



## **CAPÍTULO IV. SISTEMA DE RADIODIFUSIÓN DE AUDIO DIGITAL (DAB, DIGITAL AUDIO BROADCASTING)**

### **1. Introducción**

El sistema Eureka-147, conocido también como DAB (*Digital Audio Broadcasting*) es un sistema de radiodifusión digital terrestre que fue diseñado inicialmente pensando en obtener un sistema que permitiera una buena calidad de audio en la recepción móvil [DABF], por lo que permite a los receptores móviles (en automóviles o portátiles), seleccionar la señal de mejor calidad disponible a medida que el usuario entra y sale de las diferentes zonas de cobertura; además, ofrece un uso más eficiente del espectro radioeléctrico [DABF], ya que permite el envío de hasta 9 servicios de audio diferentes dentro de un solo canal de transmisión.

El proyecto Eureka-147 terminó de desarrollarse en el año 2000 [DABF], sin embargo, a partir de entonces ha sufrido dos importantes modificaciones. La primera de ellas se debió a que el sistema original tenía como base el esquema de compresión de audio MPEG2, esquema que evolucionó al sistema MPEG4 o HE-AAC y obligó al aumento de un codificador de audio capaz de trabajar con esta tecnología; el nuevo sistema capaz de codificar audio con el esquema MPEG4 se le conoce como DAB+.

Por otro lado, en un intento por lograr que el sistema DAB fuera capaz no solo de transmitir audio y datos sino también video, se desarrolló una nueva tecnología de video y multimedia capaz de ofrecer [DABF] una gran variedad de servicios como televisión móvil, información de tráfico y programas interactivos; esta tecnología es conocida como DMB (*DMB, Digital Multimedia Broadcasting*) y la principal ventaja que ofrece es que, al estar basada en el sistema DAB, basta con añadir el codificador de audio adecuado, para que el sistema de transmisión digital implementado también transmita video.

Al igual que los sistemas de transmisión digital DRM y IBOC (capítulos II y III), el sistema DAB también utiliza, para la codificación de canal, la modulación COFDM, lo que le permite ser un sistema robusto ante las interferencias causadas por la trayectoria múltiple.

#### **1.1. Historia del sistema DAB**

EUREKA fue una iniciativa de investigación de la Unión Europea [DABF] iniciada en París el 17 de julio de 1985 con el objetivo de apoyar la innovación tecnológica europea; dentro de los diferentes grupos de investigación que se crearon está el proyecto EUREKA-147 (nombrado así porque fue el proyecto número 147), que surgió con la creación de un consorcio formado por radiodifusores, grupos industriales e institutos de investigación [DABF], con el objetivo de crear los fundamentos técnicos de un nuevo sistema de radiodifusión sonora digital capaz de mejorar la calidad de audio bajo condiciones de recepción fija, portátil y móvil en las bandas de VHF y UHF.

El proyecto EUREKA-147, de título "*Digital Audio Broadcasting System*", se llevó a cabo del 1° de enero de 1987 al 1° de enero de 2000 [DABF], dividido en dos fases. La primera fase (con duración de 74 meses) estuvo dedicada al desarrollo de un estándar técnico europeo para la



---

radiodifusión de audio digital; la segunda fase (con duración de 8 meses) se destinó a la estandarización, diseño final y verificación del sistema e investigación de los aspectos de la puesta en práctica.

El sistema desarrollado dentro del proyecto EUREKA-147 fue recomendado en 1992 por la ITU [BO.789] para la radiodifusión sonora digital satelital en la banda de frecuencias de 1,400 a 2,700 MHz, y para la transmisión con repetidores terrestres a receptores móviles, portátiles y fijos en las bandas de VHF y UHF [BS.774]. Más tarde, en diciembre de 1994 este sistema se convirtió en el primer estándar de radiodifusión digital sonora para las bandas de VHF y UHF reconocido por la ITU [BS.1114], con lo que consiguió la categoría de estándar mundial y fue conocido como “Sistema Digital A”, y para septiembre de 2000, el sistema DAB fue aprobado por la ETSI [EN 300401] como estándar europeo con el título “*Radio Broadcasting Systems: Digital Audio Broadcasting (DAB) to mobile, portable and fixed receivers*”.

Aunque inicialmente el sistema DAB fue diseñado como un sistema para la radiodifusión digital de servicios de audio y servicios de datos adicionales, a finales del siglo XX y comienzos del XXI se comenzó a experimentar con la capacidad del sistema para enviar video; esto dio como resultado la aparición en 2005 del sistema denominado como DMB, el cual estaba basado en el estándar DAB.

El sistema DAB originalmente utilizaba la tecnología MPEG2 [DABF] para la codificación de fuente; sin embargo, los avances en este campo obligaron a agregar al sistema un nuevo codificador basado en MPEG4 (HE-AAC), el cual aumenta la eficiencia en el envío de datos cuando se utilizan bajas velocidades de transmisión [DABF]. Así, en febrero de 2007 [DABF] se estandarizó una nueva especificación técnica para el sistema DAB, dando origen a DAB+, el cual es una actualización del sistema DAB que permite el envío de audio utilizando la codificación MPEG4 o HE-AAC v2, y conserva compatibilidad con el sistema DAB inicial.

Así pues, estas tres tecnologías (DAB, DAB+ y DMB) se pueden utilizar dentro de un mismo múltiplex y la infraestructura requerida para su transmisión es básicamente la misma.

En 1995 se creó el “*EuroDAB Forum*”, que para 1997 se convirtió en el consorcio mundial “*WorldDAB Forum*”, organización internacional no gubernamental encargada de coordinar e impulsar a nivel mundial la implantación del sistema DAB. En octubre de 2006 este organismo cambió de nuevo su nombre a “*WorldDMB*”, y comenzó así a promocionar toda la familia de aplicaciones de radiodifusión desarrolladas, basadas en el sistema EUREKA-147 (DAB, DAB+ y DMB).

Varios países alrededor del mundo [DABF] han adoptado ya el sistema DAB+; por ejemplo, el 1° de diciembre de 2005, Corea se convirtió en el primer país en lanzar servicios de televisión móvil DMB; mientras que en Europa, Alemania lanzó estos servicios durante la copa del mundo FIFA 2006. Por su parte, Malta se convirtió en el primer país europeo en lanzar una red DAB+ (2008), y el gobierno australiano lo implementó de forma exitosa en 2009.

Actualmente, aproximadamente de 500 millones de personas [DABF] alrededor del mundo reciben 1,300 servicios diferentes de DAB, DAB+ o DMB [DABF], y países como Italia, Suecia, República Checa, Holanda, Malasia y China han expresado su interés en adoptar este estándar de radiodifusión digital (figura IV.1.1).

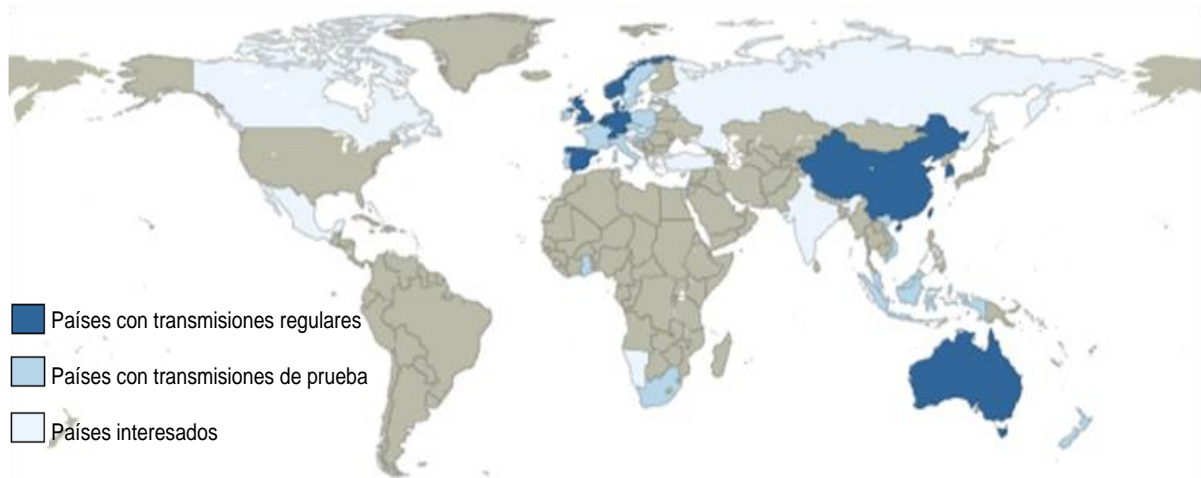


Figura IV.1.1. Cobertura mundial actual del sistema DAB [DABF]

## 1.2. Ventajas y servicios del sistema DAB

Al adoptar el sistema de radiodifusión DAB [DABF], tanto las radiodifusoras como los usuarios pueden experimentar mejoras significativas, entre las cuales se encuentran las siguientes:

- En lugar de buscar una estación por su frecuencia de transmisión (como se hace actualmente), el usuario podrá seleccionar el programa deseado dentro de un menú que contenga todas las estaciones disponibles.
- DAB elimina la interferencia y los problemas causados por la trayectoria múltiple en la recepción móvil. Además es capaz de cubrir grandes zonas geográficas con una sola señal ininterrumpida, por lo que un conductor podrá cruzar un país entero sintonizando siempre la misma estación sin desvanecimientos y sin necesidad de alterar la frecuencia.
- DAB permite la transmisión de información en forma de texto, como un menú con los programas que están por transmitirse, información complementaria de anuncios, imágenes y otros servicios interactivos. Así, las pequeñas pantallas añadidas a los receptores digitales podrán mostrar información visual tan diversa que abarque desde la ya mencionada hasta mapas del clima, información de seguridad, tráfico y televisión móvil.
- DAB también permite la inclusión dentro del mismo canal de transmisión de otros servicios provenientes de fuentes diferentes a la estación de radiodifusión; estos incluyen encabezados de noticias, información detallada del clima o del tráfico.
- Dado que la tecnología digital permite el envío de una gran cantidad de información de diferentes tipos, es posible crear grupos de usuarios que serán capaces de recibir servicios exclusivos, esto ya que cada receptor puede ser direccionado (servicios bajo demanda).
- Es posible acceder a los servicios DAB/DMB desde una gran variedad de equipos receptores, incluyendo fijos, móviles y portables, todos con pantalla incluida.



Por otro lado, existen diversos servicios de valor agregado que ofrece el sistema DAB, algunos de los cuales también funcionan con el sistema DMB [DABF]; estos son:

- Radiodifusión de sitios web: Permite la transmisión de sitios web para su visualización en los receptores de radio digital, los cuales deben estar equipados con un software de búsqueda; también permite ofrecer imágenes, gráficos animados, archivos MP3 o videos.
- Guía electrónica de programación: Está diseñada para ofrecer al usuario características similares a las utilizadas por una guía electrónica de televisión, pero para radio y los servicios de datos asociados.
- Journaline: Estandarizado de forma internacional por el Foro *WorldDMB* [TS 102979] para su uso en los sistemas DAB y DRM en 2007, su función principal es parecida al de una revista electrónica.
- Sonido envolvente.
- TMC/TPEG: Permite ofrecer a los usuarios información de viaje y tráfico.

En cuanto al sistema DMB, sus principales ventajas son:

- Transmisión simultánea de una gran variedad de servicios interactivos y de televisión dentro del mismo múltiplex, descarga de archivos (podcasts), guía de programación electrónica, slideshow, etc.
- El sistema DMB permite la recepción de televisión móvil a altas velocidades (mayores a 300 km/h).
- Los usuarios podrán acceder a los servicios de DAB y DMB utilizando el mismo receptor.
- El sistema DMB utiliza un canal de transmisión con un ancho de banda menor al empleado por otros estándares de televisión móvil (6 a 8 MHz); DMB ofrece hasta 7 servicios de radio y televisión utilizando canales de 1.5 MHz.

Finalmente, otra de las características del sistema DAB a destacar es la capacidad que tiene para complementar los servicios que ofrece con los servicios ofrecidos por otros sistemas [KOFR-04], como GSM y DRM.

#### 1.2.1. DAB y GSM

Mientras el sistema DAB está especialmente diseñado para proveer recepción a receptores móviles y portables y en áreas donde la línea de vista directa entre el transmisor y el receptor no es posible, el Sistema Global para las Comunicaciones Móviles (*GSM, Global System for Mobile Communications*) y sus sucesores (Servicio General de Paquetes Vía Radio (*GPRS, General Packet Radio Service*) y el Sistema Universal de Telecomunicaciones Móviles (*UMTS, Universal Mobile Telecommunications System*)) son más apropiados para la entrega de servicios bajo demanda a clientes específicos o a grupos pequeños de clientes.

Entonces, la unión de ambos sistemas [DABF] puede resultar ventajosa tanto para los radiodifusores como para los operadores de telecomunicaciones porque se puede ofrecer una combinación de servicios abiertos a todos los radioescuchas y de servicios destinados a ciertos usuarios; estos servicios son conocidos como la parte de valor agregado ofrecida por los radiodifusores y sería necesario pagar una cierta cuota para poder recibirlos.



Por otro lado, gracias a la sinergia entre estos dos sistemas también es posible implementar redes DAB SFN en la Banda L; para esto, los transmisores no deben estar localizados a más de 18 km de distancia cuando se utiliza el modo de transmisión II, para evitar interferencia entre símbolos y por lo tanto, una mala recepción de la señal digital. Lo anterior significa que una red SFN ideal en la Banda L puede lograrse emulando la infraestructura de las redes de telefonía móvil.

### 1.2.2. DAB y DRM

Los sistemas DAB y DRM son complementarios dado que están dirigidos a diferentes mercados: DRM tiene como objetivo dar cobertura a grandes zonas y dar servicios a una audiencia internacional, mientras que DAB está diseñado para audiencias a nivel nacional, regional o local.

Por otro lado, una gran ventaja y similitud es que ambos sistemas utilizan el método COFDM para la codificación de canal, por lo que desde el 2006 ya existe un receptor DAB/DRM integrado. Además, dado que el objetivo común es que los usuarios puedan recibir cualquier servicio de radio digital sin importar el sistema que se utilice para la transmisión, en agosto de 2003 DRM y WorldDAB anunciaron que colaborarían en el desarrollo de sus sistemas.

En las siguientes secciones de este capítulo se presentan los tipos de datos que pueden transmitirse utilizando el sistema DAB (sección 2.1), así como los servicios de valor agregado que pueden ser implementados por los radiodifusores (sección 2.2). Posteriormente, se muestra el diagrama a bloques del proceso de generación de la señal, y se explican a detalle los bloques de codificación de fuente (sección 3.1.2) y codificación de canal (sección 3.1.3), se explican los distintos modos de transmisión disponibles (sección 3.2.1), y se muestran las velocidades de transmisión que es posible adoptar al momento de la transmisión (sección 3.1.2).

Finalmente, se presentan las características espectrales de la señal DAB; se muestran las máscaras espectrales para cada uno de los modos de transmisión y los niveles de potencia con los que debe cumplir la señal transmitida fuera del ancho de banda asignado (sección 3.2.2).

## 2. Servicios de datos

Una de las principales ventajas que ofrece la radiodifusión terrestre de audio digital es que, utilizando el mismo ancho de banda asignado para las transmisiones analógicas, los radiodifusores son capaces de transmitir más contenido, ya sean programas de audio o datos, y esto le permite al usuario ya no solo escuchar su programa favorito, sino que también recibe información en forma de texto, imágenes o, incluso, video.

En esta sección se presentan los diferentes tipos de información en forma de texto (metadatos) que es posible transmitir (sección 2.1), así como los servicios de valor agregado (sección 2.2), basados también en texto o imágenes, que permiten la transmisión de información que puede estar o no asociada al programa de audio y que el usuario puede elegir.



### 2.1. Información del servicio (SI, Service Information)

El SI provee información complementaria sobre los servicios radiodifundidos, tanto de audio como de datos. Esta información incluye anuncios, información de frecuencia, características del idioma, etc. A continuación se presenta una breve descripción de todos los datos que es posible transmitir a través del SI.

1. **Idioma del servicio:** Característica utilizada para señalar el idioma asociado al componente del servicio; esto evita que el usuario sintonice programas que no tengan el idioma deseado.
2. **Fecha y hora:** Como lo indica su nombre, esta herramienta permite mostrar una referencia de tiempo independiente a la localización del receptor.
3. **Número del programa:** Esta información se utiliza para asignar un identificador único a cada programa transmitido; este identificador será utilizado por el receptor para el uso de la aplicación EPG.
4. **Tipo de programa:** Esta herramienta permite clasificar el contenido de cada programa de acuerdo a la audiencia a la que va dirigido. Esto puede ser utilizado por la guía de programación para que el usuario encuentre el programa deseado haciendo un filtrado mediante el contenido que está buscando.
5. **Anuncios:** Gracias a esta herramienta es posible detener la recepción de cierto servicio para dar paso a una trama diferente que contenga la información de los anuncios (imágenes y texto); una vez terminada esta trama, continúa la reproducción de la anterior.
6. **Información de frecuencia:** Esta información es la que le permite al sistema DAB poder recibir servicios de otros sistemas diferentes (DRM, AM o FM), ya que el usuario puede localizar un programa por su nombre o nombre de la estación, y el receptor será el encargado de sintonizar dicho servicio mediante esta información, independientemente de la tecnología utilizada para su radiodifusión.
7. **Información de enlace de servicio:** Esta información se utiliza cuando existen dos o más servicios utilizando la misma componente de servicio primaria o cuando la componente de servicio entre ellos está relacionada. Esto permite que el usuario pueda cambiar sin tanto problema de un servicio a otro con características de programación parecidas.

### 2.2. Servicios de valor agregado

Una de las principales ventajas que ofrece la radiodifusión digital terrestre es la posibilidad de aumentar el número de servicios de audio que se pueden transmitir utilizando el mismo ancho de banda que las transmisiones analógicas; sin embargo, también es posible dividir este ancho de banda entre servicios de audio y servicios de datos [DABF].

El principal objetivo de los servicios de datos es ampliar la cantidad de información, relacionada o no con el audio, que se envía al usuario. Así pues, existen diferentes aplicaciones que permiten enviar desde simples mensajes de texto con la información de la estación, el programa y el contenido del mismo, hasta listas de programación, alertas de seguridad y tránsito.



En la tabla IV.2.1 [DABF] se presenta una breve explicación de las aplicaciones para la transmisión de datos con las que cuenta el sistema DAB, así como su compatibilidad con las tres tecnologías derivadas del mismo (DAB, DAB+ y DMB), posteriormente se explica a detalle cada una de ellas.

Tabla IV.2.1. Aplicaciones de los servicios de datos y su compatibilidad con las tecnologías DAB [DABF]

Aplicación	DAB	DAB+	DMB
<b>Radiodifusión de sitios web:</b> Permite la transmisión de sitios web completos para su posterior consulta en receptores de radio.	✓	✓	✗
<b>EPG:</b> Listado que permite al usuario saber la programación disponible de estaciones por adelantado y programar recordatorios para los programas de su interés.	✓	✓	✗
<b>Journaline:</b> Servicio de datos que ofrece al usuario un menú con todos los temas disponibles y la capacidad de almacenar los artículos de su interés para su posterior lectura.	✓	✓	✗
<b>Slideshow:</b> Permite el envío de imágenes, las cuales pueden estar o no asociadas al servicio de audio	✓	✓	✗
<b>TMC/TPEG:</b> Información de viaje y tráfico	✓	✓	✓

1. **Radiodifusión de sitios web:** Esta aplicación permite que el usuario pueda realizar descargas de sitios web, imágenes, animaciones, archivos MP3 o videos desde su receptor para poder consultarlos posteriormente sin necesidad de tener acceso a internet. La condición con la que deben cumplir los receptores para poder utilizar esta aplicación es que deben contar con un buscador web integrado.
2. **EPG:** Las especificaciones técnicas de la EPG están estandarizadas por la ETSI [DABF] (documentos ETSI TS 102 818 y ETSI TS 102 371) y cubre tanto al sistema DAB como al DRM. La aplicación de guía electrónica de programación cuenta con las siguientes características principales:
  - Despliega los horarios de los programas y servicios disponibles.
  - El despliegue de información puede ordenarse en diferentes grupos, dependiendo del contenido de los servicios y de acuerdo a las preferencias del usuario.
  - Se puede realizar una navegación a lo largo de las listas de programación y hacer la selección del programa de interés.
  - Permite realizar la búsqueda de programas actuales o próximos a transmitirse.
  - Se pueden grabar programas individuales o grupos de programas elegidos por su contenido similar.
  - Permite programar al receptor para grabar programas a una hora específica.Además, cuando se utiliza la aplicación de EPG en receptores con capacidad de almacenamiento, es posible ofrecer un servicio similar al de los podcasts; el usuario puede suscribirse a su programa de interés y así el receptor, de forma automática, puede grabarlo y almacenarlo en su memoria interna.



3. **Journaline:** Al igual que la aplicación EPG, Journaline fue estandarizado de forma internacional por el foro *WorldDMB* [DABF] [TS 102979] en el otoño de 2007 para su uso en los sistemas de radiodifusión digital DAB y DRM. Gracias a esta aplicación, los usuarios pueden acceder de forma interactiva a textos que contengan información independiente o relacionada con el programa que están escuchando. La información relacionada puede ser información adicional sobre el programa, datos de contacto con la estación o algún número telefónico para participar en el programa, mientras que la información independiente pueden ser noticias de último minuto, resultados deportivos, información sobre vuelos, etc.

Así pues, el principal objetivo de la aplicación Journaline es el de tener acceso inmediato y de forma interactiva a toda la información transmitida, además de contar con localización geográfica para que el usuario pueda obtener información de los servicios locales.

4. **Slideshow:** La función de esta aplicación es la de añadir contenido visual sincronizado con los programas de audio tanto en el sistema DAB como en el DAB+; las imágenes a transmitir deben utilizar los formatos web estandarizados (JPEG, PNG, APNG).

La aplicación slideshow puede ser utilizada de forma efectiva a velocidades de transmisión a partir de 8 kbps.

5. **TMC/TPEG (Traffic Message Channel/Transport Protocol Expert Group):** A finales de los 90's [DABF] aumentó la demanda europea de los servicios de información de tráfico y viaje que ofrecieran información más exacta y puntual, que manejaran diversos idiomas y que abarcaran diferentes medios de transporte (camión, tren, caminos, etc.). Fue así como surgió la aplicación TMC/TPEG, la cual no tuvo mucho éxito debido al limitado ancho de banda con el que se contaba; sin embargo, con la implementación de DAB y posteriormente de DMB, esta aplicación ofrece una gran oportunidad para transportar los servicios de alarmas de tráfico y viaje.

### 3. Componentes principales del sistema DAB

En esta sección se presenta el diagrama a bloques del sistema de generación de la señal digital DAB, así como una explicación del funcionamiento de los principales procesos que son la codificación de fuente y la codificación de canal; además, se presentan los mecanismos de transporte que utiliza este sistema para el manejo de los distintos componentes de la señal DAB (audio, datos y datos de sincronización).

Por último, se presentan las características espectrales de la señal digital DAB; se explican los distintos modos de transmisión disponibles, bajo que condiciones trabaja cada uno de ellos, y la máscara de transmisión asignada a cada uno, además también se muestra la máscara espectral para las transmisiones fuera de banda, que depende también de las condiciones bajo las que se realice la transmisión.



### 3.1. Generación de la señal DAB

El diagrama a bloque del sistema DAB de generación y transmisión de la señal digital se muestra en la figura IV.3.1.

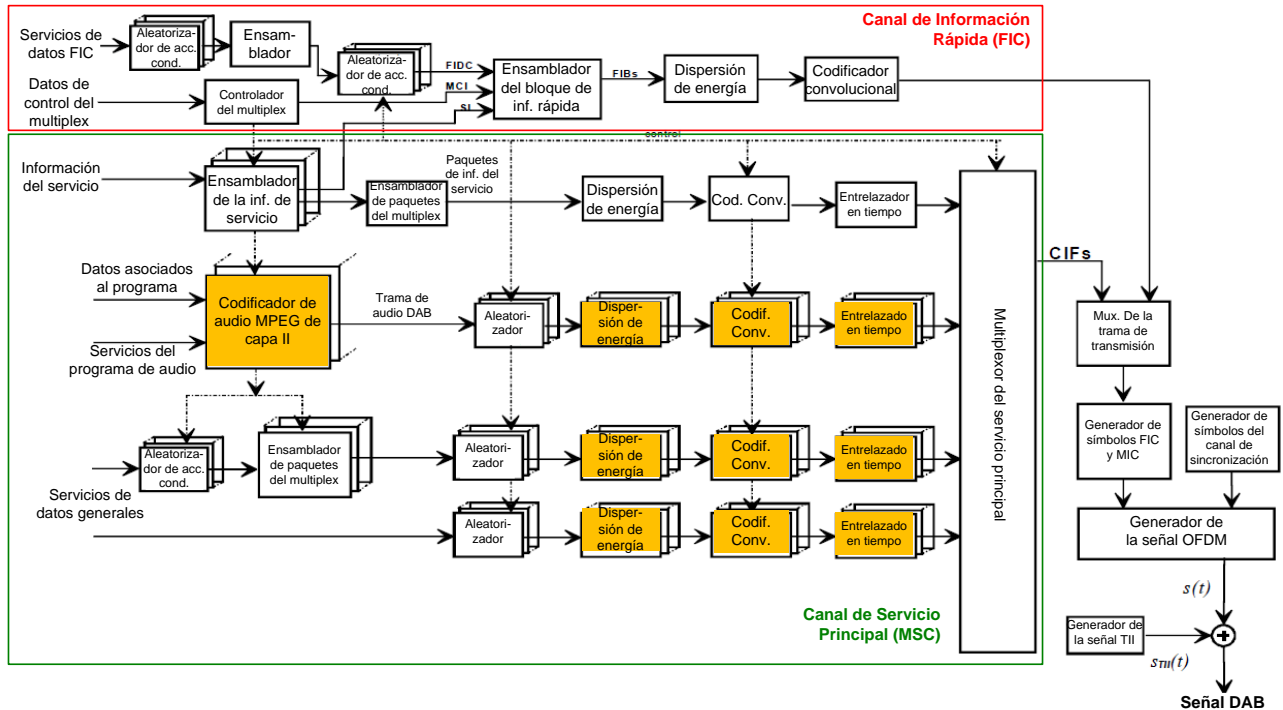


Figura IV.3.1. Diagrama a bloques del sistema DAB [EN 300401]

Como se observa en la figura anterior, el sistema DAB está conformado por dos canales de transporte de información principales, el Canal de Información Rápida y el Canal de Servicio Principal, los cuales son los encargados de dar formato al audio y los datos que serán transmitidos.

La función principal del FIC, el cual está hecho a partir de Bloques de Información Rápida (*FIB, Fast Information Block*), es transportar la información de control necesaria para interpretar la configuración del MSC y poder realizar la decodificación de forma adecuada.

Por su parte, el MSC está formado a partir de una secuencia de Tramas Comunes Entrelazadas (*CIF, Common Interleaved Frames*) que contienen el audio y los datos a transmitir; una CIF es un campo de datos de 55,296 bits transmitidos cada 24 ms. La unidad más pequeña de la CIF es la Unidad de Capacidad (*CU, Capacity Unit*) que tiene un tamaño de 64 bits, y al grupo de CU's se le conoce como la unidad de transporte básica del MSC, es decir, un sub canal; entonces, el MSC constituye un múltiplex de sub canales, lo que permite enviar, a lo largo de la señal DAB de banda ancha, los servicios ofrecidos por los diferentes radiodifusores, cada uno en un sub canal diferente. Además, el MSC también tiene definidos dos modos de transporte, el modo de flujo (que permite la entrega de servicios bajo demanda, ya que la transmisión se hace de forma continua) y el modo de paquetes (que permite el envío de datos de varios componentes del servicio dentro de un mismo sub canal).



Además de lo anterior, dentro del MSC existen varios bloques funcionales que son muy importantes para el desarrollo de este trabajo (señalados en la figura IV.3.1), a continuación se explica brevemente la función básica de cada uno de ellos:

- **Codificación de audio:** Consiste en la compresión del audio para poder utilizar bajas tasas de transmisión, pero sin sacrificar demasiado la calidad del mismo. Para esto, el sistema DAB utiliza MPEG2, mientras que el sistema DAB+ utiliza MPEG4.
- **Dispersión de Energía:** Este bloque aleatoriza la información en el dominio del tiempo con el fin de reducir las periodicidades dentro de la señal y facilitar así la sincronización del receptor.
- **Codificador Convolutivo:** El proceso de codificación convolutiva consiste en generar bits de redundancia como parte de un mecanismo de protección contra errores, requerido para combatir las condiciones adversas durante la propagación.
- **Entrelazado en tiempo:** Este proceso se encarga de reordenar los bits de información para mitigar los efectos adversos provocados por los errores de ráfaga; de esta forma, al momento de decodificar la señal es más sencilla la corrección de errores, ya que únicamente es necesario recuperar pequeñas secciones de información en lugar de corregir grandes secciones de una misma trama.

#### 3.1.1. Mecanismos de transporte

El sistema DAB está diseñado para transportar varias señales de audio digital junto con señales de datos. Ambos tipos de señales son consideradas como componentes del servicio, y pueden ser agrupadas para formar los servicios.

El sistema de transmisión combina tres canales [EN 300401]:

1. **Canal de Servicio Principal (MSC, Main Service Channel):** Se usa para transportar los componentes del servicio de audio y datos; es un canal de datos, entrelazado en tiempo y dividido en sub canales que son también codificados convolutivamente de forma individual utilizando protección contra errores proporcional o desproporcional (sección 3.1.3). Cada sub canal puede llevar uno o más componentes del servicio y la organización tanto de los sub canales como de los componentes del servicio está definida por la configuración del múltiplex.
2. **Canal de Información Rápida (FIC, Fast Information Channel):** Este canal se utiliza para que el receptor pueda tener acceso rápido a cierta información, por lo que es un canal de datos no entrelazado con una protección contra errores proporcional fija.
3. **Canal de sincronización:** Canal utilizado de manera interna por el sistema de transmisión para realizar las funciones básicas de demodulación, como la transmisión de la señal de sincronización de la trama, control automático de frecuencia, estimación del estado del canal y la identificación del transmisor.

Cada uno de estos tres canales proporciona los datos provenientes de diferentes fuentes, necesarios para formar la trama de transmisión, cuya longitud y organización de la información dependen del modo de transmisión seleccionado (secciones 3.2 y 3.2.1).

La función principal del FIC (formado de bloques de información rápida) es transportar la información de control necesaria para interpretar la configuración del MSC; la parte esencial de esta información de control es la Información de Configuración del Múltiplex (MCI,



Multiplex Configuration Information), que es la que indica cómo es que está estructurado el múltiplex y provee la siguiente información:

- Define la organización del sub canal
- Enlista los servicios disponibles en el múltiplex
- Establece las ligas entre los servicios y los componentes del servicio
- Establece enlaces entre los sub canales y los componentes del servicio
- El manejo de la reconfiguración del múltiplex

Los otros tipos de información transportada por el FIC son el SI (sección 2.1), la información de control del Acceso Condicional (CA, *Conditional Access*), que permite que algunos servicios o componentes de servicios sean incomprensibles para receptores no autorizados, y el Canal de Datos de Información Rápida (FIDC, *Fast Information Data Channel*). Para permitir que el receptor pueda tener un acceso rápido a toda la información referente al MCI, toda la información transmitida en el FIC se envía sin entrelazado pero con un alto nivel de protección contra errores de transmisión.

### 3.1.2. Codificación de fuente

El sistema DAB utiliza para la codificación de fuente MPEG de capa II, el cual está especialmente diseñado para la transmisión DAB [EN 300401]. El codificador procesa la señal de audio de entrada, modulada utilizando la Modulación por Pulsos Codificados (PCM, *Pulse Coded Modulation*) y con frecuencias de muestreo de 48 kHz ó 24 kHz, y produce el flujo comprimido de bits de audio de diferentes velocidades que van de los 8 kbps a los 384 kbps. Como ya se mencionó, DAB+ utiliza MPEG4 (HE-AAC) para la codificación de fuente, este codificador de audio es el esquema de compresión de audio más eficiente disponible a nivel mundial [DABF].

En la figura IV.3.2 se muestra el diagrama a bloques con las principales funciones del esquema de codificación de audio utilizado por el sistema DAB.

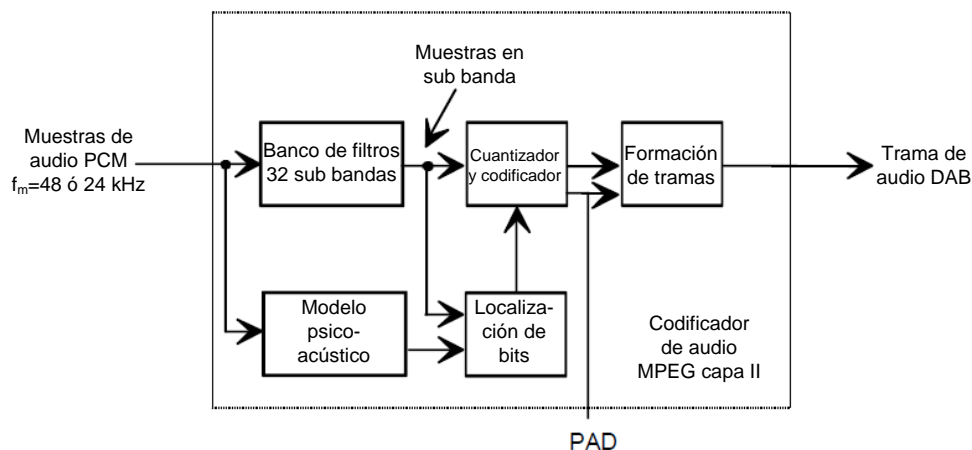


Figura IV.3.2. Codificación de audio del sistema DAB [EN 300401]

Las muestras de audio PCM son alimentadas al codificador de audio, donde en una primera etapa entran a un banco de filtros que crea representaciones filtradas y sub muestreadas de la señal de audio de entrada, estas muestras son llamadas muestras en sub banda.

Por otro lado, el bloque del modelo psico-acústico del oído humano crea un conjunto de datos para controlar la cuantización y codificación de las muestras; el bloque de codificación



y cuantización debe crear un grupo de símbolos codificados a partir de las muestras en sub banda. El bloque de formación de las tramas ensambla el flujo de bits de audio provenientes del bloque anterior y además añade otra información como la información de cabecera, las palabras CRC para detección de errores y los Datos Asociados al Programa (*PAD, Programme Associated Data*).

Las principales características del sistema de codificación de audio son:

1. **Modos de audio:** Existen cuatro modos de audio disponibles:
  - a. Modo de canal único: permite la transmisión de programas monofónicos.
  - b. Modo estéreo: Permite el envío de los canales derecho e izquierdo de un programa de audio estereofónico.
  - c. Modo de canal dual: Este modo permite tener dos canales bilingües o dos canales independientes con audio monofónico.
  - d. Modo estéreo conjunto: En este modo, el codificador explota la redundancia y la irrelevancia de las señales estéreo para reducir aún más la tasa de bits.
2. **Velocidad de transmisión:** Las diferentes tasas de transmisión con las que se puede trabajar dependen de la frecuencia de muestreo seleccionada (24 ó 48 kHz) y en algunos casos, del modo de audio.

Las velocidades de transmisión disponibles [EN 300401] para la frecuencia de muestreo de 24 kHz son independientes al modo de audio que se elija y se muestran en la tabla IV.3.1; por su parte, las velocidades de transmisión para la frecuencia de muestreo de 48 kHz si dependen del modo de audio que se elija para la transmisión, esto se muestra en la tabla IV.3.2.

Tabla IV.3.1. Velocidades de transmisión con frecuencia de muestreo de 24 kHz [EN 300401]

Velocidades de transmisión para frecuencia de muestreo de 24 kHz	
8 kbps	64 kbps
16 kbps	80 kbps
24 kbps	96 kbps
32 kbps	112 kbps
40 kbps	128 kbps
48 kbps	144 kbps
56 kbps	160 kbps

Tabla IV.3.2. Velocidades de transmisión con frecuencia de muestreo de 48 kHz [EN 300401]

Modo de audio	Velocidad de transmisión para frecuencia de muestreo de 24 kHz [kbps]
Todos los modos	64, 96, 112, 128, 160, 192
Canal único	32, 48, 56, 80
Estéreo, estéreo conjunto y canal dual	224, 256, 320, 384



### 3.1.3. Codificación de canal y modulación de la señal DAB

Al igual que los sistemas IBOC y DRM (capítulos II y III), el sistema DAB utiliza para la etapa de codificación/modulación de la señal digital el esquema COFDM, y al igual que DRM (capítulo III, sección 3.2.1), el sistema DAB también permite asignar a la información contenida en el múltiplex diferentes niveles de protección, dependiendo de su importancia y con el objetivo de optimizar el uso del canal de transmisión.

Los parámetros de la codificación convolucional [EN 300401] dependen del tipo de servicio transportado, la velocidad de transmisión y el nivel de protección contra errores deseado; existen dos niveles de protección disponibles, la UEP, utilizada principalmente para audio aunque puede usarse también para datos, y la EEP, usada tanto para audio como para datos.

Las tramas de transmisión están formadas por símbolos OFDM consecutivos, los cuales son generados por el multiplexor, que combina las CIF's y las FIB's en un proceso que incluye modulación DQPSK, entrelazado en frecuencia, y multiplexación en frecuencia de los símbolos DQPSK (generador OFDM).

### 3.2. Señal de transmisión DAB

La señal transmitida [EN 300401] se construye a partir de la unión de la información transportada por el canal de sincronización, el FIC y el MSC, y la estructura es la mostrada en la figura IV.3.3. Para permitir que el sistema DAB pueda ser utilizado en redes de transmisión con configuraciones diferentes y sobre un amplio rango de frecuencias de operación, se definieron cuatro modos de transmisión [EN 300401] de acuerdo a la duración de la trama de transmisión (múltiplex), que puede ser de 96 ms (modo de transmisión I), 24 ms (modos de transmisión II y III) y 48 ms (modo de transmisión IV).

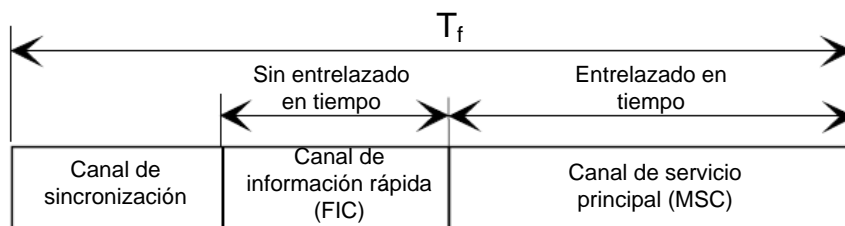


Figura IV.3.3. Estructura de la trama de transmisión DAB [EN 300401]

Como ya se mencionó anteriormente, existen cuatro modos de transmisión definidos para el sistema DAB, cada uno de los cuales tiene establecidos sus propios parámetros; el uso de estos modos de transmisión depende de la configuración de la red y de las frecuencias en las que se opere [EN 300401].

Cada trama de transmisión está constituida por una serie de símbolos OFDM consecutivos, cuyo número está determinado por el modo de transmisión seleccionado; sin embargo, el canal de sincronización debe siempre ocupar los primeros dos símbolos OFDM de cada trama de transmisión. Los parámetros determinados por el modo de transmisión se muestran en la tabla IV.3.3.



Tabla IV.3.3. Definición de parámetros para los modos de transmisión I, II, III y IV [EN 300401]

Parámetro	Modo I	Modo II	Modo III	Modo IV
Número de símbolos OFDM por trama	76	76	153	76
Número de portadoras transmitidas	1536	384	192	768
Duración de la trama ( $T_f$ )	$196,608 \cdot T$ 96 ms	$49,152 \cdot T$ 24 ms	$49,152 \cdot T$ 24 ms	$98,304 \cdot T$ 48 ms
Duración del símbolo NULL	$2,656 \cdot T$ $\approx 1.297$ ms	$664 \cdot T$ $\approx 324 \mu s$	$345 \cdot T$ $\approx 168 \mu s$	$1,328 \cdot T$ $\approx 648 \mu s$
Duración de los símbolos OFDM	$2,552 \cdot T$ $\approx 1.246$ ms	$638 \cdot T$ $\approx 312 \mu s$	$319 \cdot T$ $\approx 156 \mu s$	$1,276 \cdot T$ $\approx 623 \mu s$
Inverso de la separación entre portadoras	$2,048 \cdot T$ 1 ms	$512 \cdot T$ $250 \mu s$	$256 \cdot T$ $125 \mu s$	$1,024 \cdot T$ $500 \mu s$
Duración del intervalo de guarda	$504 \cdot T$ $\approx 246$	$126 \cdot T$ $\approx 62 \mu s$	$63 \cdot T$ $\approx 31$	$252 \cdot T$ $\approx 123$
Donde $T = \frac{1}{2,048,000} s$				

### 3.2.1. Uso de los modos de transmisión

Como ya se mencionó, existen cuatro modos de transmisión diferentes, los cuales fueron creados de acuerdo a la banda de transmisión que se vaya a emplear. Por esta razón, cada modo de transmisión define ciertos parámetros como el tamaño del múltiplex, cantidad de portadoras a transmitir, etc. (tabla IV.3.3). Entonces, los modos de transmisión se seleccionan de acuerdo a las siguientes condiciones de transmisión;

- **Modo de transmisión I:** Diseñado para su uso en redes SFN y para áreas de cobertura locales en las bandas I, II y III.
- **Modos de transmisión II y IV:** Modos de transmisión diseñados para la radiodifusión local terrestre en las bandas I, II, III, IV, V y en la banda de 1,452 MHz a 1,492 MHz, además de las redes satelitales o híbridas (satelital y terrestre) en la banda L.
- **Modo de transmisión III:** Para la radiodifusión por debajo de los 3,000 MHz, ya sea terrestre, satelital o híbrida.
- Para la distribución por cable, el modo de transmisión III es el más utilizado porque puede ser utilizado con cualquiera de las frecuencias disponibles para la transmisión por cable. Sin embargo, los modos I, II y IV también se pueden utilizar, dependiendo de la banda de frecuencias que se vaya a emplear.

### 3.2.2. Características espectrales de la señal

Los espectros de la señal DAB para los modos de transmisión I, II, III y IV se muestran en las figuras IV.3.4 a IV.3.7 respectivamente.

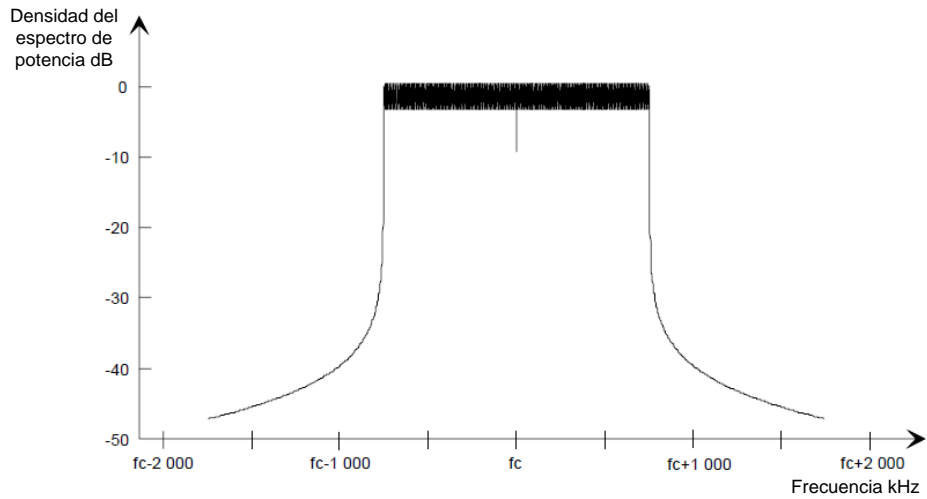


Figura IV.3.4. Espectro teórico para el modo de transmisión I [EN 300401]

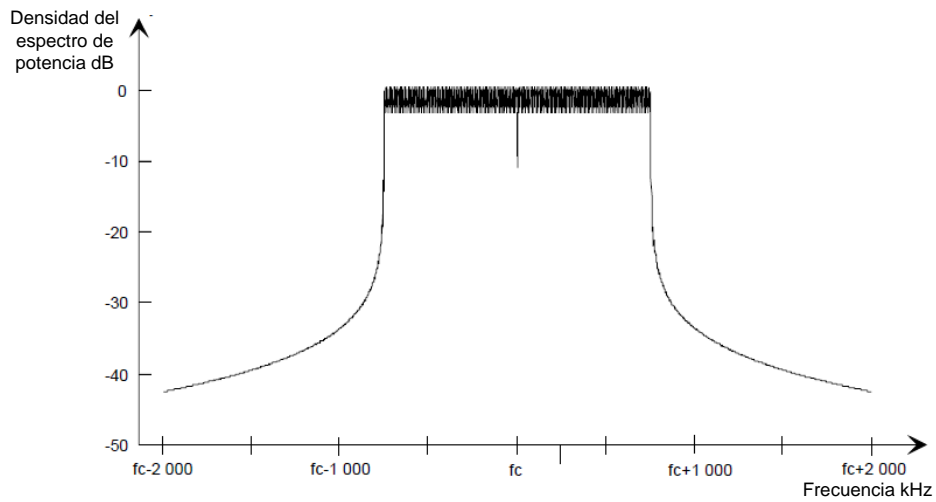


Figura IV.3.5. Espectro teórico para el modo de transmisión II [EN 300401]

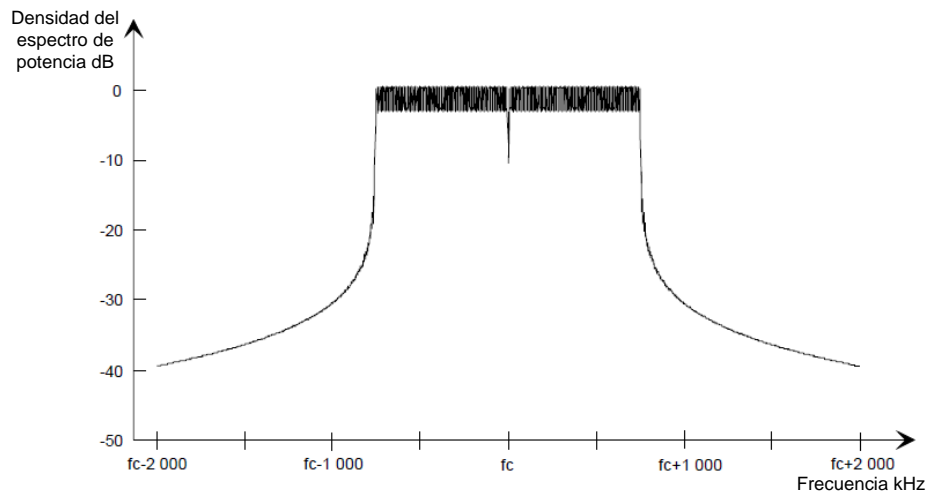


Figura IV.3.6. Espectro teórico para el modo de transmisión III [EN 300401]

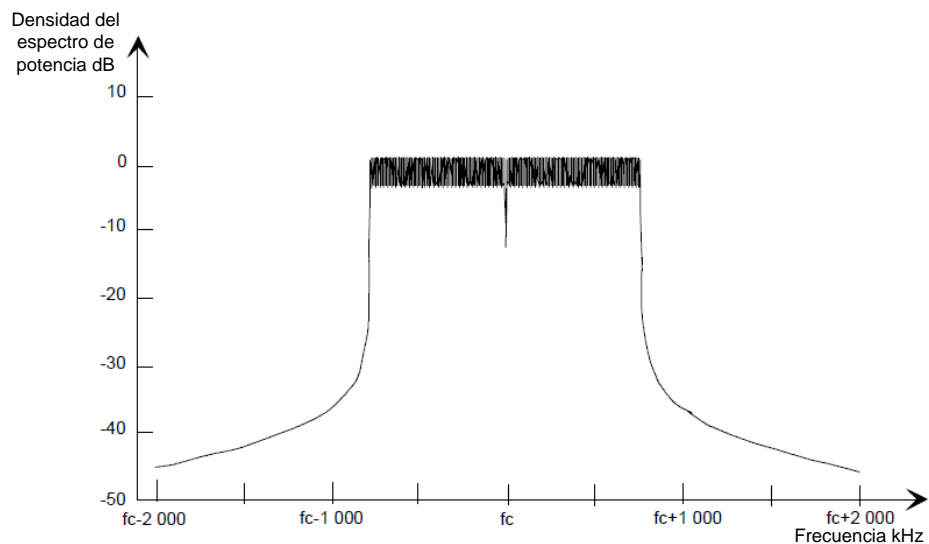


Figura IV.3.7. Espectro teórico para el modo de transmisión IV [EN 300401]

El nivel de la señal en frecuencias fuera del ancho de banda nominal (1.536 MHz) se puede reducir aplicando el proceso de filtrado adecuado; el grado de supresión requerido para los lóbulos laterales dependerá de la configuración de red elegida y del criterio utilizado en la región para evitar interferencias de canal adyacente.

El espectro de la señal radiada fuera de banda [EN 300401] en cualquier banda de 4 kHz debe cumplir con cualquiera de las dos máscaras definidas en la figura IV.3.8. La máscara definida por la línea continua aplica para los transmisores que funcionan en VHF dentro de áreas propensas a la interferencia de canal adyacente; la máscara definida por la línea punteada debe aplicarse a los transmisores que funcionan en VHF y bajo circunstancias diferentes a las anteriores, y a los transmisores que funcionan en VHF y cubren zonas propensas a la interferencia de canal adyacente.



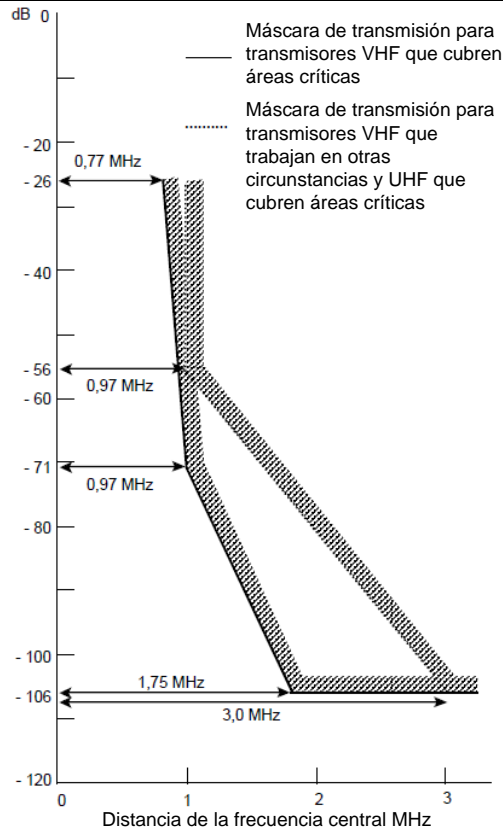


Figura IV.3.8. Máscara para transmisiones fuera de banda [EN 300401]

Por último, la frecuencia central nominal tiene como una restricción el que debe ser un múltiplo exacto de 16 kHz.

#### 4. Requerimientos de conversión para la transmisión de la señal DAB

Dado que el sistema DAB está diseñado para trabajar en las bandas III y L del Espectro Radioeléctrico, al adoptar esta tecnología, es necesario que los radiodifusores cambien todos los equipos y antenas empleados para la generación y transmisión de la señal, ya que la radiodifusión de audio digital se llevaría a cabo en bandas diferentes a las utilizadas actualmente en México para este servicio.

Por otro lado, debido a que el sistema DAB trabaja con una sola señal de banda ancha (1.5 MHz) dividida en sub canales que transportan los servicios de audio y datos de cada una de las radiodifusoras, sería necesario que cada una de las radiodifusoras generaran su respectivo contenido en sus propias instalaciones, y posteriormente transmitirlo a una central transmisora donde todas las señales de cada radiodifusora sería procesada para generar la señal de banda ancha correspondiente. Lo anterior podría representar un problema ya que sería necesario crear un organismo o empresa independiente a las radiodifusoras, que sería el encargado de administrar la central de transmisión.

A pesar de lo anterior, una de las ventajas que representa el hecho de utilizar bandas diferentes para prestar el servicio de radiodifusión terrestre de audio, es que no es necesario realizar un apagón analógico para poder explotar al máximo las ventajas que ofrece el



---

sistema digital DAB, y tampoco existirán problemas de interferencia entre señales analógicas y digitales, ya que las transmisiones analógicas de audio se podrán seguir realizando en las bandas actuales de transmisión, y la señal digital DAB se transmitirá en la banda asignada dentro de la banda III y la banda L.

En cuanto al mercado de los receptores se refiere, existen actualmente en el mercado una considerable variedad de receptores DAB y DAB+; entre los receptores DAB se encuentran los siguientes modelos: DR1010, DR1210, DR3100, DR3150, DR6010, etc., los cuales son receptores fijos. Los receptores DAB+ disponibles para los usuarios son: DR80, DR315 FB, BTH1606, BR10DAB, Starry 7, etc., los cuales también son receptores fijos.

Por último, es importante mencionar que el sistema DAB se encuentra ya totalmente desarrollado, lo que ha permitido que ya se encuentre implementado con éxito en Inglaterra y Corea del Sur.



## 5. Resumen del capítulo

El proyecto EUREKA-147, también conocido como Sistema de Radiodifusión de Audio Digital (DAB, por sus siglas en inglés), fue desarrollado del 1° de enero de 1987 al 1° de enero de 2000 por la iniciativa europea EUREKA. Para 1994 consigue la aprobación por parte de la ITU como estándar para la radiodifusión digital terrestre en las bandas de VHF y UHF y pasa a ser conocido también como “Sistema A”; posteriormente, en 2000 fue aprobado por la ETSI como estándar europeo en el documento EN 300401.

Desde el término de su desarrollo en 2000, este sistema sufrió dos grandes modificaciones, la primera de ellas fue la inclusión de un nuevo codificador de audio, basado en MPEG4 (HE-AAC), con lo que surgió el sistema DAB+; la segunda de ellas fue la generación de un sistema basado en DAB, capaz de transmitir tanto audio y datos como video. Este sistema fue conocido como DMB y puede ser implementado fácilmente en las redes de radiodifusión DAB.

Al ser una tecnología de radiodifusión digital terrestre, el sistema DAB ofrece ciertas mejoras con respecto a los sistemas de radiodifusión analógicos actuales. El primero de ellos es que permite la transmisión de hasta 9 servicios diferentes (audio o datos) utilizando un solo sub canal del múltiplex. La otra mejora significativa es que permite la transmisión no solo de los servicios de audio comunes, también es posible agregar servicios de datos que pueden o no complementar a los programas de audio. Dentro de los datos complementarios (información del servicio) es posible enviar: nombre del programa, fecha y hora, idioma, información de la frecuencia, tipo de programa, etc., y dentro de los servicios de valor agregado están aplicaciones como la guía de programación electrónica, journaline, radiodifusión de sitios web, envío de imágenes estáticas y alertas de tráfico, clima, etc.

Además de lo anterior, el sistema DAB es capaz de complementar los servicios que ofrece al trabajar con otras tecnologías; su compatibilidad con el sistema GPS permite ofrecer servicios bajo demanda, es decir, generar grupos de usuarios que serán capaces de recibir contenido específico y de acuerdo a sus intereses. Por su parte, gracias a que comparte ciertas características de generación de la señal digital con el sistema DRM, es posible que los receptores DAB reciban y decodifiquen servicios DRM; esto permite ofrecer al usuario una mayor gama de servicios de audio y datos.

En cuanto a las características técnicas del sistema, DAB utiliza para la codificación de fuente MPEG de capa II, y como ya se mencionó, el sistema DAB+ tiene también la posibilidad de utilizar MPEG4 (HE-AAC). Además es posible seleccionar cuatro modos de audio diferentes (canal único, estéreo, canal dual y estéreo conjunto) y dos frecuencias de muestreo de audio diferentes (24 kHz ó 48 KHz), las cuales establecen la velocidad de transmisión del sistema.

Para la codificación de canal, al igual que los sistemas IBOC y DRM, DAB utiliza COFDM; dentro del proceso de codificación convolucional, el sistema permite elegir una protección de errores igual para todo el múltiplex, o hacer una jerarquización de datos y aplicar a los datos importantes una mayor protección, y al resto un nivel de protección menor; todo esto dentro del mismo múltiplex y con el fin de optimizar el uso del canal de transmisión. En cuanto a la modulación de la señal, se utilizan símbolos DQPSK para la generación de las portadoras OFDM.



---

En cuanto a la señal de transmisión se refiere, existen 4 modos de transmisión que son los que definen las características de la misma, dependiendo de la banda de transmisión utilizada y las condiciones de transmisión. De igual manera, cada modo de transmisión debe cumplir con una máscara de transmisión específica, así como con una máscara para las transmisiones fuera de banda, para evitar interferencias a los canales adyacentes.

La señal DAB es una señal de banda ancha que cuenta con un ancho de banda de 1.536 MHz; esta señal a su vez está formada por una serie de sub canales (separación entre canales de 16 kHz), los cuales son asignados a cada uno de los radiodifusores existentes para poder transmitir sus contenidos. Entonces, para poder formar el múltiplex (señal que contiene todos los sub canales) es necesario crear una planta de transmisión independiente de las radiodifusoras, para que ahí sea donde se realice la multiplexión de los contenidos de cada estación, y se les dé el formato adecuado para su transmisión.

Por último, ya que el sistema DAB está diseñado para trabajar en bandas diferentes a las asignadas actualmente para la radiodifusión sonora analógica (Bandas I a V y Banda L), la adopción del mismo no obliga a un apagón analógico para poder aprovechar al máximo sus ventajas en la transmisión, además de que no genera interferencias a las señales de audio analógicas; sin embargo, los radiodifusores se verán en la necesidad de cambiar totalmente sus equipos de transmisión, lo que implica una inversión mucho mayor. Por su parte, los usuarios podrán tener una gran variedad de receptores para elegir el que más les convenga.