

EL SISTEMA DRM (*Digital Radio Mondiale*)

El DRM es un sistema creado por el consorcio del mismo nombre, cuya misión era establecer un sistema digital para las bandas de radiodifusión con modulación de amplitud, Onda Larga (ondas kilométricas), Onda Media (ondas hectométricas) y Onda Corta (ondas decamétricas), por debajo de 30 MHz. El 16 de junio de 2003 se iniciaron las primeras emisiones regulares.

El sistema ha sido aprobado en el año 2003 por la UIT (recomendación ITU-R BS 1514) y recomendado por ese organismo como único estándar mundial en las bandas entre 3 y 30 MHz (Onda Corta). También ha sido estandarizado por la norma IEC-62272-1 y por la ETSI ES-201980, de la cual se ha extractado, básicamente, la información que figura a continuación.

Los sistemas de radiodifusión digital comprenden conceptualmente distintas etapas de transmisión:

Codificación de la fuente:

- 1) La señal de audio se convierte en digital, normalmente con una reducción de la velocidad binaria conforme a las características de la señal. Esto se conoce como codificación de la fuente.
- 2) El audio codificado se multiplexa con otras señales de datos que conforman la señal a transmitir.

Codificación del canal:

- 3) Los datos multiplexados se someten a la codificación del canal para incrementar su robustez y adaptarse al medio de transmisión.
- 4) Los datos codificados se convierten en una señal de radiofrecuencia para su transmisión

- 1) En la codificación de la fuente el sistema ofrece tres opciones
 - MPEG 4 AAC + SBR: hasta 72 kbit/s estéreo
 - MPEG 4 CELP+SBR: entre 4 y 20 kbit/s sólo voz
 - MPEG 4 HVXC+SBR: entre 2 y 4 kbit/s sólo voz

Codificación de audio AAC (*Advanced Audio Coding*) para radiodifusión en mono o estéreo, con protección frente a errores. Por ejemplo, para OM se puede utilizar la configuración estándar de 23'6 Kbit/s ó 10 Kbit/s para OC.

Codificación de voz CELP (*Code Excited Linear Prediction*) para radiodifusión en mono, cuando se requiere baja velocidad binaria o alta protección frente a errores.

Codificación de voz HVXC (*Harmonic Vector eXcitation Coding*) cuando se requiere muy baja velocidad binaria y protección frente a errores.

Además, con cualquiera de estas opciones puede utilizarse un método para la reconstrucción de las bandas altas (SBR, *Spectral Band Replication*), con el fin de mejorar la calidad percibida del audio, utilizando de forma dinámica el contenido espectral de la información en la banda baja, para simular en la recepción la información de la banda alta, eliminada previamente a la transmisión.

- 2) El multiplexor transporta tres componentes, que juntos suministran la información necesaria para que el receptor sincronice la señal y determine qué parámetros se han utilizado en la codificación para, de esta forma, poder decodificar los canales de audio y datos contenidos en el múltiplex. Estos tres componentes son:
 - a) audio y datos, que se combinan en el multiplexor de servicio principal formando un flujo denominado canal de servicio principal (MSC, *Main Service Channel*).

Además del canal de servicio principal, el múltiplex transporta dos canales subsidiarios de información, cuya función es que el receptor pueda identificar los parámetros de transmisión y de decodificación, y que se denominan:

b) canal de acceso rápido (FAC, *Fast Access Channel*) y

c) canal de descripción de servicio (SDC, *Service Description Channel*).

a) El canal de servicio principal contiene la información de todos los servicios contenidos en el múltiplex. El múltiplex puede contener de 1 a 4 servicios, y cada servicio puede, a su vez, ser bien de audio o de datos. Por ejemplo, si contamos con suficiente capacidad, podemos optar por un servicio de alta calidad conteniendo música y voz, junto con un servicio de voz de baja velocidad binaria transportando un servicio de noticias continuo, o bien un grupo de cuatro canales de voz simultáneos de baja velocidad transportando servicios de noticias en cuatro lenguas diferentes.

La velocidad binaria del canal de servicio principal depende del ancho de banda del canal y del modo de transmisión.

b) El canal de acceso rápido se utiliza para la selección rápida de la información del servicio. Contiene información sobre parámetros del canal, por ejemplo, ancho de banda, qué tipo de modulación se utiliza por el canal de servicio principal y el canal de descripción del servicio, la profundidad del entrelazado, y el número de servicios que contiene el canal de servicio principal junto con el nombre de esos servicios. También contiene información sobre los servicios y el múltiplex .

c) El canal de descripción del servicio contiene la información para decodificar el canal de servicio principal.

- 3) El sistema DRM utiliza modulación COFDM (*Coded Orthogonal Frequency Division Multiplex*), es decir, una codificación que se inserta en un múltiplex por división de frecuencia, con la particularidad de que estas frecuencias están uniformemente espaciadas de forma que son ortogonales, para transmitir los datos del múltiplex (MSC, FAC y SDC) descrito anteriormente. Se compone de una combinación de técnicas que combaten los efectos adversos de la propagación que se producen en la bandas de OM, OL y OC. El sistema OFDM utiliza un gran número de subportadoras, moduladas individualmente, espaciadas en frecuencia de forma uniforme, que transportan la información. En el sistema DRM el número de subportadoras varía desde 88 a 458, dependiendo de modo y del ancho de banda ocupado.

En la codificación del canal COFDM encontraremos los siguientes parámetros:

- 4 modos de transmisión: A, B, C y D
- Modulación con 3 tipos de modulaciones
 - 4-QAM y 16-QAM para el SDC
 - 16-QAM y 64-QAM para el MSC
- Modulación jerárquica
- 4 niveles de protección: 0, 1, 2 y 3
- 2 profundidades de entrelazado
- Capacidad de transmisión hasta 72 kbit/s
- 6 anchos de banda: 4,5; 5; 9; 10; 18; 20 kHz
- Protección de error: igual o desigual

Las subportadoras se modulan con modulación de amplitud en cuadratura (QAM).

En la codificación del canal de servicio principal se puede utilizar 64 QAM, que proporciona mayor eficiencia espectral, y 16 QAM que proporciona las características más robustas para protección de errores. En cada uno de los casos se pueden utilizar diferentes niveles de protección frente a errores.

En la codificación del canal de acceso rápido se utiliza modulación 4 QAM, con una relación de protección fija.

El canal de descripción del servicio puede utilizar 16 QAM ó 4 QAM. La modulación 16 QAM proporciona mayor capacidad, mientras que la 4 QAM proporciona una característica más robusta frente a errores. En este último caso se aplica una relación de protección fija.

Cada símbolo OFDM está constituido por un conjunto de subportadoras que se transmiten durante un tiempo T_S . La duración del símbolo es la suma de dos partes: una parte útil con duración T_U (el espacio en frecuencia entre portadoras adyacentes es $1/T_U$ para conseguir que sean ortogonales) y un intervalo de guarda con duración T_G . El intervalo de guarda consiste en una continuación cíclica de la parte útil, T_U , que se inserta delante de la misma. Esto permite diseñar redes de frecuencia única y evitar los problemas de la recepción multitrayecto, consiguiendo que la mayor parte de las señales que entran en el receptor se sumen, es decir, que contribuyan positivamente a la recepción.

Parámetros relevantes de la codificación del canal:

- Modos del sistema DRM
- Ocupación del espectro
- Modulación y niveles de protección

Están definidos cuatro modos de transmisión, A, B, C y D, con distintos parámetros, que son útiles tanto en condiciones de propagación favorables como es la propagación de onda de superficie en la banda de ondas hectométricas, como en condiciones de propagación desfavorables, como es la propagación por onda ionosférica con trayectos múltiples a larga distancia en la banda de ondas decamétricas.

Para los diferentes modos de transmisión la duración de los símbolos es la siguiente:

Modo de transmisión	Duración T_U	Duración intervalo de guarda T_G	Duración símbolo $T_S = T_U + T_G$
A	24 ms	2,66 ms	26,66 ms
B	21,33 ms	5,33 ms	26,66 ms
C	14,66 ms	5,33 ms	20 ms
D	9,33 ms	7,33 ms	16,66 ms

La propagación en las bandas de OM, OL y OC se produce mediante onda de superficie, donde el ruido eléctrico es el factor adverso predominante, y onda ionosférica, con canales variables con distintos grados de complejidad, donde los factores adversos son: el retardo diferencial y los efectos Doppler. En algunas circunstancias, la señal llega al área de cobertura con ambos tipos de propagación; en estos casos la señal recibida será la suma de las señales que lleguen por diferentes caminos más el ruido presente en el lugar de recepción.

Para superar estos factores adversos, el sistema DRM ha sido diseñado con 4 modos distintos, según el tipo de propagación, y en cada uno de estos modos es posible elegir el tipo de modulación y la velocidad binaria de codificación. Es necesario seleccionar la combinación óptima de los parámetros, dependiendo de las condiciones de propagación particulares, que permita asegurar que la señal es recibida con la calidad más alta posible para cumplir con la calidad del servicio y cobertura deseadas.

Modo de transmisión	Condiciones típicas de propagación	Bandas de frecuencias
A	Canales de onda de superficie con desvanecimiento reducido	Ondas kilométricas y hectométricas
B	Canales selectivos en tiempo y frecuencia con dispersión de retardo superior	Ondas hectométricas y decamétricas
C	Como el modo de robustez B pero con dispersión Doppler superior	Sólo ondas decamétricas
D	Como el modo de robustez B pero con retardo y efecto Doppler superior	Sólo ondas decamétricas

El modo A está diseñado para entregar la velocidad de codificación binaria más alta posible con cobertura por onda de superficie. El modo B será generalmente la primera opción para los servicios con cobertura por onda ionosférica. Cuando las condiciones de propagación son más duras, tales como en trayectos largos, con saltos múltiples o incidencia casi vertical, donde se producen fuertes y varias reflexiones, puede ser necesario emplear los modos C o D.

En todos los casos existe la opción de escoger, bien 64 QAM o bien 16 QAM para el MSC, y esta elección tendrá influencia en la relación señal/ruido esperada en el área de servicio.

Cuando empleando 64 QAM obtenemos una relación señal/ruido muy baja, y nos interesa que sea más alta, la sustituiremos por una modulación 16 QAM.

Los modos más robustos tienen el efecto de reducir la velocidad binaria disponible y, por tanto, la calidad de audio.

Para cada modo de transmisión, la anchura de banda ocupada de la señal puede elegirse en función de la banda de frecuencia (OM, OL, OC) y de la aplicación deseada

Modo de transmisión	Tipo de ocupación del espectro			
	0	1	2	3
A	4,208	4,708	8,542	9,542
B	4,266	4,828	8,578	9,703
C	-	-	-	9,477
D	-	-	-	9,536
Anchura de banda nominal (kHz)	4,5	5	9	10

En la modulación, los niveles de protección están definidos por los siguientes valores:

Esquema de modulación	N = nivel de protección	Índice de codificación medio
QAM-16	0	0,5
	1	0,62
QAM-64	0	0,5
	1	0,6
	2	0,71
	3	0,78

Los niveles de protección frente a errores se consiguen mediante una codificación convolucional que introduce redundancia en la señal.

En las tablas siguientes se muestra la capacidad de transmisión, que depende del ancho de banda de la señal, del modo y del nivel de protección.

Para el canal de servicio principal, con modulación 64 QAM y nivel de protección 1

Modo de transmisión	Tipo de ocupación del espectro	
	1	2
A	12'8 Kbit/s	23'6 Kbit/s
B	10 Kbit/s	18'4 Kbit/s

Para el canal de servicio principal, con modulación 16 QAM y nivel de protección 1

Modo de transmisión	Tipo de ocupación del espectro	
	1	2
A	8'9 Kbit/s	16'4 Kbit/s
B	6'9 Kbit/s	12'8 Kbit/s

- mínimo absoluto (nivel de protección 0, 16 QAM, modo B, 4'5 KHz) 4'8 Kbit/s
- máximo absoluto (nivel de protección 3, 64 QAM, modo A, 20 KHz) 72 Kbit/s.

- 4) El modulador convierte la representación digital de la señal OFDM en una señal analógica, que es transmitida, después de la correspondiente amplificación, a la antena.

Si se utiliza un transmisor no lineal de alta potencia, antes de modular la señal OFDM se divide en dos componentes: amplitud y fase, que se inyectan al modulador.

En el caso de que se utilicen transmisores con modulación lineal, la señal compuesta OFDM se aplica directamente a la entrada del modulador.

Madrid, abril 2005

José M^a Huerta, Director Técnico de **Radio Nacional de España**.