



HF D+VL

COMUNICACIONES AÉREAS DIGITALES EN LA BANDA HF



Foto Guillermo Hernández

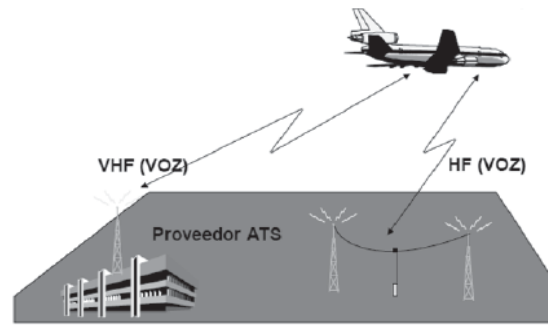
Colaboración: Guillermo Hernández Pérez, Comandante Air Europa
Iván A. Pérez Álvarez, Doctor Ingeniero de Telecomunicación y profesor ULPGC
Santiago Zazo Bello, Doctor Ingeniero de Telecomunicación y profesor UPM

El desarrollo de los sistemas de comunicación actuales que se utiliza en cualquier actividad cotidiana contrasta mucho con la tecnología que se emplea en el sector aeronáutico. La complejidad técnica de una red de telefonía móvil 3G, de las redes domésticas LAN para acceder a Internet, o cualquier otro equipo electrónico de consumo que se nos ocurra, está muchísimo más avanzado tecnológicamente que los sistemas analógicos de comunicaciones aeronáuticas que se utilizan actualmente. Por poner un ejemplo, las estaciones VOR y NDB llevan varias décadas funcionando de la misma forma.

Las características tan particulares de este sector son las que definen el tipo de sistemas a emplear. Entre estas se encuentra una fuerte regulación y normalización para garantizar la seguridad operacional hacia las personas que utilizan este medio de transporte. Los largos períodos que conlleva el proceso de estandarización de una tecnología y su puesta en marcha

operacional (años e incluso décadas) unido al hecho de que, como consecuencia de los altos requisitos de seguridad, sólo las tecnologías suficientemente probadas y conocidas (fundamentalmente analógicas hasta el momento) pueden ser empleadas tanto en tierra como a bordo, ha provocado un cierto inmovilismo en el sector aeronáutico, del que intenta salir para poder hacer frente a la congestión de las bandas de frecuencias de uso aeronáutico y al aumento del tráfico aéreo (estimado por EUROCONTROL en más de un 50% en Europa hasta el año 2020). Algunos métodos en los que se está trabajando para evitar esta congestión consisten en la optimización de rutas, procedimientos y operaciones, la introducción de sistemas de **comunicaciones digitales** (o de enlace de datos) como el B-VHF (www.b-vhf.org) y la automatización de tareas en el ATS (*Air Traffic Services*). Incluso Airbus apuesta por llevar más gente en un solo avión con su A380.

En este artículo describiremos un método desarrollado recientemente para digitalizar y mejorar las comunicaciones aéreas en HF: el **HF D + VL** (HF Data + Voice Link). En primer lugar repasaremos el uso actual de la banda HF en el sector aeronáutico. Luego describiremos las características típicas del canal en esta banda, y por último se presentará el HF D+VL.



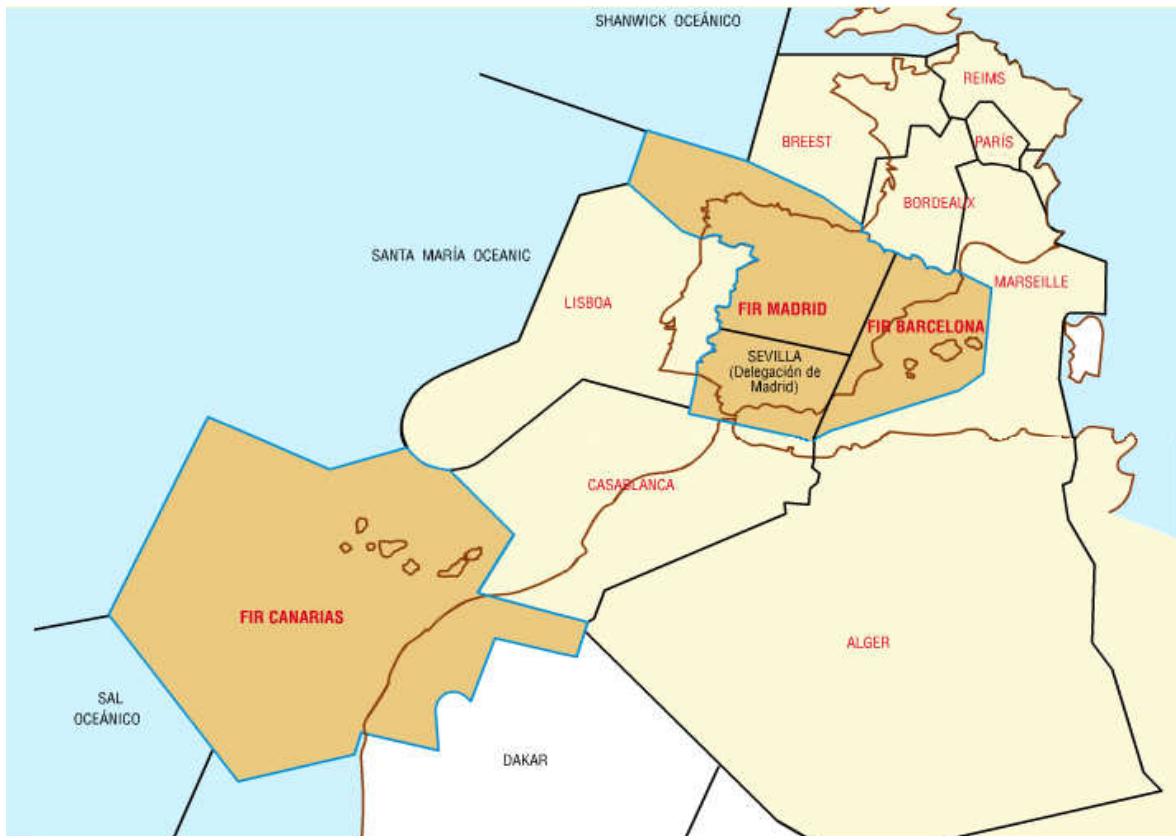
Comunicaciones aeronáuticas HF

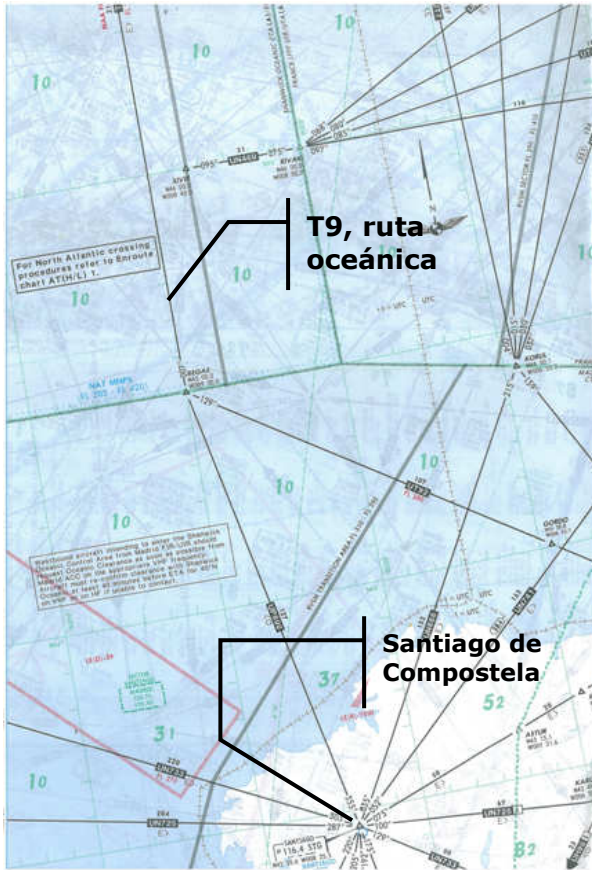
La transmisión de la voz en la banda HF se utiliza para el control de tráfico aéreo en vuelos de larga distancia, donde no es posible la comunicación mediante VHF, puesto que utiliza la refracción en la ionosfera como método de propagación, pero esto lo veremos más adelante. Por poner algunos ejemplos, el caso más cercano lo tenemos en las rutas que enlazan América del Sur con Europa y pasan por el FIR de Canarias, controladas por Sal Oceanic en el Atlántico medio. También, la T9 que parte del sector de Santiago de Compostela hacia Irlanda es controlada por Sanwick Oceanic en la banda HF. Y los vuelos al centro y norte de América pasan por Santa María Oceanic.

Pero también surgió la necesidad de transmitir datos entre diferentes aeronaves y tierra para nuevas aplicaciones (de comunicaciones, navegación y vigilancia), por lo que se desarrolló el HFDL como un servicio de enlace de datos tierra-aire, proporcionado por la empresa ARINC (www.arinc.com), que con el apoyo de la administración norteamericana, consiguió que se aprobara el estándar. Este sistema tiene 14 estaciones HF (una en Canarias) proporcionando servicio a nivel mundial a aeronaves que no tienen equipos de comunicación por satélite, incluso en zonas Polares.

http://www.arinc.com/products/globalink/hfdl_faqs.html

Además de lo anterior, el servicio VOLMET también se transmite en una extensa red mundial en HF.





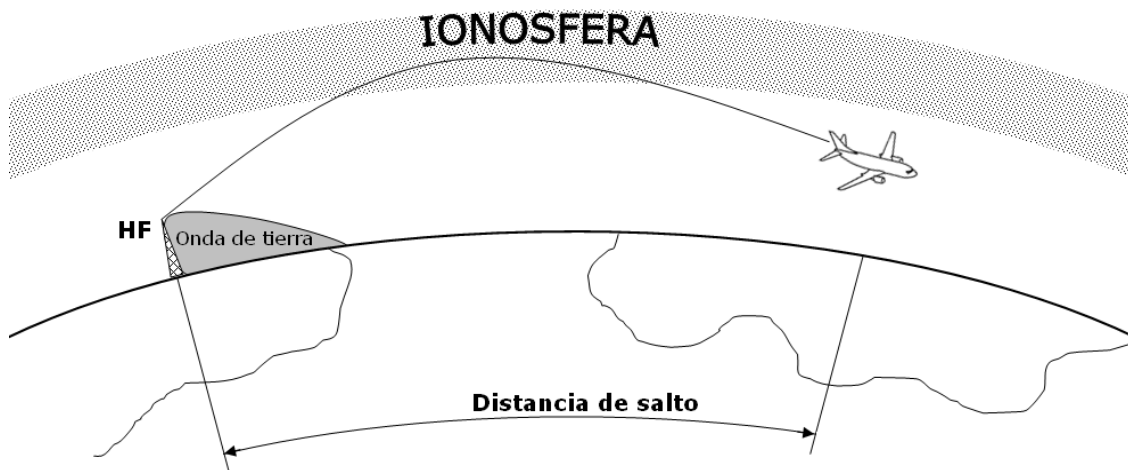
que las ondas electromagnéticas debían propagarse en trayectos rectilíneos y que la esfericidad de la tierra impedía la visibilidad directa. De hecho el éxito inicial fue recibido con cierto escepticismo por la comunidad científica, que en parte dudaba de su veracidad. En el año 1902 otros experimentos realizados por *Marconi* pusieron de relieve que las comunicaciones a grandes distancias sufrían grandes variaciones si se realizaban durante el día o la noche. Así, experimentos de recepción a bordo de un barco desde una estación base en tierra mostraron que a distancias superiores a 1.000 Km las comunicaciones fallaban totalmente durante el día, mientras que durante la noche era posible la recepción a distancias superiores a los 3.000 Km.

La explicación a los experimentos de Marconi se encuentra en una región de la atmósfera que se llama **ionosfera** (60 - 400 Km de altura), y debe su nombre a que esa zona se encuentra ionizada. Esto significa que hay presencia de **electrones libres** que se produce fundamentalmente por las radiaciones solares en las bandas de ultravioletas y rayos X. También contribuye a la misma otros fenómenos como los rayos cósmicos y los meteoritos.

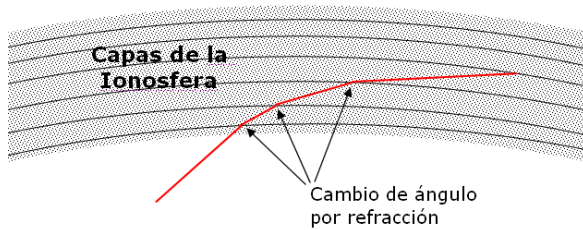
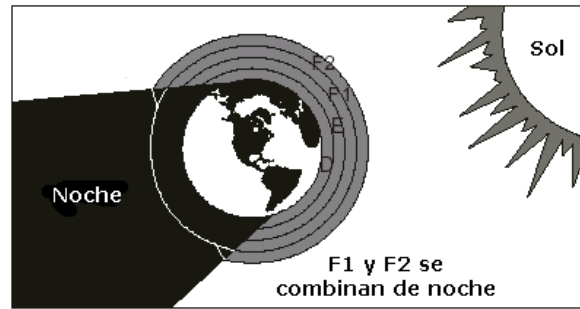
Pero la ionosfera no es homogénea, sino que está compuesta de varias capas con densidades diferentes de electrones. Las ondas de radio en la banda de HF que alcanzan estas capas se van refractando, es decir, que el ángulo con el que entra el rayo es diferente al ángulo con el que sale. Un

Características del canal HF

El 12 de diciembre de 1901, *Marconi* consiguió realizar de forma satisfactoria la primera comunicación radiotelegráfica transatlántica cubriendo una distancia de más de 3.000 Km entre Gales y Terranova, en el extremo oriental de Canadá. Unos años antes, *Herz* había comprobado experimentalmente la existencia de ondas electromagnéticas, cuya naturaleza era similar a la de la luz. Por este motivo el éxito de Marconi resultaba inexplicable considerando



sencillo ejemplo de refracción lo podemos ver si colocamos un lápiz dentro de un vaso con un poco de agua. Si miramos desde arriba, da la sensación que el lápiz no es recto, sino que se quiebra en la superficie del agua. En nuestro caso, la ionosfera está compuesta de varias capas que además son esféricas, por lo que el rayo sufre diversas refracciones hasta que es radiada de nuevo a la tierra.

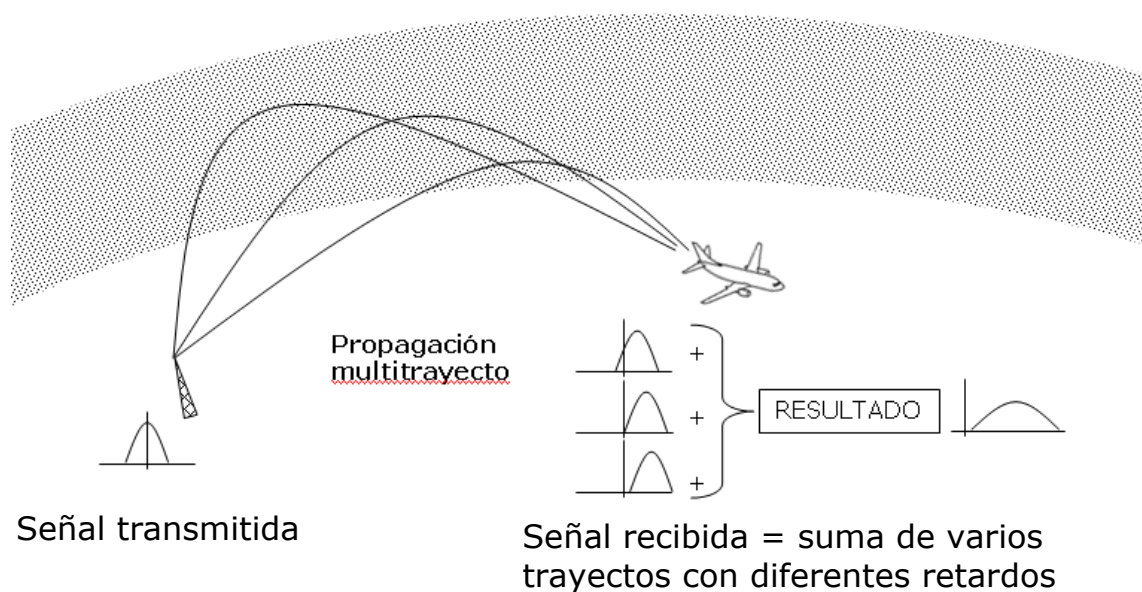


Pero la densidad de electrones que contiene la ionosfera varía según la hora del día y la estación del año. Por otro lado, el sol tiene un período de rotación de veintisiete días por lo que las manchas solares se mueven conforme gira y su efecto sobre la propagación depende de esta rotación. Además, la radiación también varía siguiendo el ciclo de las manchas solares

(≈11 años). Estos efectos generan una gran variabilidad en el canal por donde se propagan las ondas de radio HF.

Otro de los efectos a tener en cuenta es la propagación multitrayecto. De la antena transmisora salen múltiples rayos que recorren caminos diferentes, por lo que algunos de ellos convergen en la antena receptora en instantes de tiempo distintos. Esto produce un “ensanchamiento” o dispersión de la señal original transmitida.

Todos estos efectos repercuten en gran medida en la calidad de las comunicaciones HF, produciendo retardos y añadiendo ruido a la señal original. En la web: www.liveatc.net podemos escuchar la banda HF aeronáutica (buscar Feeds HF o bien acceder directamente a la siguiente dirección: <http://www.liveatc.net/feedindex.php?type=hf>)



Descripción del sistema HF DV+L

El HF DV+L (HF Data + Voice Link) es un sistema ideado y producido en colaboración por el grupo CeTIC de la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria (www.cetic.eu) liderado por el profesor Iván A. Pérez Álvarez, y el GAPS de la Universidad Politécnica de Madrid (www.gaps.ssr.upm.es) liderado por el profesor Santiago Zazo Bello, financiado por AENA (que ha puesto mucho dinero desde el 1999) y el Ministerio de Ciencia e Innovación que ha financiado 2 proyectos. Además, han recibido el apoyo del Ministerio de Defensa (Armada y Fuerza Aérea), que se han volcado con el equipo investigador para verificar en entornos reales (barcos, vehículos y aviones en vuelo) el funcionamiento del sistema.

Partiendo de las características del canal HF vistas en el apartado anterior, este equipo investigador se planteó la siguiente pregunta: ¿Es posible una comunicación HF sin retardo, continua en el tiempo y de mayor calidad?

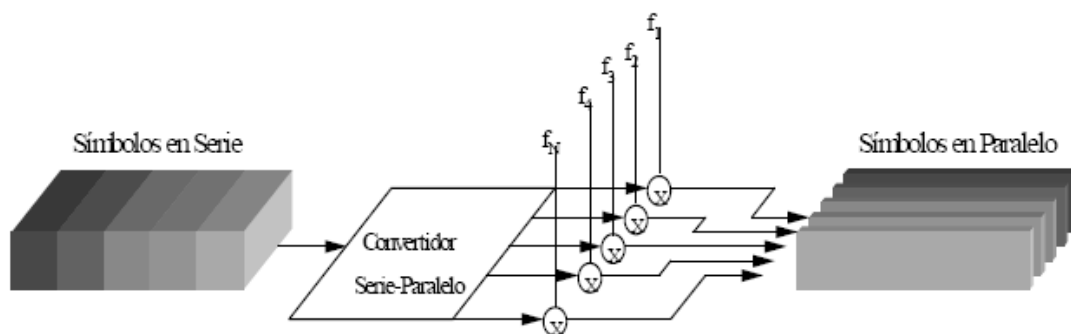
Inicialmente parece sencillo reducir el ruido mediante la *digitalización* de la señal de voz, codificándola a 2400 bps (bits por segundo), lo que proporciona una calidad muy aceptable, donde además el ruido no está presente. Pero ¿qué pasa con el retardo?

La respuesta fue encontrada en un ámbito mucho más activo tecnológicamente que el HF y que también se enfrentaba a importantes retos científicos: los sistemas de comunicaciones móviles de tercera (3G, UMTS) y cuarta generación (4G).

La alternativa desarrollada se basa en modulaciones tipo OFDM (Multiplexación por División en frecuencia Ortogonales) El sistema OFDM consiste en descomponer la señal a transmitir en un conjunto de portadoras de banda estrecha denominadas subportadoras, convirtiendo la transmisión serie en una transmisión paralela. En la figura a pié de página se presenta el proceso de generación de señal a transmitir, donde se observa cómo los símbolos en serie pasan por un convertidor de serie a paralelo. El convertidor reparte de forma ordenada los símbolos que le llegan a cada una de las salidas, quedando el símbolo 1 ubicado en la salida 1, el 2 en la 2, y así sucesivamente hasta la N. Una vez disponibles los N símbolos, cada uno es modulado por una portadora (f_1, f_2, \dots, f_N) y finalmente combinados para formar el símbolo OFDM definitivo compuesto de N símbolos en paralelo.

Obsérvese que el símbolo OFDM resultante tiene una duración temporal N veces mayor que cada uno de los símbolos serie. Esta característica es la que hace, en parte, que la forma de onda OFDM sea extraordinariamente robusta frente a canales muy hostiles. Debido al incremento considerable de la longitud del símbolo, el efecto del multitrayecto es prácticamente irrelevante.

Y para que la señal resultante sea menos sensible a los desvanecimientos típicos del canal HF, se le aplica la técnica de espectro ensanchado.



Se puede obtener más información en www.hfdvl.eu o se puede buscar en Google:

VOZ DIGITAL EN LA IONOSFERA

En la foto vemos al equipo investigador haciendo pruebas reales en vuelo a bordo de un C-130 Hércules.

El exitoso resultado tuvo sus frutos. En el congreso de HF de abril de

2009 (Edimburgo) que organiza cada 3 años el IET (UK), les concedieron el premio al mejor paper. Aena también otorgó a ambos equipos de investigación universitarios el Premio Nacional 'Juan de la Cierva' 2004, como reconocimiento a los años de estudio que han concluido que la propia Naturaleza ofrece posibilidades de comunicación a coste cero.

David Ortega
ortega_d@coit.es



A la izquierda, Santiago Zazo y en el centro, Iván A. Pérez. Foto Iván A. Pérez



Equipo de radio de un Boeing 737-800 recibiendo datos en la banda VHF. Foto Guillermo Hernández