

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA DE TELECOMUNICACIÓN  
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA



**Trabajo fin de grado**

# **Estudio y análisis de sistemas para la Radiodifusión de Audio Digital**

AUTOR: Borja Melo Miñana  
DIRECTOR(ES): Juan Pascual García

Julio 2012



<b>Autor</b>	Borja Melo Miñana
<b>E-mail del Autor</b>	bmelo_86@hotmail.com
<b>Director(es)</b>	Juan Pascual García
<b>E-mail del Director</b>	Juan.pascual@upct.es
<b>Título del PFC</b>	Estudio y análisis de sistemas para la Radiodifusión de Audio Digital
<b>Resumen</b>  El objetivo principal del proyecto final de grado es el análisis y estudio de un sistema DAB. Se estudiarán los cuatro elementos principales que permiten que la transmisión de la información sea solvente. Los elementos a utilizar son el codificador MUSICAM, el multiplexor, el modulador COFDM y el transmisor. Con la correcta utilización de esta tecnología se puede trabajar con un reducido ancho de banda haciendo un uso eficiente de la potencia, y consiguiendo una cobertura local y nacional considerable, evitando las interferencias típicas de AM y FM.	
<b>Titulación</b>	Grado en Ingeniería en Sistemas de Telecomunicación
<b>Departamento</b>	Departamento en Tecnologías de la Información y Comunicaciones.
<b>Fecha de Presentación</b>	Julio 2012

# Índice

1. Introducción .....	2
2. Historia .....	4
3. Situación de la tecnología DAB en España .....	6
4. Funcionamiento .....	8
4.1. MUSICAM.....	9
4.2. Multiplexión.....	10
4.3. Modulación COFDM .....	12
4.4. Características COFDM.....	15
4.5. Transmisor DAB .....	17
4.6. Receptor DAB.....	17
5. Conclusiones .....	19
6. Bibliografía.....	21

# 1. Introducción

DAB (Digital Audio Broadcasting) es un estándar de emisión de radio digital que fue desarrollado por EUREKA como un proyecto de investigación para la Unión Europea llamado EUREKA 147. DAB nos ofrece un servicio en formato digital para la radiodifusión. Este sistema tiene la capacidad de transmitir simultáneamente servicios múltiples de audio con servicios de datos, puede proporcionar información del estado del tráfico, de la posición actual del usuario, del clima en una determinada zona, con el mayor detalle posible y con actualizaciones al minuto.

Los datos se pueden facilitar en un amplio espectro de formatos: texto, pantalla o voz sintetizada y la información puede ser traducida a diversos idiomas. La tecnología empleada permite que la recepción sea posible con equipos económicos (tanto fijo como portátiles), recurriendo antenas de recepción omnidireccionales de poca ganancia, las cuales deben estar situadas a una altura de 1.5 metros sobre el nivel del suelo [5].

Empezó a desarrollarse en la década de 1980, aunque el proyecto se inició en 1987 y terminó en el año 2000. Actualmente unas 280 millones de personas de todo el mundo pueden recibir unos 550 servicios relacionados con DAB.

DAB es uno de los tres sistemas de radiodifusión digital con repercusión mundial, los otros dos son: IBOC (In-band On-channel) y DRM (Digital Radio Mondiale). Mientras IBOC opera en países como EEUU, Brasil y nueva Zelanda. DAB se utiliza en países europeos y China. DRM en cambio es un estándar para radio digital que cubre las bandas de radiodifusión en Amplitud Modulada y en Frecuencia Modulada (conocido como DRM+) [1]

En el presente trabajo final de grado se va realizar un estudio y análisis de un sistema DAB. El objeto de estudio son los componentes que permiten que la transmisión de la información sea fluida. Los elementos principales de análisis son el codificador MUSICAM, el multiplexor, el modulador COFDM y el transmisor. Con la correcta utilización de esta tecnología se puede trabajar con un reducido ancho de banda

## Estudio y análisis de sistemas para la Radiodifusión de Audio digital

---

haciendo un uso eficiente de la potencia, y consiguiendo una cobertura local y nacional considerable, evitando las interferencias típicas de AM y FM.

## 2. Historia

En 1981 el DAB se empezó a desarrollar en el el Institut für Rindfunktechnik. En 1987 bajo el proyecto Eureka, empezaron a contribuir televisiones, centros de investigación, operadores de redes y firmas de electrónica de consumo, para finalmente tomar el DAB como estándar por el Instituto Europeo de estándares de telecomunicaciones (ETSIT).

Las primeras emisiones frecuentes de DAB fueron en Reino Unido por parte de la BBC y algunas emisoras comerciales (en 1995), poco a poco los demás países europeos iban apoyando este nuevo sistema, aunque de forma lenta, hasta el punto de que países como Suecia en noviembre de 2006 decidieron no apoyar gubernamentalmente esta tecnología. El motivo es el gran cambio que supone en el mundo de la radiodifusión, donde equipos, infraestructuras deben ser modificados para ser compatibles a la nueva tecnología.

La primera recepción DAB en España fue en la Universidad Internacional Menéndez Pelayo, en la sede de Santander en 1996, debido a la cooperación entre RNE y una empresa alemana llamada Blaunpunkt. Más tarde en 1998 se empezaron a radiar programas DAB en Madrid, Barcelona y Valencia.

En el año 2007 se comercializó una nueva versión de DAB con el nombre de DAB+, al emplear códec de audio AAC+ era 2 veces más eficiente que la primera versión. Su calidad de recepción era superior al llevar incorporado el código cíclico no binario Reed-Solomon que corrige los datos alterados en el receptor, el único problema de esta versión es no ser compatible con los antiguos receptores.

Las características y ventajas que destacan en el sistema DAB son [7]

- Con el sistema DAB se evitan los efectos causados por la propagación multicamino y hay protección de la información frente posibles interferencias y perturbaciones. Esto se consigue gracias a la trasmisión COFDM (que describiremos más adelante) que distribuye la información en un elevado número de frecuencias.

- La calidad de sonido es similar a la del CD. Se reduce la información transmitida eliminando las frecuencias enmascaradas por otras con mayor intensidad que no se pueden percibir por el oído humano. Este sistema se llama MUSICAM y es empleado en DAB para eliminar información no audible.
- Además la señal de audio digitalizada, es posible transmitir otros datos:
  - Información relacionada con el programa de la radio que se está escuchando: títulos de las canciones, autor, letra de las canciones en distintos idiomas.
  - Otros servicios ofrecidos externos a la propia radio como: radiobúsqueda, sistema de aviso de emergencia, información del tráfico, GPS entre otros.
- La cobertura puede ser local, regional, nacional, DAB tiene la capacidad de introducir señales de distintos transmisores en un mismo canal. Esto facilita la creación de redes de frecuencia única para cubrir una determinada área. DAB está diseñado para trabajar en un rango de frecuencia comprendido entre 30 MHz y 3000 MHz.
- El sistema DAB tiene la capacidad de multiplexar varios programas y servicios de datos para formar un bloque y ser emitidos de forma conjunta, cada bloque tiene una capacidad de 1.5Mbps. Estos servicios pueden estructurarse y configurarse dinámicamente y la velocidad de transmisión puede variar entre 8 y 380 kbps.

### 3. Situación de la tecnología DAB en España.

La radio digital en España está en funcionamiento desde 1999, año en que el gobierno aprobó un Plan Técnico y otorgó licencias a varios operadores. Cataluña fue una de las primeras comunidades en introducir la tecnología DAB. Desde entonces, sólo las empresas concesionarias o medios públicos como Radio Nacional de España han mantenido sus emisiones en este formato, mientras otros como la Corporació Catalana de Ràdio i Televisió lo han abandonado.

Las más importantes cadenas han emitido en este formato durante una década, con un gran coste económico, pero sin embargo sólo se han vendido unos pocos miles de receptores digitales.

Ha habido otras compañías que obtuvieron licencias para emitir en DAB que han desistido al ver que no podían competir en el mercado porque la audiencia es muy limitada. En otros países de Europa la situación es parecida. Muchas emisoras emiten en DAB cuando el formato está muy poco implantado. Sólo existen excepciones como en Reino Unido donde la BBC potenció la implantación de la radio digital.

Aparte de las ventajas que puede suponer, hasta ahora tanto usuarios como operadores no le han prestado mucho interés a esta tecnología, además en su implantación se detectaron problemas en recepción de la señal, sobretodo en interior de edificios y en dispositivos en movimiento. Otro motivo de su escaso éxito es que los receptores DAB son más caros que los de FM. En un futuro no se sabe si esta tecnología terminará de cuajar en los usuarios pero por el momento la tecnología popular sigue siendo FM, por eso es muy importante antes de comprar un receptor DAB comprobar si la zona donde vives está cubierta, debido a que la cobertura DAB España es muy limitada [2].

En España el servicio de radio digital actual tiene asignado las siguientes bandas de frecuencias [1]:

- 195 a 216 MHz (bloque 8A a 10D)
- 216 a 223 MHz (bloques 11A a 11D)
- 1.452 a 1.467,5 MHz (bloques LA a LI)



- 1.467,5 a 1.479,5 MHz

## 4. Funcionamiento

El diagrama de bloques conceptual de un transmisor y un receptor DAB es el de la Figura 1 y 2.

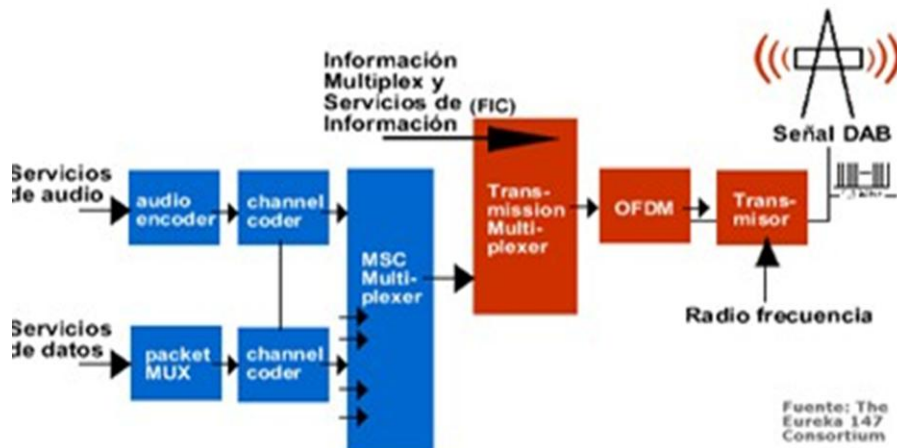


Figura 1: Diagrama de bloques de un transmisor DAB

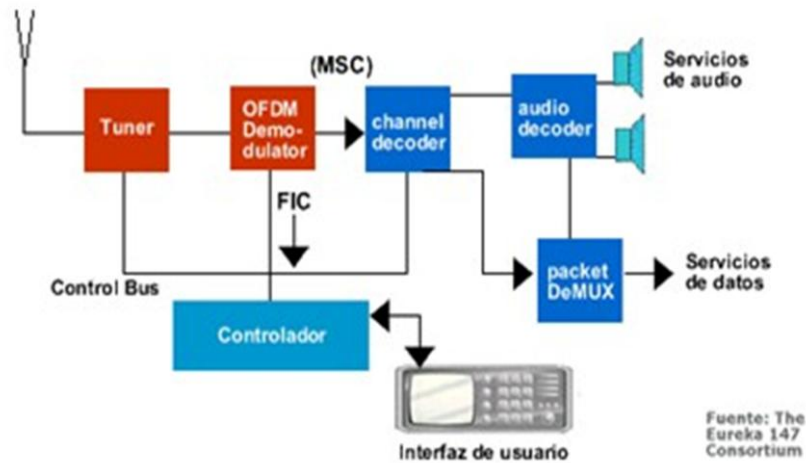


Figura 2: Diagrama de bloques de un receptor DAB

De forma básica podemos decir que la transmisión de la radio digital funciona empleando 4 elementos principales y permiten que la transmisión de información sea solvente. Estos elementos son el codificador MUSICAM, el multiplexor, el modulador COFDM y el transmisor. Con esta tecnología podemos conseguir trabajar en un espectro reducido y hacer un uso eficiente de la potencia, además de conseguir una cobertura local o nacional, evitando las interferencias típicas de AM y FM [10].

Ahora nos centraremos en explicar detenidamente estos 4 elementos para terminar detallando las características básicas de un receptor DAB.

### 4.1. MUSICAM:

Es un sistema de compresión que reduce la cantidad de datos por factores típicos de entre 6:1 a 12:1. Se emplean técnicas de compresión basadas en la respuesta psicoacústica del ser humano con lo que se puede eliminar información redundante o sin utilidad para nuestro sistema de audición. MUSICAM más tarde se normalizó denominándose MPEG-1 Audio Capa 2 ó MP2. El estándar está definido en la norma ISO/IEC 11172-3.

Los principios de funcionamiento de MUSICAM son los siguientes:

- Los tonos no audibles por el ser humano son eliminados, es decir, las frecuencias inferiores a 20 Hz y superiores a 20 KHz son descartadas.
- La percepción del ser humano es distinta para cada frecuencia, por tanto se debe proceder de forma distinta para cada una de ellas.
- Los tonos de menor nivel que vienen precedidos o seguidos de un tono de mayor nivel quedan enmascarados, por lo que no son audibles para el ser humano, ocurre lo mismo para los tonos de menos nivel que se encuentren próximos en frecuencia a otros tonos con mayor nivel. Es lo que se conoce como sound masking. Eliminando todos estos tonos se consigue reducir el ancho de banda de transmisión. Es un procedimiento similar al empleado en mp3 pero se necesita menos capacidad de procesamiento [1].

### 4.2. Multiplexión

La información entregada al receptor, tanto audio, datos o multimedia, deben ser dispuestos en una sola trama a la hora de transmitirse originando una trama de datos.

Se distinguen tres elementos en la trama DAB:

- Canal de sincronización: Es necesario para la sintonización y el timing del transmisor con el receptor.
- Canal de información rápida (FIC): Tienen la función de llevar información respecto la estructura y tipo de datos, también puede permitir la decodificación de información individual.
- Canal de servicio principal (MSC): Contienen las tramas de audio o paquetes de datos de los distintos servicios. Es la parte importante de la información.

En la Figura 3 se ven los elementos FIC y MSC de una trama DAB y en que disposición se multiplexan los canales de audio y video.

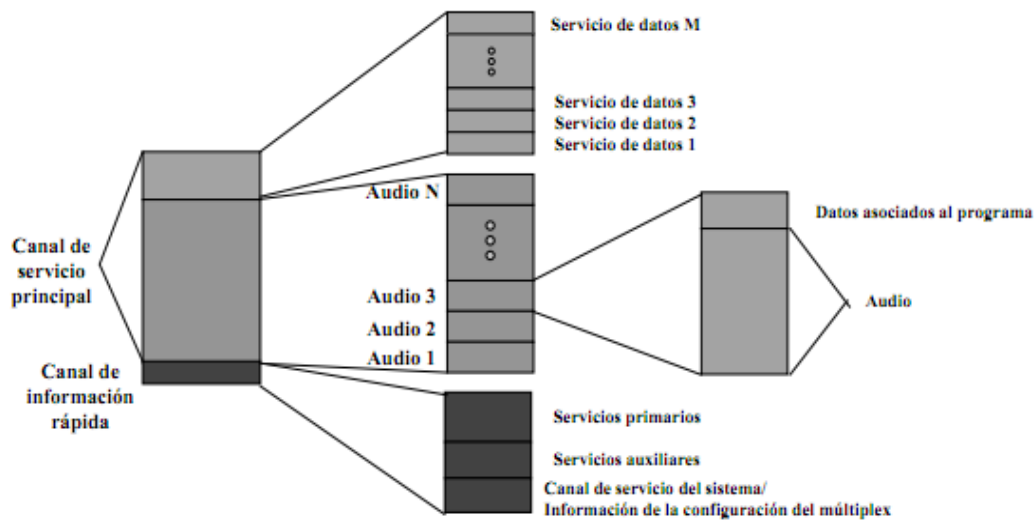


Figura 3: Trama del múltiplex DAB

La capacidad de datos bruta de una señal DAB es de 3Mbit/s aproximadamente, donde el Canal de Servicio Principal (MSC) ocupa unos 2.3 Mbit/s. Al emplear codificación de canal agregando redundancia, la tasa neta de información transmitida suele rondar entre los 0.6 y 1.8Mbit/s.

Por poner un ejemplo real: El MSC del multiplex nacional de la BBC lleva una información neta de 1.2Mbit/s, donde multiplexa 7 servicios diferentes, es decir, 4 servicios de audio de alta calidad a 192kbit/s (equivalente a CD estéreo) y 3 servicios audio mono de 96kbit/s normalmente para transmisión de información tipo noticias o deportes [10].

La señal de audio codificada mediante el sistema MUSICAM es enviada a la entrada del modulador COFDM, que es sin duda, el elemento clave del sistema y el que contribuye a aportar las ventajas tecnológicas.

### 4.3. Modulación COFDM

La modulación COFDM (Coded Orthogonal Frequency Division Multiplexing) tiene como base la modulación multiportadora que permite recibir el receptor la señal con un nivel elevado de calidad y seguridad. Las principales ventajas son las siguientes:

- Capacidad de enviar gran cantidad de información garantizando una buena recepción para equipos móviles.
- Evita desvanecimientos en las portadoras causadas por las variaciones de las características físicas del canal. Estas influyen de forma negativa en el nivel de potencia captada por el receptor.
- Inmunidad al efecto Doppler (variación de la frecuencia en función del desplazamiento).
- Posibilidad de configurar Redes de Frecuencia única, permitiendo recibir un determinado programa sin la necesidad de cambiar la frecuencia. Ventaja considerable respecto la actual A.M y F.M donde normalmente el usuario debe estar resintonizando la frecuencia a medida que se desplaza su vehículo.
- Protección contra interferencias de intersímbolos (ISI): Se debe al empleo de intervalos de guarda. Si el retardo de las señales que son captadas por el receptor COFDM es más pequeño que el intervalo de guarda se evitan las interferencias entre símbolos OFDM.
- La tasa binaria de datos se puede variar según las distintas condiciones, como por ejemplo al disminuir la tasa binaria útil cuando el canal sea menos selectivo o al modificar la duración del intervalo de guarda según la distancia entre transmisor y receptor.
- Se permite un ahorro de recursos con la posibilidad de radiar distintos programas y servicios de datos mediante el mismo transmisor.

COFDM es una mejora de OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing). Las características comunes de COFDM y OFDM son:

- La ortogonalidad.
- Los esquemas de modulación de las portadoras.

La adición del intervalo de guarda, la sincronización y la ecualización son mejoras pertenecientes de COFDM.

Las principales mejoras de COFDM sobre OFDM son:

- La codificación contra errores.
- El entrelazamiento de las portadoras de datos en frecuencia o en tiempo y frecuencia.

Aunque no es exactamente lo mismo que un modulador COFDM, nos parece conveniente enseñar un modulador OFDM por su esquema sencillo y por tener un funcionamiento muy similar al anterior pero sin el bloque complejo encargado de realizar la codificación. En las Figuras 4 y 5 se pueden observar los esquemas de transmisor y receptor de OFDM respectivamente.

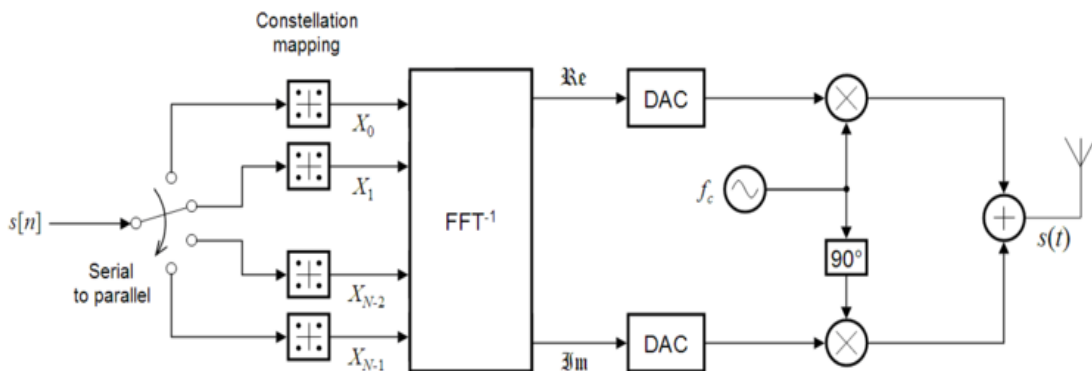


Figura 4: Esquema de un transmisor con OFDM

El funcionamiento es el siguiente:

- La señal de entrada del sistema es un flujo binario de información que es separado en distintas líneas paralelas y cada una de las portadoras es modulada en QAM o PSK.
- Todos los símbolos (portadoras) obtenidos se suman, utilizando la IFFT (Inverse

Fast Fourier Transform), obteniendo de esta manera la señal OFDM. Tanto la parte real como la parte imaginaria son transformadas por el DAC (Digital-Analogue Converter).

- Finalmente ambas partes se centran con un oscilador local y se suman para poder ser enviadas.

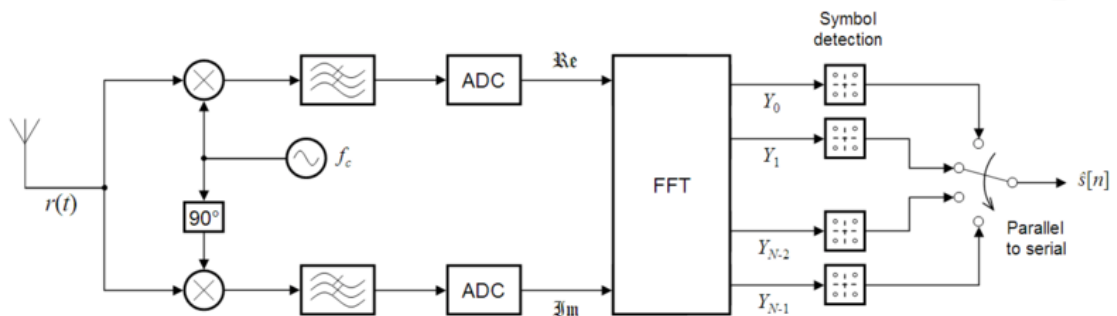


Figura 5: Esquema de un receptor con OFDM

El procedimiento para la parte receptora es el inverso, salvo que para separar las portadoras se utiliza la FFT (Fast Fourier Transform)

El funcionamiento de un transmisor COFDM es similar solo que hay que añadir un bloque de codificación Reed-Solomon a la entrada y un bloque a la salida que habilite un cierto intervalo de guarda encargado de evitar que unos símbolos se interfieran con otros. ( Interferencias de Símbolos ISI)

Lo mismo para el receptor COFDM donde hay que añadir un bloque a la entrada que elimine el intervalo de guarda introducido anteriormente y un bloque en la salida del receptor con el objetivo de decodificar lo hecho en el bloque Reed- Solomon en la transmisión COFDM. Así se puede obtener la secuencia original y obtener los datos que constituyen las tramas MP2. (MPEG-1 Audio Capa 2).



### 4.4 Características COFDM

Hay que mencionar que la importancia del sistema de modulación COFDM en Europa viene del interés de introducir más programas de radio digital a un número limitado de canales disponibles. Las distintas configuraciones en DAB son las siguientes:

- Transportar 6 programas de audio de 192 kbit/s, con 45 kbit/s para otros programas de datos.
- 5 programas de audio a 256kbit/s. Con 58kbit/s a otros datos de la programación.
- 2 programas de audio de 256kbit/s y 3 programas de audio de 192kbit/s, con un canal de datos de 150kbit/s.
- 18 programas de audio usando 96kbit/s (calidad de CD mono).
- 1 canal de datos usando 1824kbit/s.

A la salida de un transmisor COFDM la señal modulada en COFDM consiste en 1536 portadoras espaciadas a 1KHz (en modo 1), todas ellas moduladas en QPSK. Las portadoras están colocadas de forma que una no influya en las demás. Como resultado el periodo de cada símbolo que se obtiene es considerablemente superior que cualquier retardo de señal. Existen distintos modos de transmisión que quedan reflejados en la Figura 6:

TRANSMISSION MODE				
System Parameter	I	II	III	IV
Frame duration	96 ms	24 ms	24 ms	48 ms
Null symbol duration	1297 us	324 us	168 us	648 us
Guard interval duration	246 us	62 us	31 us	123 us
Nominal frequency range	< 375 MHz	< 1.5 GHz	< 3 GHz	< 1.5 GHz
Useful symbol duration	1 ms	250 us	125 us	500 us
Total symbol duration	1246 us	312 us	156 us	623 us
No. of radiated carriers	1536	384	192	768

**Figura 6: Modos de transmisión**

DAB puede ser utilizado en un rango de frecuencias comprendido entre 30MHz y 3Ghz. Se incluyen las bandas VHF I,II,III, las bandas UHF IV y V y la banda-L. Como las condiciones de propagación son variables con la frecuencia se han definido cuatro modos de transmisión [4] y [10].

- Modo 1: Se emplea para frecuencias inferiores a 300Mhz en operaciones SFN.
- Modo 2: Se utiliza para frecuencias por debajo de 1.5 MHz para servicios locales y regionales.
- Modo 3: Sirve para transmisiones vía satélite en frecuencias inferiores a los 3 GHz.
- Modo 4: Los transmisores pueden proveer una buena cobertura en áreas extensas operando en Banda-L. Sus parámetros están entre el Modo 1 y Modo 2

Para terminar con esta modulación indicamos que la señal COFDM observada en un osciloscopio es similar a una señal de ruido con alta potencia de pico debido a la suma de las portadoras individuales. La relación entre la potencia de pico y la potencia media de la señal está, entre 8 a 10 dB.

### 4.5 Transmisor DAB

El último elemento importante en la transmisión de señales DAB es el transmisor. El transmisor debe incluir un amplificador capaz de transmitir la potencia de pico de la señal con gran linealidad si no se podría degradar, disminuyendo la S/N en el receptor o provocando interferencias con otros servicios.

Las diferentes potencias de salida de los transmisores dependen de la frecuencia de trabajo, por ejemplo en la banda L (1452 a 1492 MHz) se dispone de amplificadores base de 100 W que combinados adecuadamente nos dan potencias de salida entre 100 y 400 W. En cambio en la banda VHF el amplificador base es de 250 W con lo que se pueden obtener potencias entre 250 y 1000 W. Se debe integrar a la salida del transmisor un filtro paso banda para limitar las emisiones que estén fuera de la banda de frecuencias, ocupada por las distintas portadoras [7].

### 4.6 Receptor DAB

El último aspecto importante por comentar es la recepción DAB. Las características de un receptor DAB son las siguientes [3]:

- El receptor DAB según el estándar Europeo debe tener la capacidad de operar en la banda III (174 MHz a 240 MHz) y en la banda L (1452 MHz y 1492 MHz).
- Cuenta con salidas tanto para audio como para datos.
- Detecta el modo de transmisión para conmutar con su correspondiente modo de recepción.
- El decodificador usa frecuencias de muestreos de 24 a 48 KHz y debe ser capaz de conmutar entre las distintas tramas de datos cuando convenga.
- Puede decodificar programas de audio estéreo hasta con una tasa binaria de 256 Kbps.
- Debe incluir una pantalla para visualizar la información adicional

Existen distintos receptores estos son:

- Radio digital de alta fidelidad: Sintoniza tanto DAB como AM/FM con alta calidad, llevan incorporada una pantalla que muestra información adicional del programa transmitido
- Receptores para automóviles: Se colocan en los asientos o maletero del automóvil y también captan DAB junto con los servicios tradicionales.
- Tarjetas de audio digital para PC: Aparte de DAB y AM/FM tienen la capacidad de recibir otro tipo de información como páginas HTML.

## 5. Conclusiones:

Para concluir el presente trabajo fin de grado podemos decir que el sistema DAB funciona esencialmente combinando 2 tecnologías digitales que son el sistema de compresión MUSICAM y la modulación COFDM, gracias a esta combinación se puede aprovechar de forma más eficiente el espectro electromagnético empleando una red de frecuencia de red única gracias a la cual todos los emisores emplean la misma frecuencia para emitir la misma señal de radio digital. La compresión MUSICAM permite comprimir la información y ofrecer una calidad similar a la de un CD y la modulación COFDM ofrece recibir información libre de errores.

A pesar de sus numerables ventajas la tecnología DAB lleva casi 15 años desde los inicios de su implantación en Europa, con un crecimiento lento e incierto. Esto es debido al fracaso del formato en sus tiempos iniciales, a la inexistencia de una política conjunta en la Unión Europea que se centre en dar el paso para que se extienda de forma definitiva, a la visión escéptica de la industria tanto de las cadenas importantes de radio analógica como de los usuarios. También hay otros factores como las nuevas alternativas existentes como la radio mediante teléfono móvil o e internet y la actual crisis económica donde los gobiernos no invierten en la extensión de este formato.

En España desde 2009 la radio lleva un incremento de desempleo importante, por lo que no ve con buenos ojos una radio digital que al permitir muchos más canales aumentaría la competencia del sector. Hay que tener en cuenta que la radio digital puede cubrir todo el territorio Español, por lo tanto una nueva compañía con licencia puede competir en igualdad de condiciones con las cadenas de siempre aumentando su cobertura adquiriendo emisoras comarcales o provinciales de FM.

En un futuro se supone que la radio digital estará cada vez más implantada y superará el estancamiento que tiene en la actualidad pero si esto no ocurre lo más probable es que la tecnología DAB acabe modificándose o desapareciendo a favor de otra nueva entre otras razones debido al elevado coste de la misma. Es necesaria también una apuesta coherente y conjunta por parte de los gobiernos europeos de convencer a los usuarios (la

mayoría desinteresados) de su utilidad e intentar encontrar vías para que la radio digital terrestre consiga rentabilidad, cosa difícil en los tiempos de crisis que corremos.

## 6. Bibliografía

- [1] <http://es.wikipedia.org/wiki/DAB>
- [2] <http://televisionssatelite.blogspot.com/2009/04/la-radio-digital-el-apagon-que-nunca.html>
- [3] <http://tecnicaaudiovisual.kinoki.org/radio/dab.htm>
- [4] <http://www.radiodigitaldab.com/>
- [5] [http://www.radiocenter.es/contents/es-mx/d264\\_receptores\\_dab.html](http://www.radiocenter.es/contents/es-mx/d264_receptores_dab.html)
- [6] [http://www.aeic2012tarragona.org/comunicacions\\_cd/ok/98.pdf](http://www.aeic2012tarragona.org/comunicacions_cd/ok/98.pdf)
- [7] <http://webs.uvigo.es/xuliofh/Web-Tv/Claroline/Cap5.pdf>
- [8] <http://blog.intuicionlogica.com/dab-en-espana/>
- [9] <http://www.televisiondigital.electronicafacil.net/Topic8.html>
- [10] John Wiley & Sons. Digital radio system design. Grigorios Kalivas Chichester

