

LA RADIODIFUSIÓN DIGITAL Y EL OFDM

Juan Darío Capillas Diosdado

Este artículo pretende dar, primero, una visión del mundo de la TV digital desde el punto de vista de la radiodifusión y después, explicar las bases de la modulación OFDM que parece que va a ser la escogida para la HDTV. OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing).

Introducción

A lo largo de estos últimos cincuenta años hemos sido testigos de una serie de revoluciones en el mundo de la telecomunicación. Primero fue la utilización del multiplexado en frecuencia, después la introducción de la TV en color y ahora se avecina un salto desde las modulaciones analógicas a las digitales. Dicho paso se dará casi con toda seguridad con mucha cautela debido al profundo cambio que se deberá hacer en todo el parque de receptores de audio (radio digital) y de televisión. El objetivo de este "salto a lo digital" es aprovechar las ventajas de las modulaciones digitales y también llegar a un estado de "todo digital", desde la fuente hasta el destino. Modulaciones digitales hay muchas pero en cuanto a métodos de multiplexado, básicamente se está hablando de dos: por un lado

JUAN DARÍO CAPILLAS DIOSDADO es proyectista en la ETSETB bajo la dirección del profesor Delgado-Penín. Realizó un proyecto consistente en la simulación de un sistema COFDM con la ayuda del paquete de simulación TOPSIM IV.

el CDMA y por el otro el OFDM (o COFDM si existe codificación). Nos vamos a centrar principalmente en el OFDM.

Tanto en Europa como en Estados Unidos se está estudiando mucho el tema de radiodifusión digital tanto por satélite como por vía terrenal. Sobre todo, en el marco de la radiodifusión terrenal, el COFDM parece ser

2.-El proyecto DIAMOND (Digital Scalable Modulation for New Broadcasting): desarrollado en los laboratorios de electrónica de Thomson-CSF en Rennes en octubre de 1992 en Francia.

3.-El proyecto STERNE (Système de Télévision en Radiodiffusion numérique): desarrollado también en Francia por France Télécom en el año 1992.

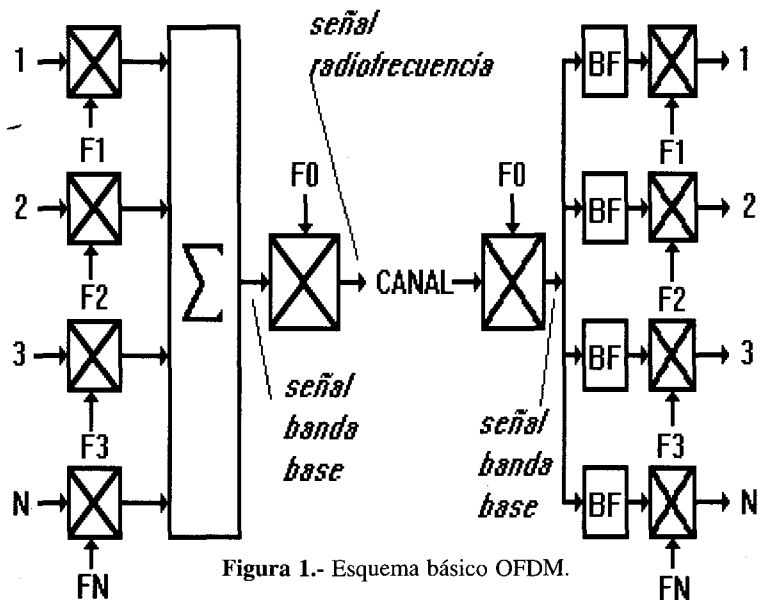


Figura 1.- Esquema básico OFDM.

una constante en todos los proyectos existentes. Además del exitoso proyecto europeo EUREKA DAB 147 para audio, al menos otros cuatro proyectos usan la misma modulación en cuestión, el OFDM.

1.-El proyecto SPECTRE (Special Purpose Extra Channels for Terrestrial Radiocommunication Enhancements): desarrollado en el Reino Unido desde 1990 hasta 1992.

4.-El proyecto HD-DIVINE (sistema para HDTV vía terrenal): desarrollado por un consorcio entre empresas nórdicas de Suecia, Dinamarca y Noruega en los inicios de 1992.

Además de estos proyectos, se ha hablado mucho del OFDM en todos los círculos de telecomunicación en general, como en la última conferencia internacional de telecomunicaciones GLOBECOM '95 hecha en



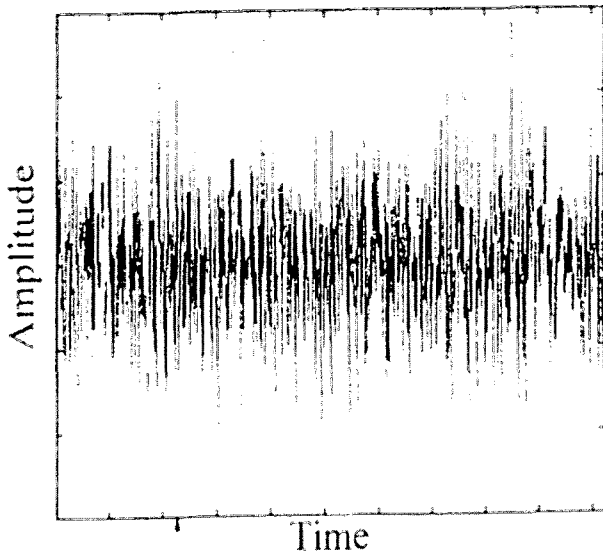


Figura 2.- Señal OFDM en el dominio temporal

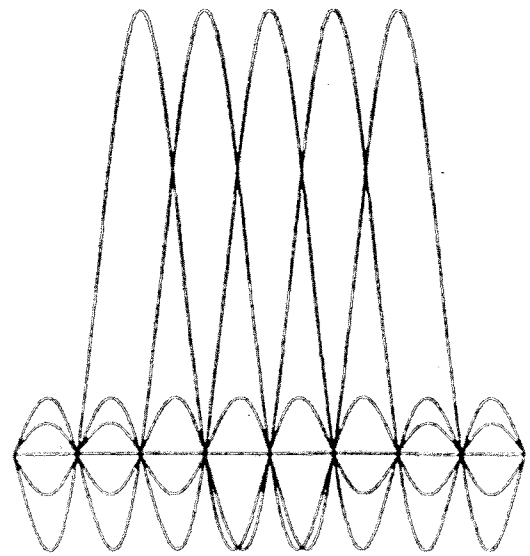


Figura 3.- Espectro de señal OFDM

Singapur a finales del año pasado.

Después de esta breve presentación de la situación actual nos disponemos a ver lo que es en particular el OFDM.

El sistema OFDM

El OFDM nació de la idea de subdividir un flujo importante de información (símbolos) ,en varios de menor velocidad y cada uno de los cuales, modula una subportadora. Los primeros documentos que se pueden encontrar sobre el tema, datan de 1967,

época en la cual el mundo digital estaba relativamente evolucionado en cuanto a teoría , pero en su infancia en tecnología .

Al principio, la generación de la señal se realizaba mediante un banco de multiplicadores en serie; es decir que a partir de un flujo de símbolos, que se convierten de serie a paralelo de N , se multiplicaba cada uno de dichos N subflujos por una portadora diferente. Después de la multiplicación en cadena, se sumaban las N señales resultantes para obtener la señal en banda base. Las portadoras no podían ser cuales-

quiera, sinó que habían de ser ortogonales, (como el nombre de la modulación requiere) con una separación de frecuencia $\Delta f=1/T_s$, siendo T_s el tiempo de símbolo del flujo general de entrada (antes de la conversión serie a paralelo). De esta manera tenemos N portadoras equiespaciadas y cada una de las cuales lleva información de un subflujo. La señal banda base conseguida se desplazaba a continuación en frecuencia antes de mandarla al canal para colocarla en la banda deseada. Por consiguiente se puede decir que la señal OFDM se compone de una serie de subportadoras, cada una de las cuales tiene una frecuencia $F_i=f_0+i/T_s$, siendo f_0 la frecuencia central donde se ubica la señal en transmisión (ver figura 1).

Además , si insertamos un intervalo de guarda después de cada símbolo OFDM , cuya duración exceda la duración de la respuesta impulsional del canal , suprimimos teóricamente la totalidad de las distorsiones introducidas por el canal (que suele tener eco). El intervalo de guarda introducido suele durar menos de la cuarta parte de un símbolo OFDM, es decir $\Delta T=N.T_s/4$ como máximo para que no haya demasiada pérdida de velocidad y sin embargo el resultado sea beneficioso.

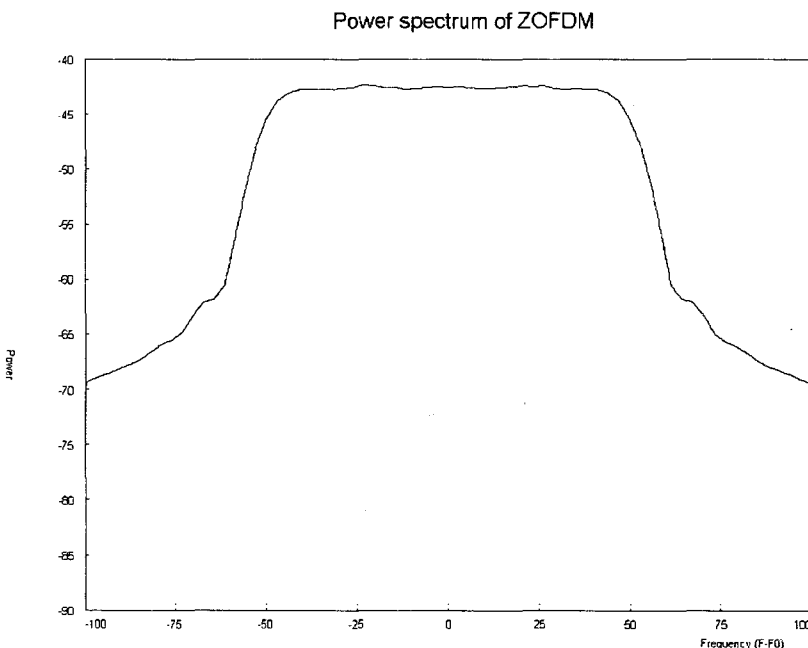


Figura 4.- Espectro de la señal OFDM.

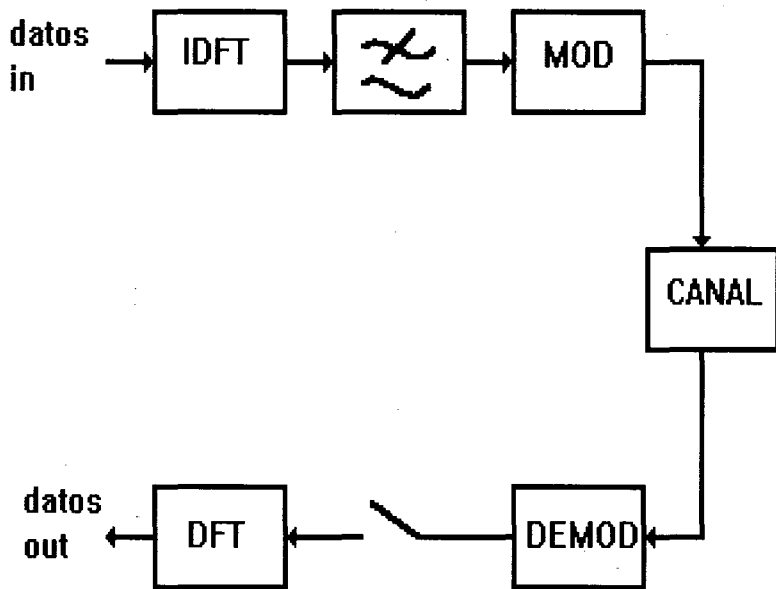


Figura 5.- Diagrama de bloques de un sistema OFDM con DFT

En recepción se realizaba el proceso inverso bajando a banda base la señal recibida y filtrando cada subportadora que al fin se extrae obteniendo así la secuencia introducida.

La señal OFDM generada, tiene un aspecto en tiempo muy similar al del ruido y en frecuencia no es más que una suma de N sincs equiespaciadas que resulta tener una forma cuadrada (ver figuras 2, 3 y 4).

Sin embargo en aquella época de nacimiento del sistema OFDM, resultaba muy costoso y ciertamente complicado debido a la necesidad de N mezcladores en el transmisor, un banco de N filtros y otros N mezcladores en el receptor. Por estas razones no convenció hace treinta años.

El avance de "lo digital" proporcionó rápidamente soluciones a los problemas, primero conceptualmente en la manera de generar la señal OFDM y luego téc-

nicamente con la indudable mejora de las herramientas de procesamiento digital (en velocidad, fiabilidad y capacidad de almacenamiento).

Generación de la señal por medio de la Transformada Discreta de Fourier (DFT)

Otro método considerablemente más simple es el que usa la DFT. La diferencia con el sistema anterior radica en el cambio de los N mezcladores por un bloque que realiza la IDFT de N puntos y en recepción el cambio del banco de filtros y de los otros N mezcladores por un bloque que realiza la DFT de N puntos (ver figura 5).

La señal OFDM se puede escribir de la manera siguiente :

$$s(t) = \text{Re} \left\{ \sum_{n=-\infty}^{+\infty} b(n) \cdot f(t-nT_s) e^{j(\omega_0 + \Phi_n)} \right\} \quad (1)$$

$$b_k(m) = 1/N \sum_{l=0}^{N-1} \{ a_l(m) \cdot e^{j2\pi k l / N} \} \quad (2)$$

Donde Re denota la parte real, f(t) es la respuesta impulsional del filtro transmisor, T_s es el tiempo de símbolo del flujo entrante, W₀ es la frecuencia

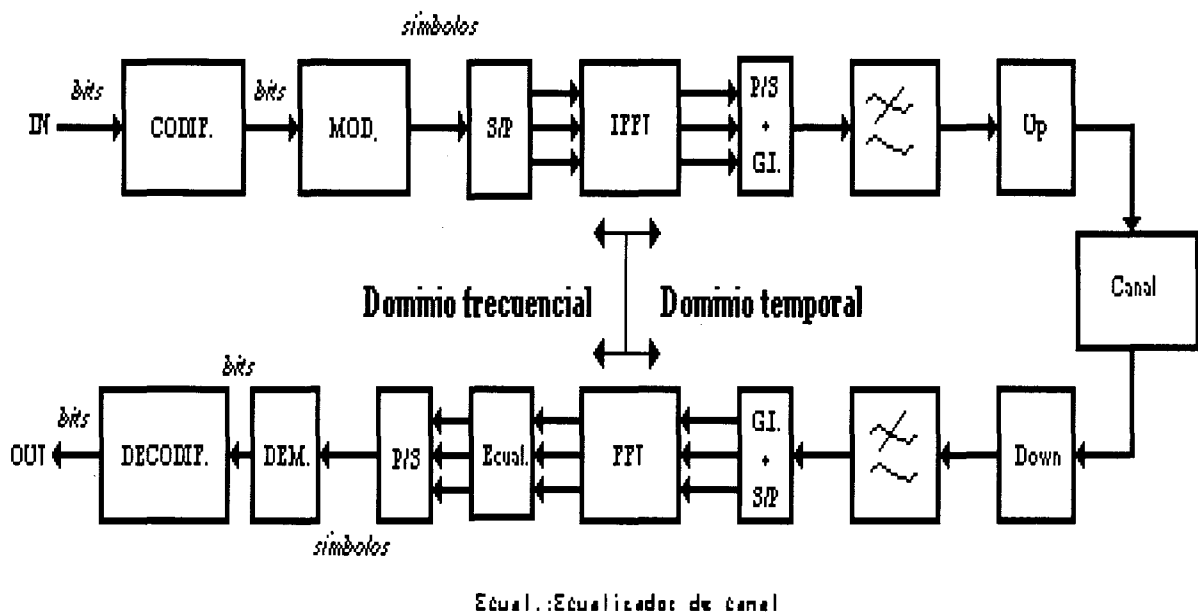


Figura 6.- Sistema COFDM completo con equalizador de canal y con inserción de intervalo de guarda.

cia central de transmisión en radianes, es la fase de la portadora y $b(n)$ conseguido por la transformación (2).

Vemos enseguida que la transformación (2) es una IDFT de N puntos que nos permite de una manera más simple generar la señal OFDM.

El proceso de generación empieza pues tomando los símbolos de entrada, haciendo una transformación de serie a paralelo de N símbolos y con estos N símbolos realizar una IDFT (suele hacerse IFFT). A la salida de nuestro bloque de IDFT tenemos también N símbolos que debemos de volver a convertir a serie. De suma importancia es el filtro paso bajo utilizado en transmisión que ha de ser de Nyquist (suele ser un filtro raíz cuadrada de coseno realzado) ya que hemos de limitar en banda la señal que enviamos al canal.

Después el bloque modulador se limita a desplazar la señal a la frecuencia deseada.

Del lado del receptor la señal se demodula coherentemente, se muestrea a $1/T_s$ y se convierte de serie a paralelo de N antes de realizar la DFT de N puntos, después se reconvierte de paralelo a serie obteniéndose el flujo entrante de símbolos si no ha habido ningún tipo de distorsión en el canal.

He de decir que si hablo de símbolos es porque estos pueden ser el resultado de cualquier tipo de modulación digital siendo las más usuales la QPSK, la 16QAM y la 32QAM. Por lo tanto, en realidad habría que añadir a nuestro diagrama de bloques un modulador y un demodulador del tipo de modulación escogida.

¿Porqué el OFDM?

Varias son las razones que han ayudado al desarrollo del OFDM.

Primero existe una característica muy especial y es una dualidad entre los dominios frecuencial y temporal que se puede

de aprovechar. En efecto se considera que antes de la IDFT estamos en el dominio de la frecuencia y que después de ella estamos en el temporal. La ecualización en frecuencia es, si pensamos bien, sumamente sencilla ya que esta consiste simplemente en colocar un banco de amplificadores que compensen para cada una de las N subportadoras las pérdidas introducidas por el canal a las correspondientes frecuencias f_i . En cierta forma se puede establecer un paralelismo con los sistemas que ecualizan en frecuencia pero sin la necesidad de realizar ningún tipo de transformación extraordinaria y aprovechando las características del sistema (ver figura 6).

Otra principal ventaja es que gracias a la inserción del intervalo de guarda solucionamos varios problemas imposibles de eliminar completamente para otros sistemas. Estos problemas son por un lado los efectos de la propagación multicamino que afectan a cualquier radiodifusión en entornos ciudadanos (la más importante debido a la concentración de receptores y de potenciales clientes de una televisión digital que probablemente empiece siendo de pago) y que son completamente suprimidos sin necesidad de realizar ningún tipo de ecualización complicada. Por otro lado, es el efecto Doppler tan habitual en comunicaciones móviles o vía satélite, el que también se resuelve con la inserción del intervalo de guarda adecuado.

También hay que tener en cuenta la simplicidad del receptor que evidentemente no solo nos interesa desde el punto de vista conceptual, sino que sobretodo nos lleva a una rebaja en los posibles costes de los equipos que algún día salgan al mercado.

Además este sistema goza de una muy buena eficiencia espectral que se acerca asintóticamente a 2bit/Hz.

Si se le añade codificación (lo que se llama COFDM) de canal, se consigue solucionar el

problema ocasionado por el fading.

Precio a pagar

Como era de suponer no todo es tan simple como parece, también algunos inconvenientes aparecen.

El principal problema o más bien punto que se ha de cuidar con sumo cuidado es el tema de la sincronización; en efecto el OFDM es muy sensible a desplazamientos en frecuencia que por otro lado son el pan nuestro de cada día en comunicación. Así se han de utilizar buenos recuperadores de portadora, que como es natural encarecen el sistema.

Conclusión

Como hemos visto el sistema OFDM ofrece múltiples ventajas que nos podrían llevar a conseguir no solo las prestaciones de un sistema completamente digital, sino también la reducción drástica del espectro dedicado a radiodifusión; y esto es debido al buen comportamiento frente al multicamino. Realmente las expectativas son de lograr la utilización de una sola frecuencia en todo un territorio (nacional o internacional) y lograr así lo que se ha venido a llamar redes de frecuencia única (SFN: Single Frequency Network) y que desde el punto de vista de aprovechamiento del espectro serían casi una utopía (adios a los planes de frecuencia complicados).

Finalmente sería de interés comentar que la introducción del sistema OFDM (o COFDM más bien) en el ámbito de la radiodifusión digital terrenal de televisión es inminente y que ya se ha provado ampliamente para audio; ahora, lo único que frena el avance, es por un lado la creación de la infraestructura necesaria para la radiodifusión y por el otro, el miedo de los fabricantes ante un cambio tan radical (renovación de los receptores).