perdida por el efecto Doppler en la señal deseada es aceptablemente pequeña. Mucha más importancia tiene la cantidad de señal no deseada que se introduce en el filtro de recepción. Para reducirla al mínimo se mantiene el filtro centrado en la frecuencia nominal, un método particularmente eficaz cuando hay interferencia desplazada por efecto Doppler en ambos lados de la señal deseada.

3. Plan de reutilización de frecuencias

Este sistema asegura que se ofrece a la aeronave una amplia cobertura, al tiempo que se mantiene una utilización y reutilización eficaz del espectro de frecuencias adoptando una estructura en tres filas. Cada fila está asociada con un determinado nivel de potencia del transmisor y de altura de la aeronave.

Cada estación de tierra estará clasificada como de alta potencia, de potencia mediana o de baja potencia. Las estaciones de tierra de alta potencia se destinan a la cobertura en ruta y serán utilizadas por aeronaves que vuelan a más de 2.700 m (unos 9.000 pies). Las estaciones de mediana potencia se utilizan durante las fases de ascensión y descenso del vuelo, aproximadamente hasta 2.700 m. Las estaciones de baja potencia únicamente se utilizarán cuando la aeronave esté en tierra. En el punto 5 se señalan los niveles de potencia asociados a cada una de estas estaciones.

Las estaciones de tierra de baja y mediana potencia estarán solamente ubicadas en aeropuertos, pero las de alta potencia estarán distribuidas por toda la zona de operación de tal manera que proporcionen una cobertura total. Esto se logrará estableciendo un plan de reutilización con nueve frecuencias, según se indica en la Figura 1.

3.1 Asignación de canales

Los canales se clasifican en canales en ruta (de alta potencia) y canales de aeropuerto (potencia mediana o baja). La Figura 2 ilustra esquemáticamente esta disposición. Existen 12 canales de aeropuerto (denominados "A" en la Figura 2), 6 de ellos en cada extremo de las bandas de 1 MHz, y 27 canales en ruta, con los números 7 a 34.

Los canales en ruta se asignan secuencialmente a las estaciones situadas en ruta, de modo que cada una de ellas disponga de tres canales a intervalos de 225 kHz. Por consiguiente, cada estación de tierra en ruta admite 24 circuitos telefónicos a 4 kbit/s (12 circuitos durante el funcionamiento a 8 kbit/s pero con ampliación final hasta 48 circuitos por estación de tierra).

Las estaciones de tierra de los aeropuertos pueden tener un máximo de 6 canales asignados, de tal manera que solamente se utilicen canales alternados en cualquiera de las estaciones de tierra. Ello ha de hacerse de un modo individual en cada caso para tener en cuenta las necesidades de los aeropuertos y la proximidad a otras estaciones de tierra de este tipo.

Una ventaja más de esta disposición es que el riesgo de interferencia de canal adyacente a otros servicios se reduce al mínimo al transmitir las potencias más bajas en los bordes de la banda.

3.2 Cobertura de la estación de tierra

La Figura 1 muestra la disposición de las estaciones de tierra en ruta. Están separadas a 200 millas náuticas (366 km). La distancia mínima entre estaciones con los mismos canales asignados es de 529 millas náuticas (968 km), y la distancia mínima entre estaciones con canales adyacentes es de 346 millas náuticas (633 km).

Una aeronave situada por debajo de 14.000 m (46.000 pies) no puede estar en visibilidad directa de dos estaciones de tierra en ruta con los mismos canales, con lo que se evita la interferencia cocanal hasta esa altura.

Si la aeronave vuela a más de 2.700 m (6.700 pies) siempre estará en visibilidad directa de una estación de tierra en ruta por lo menos. La máxima distancia de esa aeronave a una estación de tierra será de 115 millas náuticas (210 km). Por encima de 2.700 m, una aeronave siempre tendrá visibilidad directa con una a siete estaciones de tierra, dependiendo de la altura de dicha aeronave y de su posición dentro del diagrama hexagonal. Por consiguiente, cualquier aeronave aislada tendrá acceso a un máximo de 168 circuitos.

4. Explotación

Cada estación de tierra transmitirá datos sobre la disponibilidad de circuitos por uno de sus canales. La aeronave que requiera circuitos telefónicos escuchará las transmisiones sobre disponibilidad de circuitos y seleccionará canales e intervalos de tiempo que satisfagan su necesidad.

Las estaciones de tierra transmitirán también datos de control que proporcionarán instrucciones a la aeronave sobre la sincronización de los intervalos de tiempo y la potencia que necesita transmitir.

4.1 Conmutación de llamadas en curso

La conmutación de llamadas será parte intrínseca de este sistema. Estará controlada por la aeronave de manera que se pueda lograr continuidad de la llamada, mejorar la calidad de la señal y reducir la probabilidad de interferencia.

5. Potencia

El balance de potencia en ruta del sistema se indica en el cuadro siguiente. Se ha dejado un prudente margen de unos 3 dB para la pérdida del trayecto y se ha concedido un amplio margen a la pérdida del cable entre el transceptor y antena. Los 14 dB en reserva se destinan a prever los efectos de propagación multitrayecto en los alcances máximos.

BALANCE DE POTENCIA	
Potencia de transmisión	+46 dBm
Pérdida de transmisión	-2 dB
Potencia radiada	+44 dBm
Ganancia de antena de aeronave	0 dB
Pérdida de trayecto (370 km)	-148 dB
Pérdida de recepción	-3 dB
Ganancia de antena de tierra	+6 dB
Potencia de señal neta	-101 dBm
Ruido en canal	-130 dBm
Factor de ruido en recepción	+3 dB
Potencia total de ruido	-127 dBm
Señal/ruido para Eb/No de 10 dB-Hz (BER de 10^{-4})	+12 dB
Margen	+14 dB

ANEXO IV

Efectos de la propagación y Doppler en sistemas terrenales de
Correspondencia Pública con Aeronaves (CPA)1. Modelo de propagación aire-tierra

El modelo básico de propagación de aire a tierra se compone de dos trayectos entre el transmisor y el receptor, como se expresa en la Figura 1. Un trayecto es el de visibilidad directa (LOS) y el otro está constituido por una línea reflejada en la superficie de la Tierra. En el receptor las señales directa y reflejada se suman constructiva y destructivamente [Kirby, R.S. y otros, 1952], dependiendo de la diferencia de fase entre las dos señales que a su vez es resultado de la reflexión en la tierra y del perfil del índice de refracción de la atmósfera. Cuando la aeronave está a pocas millas de la estación de base, la separación entre los desvanecimientos es del orden de un segundo con una dependencia lineal de la frecuencia [Painter, J.H. y otros, 1973]. Pueden encontrarse frecuencias de desvanecimiento superiores en casos muy especiales debido a la disposición geométrica de las reflexiones.

La magnitud de cada desvanecimiento está afectada por las características del terreno en la región donde la onda se refleja, así como por el ángulo de incidencia y el ángulo de reflexión. La conductividad del suelo es generalmente función de la frecuencia, de donde resulta que una frecuencia más alta causa un mayor coeficiente de reflexión [Ginebra, 1982].

En la reflexión del terreno influyen la forma y la rugosidad de la superficie reflectora en la primera zona de Fresnel, que es en el caso actual la intersección entre el primer elipsoide de Fresnel correspondiente al rayo reflejado y el suelo. El tamaño de la primera zona de Fresnel depende de la frecuencia.

La distancia terrestre entre la estación de base y el punto de reflexión es aproximadamente igual a la distancia de dicho punto a la aeronave medida sobre el terreno y multiplicada por la relación de la altura de la antena de la estación de base (h_1) a la altura de la aeronave (h_2). Al moverse la aeronave el punto de reflexión se mueve a una velocidad mucho más reducida, siendo el factor de reducción aproximadamente igual a h_1/h_2 .

La distribución de potencia entre las componentes especular y difusa de la señal depende de la rugosidad del terreno relacionada con la frecuencia transmitida. Una duplicación de la frecuencia corresponde a elevar el coeficiente de dispersión a la cuarta potencia, disminuyendo la potencia de la reflexión especular y aumentando la potencia de la componente difusa. De este modo, al aumentar la frecuencia la señal total recibida acusa desvanecimientos menores causados por reflexiones especulares pero fluctuaciones más amplias debidas a la componente difusa. La frecuencia de desvanecimiento de las fluctuaciones de señal producidas por la componente difusa está relacionada con la distancia de coherencia de las irregularidades del terreno y con la velocidad de la zona de Fresnel sobre la tierra, y por consiguiente no está afectada por cambios en la frecuencia transmitida.

La atmósfera terrestre afecta a la propagación en ondas decimétricas principalmente de dos maneras: refracción y difracción. La refracción o curvatura de los rayos de las ondas decimétricas se debe a los gradientes del índice de refracción de la atmósfera. En la atmósfera denominada normal el índice de refracción disminuye linealmente con la altura, y a causa de ello los rayos se curvan hacia abajo siguiendo la curvatura de la Tierra. Tomando como radio ficticio de la tierra un radio $4/3$ mayor (Recomendación 528 del CCIR) los rayos pueden considerarse rectos. Es posible introducir una corrección para tener en cuenta las variaciones debidas a la altura y al índice de refracción de la atmósfera [Robertshaw, G.A., 1986].

Las variaciones atmosféricas de temperatura, presión y humedad afectan a las trayectorias de los rayos y por consiguiente a la fase de la señal. No obstante, a los efectos de proporcionar una comunicación fiable de aire a tierra la situación exacta de los desvanecimientos tiene menos importancia que el hecho de que tales desvanecimientos existan. No es, pues, crítico el analizar los perfiles exactos del índice de refracción de la atmósfera y puede suponerse una propagación en el espacio libre. El efecto refractor de la atmósfera terrestre se toma en cuenta adecuadamente utilizando el método del radio ficticio terrestre equivalente [Robertshaw, G.A., 1986].

Los efectos difractores de la atmósfera se deben a la dispersión creada por turbulencia en la troposfera y condiciones atmosféricas anormales. A 850 MHz la potencia dispersada es despreciable frente a la potencia recibida. Por lo tanto, los efectos dispersores de la atmósfera pueden despreciarse cuando existe una trayectoria radioeléctrica con visibilidad directa determinada por los efectos refractores.

La antena de a bordo sujeta a la parte inferior de la aeronave, actúa como un dipolo en media longitud de onda. Se supone que la antena de la estación de base es asimismo un dipolo en media onda. La antena de a bordo está situada de manera que las señales reflejadas de la superficie de la aeronave se reduzcan al mínimo.

Las directividades de la antena pueden causar pequeñas fluctuaciones de la señal al trasladarse el avión, debido al cambio de ángulos formados por el trayecto del rayo con las antenas. La antena de a bordo debe ser la que más contribuya a este efecto puesto que la aeronave produce múltiples reflexiones que modifican el sencillo diagrama de radiación de la antena dipolo en media onda ideal. Se espera que las fluctuaciones de la señal recibida debida a los diagramas de radiación de la antena sean más bien lentas, dado que la inercia de la aeronave limita sus movimientos. Además, los ángulos del trayecto del rayo con las antenas tienen una variación lenta. La amplitud de dichas fluctuaciones depende del diagrama de radiación de la antena, debiendo producirse las fluctuaciones máximas cuando un motor de la aeronave u otros obstáculos ensombrecen los trayectos entre la aeronave y las antenas de la estación de base.

La Figura 2 presenta el comportamiento de la señal recibida correspondiente al modelo de dos trayectos, a medida que la aeronave se aleja de la estación de base.

Al aumentar la frecuencia desde 860 MHz a 1 600 MHz por ejemplo, el efecto predominante es la pérdida en el espacio libre, con un desvanecimiento algo más profundo debido a la mayor conductividad del terreno y a la mayor reflexión especular. La mayor rugosidad aparente del terreno debida a ser más cortas las longitudes de onda compensa los desvanecimientos mayores producidos por pérdidas de dispersión más elevadas en la señal reflejada. Cerca del horizonte radioeléctrico y más allá del mismo la señal reflejada llega a ensombrecerse de tal manera que el modelo debe ser modificado para aplicarse en esas regiones.

2. Efectos del desplazamiento Doppler

El desplazamiento Doppler tiene un efecto considerable en el diseño y la complejidad de un sistema aire-tierra. Si se toma como máxima velocidad de la aeronave 600 millas por hora y la frecuencia de funcionamiento es de 850 MHz, entonces el máximo desplazamiento Doppler es el experimentado por una aeronave que vuela sobre una estación de base en sentido radial a la máxima velocidad, y su valor es de 760 Hz.

Los desplazamientos Doppler contrapuestos pueden producir interferencia, tanto entre dos aeronaves que funcionen con una estación de base común como entre aeronaves que funcionen con estaciones de base adyacentes, en las que el desplazamiento Doppler sea un porcentaje apreciable de la anchura de banda del canal. Si una aeronave que vuela hacia la estación de base está funcionando en un determinado canal y otra aeronave que se aleja de la estación de base trabaja en el canal siguiente superior, entonces la aeronave del canal inferior produce un efecto Doppler ascendente en la estación de base mientras que la aeronave en el canal inferior produce un Doppler descendente en la misma estación de base. Las señales recibidas pueden solaparse, causando interferencia en la estación de base. No existe un efecto de interferencia equivalente en el enlace ascendente puesto que cada aeronave experimenta un efecto Doppler igual procedente de todas las transmisiones de la estación de base. Análogamente, se produce una interferencia de canal adyacente inducida por efecto Doppler en las estaciones de base adyacentes.

Existen maneras de evitar estas dos formas de interferencia de canal adyacente inducida por efecto Doppler, entre ellas la de utilizar una banda de guarda entre los canales adyacentes mayor que el máximo desplazamiento Doppler, y la de prohibir asignaciones de canales adyacentes tanto dentro de una célula como entre células contiguas.

La utilización de uno u otro de estos métodos conduce a una seria disminución del rendimiento espectral. Un tercer método compensa por anticipado el desplazamiento Doppler en el transmisor de la aeronave. Si la aeronave dispone de una medición exacta del desplazamiento Doppler recibido podrá aplicar el desplazamiento opuesto (corregido para duplexar la desviación de frecuencia) en la transmisión. Como resultado de esta corrección previa, la señal recibida en la estación de base estará situada en la banda de frecuencias correcta.

Dicha compensación previa del Doppler no puede, sin embargo, compensar la interferencia de canal adyacente inducida por efectos Doppler en estaciones contiguas. Las aeronaves que apliquen semejantes correcciones anticipadas para compensar efectos Doppler producidos en una estación común todavía experimentarán efectos Doppler conflictivos entre estaciones de base adyacentes.

Los tres métodos expuestos son aplicables tanto con sistemas de un solo canal por portadora (SCPC) como con sistemas de señales múltiples por portadora (por ejemplo, acceso múltiple por distribución en el tiempo, AMDT). En los sistemas AMDT hay que considerar algunos aspectos suplementarios. En general, varias aeronaves con desplazamientos Doppler diferentes ocuparían intervalos de tiempo de una sola portadora en la estación de base. Si se adopta el método de banda de guarda, entonces solamente se necesita proporcionar dos bandas de guarda en torno de cada portadora AMDT, de manera que los efectos de la banda de guarda sean compartidos entre los N intervalos de tiempo de canal telefónico que utilizan esa portadora. Si N tiene un valor grande, el efecto de la banda de guarda se reduce al mínimo. No obstante, este método comporta la penalización de rastrear hasta N desplazamientos Doppler diferentes en el receptor de la estación de base, con una complejidad mayor a medida que aumenta el margen de seguimiento debido a las frecuencias más elevadas. El método de compensación previa Doppler puede utilizarse para suprimir la necesidad de bandas de guarda y mitigar el problema de recuperación de portadoras en la estación de base. El receptor de la estación de base tendrá todavía que afrontar un desplazamiento residual de la portadora entre las aeronaves que ocupen intervalos de tiempo diferentes.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

KIRBY, R.S., J.W. HERBSTREIT, y K.A. NORTON, "Services Range for Air-to-Ground and Air-to-Air Communications at Frequencies Above 50 Mc," IRE. Proc., páginas 525-536, mayo de 1952.

PAINTER, J.E., S.C. GUPTA y L.R. WILSON, "Multipath Modeling for Aeronautical Communications." IEEE Trans. on Comm., páginas 658-662, mayo de 1973.

CCIR Report 238-4, "Propagation Data Required for Trans-Horizon Radio-Relay Systems," Ginebra, 1982.

ROBERTSHAW, G.A., "Effective Earth Radius for Refraction of Radio Waves at Altitudes Above 1 km," IEEE Trans. AP-34(9), páginas 1099-1105, septiembre de 1986.

Modelo de dos trayectos de propagación aire-tierra

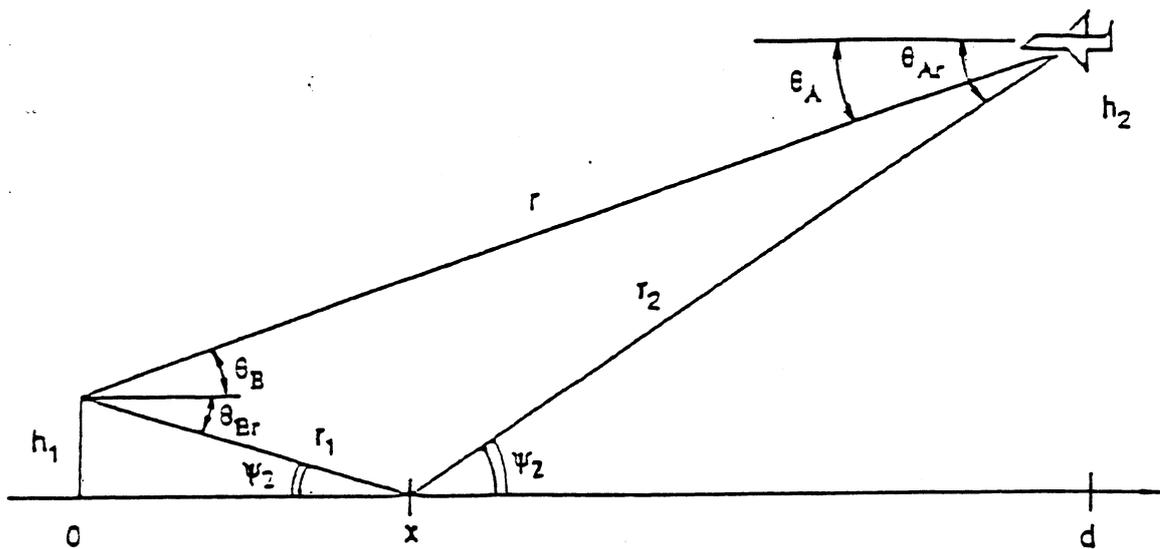


FIGURA 1

Disposición geométrica y notaciones del modelo de propagación aire-tierra

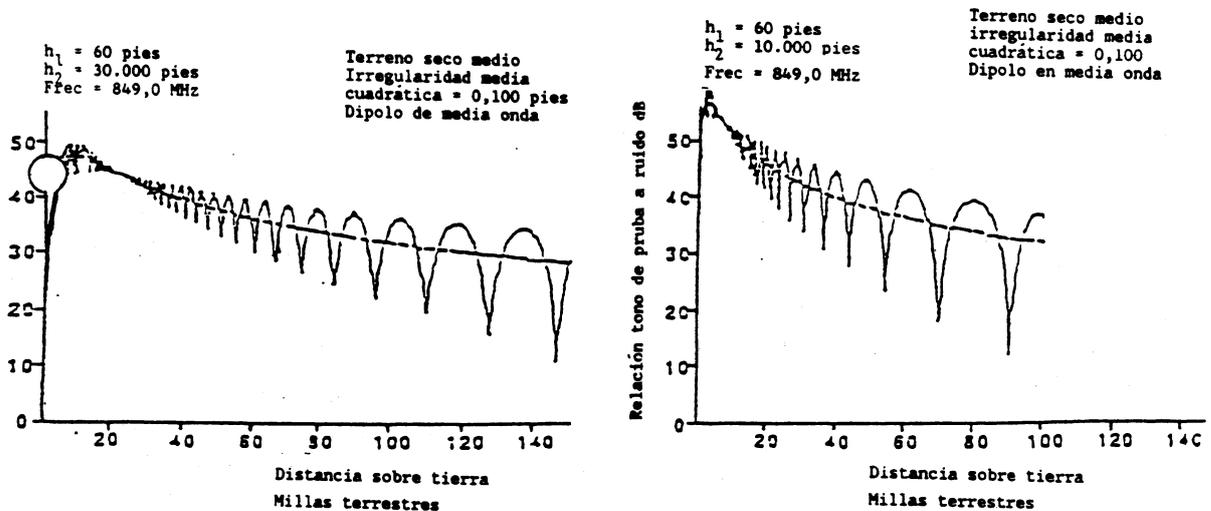


FIGURA 2

Comparación entre las configuraciones de señal recibidas que se han calculado para dos alturas diferentes utilizando antenas de dipolo de media onda en la estación de base