Introdución al sistema DRM

Por Fernando Almarza Hernán-Pérez

Fernando Almarza Hernán-Pérez es, Ingeniero Técnico de Telecomunicación por la UPM. Pertenece a la plantilla de RTVE desde 1983, donde ha desempeñado diversas funciones primero en la Red de RTVE (actualmente Retevisión) y posteriormente en RNE. Actualmente es responsable de Planificación de la Red de Radio Nacional de España, donde se ocupa de la elaboración de los diversos planes de frecuencias de la red de emisoras, así como de la implantación de los nuevos sistemas de difusión de radio digital en Onda Media y Onda Corta. Imparte regularmente cursos sobre DRM y Centros de Onda Media en el Instituto Oficial de RTVE. e-mail: falmarza2@yahoo.es

El sistema DRM (Digital Radio Mondiale) está transformando radicalmente los medios de difusión de radio de nuestro tiempo, y lo hará aún más en el futuro inmediato. Se trata de un nuevo sistema que sustituirá a la modulación de amplitud clásica, basado en el múltiplex en frecuencia COFDM, donde se distribuyen audio y datos.

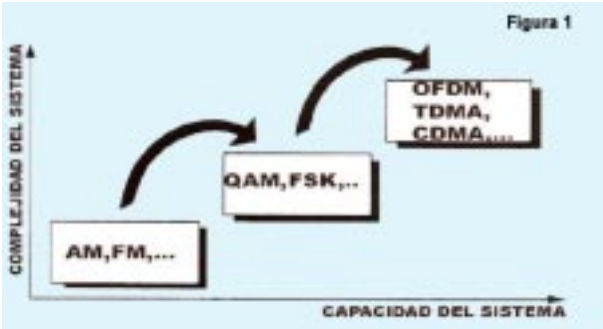
OFDM y su variante codificada contra error COFDM (Coded Orthogonal Frequency Division Multiplexing) o múltiplex por división en frecuencia ortogonal codificada, soluciona los tres problemas principales de los diseñadores de sistemas de comunicaciones:

1.- Ancho de banda disponible
2.- Potencia permitida
3.- Ruido inherente al sistema.

Ya que OFDM permite compartir la banda de frecuencias disponible, transmitiendo varios programas en un mismo múltiplex de menor ancho de banda, con menor potencia de salida y mayor inmunidad al ruido

Tendencias de la industria

En los últimos años se vienen sustituyendo paulatinamente las modulaciones analógicas (radio ,televisión, telefonía, etc, tal como las veníamos conociendo), por las modulaciones digitales, y últimamente se han extendido los sistemas de multiplexión y acceso múltiple, como TDMA (Time Division Multiple Access) y CDMA (Code Division Multiple Access) en telefonía móvil y OFDM en radio, televisión, WLAN y ADSL. En la figura 1, se observa esta tendencia. Es evidente que la penetración de estos nuevos sistemas digitales, despierta una enorme espectación en los países más industrializados del mundo, puesto que permiten la difusión de nuevos contenidos temáticos (música especializada, educación a distancia, programas bilingües, etc) acompañados de servicios añadidos (datos, imágenes fijas, guía electrónica de programas, etc), y todo ello con una extraordinaria calidad y sin interferencia.



Estado actual de los servicios de AM

Según UIT-R (Rec.UIT-R BS. 1514):

- Hay una creciente necesidad mundial de medios adecuados para radiodifundir señales sonoras monofónicas o estereofónicas de alta calidad a receptores en vehículos, portátiles y fijos.
- Existe actualmente gran congestión en algunos países, en las bandas por debajo de 30 MHz, lo que origina un alto nivel de interferencia y limita el número de programas a ser transmitidos.
- Además por un lado, los oyentes de programas por debajo de 30 MHz, no pueden aún beneficiarse de la calidad de las transmisiones digitales y por otro, los organismos de radiodifusión, necesitan seguir usando estas bandas debido a sus condiciones de propagación favorables.

Respuestas por orden cronológico de UIT, industria y operadores, para solucionar los problemas en estas bandas

- *1996:* Industria, radiodifusores e institutos de investigación acuerdan en París crear un consorcio mundial: Digital Radio Mondiale.
- *1998:* 20 organizaciones firman en China el Memorandum de entendimiento del Consorcio DRM. En diciembre de ese mismo año 36 organizaciones firmaron su adhesión al Consorcio, (hoy son 100 organizaciones pertenecientes a 30 países).
- *1999:* UIT aprueba la Recomendación UIT-R BS.1348, relativa a los requisitos de servicio de la nueva radiodifusión sonora digital en las bandas AM, y especifica los requisitos imprescindibles para que los diseñadores de sistemas de distintos países, puedan superar las deficiencias actuales en cuanto a calidad y robustez de la señal, y proporcionar nuevos servicios. En respuesta a la solicitud de propuestas de UIT de 29 de septiembre de 1999, dos miembros de UIT-R pertenecientes al Consorcio DRM (Telefunken y Thomcast), presentan descripciones de sistema y resultado de prueba en laboratorio y servicio real.
- *2000:* En la Cuestión UIT-R 217/10 de octubre de 2000, se sugiere norma mundial única. La Comisión de Estudio 6 de Radiocomunicaciones concluye que una fusión razonable de los dos sistemas, serviría de base para la norma mundial única sugerida en la cuestión 217/10. Además determina que sería conveniente disponer de un único receptor analógico/digital común de consumidor. Los dos proponentes acuerdan continuar cooperando para fusionarse en un único sistema. A finales de 2000 se remite propuesta conjunta de sistema DRM a la UIT.

• *2001:* El 4 de abril UIT es aprobada la Recomendación UIT-R BS.1514 por 189 países. Esta recomendación engloba dos sistemas digitales: DRM para onda larga, media y corta, e IBiquity para onda media. En septiembre el Instituto de Normalización Europeo ETSI aprueba el sistema, a través del documento ETSI TS 101980. Se verifica el sistema a través de las pruebas reales.
• *2002:* Primeras transmisiones piloto con transmisores y receptores DRM prototipo.
• *2003:* Aprobado por IEC (International Electrotechnical Committe), como estándar internacional por la norma IEC 62272-1. Tiene lugar el lanzamiento del sistema en Ginebra, durante la Conferencia Mundial de Radiocomunicaciones ITUWRC 2003.
• *2004:* El 27 de enero de 2004, Radio Nacional de España comienza la primera emisión DRM en España. Esta emisión en prueba se realiza desde el Centro Emisor de Arganda, por medio de un transmisor Telefunken TRAM-10kw DRM emitiendo en la frecuencia 1.359 kHz y un monopolo radiante de 80 m de altura (0.3624 lambda). La emisión se monitora y analiza empleando un receptor fijo DRM-Fraunhoffer, en Prado del Rey, y por medio de una unidad móvil de medidas operada por la Universidad del País Vasco.
• *2005:* El 25 de enero de 2005 se inauguran las emisiones regulares DRM de RNE desde el Centro Emisor de Arganda, con las características descritas en el punto anterior. El 10 de marzo de 2005 el Consorcio DRM aprueba su extensión por encima de 30 MHz hasta 120 MHz.

Normativa legal para las nuevas emisiones DRM

Según la Ley de Acompañamiento 62/2003, en su disposición adicional cuadragésima primera: RNE deberá iniciar las emisiones en Onda Media con tecnología digital antes del 1 de enero de 2007. Los concesionarios en Onda Media que obtengan la renovación, estarán obligados a emitir en digital dos años después.
Los titulares de Onda Media podrán solicitar autorización para realizar emisiones con tecnología digital, con la norma DRM. Los titulares de FM podrán solicitar autorización para realizar emisiones con tecnología digital utilizando un estándar europeo (El consorcio DRM ha anunciado la introducción de la radio digital DRM en otras bandas de frecuencias hasta 120 MHz)

Descripción resumida del sistema DRM. Características esenciales

-*Flexibilidad*: El flujo o tren de bits disponible para cada uno de los tres componentes del sistema, audio, protección y corrección de errores y datos es configurable, depende de la banda asignada al servicio, y del uso previsto dentro de la banda (onda de superficie, ionosférica de corta distancia, ionosférica de larga distancia).

-*Canalización:* El sistema DRM ha sido diseñado para ser utilizado en la canalización actual (canales de 9 ó 10 kHz o múltiplos de estas anchuras de banda de canal). Cuando existan en algún país canalizaciones de mayor ancho de banda, la calidad de audio del sistema DRM y la capacidad total del tren de bits o flujo, pueden ser mejoradas considerablemente.

-*Calidad de audio:* Para difundir con la mayor calidad de audio, DRM emplea codificación de audio avanzada (AAC-MPEG4) advanced audio coding), complementada con replicación de banda espectral (SBR spectral band replication) para capacidad de tren de bits hasta 25 kbit/s. Además el sistema contempla otras dos codificaciones de audio con menor calidad, liberando capacidad para otros usos, que son: CELP-MPEG4 para codificación de voz hasta 10 kbit/s, y el HVXC para muy baja velocidad de transmisión de hasta 6 kbit/s.

Figura 3.

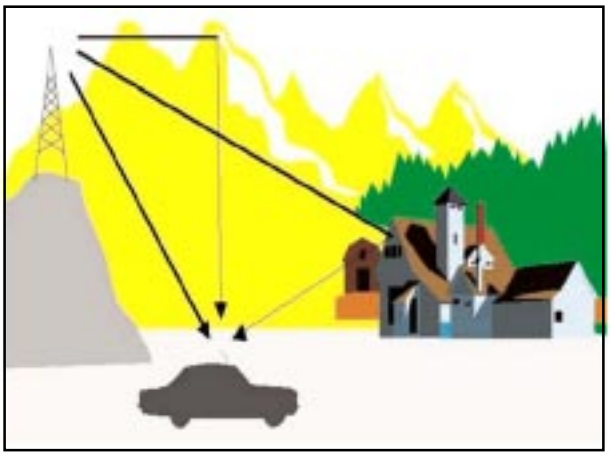


Figura 4.

-*Protección contra errores e igualación del canal:* DRM emplea entrelazado temporal y corrección de errores sin canal de retorno (FEC-Forward Error Correction), con codificación multinivel (MLC multilevel coding) basada en codigo convolucional. Para llevar a cabo la igualación, se utilizan símbolos de referencia piloto en orden a obtener información instantánea del canal en el receptor.

-Red de frecuencia única (SFN) y conmutación de frecuencia: El sistema permite utilizar redes de transmisores emitiendo en una sóla frecuencia. Además el receptor puede seleccionar automáticamente la mejor frecuencia para un programa (AFS), en cualquiera de las bandas que se emita.

Principales problemas dell canal o medio de transmisión

Desde el comienzo de la radiodifusión han existido tres problemas principales para cubrir 3 una zona determinada:

• *Solapamiento* de las zonas de servicio de los transmisores.
•*Ruido del canal*.
•*Desvanecimiento o «fading»*

A su vez las causas del desvanecimiento son dos: la propagación multitrayecto y el efecto Doppler. Veamos brevemente en que consisten estos dos fenómenos.

-Propagación por multitrayecto. La señal en el receptor es la resultante combinada de la señal original y sus ecos propagados a través de diversos trayectos. Dos efectos principales : 1)Variaciones rápidas en nivel de intensidad de campo recibida. 2)Ecos o variaciones de retardo en la llegada de las señales.

-Efecto Doppler en receptores en movimiento. Es el cambio aparente en frecuencia debido al movimiento relativo entre la fuente y el receptor de la onda electromagnética. Queda claro que la longitud de onda permanecerá siempre constante. Si receptor y fuente permanecen estacionarios, se recibirá la misma frecuencia producida por la fuente, pero si fuente o receptor o los dos a la vez se mueven el uno hacia el otro, se recibirá una frecuencia más alta. Esto se debe a que el receptor recibirá un mayor número de ciclos por segundo e interpretará una frecuencia más alta. Sin embargo si fuente y receptor se alejan el receptor recibirá un número menor de ciclos por segundo y percibirá una frecuencia menor.

Resumiendo, en cada punto del área de servicio, la señal recibida se convierte en la suma de varias señales elementales incluída la señal original, varias réplicas retardadas y ruido del canal. La acertada planificación de frecuencias evita el solapamiento de las zonas de servicio, pero la degradación física de la señal debida a los otros dos efectos, no es tan facil de eliminar. Tradicionalmente se ha intentado solucionar estos problemas aumentando la potencia del transmisor, lo que a su vez extiende mucho la distancia de reutilización.

Respuesta del canal: Desigualdad en la frecuencia

Si capturásemos el espectro de radio frecuencia en un instante determinado, veríamos que la respuesta del canal no es idéntica para cada una de las subbandas de frecuencia. Debido al sumatorio de las señales recibidas, algunas veces no se recibe señal (fading) y otras veces se recibe más señal que la transmitida.

La conclusión es que en el punto de medida algunas subbandas son correctamente transmitidas, y otras son muy degradadas por el canal de transmisión. Para transmitir una señal digital apropiadamente a través de un canal como el descrito, se podrían distribuir los datos a lo largo de un gran número de sub-bandas de frecuencia muy próximas entre sí. De este modo seríamos capaces de recuperar la parte de la señal transmitida en las frecuencias no degradadas. Para recuperar la información en las frecuencias degradadas, se codifican los datos con códigos de protección contra error, para corregir los datos transportados en las sub-bandas de frecuencias alteradas. Estas dos ideas simples: codificación y múltiplex en frecuencia originan la modulación COFDM (Coded Orthogonal Frecuency Division Multiplex).

3.3 Respuesta del canal: Desigualdad en el tiempo Además las características del canal de transmisión cambian con el tiempo. Si hubiéramos medido el espectro en el mismo punto pero en otro instante, la medida del gráfico anterior hubiera sido distinta. Sin embargo, durante un tiempo las características del canal son estables, pudiéndose «aprovechar» estos intervalos de tiempo estables secuencialmente.

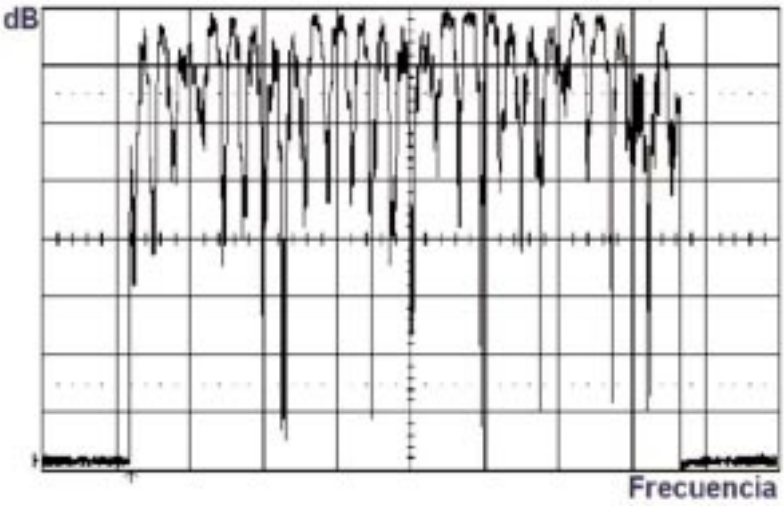


Figura 5.

COFDM: Partición en tiempo y en frecuencia

Para implementar la modulación COFDM se realiza una partición del canal de transmisión en el dominio del tiempo y de la frecuencia:

- El dominio de la frecuencia es dividido en un conjunto de estrechas «sub-bandas de frecuencia».
- El dominio del tiempo es dividido en un conjunto de pequeños y contiguos «segmentos de tiempo».

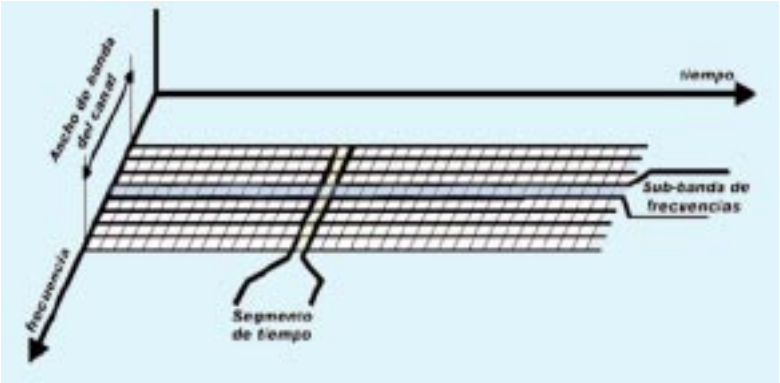


Figura 6.

Durante cada segmento de tiempo, las subportadoras son moduladas con datos codificados. El número de bits transmitidos por cada subportadora, depende de la clase de modulación utilizada (ej. 2 bits si se usa 4QAM, 4 bits si usamos 16QAM, y 6 bits si usamos 64QAM).

Símbolo OFDM

Un conjunto de subportadoras durante un segmento de tiempo se denomina símbolo. En DRM cada símbolo contiene más de 200 subportadoras, espaciadas a través de los 9/10 kHz. El número preciso de subportadoras depende del modo de transmisión utilizado, que a su vez define una trama concreta. El modo define la duración del símbolo y con ello la separación de las portadoras OFDM, ya que estas están separadas la inversa del período de símbolo.

Interferencia inter-portadora y Ortogonalidad

Dentro de cada símbolo, para evitar interferencia entre subortadoras, éstas se espacian entre ellas para ser ortogonales.

Esto se consigue si la duración del espacio inter-portadora es igual al inverso de la duración Tu del símbolo, con lo que la posición de las portadoras en el espectro de frecuencias coincide con los nulos del espectro de las portadoras adyacentes. En estas condiciones se consigue mínima interferencia interportadora.

Interferencia Inter-símbolo. Intervalo de guarda

La interferencia intersímbolo se manifiesta en forma de ecos que son réplicas de la señal original.

El final de un símbolo OFDM tiene toda la probabilidad de polucionar el comienzo del siguiente. Para evitar este efecto se inserta un intervalo de guarda entre cada símbolo.

El intervalo de guarda es el responsable de absorber los efectos de la propagación multitrayecto, de forma que los únicos ecos que se reciban contribuyan positivamente a la recepción de la señal.

Si la mezcla de señales recibidas por 2 caminos diferentes tienen un retardo relativo entre ellas, de duración inferior al intervalo de guarda, la información contenida en el tiempo útil del símbolo será reconstruida.

La duración de este intervalo depende del modo DRM, porque los retardos esperados en cada modo son diferentes. Por otra parte, el intervalo de guarda posibilita el funcionamiento en SFN.

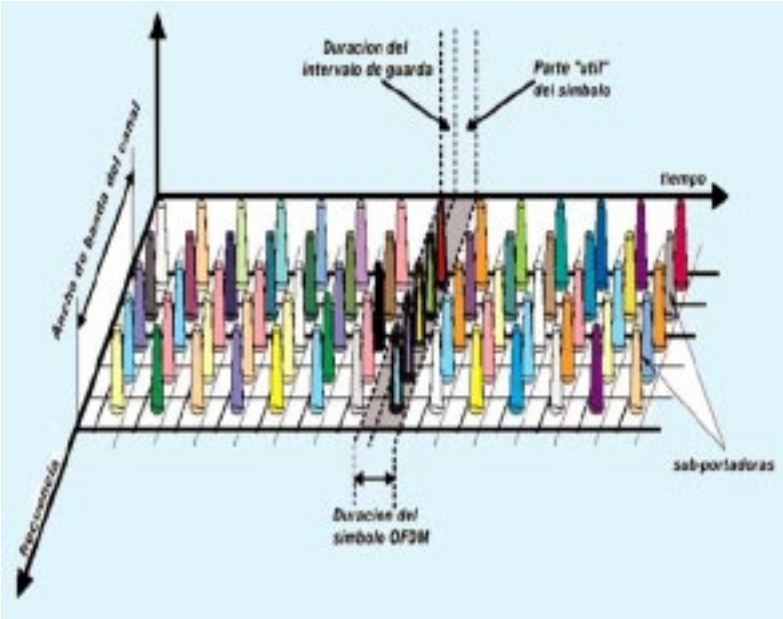
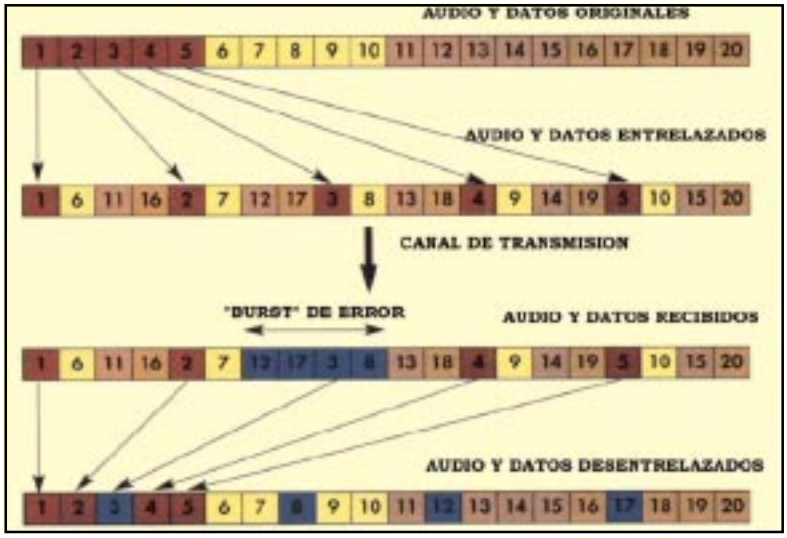


Figura 7.

Entrelazado o «Interleaving»

Si el desvanecimiento es profundo, un grupo de subportadoras quedará seriamente afectado.

Esto implicará la aparición de una ráfaga de errores en la decodificación, como consecuencia de la pérdida de los símbolos que modulan estas subportadoras.



Deberemos mitigar este efecto haciendo que subportadoras adyacentes no estén moduladas por datos consecutivos.

Así, si se produce una pérdida de información llevada por portadoras adyacentes, al deshacer el desorden en el receptor, el error debido a cada portadora queda aislado, acortándose la longitud de la ráfaga de errores.

Procesado de los datos y entrelazado temporal

En resumen los datos siguen el siguiente proceso:

1- Codificación convolucional de protección.

2 - Distribución de los datos en las subportadoras usando algoritmo de entrelazado.

3 - Inserción de intervalo de guarda entre ráfagas de datos protegidos.

COFDM se está empleando en DVB-T, DAB y telefonía celular de nueva generación.

Ya se experimentó que en DAB recepción móvil, se necesitaba otro entrelazado adicional en tiempo, de forma que las ráfagas de datos se distribuyeran entre símbolos OFDM distantes en el tiempo. DRM también necesita el entrelazado temporal de los datos, existiendo un límite máximo de aproximadamente 2 seg. de retardo.

Esta es la máxima espera que un oyente puede tener después de encender el receptor.

Modos de transmisión DRM:

MODO	GUARDA	ESPACIO INTERP.	NUMERO PORTAD.	ROBUSTEZ	USO	CAPACIDAD
A	2.6 ms	41.6 Hz	240/216	Baja	OM,OL, OC Fácil	Alta
B	5.3 ms	46.9 Hz	213	Media	OC	Media
C	5.3 ms	69.2 Hz	144	Alta	OC Dificil	Baja
D	7.3 ms	107.1 Hz	93	Muy alta	OC Extremo	Muy baja

Diagrama de bloques del transmisor DRM

El transmisor DRM consta de :

- Canal de servicio principal (MSC)
- Canal de información rápida (FAC y SDC)

Estos dos canales constan a su vez de los siguientes bloques:

- *Codificadores y precodificadores* de fuente de audio y datos, que realizan la adaptación de los flujos de datos a un formato digital adecuado.

- *Multiplexor de servicio principal*, combina los niveles de protección de todos los servicios de datos y audio.

- *Dispersadores o aleatorizadores de energía*, evitan que en una ristra de bits haya ciertas secuencias que se repitan con mayor asiduidad, asegurando una cierta uniformidad en la transmisión de símbolos.

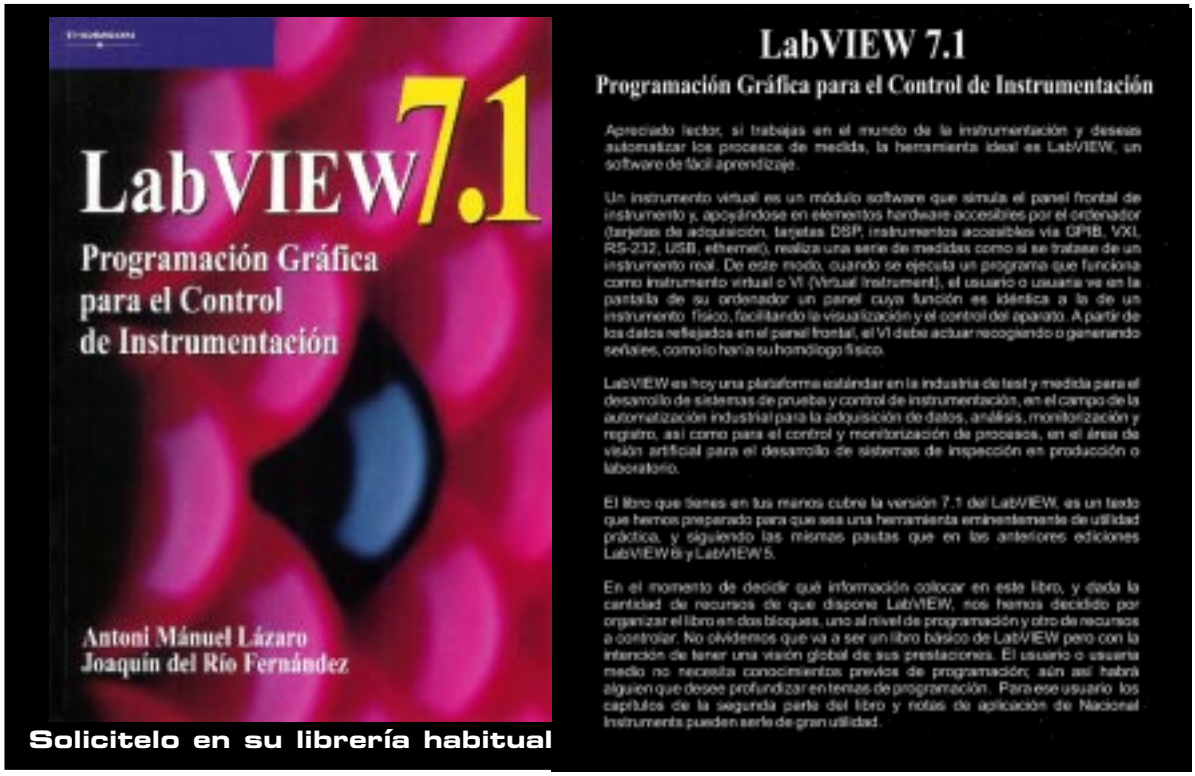
- *Codificador de canal*, añade información redundante para corrección errores y define relación: Información codificada digital-Células QAM (Mapeo QAM ó información del fasor en módulo y fase, convertido en binario).

- *Entrelazador de células*, dispersa las células QAM consecutivas en una secuencia de células, casi aleatoriamente separadas en tiempo y en frecuencia, para dar mayor robustez.

- *Generador piloto*, inyecta información que permite que el receptor obtenga información del canal, logrando el receptor «igualar» la señal recibida.

- *Correspondedor de células OFDM*, recopila las diferentes clases de células y las coloca en una rejilla de tiempo-frecuencia.

- *Generador de señales OFDM*, transforma cada conjunto de células con el mismo índice temporal , a una representación de la señal en el dominio temporal que contiene pluralidad de portadoras. El símbolo OFDM completo en el dominio del tiempo se obtiene a partir de su representación en el temporal, insertando un intervalo de guarda.

- *Modulador*, convierte la representación digital de la señal OFDM, en la señal analógica que será transmitida.

Esta operación conlleva la conversión elevadora de frecuencia, la conversión digital/analógica y el filtrado, para que la señal emitida cumpla los requisitos espectrales de UIT-R.