



**UNIVERSIDAD DE LOS ANDES  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA**

**RADIODIFUSIÓN SONORA DIGITAL.  
PROPUESTA DEL ESTÁNDAR DE RADIO  
DIGITAL PARA EL PAÍS**

Br. Mármol. M .Carlos. L

Mérida, Mayo, 2010

**UNIVERSIDAD DE LOS ANDES  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA**

**RADIODIFUSIÓN SONORA DIGITAL. PROPUESTA DEL ESTÁNDAR  
DE RADIO DIGITAL PARA EL PAÍS**

Trabajo de Grado presentado como requisito parcial para optar al título de Ingeniero  
Electricista

Br. Mármol. M .Carlos. L  
Tutora: Prof. Zulima Barboza

Mérida, Mayo, 2010

**UNIVERSIDAD DE LOS ANDES  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA**

**RADIODIFUSIÓN SONORA DIGITAL.  
PROPUESTA DEL ESTÁNDAR DE RADIO  
DIGITAL PARA EL PAÍS**

**Br. Mármol. M .Carlos. L**

Trabajo de Grado presentado, en cumplimiento parcial de los requisitos exigidos para optar al título de Ingeniero, Electricista aprobando en nombre de la Universidad de Los Andes por el siguiente Jurado.

---

Prof. Zulima Barboza M.  
C.I 3.036.548

---

Prof. Emigdio. A. Malaver  
C.I 9.427.109

---

Prof. Nelson. A. Pérez. G.  
C.I 9.475.328

## DEDICATORIA

**A Dios Todo Poderoso y a la Virgen María**, porque siempre a pesar de las dificultades encontradas durante este camino mantuvieron mi espíritu y fe intacta para seguir adelante.

**A Mi Madre Nereida**, quien con su amor, consejos, comprensión y apoyo siempre supo darme una mano para levantarme y seguir avanzando. Gracias mamá te Amo

**A Mi Padre Claudio**, que aunque físicamente no lo tengo a mi lado se que desde donde está siempre me ayudas y apoyas. De todo corazón te dedico este logro papá. “Lo alcanzamos”

**A Mi Hermana Milena y Mi Sobrina Claudia**, quienes siempre han sido mi inspiración de lucha y perseverancia así como un gran ejemplo de querer salir adelante en la vida siempre. Te quiero hermana.

**A mis Tías Benita e Ítala**, quienes siempre estuvieron dispuestas a ayudarme incondicionalmente para lograra este sueño que hoy se hace realidad. Dios las bendiga y les dé el mil por uno de lo que me han dado a mí.

**A Mi Tío Guillermo**, quien desde el fallecimiento de mi padre fue un gran amigo y prácticamente un padre sustituto, que supo darme una palabra de apoyo y ánimo para seguir adelante en mis estudios y en mi vida, y que me enseñó que en medio de las adversidades siempre es importante seguir adelante luchando.

**A la profesora Zulima Barboza**, quien además de ser una excelente profesora la considero como una persona ejemplar y amiga digna a imitar en mi vida como un futuro profesional. Dios le bendiga profesora.

**A Mis Compadres y Amigos** Derly, Rigoberto, Abdón y Xavier; quienes siempre me apoyaron y compartieron conmigo momentos de alegría y de tristeza en este camino.

**A mis compañeros de estudio y amigos.** Paco, Teresita, Ronald, Carla, Luis Ávila, Lancheros, Roque. Con quienes compartí tiempos de éxitos y fracasos en mi vida como estudiante.

**A Todos aquellos**, que de una u otra manera contribuyeron conmigo a hacer de este sueño realidad de corazón dios les pague y les bendiga siempre en todos los momentos de su vida.

**CARLOS LUÍS MÁRMOL**

**Mármol .M. Carlos. L. Radiodifusión Sonora Digital. Propuesta del Estándar de Radio Digital para el País.** Universidad de los Andes. Tutora: Prof. Zulima Barboza. Mayo 2010.

## RESUMEN

El desarrollo tecnológico a nivel de la radiodifusión sonora ha venido avanzando en el mundo. Sin embargo, Venezuela se ha mantenido al margen de éste, al no aplicar ninguna de estas tecnologías y manteniéndose en el uso de transmisiones de radio meramente analógicas.

Como existen diversos estándares para la radio digital, en el momento en que la Comisión Nacional de Telecomunicaciones (CONATEL) decida integrar las transmisiones de radio al mundo digital es necesario escoger un estándar; motivo por el cual el objetivo central de este trabajo es proponer un estándar que sea capaz de regular todos los aspectos relacionados con las transmisiones de la radiodifusión sonora digital en Venezuela. Para lograr esto, se realiza un estudio de los estándares utilizados en otros países para regir transmisiones digitales de la radio.

Los estándares considerados son: el DAB (Digital Audio Broadcasting), el IBOC (In Band On Chanel), DRM (Digital Radio Mondiale) e ISDB (Intégrate Servicie Digital Broadcasting). Para cada uno de los estándares se analizan sus características, el funcionamiento del transmisor y del receptor, así como las ventajas y desventajas que cada uno de ellos; para posteriormente realizar una comparación entre los mismos proponiendo el estándar que se adapte a las capacidades tecnológicas y económicas de Venezuela, brindando una transmisión óptima.

**Descriptor:** Estándares de Radio Digital. DAB, IBOC, ISDB, DRM. Radio Analógico. Radio Digital.

## ÍNDICE GENERAL

### PAGINAS PRELIMINARES

Aprobación.....	ii
Dedicatoria.....	iii
Resumen.....	iv

<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
--------------------------	----------

### CAPÍTULO I: RADIODIFUSIÓN SONORA ANALÓGICA

1.1 Estructura de una Estación de Radiodifusión .....	4
1.2 Estudio de una Radio.....	4
1.2.1 Estudio de Control de Radio.....	5
1.2.2 Estudio de Control de Audio.....	5
1.3 Equipo Transmisor.....	7
1.3.1 Oscilador.....	8
1.3.2 Amplificadores.....	8
1.3.3 Modulador.....	8
1.3.4 Antena Transmisora.....	8
1.4 Receptor.....	9
1.4.1 Antena Receptora.....	9
1.4.2 Sintonizador.....	9
1.4.3 Amplificadores RF.....	10
1.4.4 Demodulador.....	10
1.5 Técnicas de Modulación de Señales Analógicas.....	10
1.6 Modulación Lineal.....	11
1.7 Clasificación de los Esquemas de Modulación Lineal.....	12
1.8 Modulación de Amplitud con Gran Potencia (AM).....	13
1.9 Modulación de Frecuencia (FM).....	15
1.10 Clasificación de las Emisoras de Radio y Potencias Permitidas.....	16
1.11 Frecuencia de Operación para AM y FM.....	17

### CAPÍTULO II: TÉCNICAS DE MODULACIÓN DIGITAL

2.1 Señales Analógicas y Digitales.....	18
2.1.1 Señales Analógicas.....	18
2.1.2 Señales Digitales.....	19
2.2 Técnica para Transformar una Señal Analógica a Digital.....	19

2.3	Tipos de Modulación Digital.....	20
2.3.1	ASK (Modulación Digital de Amplitud).....	21
2.3.2	FSK (Manipulación por Desplazamiento de Frecuencia).....	22
2.3.3	PSK (Manipulación por Desplazamiento de Fase).....	23
2.3.4	QPSK (Manipulación de Desplazamiento de Frecuencia Cuaternaria de Fase) .....	25
2.3.5	QAM (Modulación de Amplitud en Cuadratura) .....	27
2.4	Resumen de las Técnicas de Modulación Digital .....	27
2.5	Modulación OFDM.....	28
2.6	Modulación COFDM.....	28
<b>CAPÍTULO III: RADIODIFUSIÓN SONORA DIGITAL, ESTÁNDARES UTILIZADOS</b>		
3.1	Radio Digital.....	31
3.1.1	Breve Descripción del Sistema de Radio Digital Satelital.....	32
3.1.2	Radio Digital Terrestre.....	32
3.2	Ventajas de Utilizar la Radio Digital.....	33
3.3	Desventajas de la Radio Digital.....	33
3.4	Estándares de Radiodifusión Sonora Digital.....	33
3.5	DAB (Digital Audio Broad Casting).....	34
3.5.1	Características del Estándar DAB.....	35
3.5.2	Especificaciones del DAB.....	35
3.5.3	Modos de Transmisión del DAB.....	37
3.5.4	Estructura de un Transmisor DAB.....	38
3.5.5	Estructura de un receptor DAB.....	41
3.5.6	Ventajas del uso del DAB.....	43
3.5.7	Desventajas del uso del DAB.....	44
3.6	IBOC (Estándar In Band On Channel).....	44
3.6.1	Ubicación en el espectro de frecuencia del IBOC.....	46
3.6.2	Características del Funcionamiento del IBOC.....	46
3.6.3	Modos de Transmisión del IBOC.....	46
3.6.4	Elemento Funcionales de un Transmisor para IBOC.....	53
3.6.5	Receptor IBOC.....	56
3.6.6	Ventajas del IBOC.....	58
3.6.7	Desventajas del IBOC.....	59

3.7	DRM (Digital Radio Mondiale).....	59
3.7.1	Ubicación en el Espectro de Frecuencia del DRM.....	60
3.7.3	Características del DRM.....	60
3.7.3	Especificaciones del Estándar DRM.....	61
3.7.4	Modos de Transmisión del DRM.....	62
3.7.5	Generador de una Señal DRM.....	63
3.7.6	Transmisor DRM.....	68
3.7.7	Ventajas del Estándar DRM.....	69
3.7.8	Desventajas del Estándar DRM.....	70
3.8	ISDB (Estándar Intégrate Digital Servicios Broad Casting).....	70
3.8.1	Funcionamiento Básico y General del Estándar ISDB.....	71
3.8.2	Características del Estándar ISDB-T.....	71
3.8.3	Estructura del sistema de Transmisión ISDB-T.....	72
3.8.4	Parámetros del Estándar ISDB.....	75
3.8.5	Modos de Transmisión del ISDB.....	75
3.8.6	Ventajas del Sistema ISDB-T.....	76
3.8.7	Desventajas del Estándar ISDB-T.....	76
3.9	Escenario Actual de la Radiodifusión Digital en algunos Países.....	77
<b>CAPÍTULO IV: COMPARACIÓN DE LOS ESTÁNDARES Y FORMULACIÓN DE LA PROPUESTA</b>		
4.1	Comparación entre estándares.....	79
4.2	Formulación de la Propuesta del Estándar.....	82
4.2.1	Objetivo de la Propuesta.....	82
4.2.2	Propuesta.....	82
<b>CONCLUSIONES.....</b>		86
<b>RECOMENDACIONES.....</b>		88
<b>REFERENCIAS.....</b>		90



## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura</b>	<b>pp.</b>
1.1 Sistema de Radiodifusión.....	4
1.2 Estructura del Estudio de una Estación de Radiodifusión.....	5
1.3 Transmisor de una Estación de Radiodifusión.....	7
1.4 Elementos que Forman un Transmisor de Radiodifusión.....	9
1.5 Aplicación de las Técnicas de Modulación a una señal.....	11
1.6 Señal Portadora.....	13
1.7 Señal Moduladora.....	13
1.8 Señal Envolvente y Modulada.....	13
1.9 Señal Modulada en Amplitud (AM).....	15
1.10 Señal Modulada en Frecuencia (FM).....	15
2.1 Proceso de Digitalización de una Señal.....	19
2.2 Conversión de una señal Analógica a Digital.....	20
2.3 Señal con Modulación Digital de Amplitud.....	21
2.4 Transmisor para Modulación FSK.....	22
2.5 Receptor Usado por FSK.....	23
2.6 Transmisor PSK.....	24
2.7 Diagrama Fasorial, Diagrama de Constelación y Tabla de la Verdad para un Transmisor BPSK.....	24
2.8 Receptor para BPSK.....	25
2.9 Transmisor para QPSK.....	26
2.10 Diagrama Fasorial, de Constelación y Tabla de la Verdad de Transmisor QPSK..	27
2.11 Onda Modulada en OFDM.....	28
2.12 Representación Esquemática Funcional de la Modulación COFDM.....	29
3.1 Espectro de Frecuencia de una Radio Digital.....	32
3.2 Estructura Básica de un Multiplex de Programas.....	36
3.3 Estructura Básica de un Transmisor DAB.....	38
3.4 Estructura Lógica del Circuito de entrelazados de datos.....	40
3.5 Estructura Básica de un Receptor DAB.....	42
3.6 Espectro de Señal en Modo Híbrido para AM.....	47

3.7	Espectro de Frecuencia Modo de Transmisión Digital.....	49
3.8	Espectro de Frecuencia para el modo Híbrido para FM.....	50
3.9	Espectro de Frecuencia para el modo Híbrido Ampliado en FM.....	51
3.10	Espectro de Señal en modo Digital para FM.....	52
3.11	Sub-portadoras reunidas en Arreglo Tipo “A” y “B” para una Señal OFDM.....	55
3.12	Estructura Básica de un transmisor Híbrido IBOC.....	56
3.13	Generador de una Señal DRM.....	63
3.14	Técnicas de Entrelazado en el Tiempo.....	66
3.15	Entrelazado en el Tiempo (Corto y Largo).....	66
3.16	Estructura de un Supertramo.....	67
3.17	Resultado Obtenido al Aplicar la IFFT a la Suma de 3 Señales .....	68
3.18	Transmisor no Lineal para DRM.....	69
3.19	Estructura Básica de un Sistema que opera bajo las Especificaciones ISDB.....	71
3.20	Estructura Básica de un Transmisor ISDB-T.....	72
3.21	Como se Organizan las Capas Según el Uso de Segmentos.....	73
3.22	Codificación del Canal y Proceso de Jerarquización .....	74

www.bdigital.ula.ve

## LISTA DE TABLAS

<b>Tabla</b>	<b>pp.</b>
1.1 Tipo de Emisora, Potencia y Campo Eléctrico y Características.....	16
1.2 Frecuencias de Operación para AM y FM.....	17
2.1 Características de las Técnicas de Modulación Digital.....	27
3.1 Características de los Modos de transmisión del DAB.....	38
3.2 Características del modo de Transmisión Híbrido para AM.....	48
3.3 Características Principales de los Modos de Transmisión Digital.....	49
3.4 Características más importantes del Modo de transmisión Híbrido para FM.....	50
3.5 Características más relevantes del Modo de Transmisión Ampliado para FM.....	51
3.6 Características del Estándar en Modos de Transmisión Digital.....	53
3.7 Modos de Transmisión del DRM para ciertas condiciones de Propagación y Bandas de Frecuencias.....	62
3.8 Modos de transmisión del Estándar ISDB-T,S,C.....	76
3.9 Estándares Adoptados por algunos Países .....	77
3.10 Resumen de las Características y algunos Aspectos Técnicos y Económicos de los Estándares de Radiodifusión Digital .....	79

# INTRODUCCIÓN

El sonido, por si solo no puede ser transmitido de forma eficiente, debido a las diversas interferencias externas como su velocidad limitada en el aire o su incapacidad de atravesar obstáculos; de ahí, que el hombre haya desarrollado técnicas que permitan una comunicación de mayor alcance, basadas en las propiedades de las ondas electromagnéticas (velocidad de propagación alta, superación de obstáculos, entre otros), fundamentales para lograr el almacenamiento y transmisión eficiente a través de la radio, cuyos inicios datan del año 1873, y que se ha convertido en uno de los principales medios utilizados para enviar cualquier tipo de información a los distintos usuarios en cualquier parte del mundo.

Es de pensar que para contribuir con el mejoramiento de los sistemas de transmisión de radiodifusión es conveniente efectuar una utilización adecuada de aspectos técnicos como el aprovechamiento del espectro de frecuencia, niveles de potencia utilizados por las estaciones de radio para efectuar sus transmisiones, entre otros. Estas mejoras se pueden lograr a través de la implementación de nuevas técnicas aplicadas bajo la digitalización de estas transmisiones. Técnicas estas, que actualmente en otros países han sido desarrolladas y utilizadas, y cuyo resultado ha sido favorable.

Venezuela, en la actualidad, cuenta con técnicas analógicas (AM y FM) aplicadas en la transmisión de radiodifusión, las cuales en principio eran utilizadas como un proceso innovador de los medios de comunicación, pero que con el transcurrir del tiempo han venido en decadencia, a causa de la creciente demanda de nuevas exigencias y servicios (variedad en la programación, amplitud en la cobertura para las emisoras).

Los sistemas analógicos, implican dificultades vinculadas con el ancho de banda elevado, el audio en cuanto a distorsiones producto del desvanecimiento de la señal, los altos niveles de potencia requeridos para efectuar las transmisiones, entre otros. Por esta razón, surge entonces la necesidad de realizar una investigación documental, basada en información de fuentes primarias (libros) y secundarias (ensayos previamente realizados); cuyos objetivos estarán centrados en: estudiar las mejoras que la digitalización de la radio implica, comparar algunos

aspectos técnicos y económicos entre los estándares de radiodifusión digital y proponer el estándar de radiodifusión digital para el país. Es de aclarar, que antes de adoptar el estándar es necesario realizar ensayos prácticos que permitan comprobar su funcionamiento y viabilidad.

Ante tales expectativas, la investigación en su carácter documental bibliográfico, se esquematiza en IV capítulos contentivos de:

**Capítulo I.** Breve descripción de los elementos estructurales de una estación de radio: el estudio, transmisor y receptor; las técnicas de modulación lineal: Amplitud Modulada (AM) y Frecuencia Modulada (FM). Otro aspecto considerado son las frecuencias de operación de las emisoras de radio, tanto para AM y FM.

**Capítulo II.** En este capítulo se tratan conceptos básicos para el desarrollo del trabajo: señales analógicas y digitales; como efectuar la transformación de una señal analógica a digital mediante la aplicación de tres (3) procesos básicos como lo son muestreo, cuantificación y codificación, detallando el brevemente cada uno de estos. Así como las técnicas de modulación digital: ASK (Modulación Digital de Amplitud/*Amplitudes Shift Keying*), FSK (Manipulación por Desplazamiento de Frecuencia/*Frequency Shift Keying*), QPSK (Manipulación por Desplazamiento Cuaternaria de Fase/*Cuaternary Phase Shift Keying*), QAM (Modulación de Amplitud en Cuadratura/*Cuadrature Amplitude Modulation*), incluyendo la modulación OFDM (Mutiplexación por División de Frecuencias Ortogonales/*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*), COFDM (*Coded Ortoogonal Freqency Division Multiplexing*) y un resumen de las técnicas de modulación digital.

**Capítulo III.** Contiene el estudio detallado de los estándares DAB (Digital Audio Broadcasting), IBOC (In Band on Channel), DRM (Digital Radio Mondiale), ISDB (Integrate Digital Services Broadcasting). En el estudio efectuado a cada estándar, se consideran aspectos como: características, modos de transmisión, ventajas y desventajas, en otros. Además, se hace una descripción breve de la radio digital en su dos (2) maneras de funcionamiento, satelital y terrestre.

**Capítulo IV.** Se presenta la comparación entre los estándares analizados y se formula la propuesta correspondiente.

[www.bdigital.ula.ve](http://www.bdigital.ula.ve)

# CAPÍTULO I

## RADIODIFUSIÓN SONORA ANALÓGICA

La radio, es un medio de transmisión sencillo que permite enviar y recibir información de manera rápida, para lo cual aprovecha las propiedades de las ondas electromagnéticas (alta velocidad de propagación y la facilidad para superar cualquier tipo de obstáculos) mejorando la capacidad del sonido que por si mismo no puede ofrecer dichas características. Avance tal, que se obtiene de la creación de la radio que se debe a las investigaciones realizadas, según Huidobro, J, (s/f), por Lee de Fores, Edwin Armstrong y David Sarnff, quienes con sus aportes técnicos dan origen a la radiodifusión.

### 1.1 ESTRUCTURA DE UNA ESTACIÓN DE RADIODIFUSIÓN

Para describir cómo puede operar una estación de radio, se hace necesario, comprender e identificar todas las secciones que la conforman (Fig.1.1), entre las cuales básicamente hay que mencionar:

- Estudio
- Transmisor
- Receptor



**Figura 1.1 Sistema de Radiodifusión**

### 1.2 ESTUDIO DE UNA RADIO

Para este aspecto, la figura 1.2 muestra la estructura del estudio de una estación de radio, dividido en dos sub espacios (estudio de control de radio y estudio de control de audio); que

organiza y planifica todo lo relacionado a los programas que van a ser transmitidos por una emisora de radio determinada.



Figura. 1.2 Estructura del Estudio de una Estación de Radiodifusión

### 1.2.1 Estudio de Control de Radio

Subdivisión de la estación de radiodifusión, donde se controla todo lo relacionado a la dirección de un programa, que suele ser efectuado por un locutor o moderador; en un espacio acondicionado para tal fin (sillas, mesas, micrófonos, audífonos, altavoces y luces indicadoras); siendo necesario su aislamiento y buena acústica, que permite la insonorización adecuada, evitando los ruidos y perturbaciones en las transmisiones de una emisora, al igual que condiciones sonoras óptimas.

### 1.2.2 Estudio de control de Audio

Empleado para el control de lo relativo a las diferentes fuentes sonoras que se producen en una emisión radio eléctrica; posee un espacio adaptado a la naturaleza de la estación conforme a lo



que se desee transmitir, siendo común en las grandes emisoras su pluralidad que dependen de un control de audio general. El equipamiento básico de estos estudios engloba:

**Tabla de Mezclas.** Que trabajan los diferentes sonidos presentes en una estación de radio, permitiendo la unificación o mezcla de estos, como por ejemplo un sonido de voz combinado con uno de música, siendo su gestión de relativa facilidad. La señal mezclada, es la que va directamente al transmisor y luego de allí pasa a ser modulada para efectuar su posterior emisión final.

Las tablas mezcladoras, se conforman principalmente por tres circuitos básicos:

a.- *Circuitos de Programa:* encargados de controlar el volumen, como especie de mandos deslizantes.

b.- *Circuitos de Monitoreo:* que estudian y verifican las señales mezcladas.

c.- *Circuitos de Control:* que se encargan de establecer comunicaciones internas y externas en la estación de radio.

**Reproductores o Grabadores de CD.** Utilizados para reproducir y grabar sonidos, debido a la calidad de audio que producen, aunque por tradición algunas emisoras conservan la reproducción por medio de discos de acetato (platos).

**Reproductores Grabadores de Minidisc.** Capaces de superar en calidad de audio a los CD, así como mejorar las grabaciones y a la rapidez en la búsqueda de diferentes sonidos grabados en el mismo.

**Computadores.** Útiles en cuando al ordenador, que ha permitido controlar fácilmente los sonidos previamente grabados, al igual que controlar la emisión de un programa a un determinado tiempo; facilitando asimismo, la selección musical determinada de manera rápida y sencilla.

**Auriculares.** Permiten que las personas participes en la transmisión de un programa puedan tener acceso sin ninguna distorsión a la información que se esta transmitiendo.

**Micrófonos.** Transforman la energía producida por la voz (sonido) a niveles de energía necesarios que permitan obtener la tensión requerida, funcionando como un traductor.

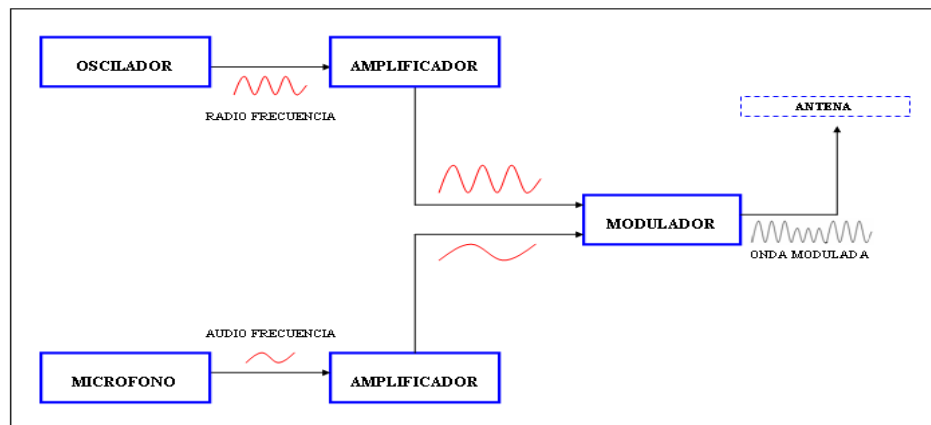
**Sintonizador.** Fijan una frecuencia determinada, lo que en consecuencia permite escuchar de manera real la emisión de cualquier programa radial.

**Amplificadores.** Aumentan en un nivel determinado la ganancia de una señal, proveniente de micrófonos, sonidos de música, entre otros.

**Cajas de Conexión.** Permiten ordenar todos los conductores utilizados para efectuar las diversas conexiones necesarias entre los equipos dentro del estudio de control de audio.

### 1.3 EQUIPO TRANSMISOR

Estructurado como se muestra en la Fig.1.3; es la combinación de una serie de elementos, cuya función primordial es originar una señal modulada (la señal básica a transmitir), percibida en hogares, automóviles y en los ambientes en los que se utiliza la radio difusión actualmente.



**Figura 1.3 Transmisor de una Estación de Radiodifusión**

### **1.3.1 Oscilador**

Es el elemento que se encarga de transformar o modificar la energía eléctrica en oscilaciones (ondas) necesaria para comenzar el proceso de comunicación, realizado a frecuencia de la señal portadora. En una emisora, actualmente el oscilador suele ser un cristal de cuarzo, quien tiene un control minucioso de las ondas u oscilaciones producidas a través de circuitos resonantes. Uno de los objetivos principales del oscilador es la producción de corrientes alternas a una determinada frecuencia y evitar que haya circulación de corrientes de frecuencias distintas, mediante los circuitos resonantes y los circuitos de absorción.

### **1.3.2 Amplificadores**

Los amplificadores que se usan en esta etapa son amplificadores de radiofrecuencia, que amplían los valores de tensión de la señal mediante circuitos electrónicos formado con transistores, la cual tendrá la misma forma que la señal original, pero a una potencia mayor.

### **1.3.3 Modulador**

Los moduladores surgen como una necesidad de las estaciones de radiodifusión para poder transmitir las diferentes ondas de frecuencia de audio. Controlan las variaciones en las frecuencias instantáneas de la portadora, así como también lo hacen en las intensidades de las oscilaciones, definiendo la modulación (AM-FM) con la cual se va a transmitir el mensaje o información.

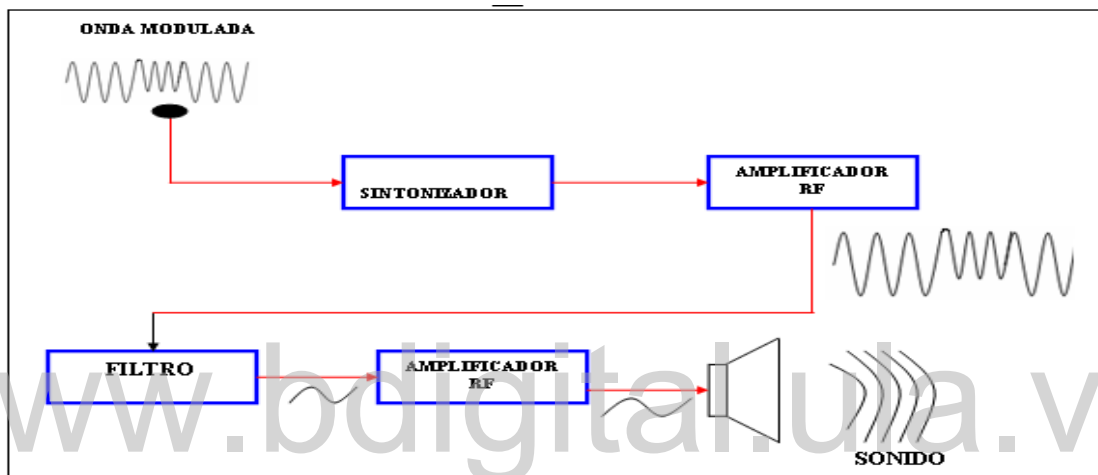
### **1.3.4 Antena transmisora**

Está conformada por un conductor metálico, capaz de radiar ondas electromagnéticas. Son utilizadas para conectar las líneas de transmisión con el espacio libre y viceversa; de esto se deriva su importancia para lograr el buen desempeño de una estación de radiodifusión.

## 1.4 RECEPTOR

Es quien recibe la señal previamente modulada proveniente del transmisor, señal esta que posteriormente es demodulada para permitir al radioescucha poder hacer uso de la información contenida en dicha señal.

Un equipo receptor básicamente esta estructurado por elementos como los que se muestran en la Fig. 1.4



**Figura 1.4 Elementos que forman un Transmisor de Radiodifusión**

### 1.4.1 Antena receptora

Es un elemento muy necesario dentro de la estructura del receptor, y su tarea es captar o recoger la señal proveniente del transmisor.

### 1.4.2 Sintonizador

Refiere al sistema por medio del cual se obtiene un aumento o disminución de la longitud de onda en un aparato receptor adaptándola a uno emisor; en otras palabras, es un receptor de radio o televisión, que permite la ubicación de emisoras por medio de la amplificación de frecuencias.

### 1.4.3 Amplificadores RF

El receptor, de igual forma que el transmisor, también cuenta en su estructura con amplificadores de radio frecuencia, los cuales pueden inclusive ser varios y estar dispuestos en varias etapas, según sea la necesidad de la estación de radiodifusión, y se encargan de aumentar la ganancia de la señal que se recibe.

### 1.4.4 Demodulador

Este elemento dentro del receptor tiene como función, devolver a su estado normal la señal modulada por medio de la cual se transmite la información que finalmente es la que escuchamos en los equipos de radio.

## 1.5 TÉCNICAS DE MODULACIÓN DE SEÑALES ANALÓGICAS

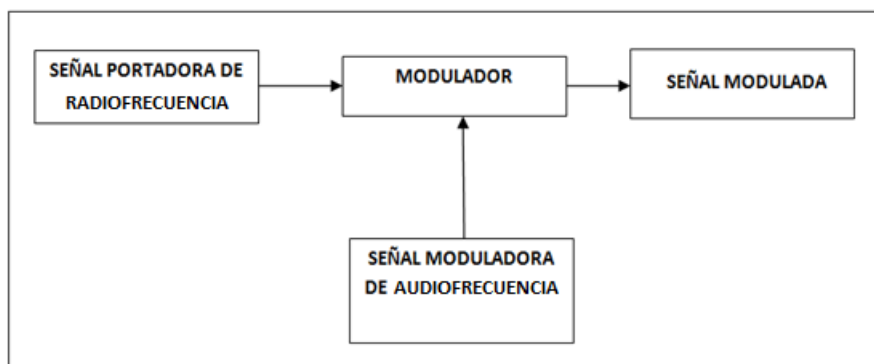
Son técnicas que surgen como solución a la necesidad de transmitir señales de audiofrecuencia (sonidos de CD, discos o micrófonos), las cuales poseen un nivel de frecuencia bajo, lo que resulta desfavorable para la transmisión de información a largas distancias; es entonces cuando se hace necesario efectuar una combinación de señales de audio (frecuencias bajas) con señales de frecuencia más altas.

Para comprender de manera sencilla lo que es modulación supongamos que tenemos una señal cuya expresión matemática es la siguiente,

$$X(t) = A \times \cos(\omega t + \varphi) \quad (1.1)$$

En donde “t” representa el tiempo, “A” la amplitud de la señal, “ $\omega$ ” la frecuencia angular y “ $\varphi$ ” indica el ángulo de desfasaje (que a su vez sirve como referencia para identificar cuando la función que representa la señal toma su máximo o mínimo valor de amplitud).

Para modular la señal de la ecuación 1.1, basta con variar una de constantes ( $A$ ,  $\varphi$ ,  $\omega$ ) en función de la señal mensaje que se desea transmitir. Actualmente, existen diversos tipos técnicas de modulaciones analógicas, empleadas en las transmisiones de radio, siendo las mas empleadas la modulación de amplitud (AM) y la modulación de frecuencia (FM). La Fig. 1.5. Se muestra gráficamente como se efectúa un proceso de modulación en forma general.



**Figura 1.5 Aplicación de la Técnica de Modulación a una Señal.**

## 1.6 MODULACIÓN LINEAL

Se puede comprender como un proceso en el cual el espectro producido, esta relacionado en forma lineal con el espectro del mensaje. También se puede mencionar la modulación lineal, como un proceso en cual se efectúa una traslación directa en frecuencia del espectro de la señal mensaje, haciendo uso para esto de una señal portadora sinusoidal.

Por otra parte es necesario mencionar que en todo sistema de comunicación cuando se aplica la técnica de modulación lineal al igual que en otras técnicas de modulación, hay que considerar parámetros como: el ancho de banda requerido en la transmisión, las relaciones señal ruido, la complejidad de los equipos de modulación entre otros, resultando estos, de gran importancia a la hora de efectuar un estudio detallado de una determinada técnica de modulación.

Una vez que la señal es modula (ec. 1.1) generalmente tiene esta forma,

$$X(t) = A(t) \times \cos [\omega c (t) + \theta(t)] \quad (1.2)$$

Donde,  $\theta(t)$  es la fase,  $\omega_c(t)$  es la frecuencia portadora y  $A(t)$  es la amplitud de la señal envolvente.

Hoy día la modulación lineal es una técnica bastante accesible y muy utilizada con frecuencia cuando se quiere facilitar la transmisión de información o datos, un ejemplo de la aplicación de esta técnica, lo es la modulación AM, utilizada para lograr la transmisión de una determinada señal efectiva, (a pesar de que requiere el uso de una gran potencia para la transmisión).

## 1.7 CLASIFICACIÓN DE LOS ESQUEMAS DE MODULACIÓN LINEAL

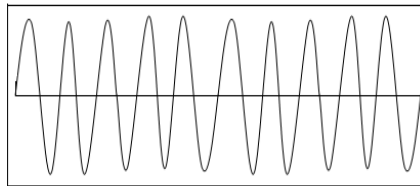
Esta clasificación generalmente depende de la naturaleza de la relación espectral que exista entre  $A(t)$  y  $m(t)$ , con respecto a  $\theta(t)$ , lo cual origina los siguientes esquemas de modulación lineal.

- Modulación de amplitud en doble banda lateral con portadora suprimida (Double Side Band Supressed Carrier).
- Modulación de portadora con gran amplitud de potencia (Modulación de Amplitud) AM.
- Modulación de amplitud en banda lateral única (SSB, *Single Side Band*).

De los tres esquemas de modulación lineal anteriormente nombradas se considerara solamente la modulación de amplitud (AM), previo a su estudio serán considerados y desarrollados ciertos conceptos, dentro de los cuales están los siguientes:

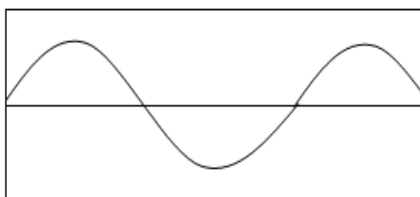
**Señal Portadora.** Por lo general es una señal sinusoidal de alta frecuencia, que sirve como base fundamental para efectuar el traslado de frecuencia de la señal moduladora.

Por medio de su frecuencia central, permite identificar una emisora radial. A continuación se ilustra este tipo de señal en la Fig. 1.6



**Figura. 1.6 Señal Portadora**

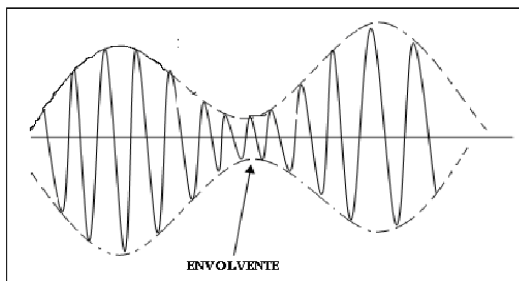
**Señal Moduladora.** Es la señal básica de todo el proceso de comunicación, ya que, se encarga de transmitir la información inicialmente proviene de un transductor, Así como también, lleva la información generada en el estudio de una estación de radio. Una ilustración grafica de esta señal se puede observar en la Fig. 1.7



**Figura. 1.7 Señal Moduladora**

**Señal Modulada.** Esta conformada por la combinación de la señal portadora más la señal moduladora. Es la señal que se transmite. Este tipo de señal se puede observar en la Fig. 1.8.

**Señal Envolvente.** Es la señal del mensaje desplazada un cierto valor constante conocido como  $A_c$ . En la Fig. 1.8 se observa a lo que se conoce con el nombre de envolvente:



**Figura. 1.8 Señal Envolvente y Modulada**

## 1.8 MODULACIÓN DE AMPLITUD CON GRAN POTENCIA (AM)

La modulación AM es equivalente a la modulación (DSB, Double Side Band) Doble banda lateral con reinsertión de portadora. Básicamente esta modulación tiene como finalidad



transmitir una combinación entre la señal portadora y la señal DSB; lo cual evita que en el receptor se tenga que generar una replica exacta de la portadora de transmisión.

En esta modulación, se hace variar la amplitud de la portadora para que esta cambie de acuerdo con las variaciones del nivel de la señal modulada; razón por la cual se puede decir, que este tipo de modulación consiste en variar la amplitud de una senoide de acuerdo al mensaje que se quiere transmitir.

Generalmente es utilizada en radiodifusión comercial y en algunas bandas de transmisión ciudadanas. Este tipo de modulación se modela matemáticamente por la siguiente expresión matemática:

$$X_{AM}(f) = m(t) \times \cos(\omega_c t) + A_c \cos(\omega_c t) \quad (1.3)$$

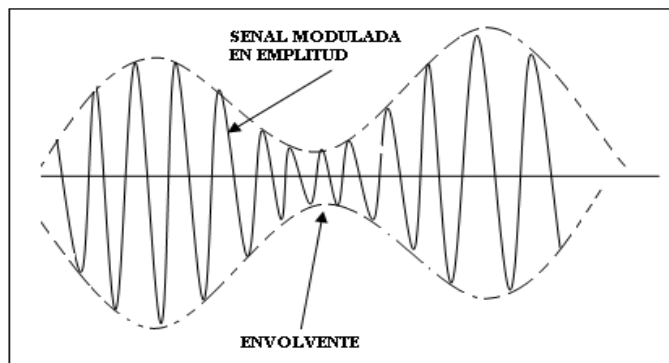
De donde básicamente se tiene que:  $A_c \cos(\omega_c t)$  representa la portadora agregada y  $m(t) \times \cos(\omega_c t)$  representa la señal DSB, que no es más que el resultado del producto de la señal que contiene la información que se quiere transmitir (moduladora) por la encargada de mover el espectro (portadora).  $A_c$ , indica el nivel DC que se desplazada la señal mensaje ( $m(t)$ ), para evitar cruce por cero de la misma, y a su vez garantizar que no se pierda información. Por lo que se sugiere que este debe ser  $\geq |\min m(t)|$ . Esto origina a lo que se conoce como índice de modulación; y que matemáticamente se define como:

$$a = \frac{|\min m(t)|}{A_c} \quad (1.4)$$

De igual manera es necesario mencionar que en este tipo de modulación el ancho de banda ( $B$ ) es el doble de la frecuencia máxima de la señal mensaje, es decir:

$$B = 2f_m \quad (1.5)$$

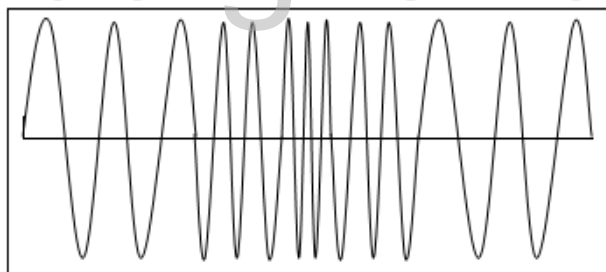
En La Fig. 1.9 se puede observar como queda representada una señal que ha sido modulada en AM.



**Figura. 1.9 Señal Modulada en Amplitud (AM)**

## 1.9 MODULACIÓN DE FRECUENCIA (FM)

Surge de combinar una señal de audio frecuencia (AF), con otra de radio frecuencia (RF) en un rango comprendido entre los 88MHz y los 108MHz, buscando con esto, que la amplitud de la señal de audio frecuencia, varíe la frecuencia de la señal de radio frecuencia. La Fig.1.10 que representa como se modula una señal aplicando esta técnica.



**Figura 1.10 Señal Modulada en FM**

Generalmente este tipo de modulación es muy usado a la hora de enviar audio. Un ejemplo bastante palpable de esto es la televisión comercial, en la cual el audio (sonido) es enviado en modulación de frecuencia, este tipo de modulación posee la característica de que las interferencias no afectan en mayor grado a la información enviada, contrario de lo que ocurre con la modulación AM.

La modulación FM, matemáticamente esta descrita por la siguiente ecuación:

$$X_{FM} = Ac \times \cos \left[ (2\pi \times Fc \times t) + (2\pi \times Fd) \times \int_0^t m(t) dt \right] \quad (1.6)$$

De donde es necesario mencionar que:

Ac es la amplitud de la portadora. Además es necesario mencionar que el mensaje  $m(t)$  se puede reemplazar por la siguiente expresión:

$$m(t) = Am \times (\cos 2\pi \times fm \times t) \quad (1.7)$$

Lo cual si se sustituye en la ecuación (1.6) daría como resultado la siguiente expresión matemática:

$$X_{FM} = Ac \times \cos \left[ (2\pi \times Fc \times t) + \frac{fd \times Am}{fm} \times \text{sen}(2 \times \pi \times fm \times t) \right] \quad (1.8)$$

De la ecuación 1.8, se tiene que  $fd \times m(t)$ , representa la máxima desviación de frecuencia, la cual al ser dividida por la frecuencia máxima del mensaje ( $fm$ ), da como resultado lo que se conoce como índice de modulación ( $\beta$ ); mediante el cual, al aplicar la formula de Carson ( $2*(\beta+1)$ ) se define el ancho de banda con el cual se transmite la señal.

## 1.10 CLASIFICACIÓN DE LAS EMISORAS DE RADIO Y POTENCIAS PERMETIDAS

Según la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) y la Comisión Nacional de Telecomunicaciones (CONATEL), las emisoras de radio se clasifican en tipo A, B, C, D de acuerdo a su potencia y campo eléctrico característico, tanto para AM como FM, como se resume en la Tabla 1.1

**Tabla 1.1 Tipo de Emisora, Potencia y Campo Eléctrico Característico**

TIPO DE EMISORA	POTENCIA DE TRANSMISIÓN (KW)	CAMPO ELÉCTRICO CARACTERÍSTICO (mV/m)
Emisora A	Mayor a 100 hasta 150	mínimo de 310
Emisora B	Mayor a 50 hasta 100	mínimo de 295
Emisora C	Mayor a 1 hasta 50	mínimo de 290
Emisora D	Mayor que 0,1 hasta 1	mínimo de 250

## 1.11 FRECUENCIAS DE OPERACIÓN PARA AM Y FM

Las emisoras de radio también son reguladas por CONATEL y la UIT en cuanto a la frecuencia en la que deben operar así como su ancho de canal tanto para la modulación en AM como en FM, lo cual se resume en la Tabla 1.2.

**Tabla 1.2 Frecuencias De Operación Para AM - FM**

EMISORA	FRECUENCIA DE FUNSIONMINTO	ANCHO DE CANAL
Emisora AM	Entre 535 y 1605 (KHz)	10KHz
Emisora FM	Entre 88 y 108 (MHz)	20KHz

[www.bdigital.ula.ve](http://www.bdigital.ula.ve)

# CAPÍTULO II

## TÉCNICAS DE MODULACIÓN DIGITAL

Con los avances tecnológicos, las diversas áreas que componen el desarrollo humano, se han visto afectadas, razón por la cual las comunicaciones han estado experimentando cambios importantísimos y frecuentes, pues dentro de esta área la tendencia es la digitalización de equipos y elementos básicos.

Por otra parte, el campo de la radiodifusión sonora no ha estado exento a esta tendencia de digitalización, la cual ofrece sin duda alguna mejoras en el proceso de transmisión. En este capítulo se desarrolla un estudio de la digitalización de la radiodifusión sonora, en el cual se tratan conceptos de importancia en relación a la transmisión de mensajes, planteándose las ventajas que existen en las técnicas de modulación usadas en radio difusión digital. De igual manera se resaltara lo versátil que resulta el uso de técnicas digitales en una emisora de radiodifusión sonora, ya que entre sus ventajas ofrece la posibilidad de hacer mucho más variada y amena su programación; además permite mejorar calidad de audio y aprovechamiento de la frecuencia asignada a la misma, así como también la capacidad de aumentar su cobertura entre otras aspectos.

### 2.1 SEÑALES ANALÓGICAS Y DIGITALES

En los sistemas de comunicación actuales existen básicamente dos tipos de señales utilizadas para efectuar dicho proceso; por eso el objetivo principal de este punto específico, es lograr hacer una descripción básica de estas señales.

#### 2.1.1 Señales Analógicas

Son señales continuas en el tiempo, en las que solo varían la amplitud y la fase, y que al ser usadas en un sistema de comunicación se distinguen por lo siguiente:

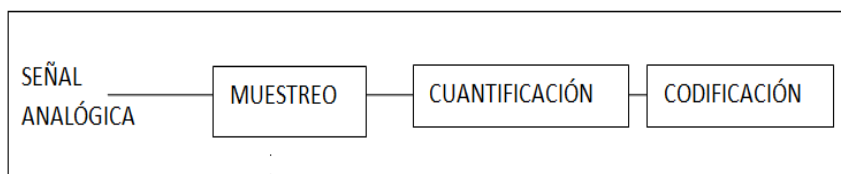
- a.- Son señales susceptibles al ruido, por lo que dificultan el hecho de recuperación de la información original.
- b.- Son desventajosas al momento de efectuar transmisiones a grandes distancias; esto trae como consecuencia que el rendimiento de los transmisores no sea buena.
- c.- La potencia requerida para efectuar las transmisiones haciendo uso de las mismas son mucho mayores.
- d.- Cuando son utilizadas en un sistema de transmisión, contienen la información en la propia onda que se transmite.

### 2.1.2 Señales Digitales

Son señales representadas por funciones que pueden tomar un número finito de valores en cualquier intervalo de tiempo. Son más robustas a la hora de transmitir información, pues a la hora de que se requieren hacer transmisiones a grandes distancias permiten que el mensaje pueda ser transportado y llegue al receptor con buena calidad. De otra manera el utilizar estas señales en el proceso de transmisión garantiza un mejor rendimiento del receptor y transmisor.

## 2.2 TÉCNICA PARA TRANSFORMAR UNA SEÑAL ANALÓGICA A DIGITAL

La conversión de una señal analógica a digital, bien sea de audio o de video, implica tres procesos básicos. Fig. 2.1.

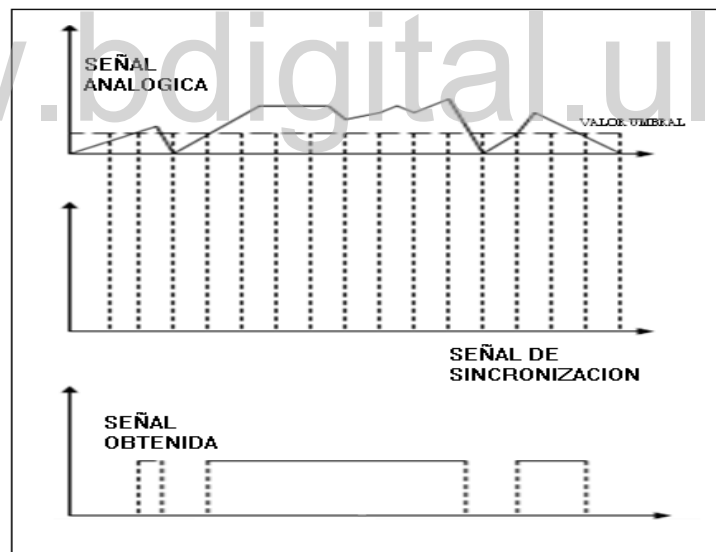


**Figura. 2.1** Proceso de digitalización de una señal.

**MUESTREO.** Consiste en efectuar un avalúo constante de una señal en un intervalo de tiempo continuo, para convertirla a tiempo discreto. Esto proceso se hace a través de un conmutador electrónico de alta velocidad, que se basa en ciclos determinados controlados por una frecuencia de reloj.

**CUANTIFICACIÓN.** Es la valoración que resulta de la comparación de los niveles obtenidos en el muestreo con otros previamente establecidos, es decir, se mide el nivel de tensión de cada una de las muestras y se les atribuye un valor finito (discreto) de amplitud.

**CODIFICACIÓN.** Es el último paso de la digitalización, con éste se da la traducción de los valores de tensión eléctrica analógicos que ya han sido ponderados al sistema binario, quedando así la señal analógica transformada en una sucesión de ceros y unos (impulsos digitales).



**Figura. 2.2 Conversión de una Señal Analógica a Digital.**

## 2.3 TIPOS DE MODULACIÓN DIGITAL

Actualmente existen diversos tipos de modulación digital que a su vez son utilizadas a la hora de aplicar los diferentes estándares que rigen las técnicas empleadas para realizar las

transmisiones de radiodifusión sonora digital. A continuación se hace un estudio de las modulaciones digitales más comunes.

### 2.3.1 ASK (Modulación Digital de Amplitud/*Amplitudes Shift Keying*)

Esta técnica de modulación digital es considerada la más sencilla, matemáticamente este tipo de modulación esta descrita por la siguiente ecuación.

$$V_{am}(t) = [1 + V_m(t)] \times \left[ \frac{A}{2} \cos(\omega_c t) \right] \quad (2.1)$$

De donde se tiene que:

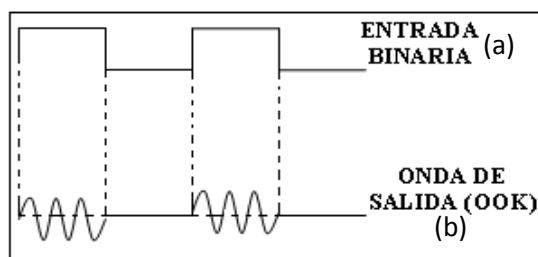
$V_{am}(t)$  voltaje de la onda de amplitud modulada.

$A/2$  representa la amplitud de la portadora no modulada (voltios).

$V_m(t)$  señal binaria modulada, expresada en voltios.

$\omega_c$  es la frecuencia de la portadora.

En la ecuación 2.1 el término  $V_m(t)$ , es una forma de onda binaria normalizada, lo que implica que podría tomar dos posibles valores lógicos que serían 1 y 0; que representan dos niveles de tensión +1 voltio y -1 voltio respectivamente, que al ser sustituidos correctamente en la ecuación anterior (2.1) permiten simplificar la misma, y darle a esta técnica de modulación el nombre de encendido o apagado (OOK, de ON-OFFKEYING). La Fig. 2.3. Ilustra la aplicación de esta técnica de modulación.



**Figura 2.3 Señal con modulación digital de amplitud: (a) entrada binaria; (b) formas de onda de salida OOK.**



### 2.3.2 FSK (Manipulación por Desplazamiento de Frecuencia/*Frequency Shift Keying*)

Según Wayne, T. (2.003), es una forma de modulación digital de angular, la cual es relativamente sencilla de realizar, similar a la modulación de frecuencia convencional FM, con la salvedad de que la señal que se modula o modulante es un pulso fijo, el cual a su vez es codificado en binario. Esto trae como consecuencia que dicha señal modulada varia entre dos valores discretos de voltaje posibles, (0 y 1), matemáticamente una señal modulada en FSK binaria se representa por la siguiente ecuación:

$$V_{fsk}(t) = V_c \times \cos(2\pi \times (f_c + V_m(t) \times \Delta f \times t)) \quad (2.2)$$

De donde:

$V_{fsk}$  representa la forma de onda binaria modulada en FSK.

$V_c$  representa la amplitud de la portadora (Voltios).

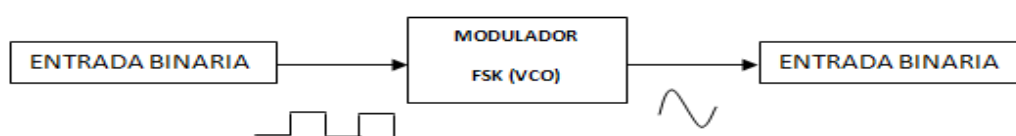
$f_c$  representa la frecuencia central de la portadora (Hz).

$\Delta f$  representa la desviación máxima de frecuencia (Hz).

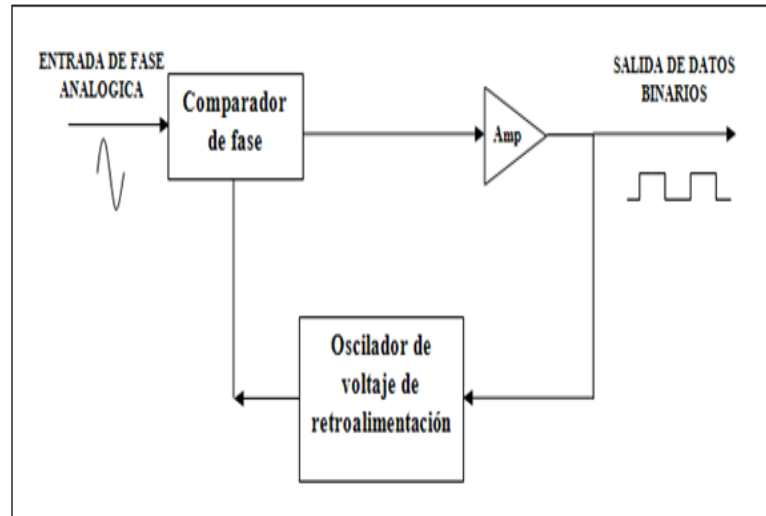
$V_m(t)$  representa la señal moduladora de entrada binaria ( $\pm 1$ ).

Esta técnica de modulación es utilizada para enlaces de fibra óptica, así como también en enlaces asíncronos. En general, es una técnica bastante ventajosa cuando se desea operar a bajas velocidades. Pero tiene la desventaja de requerir un gran ancho de banda, así como una eficiencia mucho menor que las otras modulaciones, por lo que es poco utilizada en sistemas digitales de radio de alto rendimiento. Su uso esta limitado a módems de datos asíncronos de bajo rendimiento y costo.

Como el uso de esta técnica de modulación en la radio digital actualmente es poco común o no es aplicada; entonces sólo serán mostrados, en la Fig. 2.4 y 2.5, la estructura básica de un transmisor y un receptor, mas no serán estudiados en detalles.



**Figura 2.4 Transmisor para FSK**



**Figura. 2.5 Receptor Usado por FSK**

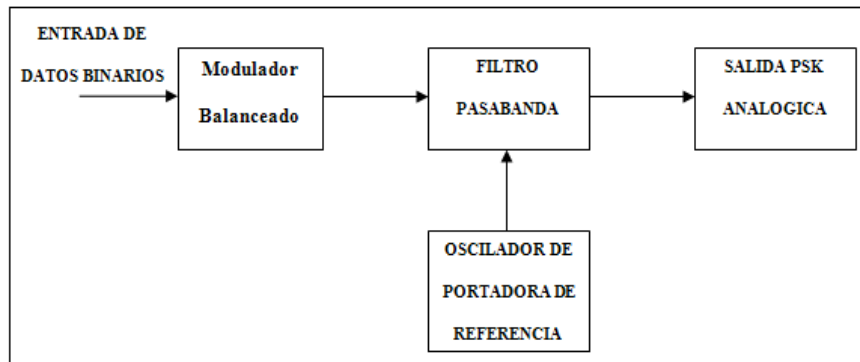
### 2.3.3 PSK (Manipulación por Desplazamiento de Fase/*Phase Shift Keying*)

También es una forma de modulación, conocida con nombres de: manipulación por inversión de portadora, modulación bifase, y dependiendo del número de posibles fases a tomar, es probable que pueda recibir otras denominaciones, pero como lo más comúnmente usada para codificar, es mediante el uso de un número entero de bits por cada símbolo, entonces es así conocida como, modulación por desplazamiento de fase binaria (BPSK, Binary Phase-Shift Keying).

Esta es una modulación angular de amplitud constante; sólo que existe una diferencia en la señal de entrada, la cual esta representada en binario, lo que hace limitado el número de fases de salida, relacionando una de estas fases con el orden lógico binario uno (1) y la otra con el orden lógico binario cero (0), siendo eficiente cuando se desea realizar transmisión de datos con presencia de ruidos.

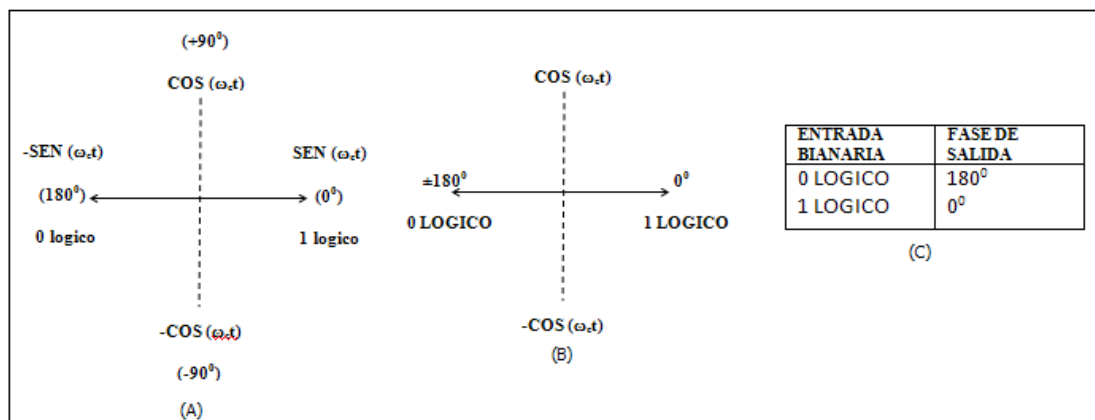
La gran ventaja de usar la modulación es que la potencia de todos los símbolos es la misma, lo que hace más sencilla la construcción y el diseño de los amplificadores y etapas receptoras.

En cuanto al transmisor, éste está conformado de la manera como lo indica la Fig. 2.6.



**Figura 2.6 Transmisor BPSK**

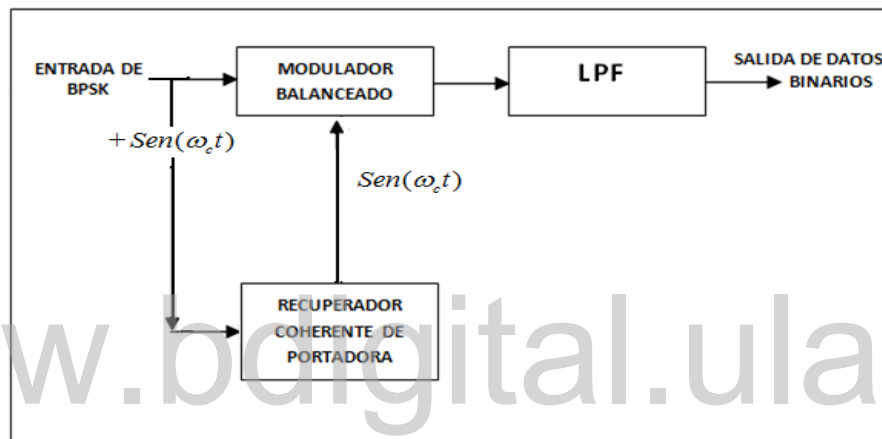
El tipo de modulador utilizado es conocido con el nombre de modulador PSK balanceado, el cual funciona como un conmutador. Es decir, se encarga de invertir la fase de la señal a la salida (la cual depende de la condición lógica de la señal de entrada binaria). A su vez, el hecho de que sea un conmutador, también proporciona cierta característica especial, pues permite que la portadora sea transferida a la salida, en fase (a lo cual se le asigna un ángulo de  $0^{\circ}$ ) o desfasada (a esta característica se le asigna un ángulo de  $180^{\circ}$ ). Posee un diagrama similar a un diagrama fasorial cuyo nombre es denominado diagrama de constelación y en el cual se representan las posiciones relativas de los máximos valores de amplitud de los fasores, y también cuenta con una tabla de la verdad, Fig. 2.7



**Fig. 2.7 (a) Diagrama Fasorial, (b) Diagrama de Constelación, (c) Tabla de la Verdad para un Transmisor BPSK**

Un receptor utilizado con esta modulación se observa en la Fig. 2.8, éste cuenta con un circuito recuperador de portadora que detecta y regenera una señal; la cual debe ser coherente tanto en frecuencia como en fase con la señal portadora del transmisor.

Por otra parte el modulador del receptor, se comporta como un circuito multiplicador, cuyo resultado surge de la señal que proviene de la entrada BPSK y la señal del circuito recuperador de portadora. El filtro paso bajo se encarga de separar los datos binarios de la señal demodulada.



**Figura 2.8 Receptor para BPSK**

#### 2.3.4 QPSK (Manipulación por Desplazamiento Cuaternaria de Fase/*Quaternary Phase Shift Keying*)

Es una técnica de modulación angular y de amplitud constante, conocida con el nombre de modulación PSK en cuadratura. Esta es una técnica de modulación M-aria de codificación  $M=4$ ; con ella es posible obtener 4 fases de salida con una sola señal portadora, esto a su vez hace pensar entonces que es necesario que existan cuatro condiciones de entrada para lo cual es necesario usar más de un bit en la entrada; esto trae como consecuencia que en esta técnica de modulación los bits sean combinados en grupos conformados por dos bit; a lo cual se le conoce con el nombre de dibits. Las combinaciones posibles a obtener con estos bits es 00; 01; 10; 11. Esto permite afirmar que, por cada dos bits sincronizados en el modulador, existe solo un cambio que afecta la salida, de manera que la rapidez de cambio de la salida es la mitad de la rapidez de los bits de entrada. La Fig. 2.9 muestra como esta conformado el transmisor, en

donde dos bits son introducidos en serie a un derivador de potencia del cual, posteriormente salen en forma paralela por un canal denominado I (en fase con el oscilador de referencia) y otro denominado Q (quien modula la portadora que esta desfasada  $90^0$  respecto a la portadora de referencia). Una vez efectuado este proceso, se podría afirmar que básicamente el transmisor de esta etapa en adelante es como tener conectados en paralelo dos transmisores del tipo utilizado en la modulación BPSK.

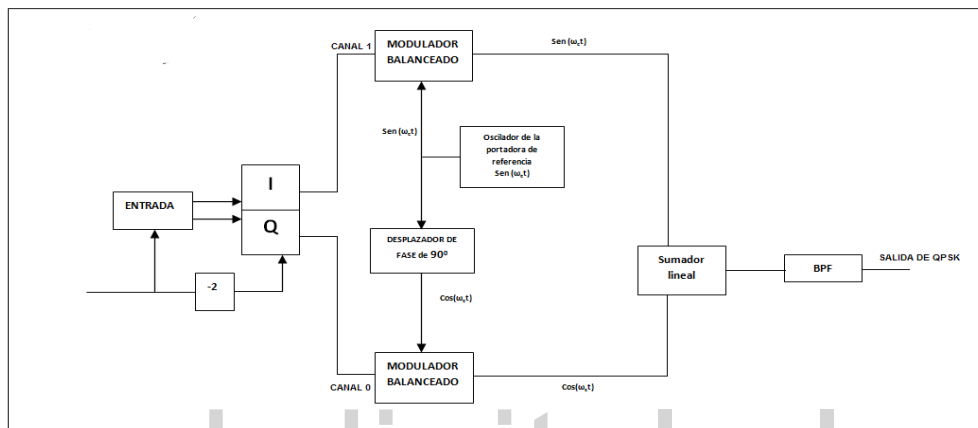


Figura 2.9 Transmisor para QPSK

Esto significa entonces que por cada nivel lógico binario (1 ó 0) es posible obtener por cada salida respectiva de cada canal (I o Q) dos fases que al ser combinadas mediante un sumador lineal da como resultado 4 fasores posibles. En la Fig. 2.10 se muestra como es el diagrama de constelación, así como la tabla de la verdad y el respectivo diagrama fasorial para la modulación QSPK.

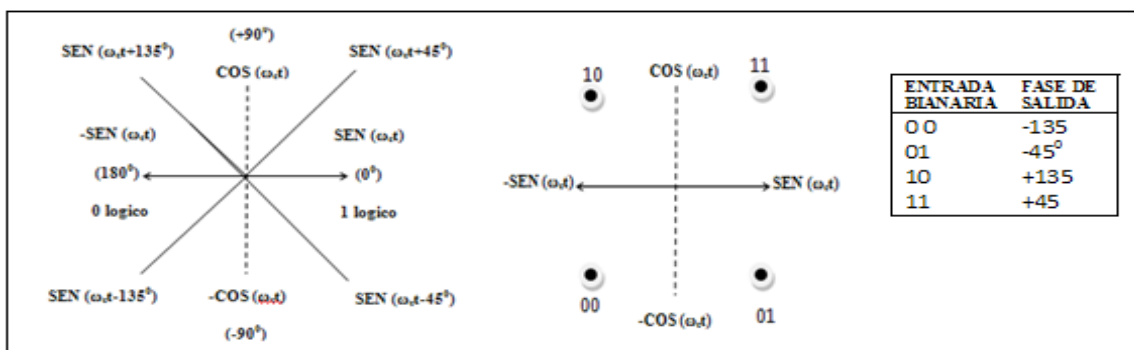


Figura 2.10 Diagrama fasorial, de Constelación y Tabla de la verdad del Transmisor QPSK

### 2.3.5 QAM (Modulación de Amplitud en Cuadratura/*Cuadrature Amplitud Modulation*)

En esta técnica de modulación la información esta contenida tanto en la amplitud como en la fase de la portadora que se desea transmitir, según sea la codificación M-ario, esta codificación puede ser:

- 8-QAM, donde la codificación M-ario es igual a 8, y la señal que sale de un modulador QAM no es de fase constante como sucede en el caso de 8-PSK.
- 16-QAM, la codificación M-ario en esta es de M igual a 16 siendo la fase y la amplitud variantes en la portadora de transmisión.

Un aspecto interesante a considerar es que así como existen las modulaciones QAM dependientes de la codificación M-ario, también existen las modulaciones PSK que podrían ser 8-PSK y 16PSK.

## 2.4 RESUMEN DE LAS TÉCNICAS DE MODULACIÓN DIGITAL

La tabla 2.1 resume las técnicas de modulación digital (FSK, PSK y QAM) en características propias de cada de modulación como: El ancho de banda, codificación M-ario, rapidez de cambio (Baudio), la eficiencia y la frecuencia de bit (fb), que representa el cambio en la entrada del modulador; y que a su vez es un parámetro que se relaciona con el ancho de banda para cada técnica de modulación.

**Tabla 2.1 Características de las Técnicas de Modulación Digital**

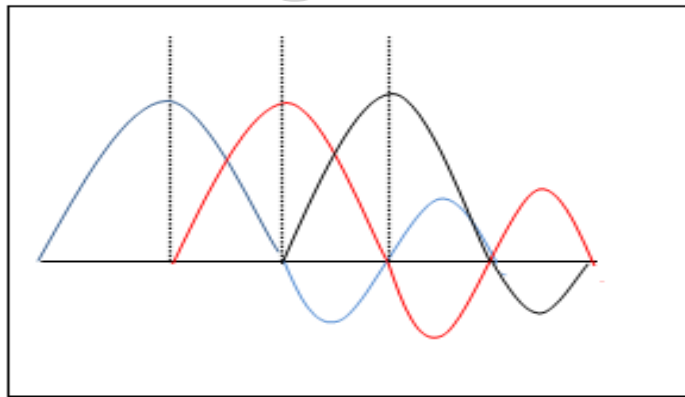
MODULACIÓN	CODIFICACIÓN	ANCHO DE BANDA(BW) (Hz)	BAUDIO	EFICIENCIA (bps/ Hz)
FSK	Bit	Fb	fb	1
BPSK	Bit	Fb	fb	1
QPSK	DiBit	fb/2	fb/2	2
8-QPSK	Tribit	fb/3	fb/3	3
8-QAM	Tribit	fb/3	fb/3	3
16-QPSK	Quadbit	fb/4	fb/4	4
16-QAM	Quadbit	fb/4	fb/4	4

## 2.5 OFDM (Multiplexación por División de Frecuencias Ortogonales/*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*)

Según Perales Bendito, T (2005), la modulación OFDM, es una técnica, que divide un canal de frecuencias en un número determinado de bandas de frecuencias equi-espaciadas y ortogonales entre sí, en las cuales se transmiten la información, y están moduladas en QAM y PSK. Una característica interesante de la modulación OFDM, es que aunque las señales lleguen al receptor con diferentes retardos y amplitudes, hace posible crear redes de frecuencias únicas en la radiodifusión.

Para comprender de manera más sencilla, esta técnica básicamente hace que los máximos de una portadora coincidan con el cero de la otra portadora. Fig. 2.11.

En OFDM cada portadora, está modulada por símbolos de datos cuya duración es un tiempo denominado  $T_s$  igual al periodo de dicha portadora y la distancia entre portadoras adyacentes es de  $1/T_s$ , lo cual es garantía del principio de ortogonalidad que deben cumplir las portadoras entre sí.



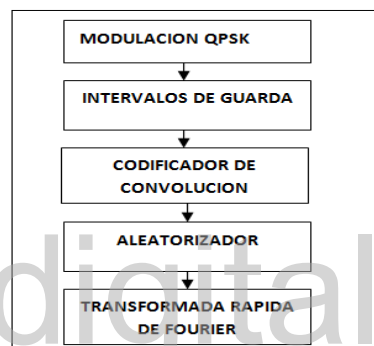
**Fig. 2.11 Onda Modulada en OFDM**

## 2.6 MODULACIÓN COFDM

Fue desarrollada En los Estados Unidos de Norte América, durante la década de los años 60; surge como consecuencia de la modulación OFDM, por lo que las portadoras también son moduladas en QPSK y QAM, esto significa entonces que esta técnica de modulación, puede

ser considerada como multiportadora, en las que se distribuye los datos o información a enviar, lo que hace que esta técnica mejore la protección contra errores ocasionados por interferencias durante la transmisión, especialmente en los sistemas de radiodifusión. Por otra parte, las portadoras deben estar x-espaciada entre si, y moduladas por símbolos de datos cuya duración es un tiempo denominado “ $T_s$ ”, igual al periodo de dicha portadora, la distancia entre portadoras es de  $1/T_s$  lo cual es garantía del principio de ortogonalidad que deben cumplir las portadoras entre si Perales Bendito, T (2.005).

Una representación esquematizada de esta técnica de modulación puede representarse mediante la Fig. 2-11(Web. (S/f). <http://es.wikipedia.org/wiki/COFDM>)



**Figura 2.12 Representación Esquemática funcional de la modulación COFDM**

La modulación QPSK, es base constitutiva de las trama que a su vez, conforma las subportadoras y que pueden llegar a distribuirse hasta en 1.536 portadoras según su aplicación, por otra parte esto, garantiza que las subportadoras se organicen de forma que una no influya en las demás; lo que da como resultado, que el periodo de cada símbolo obtenido sea superior que cualquier retardo sufrido por la señal. El periodo de cada símbolo que se obtiene es considerablemente superior que cualquier retardo de señal.

Los intervalos de Guarda, consisten en habilitar un cierto espacio temporal, que se añade al intervalo de tiempo necesario, lo cual se evita la interferencia intersímbolo, cuando se requiera transmitir un símbolo que requiera mayor capacidad (un supersímbolo), evitando de esta forma lo que se conoce como interferencia intrasímbolo.



El Codificador de Convolución, su funcionamiento, esta basado en registros de memoria, a su vez lo componen dos elementos, un código convolucional (código que permite detectar errores) y un scrambler (realiza el proceso de aleatorización de los símbolos o datos). La codificación de los bits se realiza a partir del valor del bit presente a la entrada y los valores de los n bits anteriores que están guardados en los registros.

FFT (Transformada Rápida de Fourier/ *Fast Fourier Transform*); después de la asignación de información a las subportadoras, se lleva a cabo la transformación rápida de Fourier, obteniéndose la banda base del sistema a operar.

[www.bdigital.ula.ve](http://www.bdigital.ula.ve)

# **CAPÍTULO III**

## **RADIODIFUSIÓN SONORA DIGITAL**

### **ESTÁNDARES UTILIZADOS**

La radio ha venido dando fuertes pasos hacia la digitalización, tanto en los equipos utilizados, como en las señales que son transmitidas. En tal sentido, se han originado diferentes estándares que rigen su aplicación y que son los responsables de los beneficios que puede ofrecer no solo a una estación de radio como tal sino también a los radioescuchas.

En Venezuela aun no existe una propuesta en tal sentido, por lo que se efectuara en este capítulo un estudio no solo de las ventajas que la transmisión digital proporciona en el uso racional y eficiente del espectro de frecuencia, si no también se propone desglosar todo los aspectos relacionados con los estándares que actualmente existen y que son los que rigen las transmisiones digitales efectuadas por los países donde ya existen radios digitales.

Algunos de los aspectos de cada estándar de radio digital, que van a ser considerados están:

- Especificaciones técnicas.
- Características que lo describen.
- Técnicas de corrección de los errores en las señales que se transmiten y que son garantía de la excelencia mejora del audio.

### **3.1 RADIO DIGITAL**

El nombre de la radio digital es debido a que los datos que contiene son digitales, y que se basa en nuevos modelos de modulación y demodulación de los mismos. La ventaja que ella ofrece sobre las radios que utilizan Modulación de Amplitud (AM) y la Modulación de Frecuencia (FM) analógicas, es que logra minimizar los efectos que el ruido puede ocasionar en una señal, así como permitir la posibilidad de que puedan ser ofrecidos nuevos servicios.

Existen dos clases de radio digitales las cuales se describen a continuación:

### 3.1.1 Breve Descripción del Sistema de Radio Digital Satelital

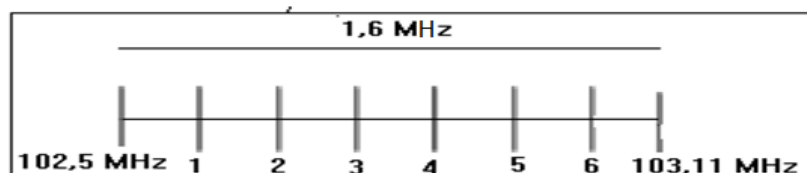
Permite la difusión de canales de audio con mayor calidad, añadiendo a esto el valor agregado de poder hacer posible transmitir otros datos. Además es mucho más ventajosa que radio digital terrenal ya que las zonas de cobertura son más amplias.

Para la recepción de la radio digital por satélite se utiliza una antena omnidireccional que permite captar las señales provenientes del satélite, con la ventaja de que la frecuencia de la emisora que se ha sintonizado no varía aunque el receptor se desplace, lo que resulta de gran utilidad para la recepción en vehículos.

### 3.1.2 Radio Digital Terrestre

La radio digital terrestre ha venido a ser la tecnología que marca una revolución de avance en lo que a radiodifusión respecta; ya que ofrece una serie de importantes beneficios a la hora de la transmisión de señales y que en comparación con la radio analógica suelen ser innumerables.

Básicamente aprovecha de manera más eficiente el espectro de frecuencias, así como se logra una mejora notable en lo que respecta al ancho de banda de las emisoras. Es decir, permite mejorar el ancho del canal asignado a cada estación (1.6 MHz), hasta el punto que puede utilizarse éste para transmitir 6 señales a la vez, las cuales podrían tener diferentes utilidades o programación, Fig. 3.1.



**Figura. 3.1 Espectro de Frecuencia de una Radio Digital.**

Se dice, entre otras cosas, que la calidad del audio, es una de las grandes virtudes de esta técnica de radiodifusión, pues se estaría logrando transmitir audio con calidad de reproducción de un CD.

### **3.2 VENTAJAS DE UTILIZAR LA RADIO DIGITAL**

Son muchas las bondades de este tipo de técnica en cuanto a lo que a la radio difusión respecta. Entre estas se tienen:

- El audio en las señales que se transmiten mediante FM son efectuados con calidad similar a las de CD'S.
- Hace posible el envío de datos en los rangos de AM y FM, que hasta hoy habían sido imposibles.
- Cuando se efectúan transmisiones en la SW (banda de onda corta/ *shortwave*), estas son efectuadas con calidad de FM mono.
- Las transmisiones de AM son efectuadas con calidad de FM estéreos, lo que hace que la transmisión sea mucho más resistente a las interferencias ocasionadas por ruido.
- Mejor aprovechamiento del espectro de frecuencias.

### **3.3 DESVENTAJAS DE LA RADIO DIGITAL**

Como todo en la tecnología, la radio digital también tiene en si una serie de aspectos desfavorables entre los cuales están:

- El cambio de tecnología implica una inversión económica para el cambio de equipos necesarios para transmisión y recepción de señales de radiodifusión.
- Según el estándar que se aplique a la transmisión de radiodifusión, se tendría que efectuar una reestructuración del espectro de frecuencias existente en el país.

### **3.4 ESTÁNDARES DE RADIODIFUSIÓN SONORA DIGITAL**

Los estándares, son lineamientos técnicos detallados, destinados a establecer uniformidad en el desarrollo de programas y adquisición de equipos. Actualmente existen diferentes

estándares utilizados para efectuar transmisiones de radio digital dentro de los cuales se tiene:

- DAB (Digital Audio Broadcasting)
- IBOC (In band on Channel)
- DRM (Digital Radio Mondiale)
- ISDB(Integrate Service Digital)

### **3.5 DAB (DIGITAL AUDIO BROADCASTING)**

El DAB, fue concebido en Europa. Los primeros trabajos sobre este estándar aparecieron en Alemania, en el Intitut fur Rindfunktechnik en el año 1981. Tiempo después se conformo un grupo cuyo nombre fue conocido como Eureka 147 (año de creación 1987), en el cual participaron emisoras, centro de investigaciones, operadoras de redes y firmas de electrónicas de consumo.

Actualmente, el DAB, cuenta con la colaboración del llamado Foro Mundial sobre DAB, dedicada a impulsar y desarrollar cada vez más lo que en principio fue conocido como Eureka 147. DAB, es un estándar aprobado a nivel mundial por la UIT. En Europa cuenta con la aprobación del CENELEC (Comité de Estandarización para la Electrónica y Electricidad en Europa). Es un estándar que permite el uso más eficiente del espectro de frecuencias, ya que en lugar de ofrecer un solo servicio por frecuencia asignada como sucede con la transmisión analógica permite la transmisión de hasta seis (6) servicios o programas en una sola frecuencia asignada a una estación de radiodifusión.

Otro aspecto importante del DAB, es que elimina en gran proporción las reflexiones de ondas (señales que rebotan con los edificios durante el procesos de transmisión), garantizando que el mensaje recibido sea más nítido. Las transmisiones de radiodifusión sonora que utilizan el DAB operan dentro de un rango de frecuencias comprendido entre 300MHz y 3GHz, lo cual resulta beneficioso al aplicarse a transmisiones móviles; a su vez este rango de frecuencia le da una gran versatilidad, ya que puede emplearse en las transmisiones de radio digital satelital e incluso podrían hacerse transmisiones híbridas y en redes de difusión por cables.

Otra de las innovaciones de este estándar, es el hecho de que propone mantener la banda comprendida entre 88MHz y 108MHz para las transmisiones analógicas, pero a su vez incluye la creación de una nueva banda de frecuencias.

### 3.5.1 Características del Estándar DAB

Es preciso conocer cuales son los aspectos que describen la funcionalidad de este sistema (DAB) por lo que serán mencionadas las siguientes características:

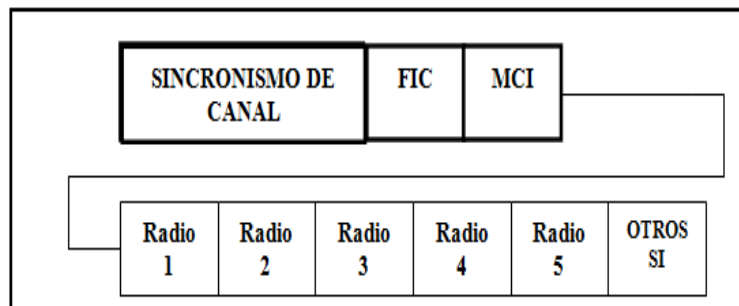
- Permite un uso más eficiente del espectro de frecuencia y potencia en las transmisiones, ya que utiliza un único bloque de frecuencias para efectuar la transmisión.
- Utiliza un paquete para datos asociados al programa (PAD), el cual esta ubicado dentro del flujo de los bits de audio, permitiendo de esta manera, obtener más información acerca de la programación de una estación de radio.
- Hace uso de la modulación COFDM; con lo que logra mejorar la recepción de las transmisiones, ya que, disminuye las interferencias causadas por la propagación multitrayectos debida a los rebotes de la señal con los edificios.
- Puede ser utilizado para transmisiones digital de radio satelital o terrestre.
- Los servicios pueden estructurarse y configurarse dinámicamente, por que el sistema puede acomodar velocidades de transmisión (entre 8 y 380 bps incluyendo la protección adecuada), lo que hace del DAB un estándar flexible.

### 3.5.2 Especificaciones del DAB

El sistema DAB esta basado en cuatro condiciones esenciales, que cumplen o desempeñan tareas determinadas, dentro de la que están:

**a.- Múltiples de programas.** Una estación de radio digital que opere con DAB, puede contener hasta 6 programas y la información de los mismos; esto a su vez es consecuencia del proceso de mutiplexación que este estándar realiza, ya que cuenta con una portadora de RF (radio frecuencia / *Radio Frequency*) de condición multiprogramada, la cual tiene su contenido debidamente especificado y organizado para permitir al usuario elegir un determinado

programa mediante el despliegue de un menú. Una estructura básica de este elemento la indica la Fig. 3.2



**Figura. 3.2. Estructura Básica de un Multiplex de Programas.**

Es importante resaltar que los datos se organizan en tramas y que a su vez están conformados por tres campos básicos, que son los siguientes:

**Sincronismo de canal.** Este campo está conformado por dos símbolos, quienes cumplen las condiciones siguientes:

1. Símbolo nulo como inicio de trama, cuya duración es mayor a la de los demás símbolos.
2. Símbolo de referencia de fase, cuya duración es similar a la de los demás símbolos de la trama, y es este, responsable de trasladar al receptor la referencia de fase necesaria.

**FIC (Fas Información Channel).** Es un campo de información rápida conocido, contiene información de los servicios ofrecidos por el canal principal e incluye los Canales de datos, información que no es entrelazada. La longitud de este campo es de 256 bits por cada bloque, de los que 240 corresponden a datos y 16 al código de redundancia (CRC) para la detección y corrección de errores.

Este campo (FIC), cuenta con la información que permite conocer las condiciones del multiplexación (MCI, que da información de la configuración del múltiplex), sus datos se codifican mediante un código convolucional.

**MCS. (*Main service channel*).** Corresponde al canal principal de todos los servicios. Esta conformado por los bloques CIT (Common Interleave Trame), que se forman con unidades de capacidad (CU o Capacity Unit) de 64 bits, lo que hace que cada bloque de estos quede conformado con 864 CU (6.912 octetos).

**b.- *Composición de los Datos.*** La composición de los datos en el DAB, están comprimidos mediante la técnica MPEG, lo que permite que se pueda ubicar un multiplex de programas en una portadora de radio frecuencia con ancho de banda limitado y definido de acuerdo al sistema implantado.

**c.- *Ubicación del espectro Radio eléctrico.*** El rango de frecuencia en el que se ubican los canales multiprogramas, que emiten las radios digitales mediante el DAB esta comprendido entre 300 MHz a 3 GHz.

Rangos de frecuencias reservados para transmisiones por tierra y por satélite, cuyos valores están comprendidos en:

- 174-240 MHz: Segmento que corresponde a la banda III del canal VHF y que es usado por las emisoras con enlace por tierra y cuyas técnicas de modulación son AM-FM.
- 1.452-1.492 MHz: Corresponde a la banda L, se usa para las emisoras cuya transmisión es vía satélite.

**d.- *Modulación de Portadora.*** La técnica de modulación de la señal portadora utilizado por este estándar, es el COFDM; con la cual consigue una buena eficiencia espectral y en consecuencia el requiere de menor potencia para la transmisión de señales.

### **3.5.3 Modos de Transmisión del DAB**

El DAB, permite efectuar las transmisiones mediante el uso de 4 modos. La Tabla 3.1, resume algunas de sus características.

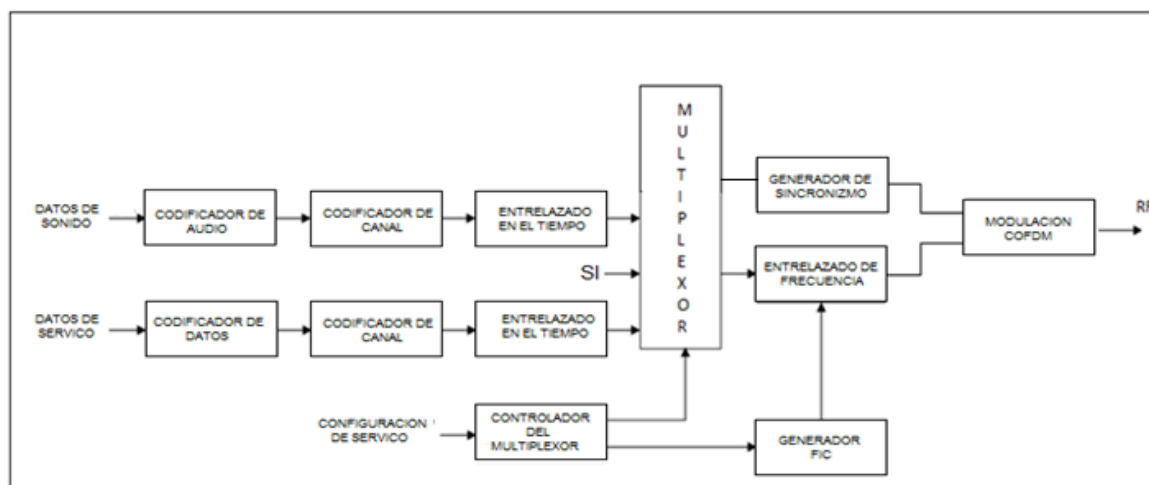


**Tabla 3.1 Características de los Modos de Transmisión del DAB.**

PARAMETRO	MODO			
	I	II	III	IV
Rango de frecuencia	300 MHz	1,56GHz	3GHz	1,56GHz
Numero de portadoras	1536	384	192	768
Espacio entre portadoras	1KHz	4KHz	8KHz	2KHz
Duración del símbolo	1246 $\mu$ s	132 $\mu$ s	156 $\mu$ s	623 $\mu$ s
Duración del intervalo de protección	246 $\mu$ s	62 $\mu$ s	31 $\mu$ s	123
Duración de la trama	96 $\mu$ s	24 ms	24 ms	48 ms
Símbolos por trama	76	76	153	76
Símbolos nulos para determina el modo de transmisión	1297 $\mu$ s	324,2 $\mu$ s	168 $\mu$ s	648,4 $\mu$ s

### 3.5.4 Estructura de un Transmisor DAB

Un transmisor utilizado por DAB, depende del número de frecuencias, y de servicios que van a ser transmitidos. La Fig. 3.3. Muestra la estructura de este (Transmisor DAB).



**Figura. 3.3 Estructura básica de un Transmisor DAB.**

Los elementos que forman un transmisor DAB cumplen las siguientes funciones:

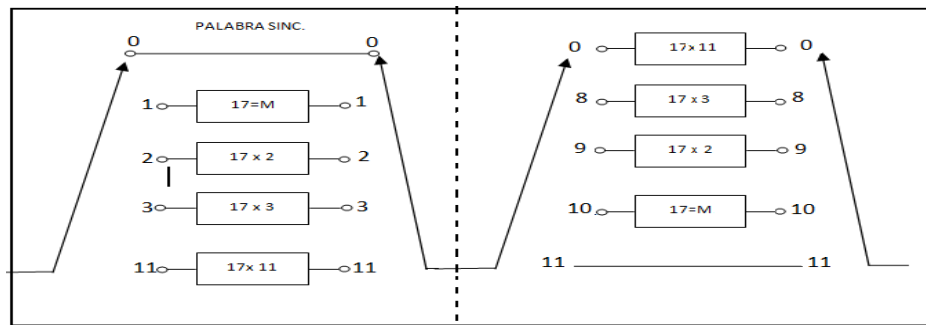
**Datos de sonido.** Representa las señales de audio que conforman las diferentes entradas, y que posteriormente, son transmitidas en los programas de una emisora de radio. Además cada servicio de audio, propiamente cuenta con un proceso de multiplexado en combinación con un paquete de datos (PAD), el cual lleva consigo la información asociada al programa de audio que se está transmitiendo.

**Datos de servicio.** Corresponde a la entrada de los datos adicionales, que describen los programas que van a ser transmitidos (letras de canciones, texto que describan el contenido del programa, entre otros), los cuales son transportados en un canal de mensajes (TCM) con una velocidad característica de transferencia de 8 bps.

**Codificación de canal y entrelazado.** Los datos que provienen de las entradas, son codificados mediante la técnica convolucional, la cual protege de errores la señal, y es conocida con el nombre de codificación de Viterbi o codificación interna. Generalmente, lo que busca con la aplicación de esta; es aumentar la eficiencia en la transmisión de la señal, mejorando la relación portadora ruido (C/N), lo que a su vez mejora la relación señal ruido de las señales demoduladas.

El entrelazado; por otra parte no es más que, una técnica que protege la de información y corrige errores, cuyo funcionamiento técnico, consiste en invertir o descolocar con respecto a su posición inicial los datos previamente codificados, lo que sirve como garantía para evitar que durante la recepción los errores puedan superar la capacidad de corrección del sistema, es decir que esta técnica compensa a otras que pueden fallar cuando la capacidad de corrección de la misma es excedida.

La Fig. 3.4 permite observar la estructura lógica del circuito para efectuar el entrelazado (en el emisor) y desentrelazado (receptor). El cual es, un circuito compuesto por un conjunto de registros de tipo FIFO (primero en entrar- primero en salir), que está colocado en un conmutador electrónico que consta de 12 posiciones, lo que permite que el sistema produzca en la salida 12 posibles secuencias.



**Figura. 3.4 Estructura lógica del circuito de entrelazado de datos**

Finalmente codificados y corregidos los datos, se aplica a estos, un proceso de compresión mediante la técnica MPEG, que permite el almacenamiento de video y sonido estéreo en una velocidad de 1.5 Mbps (1.14 Mbps para el video y 350 Kbps para el audio).

En esta técnica, los datos de salida se presentan en formatos denominados tramas, y esta conformada por tres capas que le permiten adaptarse a diversas aplicaciones prácticas en equipos audiovisuales, regulados por la norma ISO 11172-3.

**Capa 1.** Llamada layer I, la cual emplea el algoritmo de naturaleza porcentual denominado PACS (Precision Adaptive Sub-Band Coding) que es invento de la corporación Philips. Mediante el cual el espectro es dividido en 32 sub-bandas y codificado en tramas. El flujo de bits de éste es 192 Kbps, utiliza una técnica psicoacustica que le permite eliminar los sonidos cuyas frecuencias no son percibidos por el oído humano.

**Capa 2.** Denominada layer II, es básicamente la técnica de compresión de audio aplicada por DAB, su aplicación es un poco mas compleja, a un cuando requiere flujos binarios de 30 a 50% menores que la Capa 1 o layer I (MEPG-1) para obtener una misma calidad de audio que la anterior y es conocida con el nombre de MUSICAM. Se basa en la misma norma Psicoacustica que la anterior, solo que las tramas o frames de datos tienen una duración mayor, lo que en consecuencia reduce mucho más el flujo de datos para la transmisión.

**Capa 3.** También llamada layer III, Es la capa mas reciente de la técnica MPEG, proporciona más capacidad de supresión de datos, esto significa que para el un sonido de alta calidad que

requiere de 256 Kbps por canal solo utiliza 64 Kbps por canal, ya que utiliza técnicas de compresión más avanzadas como el código de Huffman y el proceso de la transformada discreta del coseno (DCT).

Es importante destacar que tanto el codificador como el decodificador están diseñados para lograr soportar las tres capas, es decir, que uno de ellos aunque sea utilizado para una de las tres tranquilamente puede también utilizarse para las otras dos capas.

Posteriormente a haber codificado, corregido y finalmente comprimido los datos en esta etapa del receptor DAB, va al decodificador, a quien le corresponde organizar los paquetes de datos, los cuales a su vez son multiplexados con la finalidad de conseguir una única salida para formar las tramas, cuya duración depende del modo de transmisión seleccionado.

**Entrelazado de frecuencia.** Esta técnica se aplica a los datos provenientes del codificador, cuya velocidad puede llegar a alcanzar 1,5 Mbps, a su vez son ubicados en una portadora de radio frecuencia. Se dividen en espacios de frecuencias usados por los modos I y IV de transmisión. Con estos datos se conforma la señal modulada en COFDM, que es la técnica de modulación utilizada por el DAB.

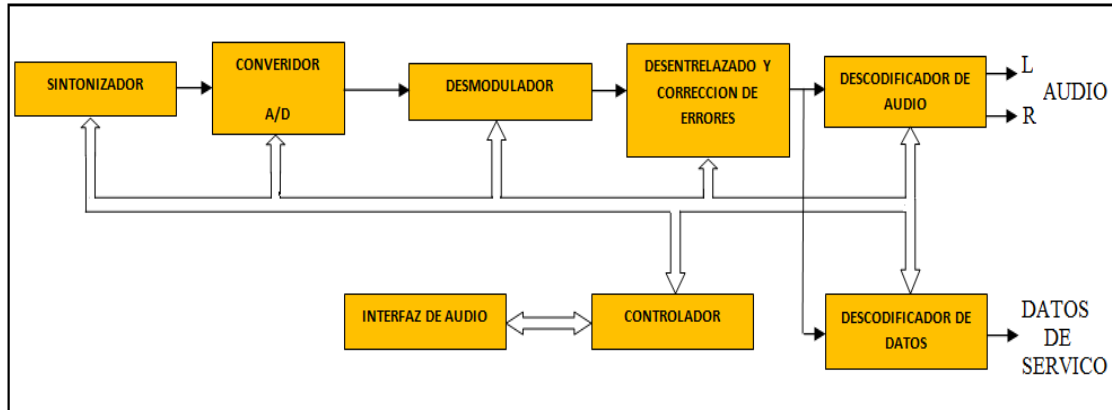
**Modulación COFDM.** Es una técnica que se obtiene como resultado de la modulación OFDM, y las subportadoras se modulan en QPSK y QAM. Este sistema multiportadora fue desarrollado en los Estados Unidos de Norte América, durante la década de los años 60, mejora la tasa de errores y permite también que se adapte al medio en el que se desarrolla.

COFDM, aplicada en el DAB, permite una separación de 1 kHz, y los datos multiplexados se distribuyen en las subportadoras, ocupando aproximadamente un ancho de banda de 1,54MHz.

### **3.5.5 Estructura de un Receptor DAB**

El receptor también depende del modo de transmisión utilizado por este estándar de radiodifusión sonora digital, así como también de la utilidad en el proceso de transmisión. La Fig. 3.5 señala como es la estructura básica del mismo.

La estructura básica de un receptor DAB como la que se muestra en la Fig. 3.5 en la práctica puede simplificarse en cinco bloques esenciales en la práctica:



**Figura. 3.5 Estructura Básica de un Receptor DAB.**

**Sintonizador.** Es la unidad o elemento que permite fijar un determinado canal. Proporciona las frecuencias portadoras recibidas con valores muchos más bajos, constantes y amplificadas para todos los posibles canales y bandas a ser captadas. Generalmente posee dos circuitos asociados a él, uno es un circuito amplificador de frecuencias intermedias (FI) y a su vez el otro circuito es el control automático de ganancia el cual tiene como finalidad mantener constante la ganancia.

Para el DAB la frecuencia intermedia está ubicada entre 2 y 3 MHz, algo interesante es que la salida de este elemento está colocado un convertidor digital analógico, con lo que se garantiza que cualquiera sea la señal de salida esta puede ser procesada sin ningún problema.

**Descodificador del canal.** Este dispositivo, puede ser un circuito integrado o en su defecto puede ser incluso parte de LSI (Circuito integrado de larga escala de integración); es quien recibe la señal de frecuencias intermedias provenientes en formato digital o incluso analógica, donde se le efectúa: el proceso de transformada discreta del coseno (*Discrete Cosine Transform*); que permite concentrar la mayor parte de la información en pocos coeficientes, demodulación diferencial (ya que la portadora COFDM está previamente modulada en QPSK), desentrelazado de datos mediante una memoria RAM propia o externa al bloque y la

descodificación de Viterbi para detectar o corregir los errores. El resultado final de la acción de estos circuitos es la salida de un flujo de datos destinados posteriormente a hacer demultiplexados y descompresión MPEG.

Este dispositivo también proporciona un bus bidireccional de comunicación con el microcontrolador de gestión del receptor para dar información del número de programas que contiene el multiplex y para que el usuario pueda elegir el deseado.

**Decodificador de datos.** Separara los datos procedentes de audio de los correspondientes a servicio los cuales van destinados al microcontrolador de gestión del receptor para a su vez informar al usuario de las condiciones del multiplex a través del visualizador LCD o similar.

**Decodificador de audio.** Es quien se encarga de seleccionar (demultiplexar) los datos digitalizados para poder interpretar su contenido, y presentar la información correspondiente en el visualizador del receptor. Básicamente el sistema de descodificación de audio es similar al utilizado en el proceso de decodificación de control remoto de la radio con modulación en FM.

**Convertidores.** Como los datos que provienen del decodificador descrito anteriormente vienen en formato serie, y sus dos canales para sonido multiplexados, esto entonces hace necesario la existencia de tres líneas que son:

- SD, Que posee datos de 16 bits de longitud en serie con sus canales derecho e izquierdo multiplexado.
- SCK, es una línea de reloj de los datos, que es imprescindible para interpretar el contenido en la línea anterior.
- WS, es una línea de identificación mediante estado lógico (1 y 0).

### 3.5.6 Ventajas del Uso del DAB

El estándar DAB, es utilizado en varios países del mundo, y hay muchos receptores en el mercado que aunque son más caros que los que actualmente son utilizados en Venezuela, son

muchos más los benéficos que aportan mediante su funcionamiento con el estándar DAB tanto para el radio escucha como para la propia estación de radio, entre estos beneficios están:

- La calidad del sonido es parecida a las de los CD'S, ya que elimina los ruidos y perdidas.
- Mejorar la eficiencia del uso del espectro de frecuencia, ya que se pueden captar más emisoras.
- Permite las transmisiones no solo de audio, sino también de datos que pueden ser el título de una canción, el resumen del argumento de una obra, los resultados de los últimos encuentros deportivos o lo que la emisora considere apropiado. De hecho, algunas emisoras transmiten titulares de noticias a través de la pantalla o proporcionan otra información gratuita importante incluyendo guías de programas electrónicos.
- Otro beneficio, en este caso para el oyente en movimiento, es que no se necesita volver a sintonizar el receptor en otra frecuencia cuando se desplaza de un área de cobertura a otra.
- Las transmisiones requieren niveles de energía más bajos, lo que significa un ahorro considerable en las facturas de electricidad. Esto es especialmente importante para grandes emisoras como la BBC. Con unos transmisores que usan 100 KW y más, los costos para sostener las transmisiones son altísimos.

### **3.5.7 Desventajas del uso del DAB**

Entre las desventajas que la aplicación de este estándar implica en las transmisiones de radiodifusión están:

- Propone un nuevo espectro de frecuencias.
- Es necesario la utilización de nuevos receptores, por lo que implica una inversión económica al usuario.
- Requiere un nuevo sistema de infraestructura diferente al actualmente utilizado.
- Generalmente es necesario instalar nuevas tecnologías en la instalación transmisora.

### **3.6 IBOC (IN BAND ON CHANNEL)**

El audio, la programación y la elección de nuevos servicios de datos, han hecho de este estándar un avance importante para el desarrollo de la digitalización de la radiodifusión. Su

origen principalmente se da, en los Estados Unidos, bajo la responsabilidad de la empresa cuyo nombre es conocido como Consorcio Digital Ibiqy.

Surge como consecuencia del rechazo norteamericano al proyecto conocido Eureka 147 y nace inicialmente con dos objetivos primordiales: el primero que la operatividad de las estaciones de radio analógicas deberían continuar, y el segundo, era lograr tecnológicamente que el precio de los receptores fuese económico.

Básicamente hay 3 fechas que fueron cruciales para el desarrollo de este estándar entre estas tenemos:

- 1.991; año este en que las empresas USA Digital Radio (USADR), CBS, Gannett y la Westinghouse, establecen un acuerdo mediante el cual se comprometen a colaborar arduamente para lograr el desarrollo de IBOC como estándar para transmitir radio digital.
- 1.994; es cuando se realizan las primeras pruebas y en consecuencia surgen los primeros equipos que funcionarían bajo parámetros establecidos por este estándar. Los cuales fueron supervisados por instituciones como Nacional Assotiations of Broadcasting (NAB), Electronics Industries Assotiations (EIA) y la National Radio Systems Commitee).
- 2000; Se efectúa la fusión de las empresas USADR y Lucent Technologies, surgiendo de este modo Ibiqy Digital Corporación.

La utilización de éste estándar para efectuar transmisión de radio difusión sonora digital ha venido cobrando gran importancia, pues su uso permite la multidifusión de canales de transmisión. Por otra parte garantiza la calidad del audio sin importar que se estén transmitiendo diferentes programas por canales distintos en el mismo instante.

Tecnológicamente el proceso se inicia en el momento en el que consocio IBIQUITY DIGITAL, entrega una licencia o perisología a las estaciones de radio para que estas hagan uso de dicha tecnología, garantizando todo la asesoría y ayuda necesaria en todo lo concerniente al proceso de conversión de tecnología analógica a digital, actualmente hacer el



proceso es menos costoso. Se calcula que para esto se debe disponer de un capital efectivo de 75000\$.

### **3.6.1 Ubicación en el Espectro de Frecuencias del IBOC**

Este estándar propone mantener el espectro de frecuencias existentes en la que opera la radiodifusión tradicional, es decir, para AM (530KHz a 1710KHz) y FM (87.5MHz a 108Mhz); ya que posee la capacidad en sus modos de transmisión de efectuar la misma tanto digital como analógica (Modo híbrido de transmisión).

### **3.6.2 Características de Funcionamiento del IBOC**

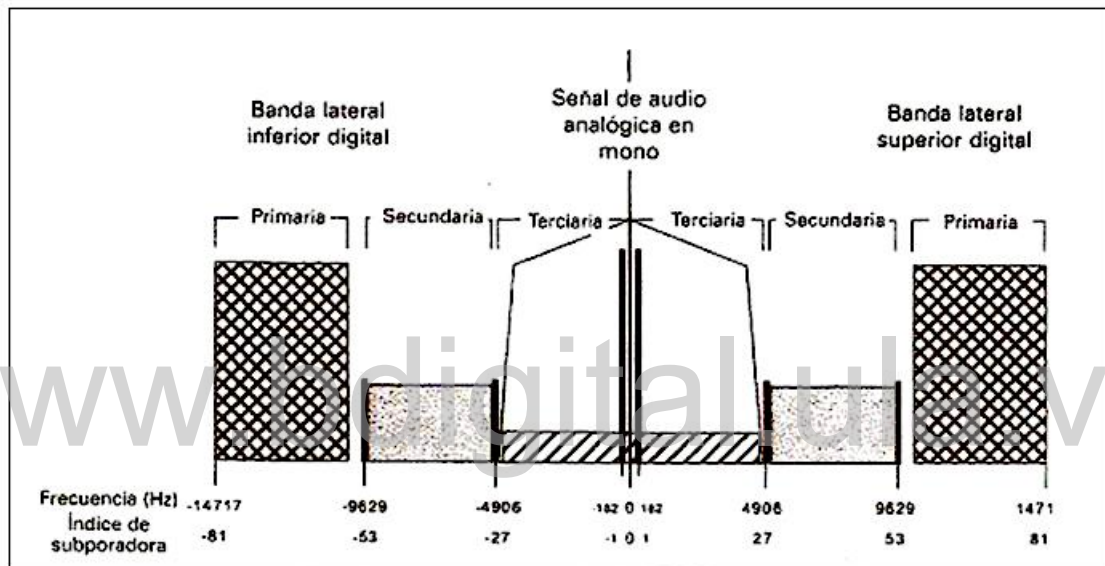
Existen aspectos importantes que dan cierta particularidad y que describen este estándar entre los cuales están las siguientes características:

- Se efectúan el envío de tres señales al mismo tiempo (la señal analógica, la señal digital y la señal que lleva consigo la información adicional como por ejemplo texto)
- Efectúa una alta compresión de audio mediante la aplicación de la técnica MPEG.
- Hace de la señal transmitida mucho más robustas a interferencias, además de mejorar su calidad.
- Permite la posibilidad de enviar señales estereofónicas.
- Usa las mismas bandas y frecuencias de las radios AM y FM, ya que puede transmitir señales en modo híbrido.

### **3.7.3 Modos de Transmisión del IBOC**

Es un estándar versátil, ya que permite distintos modos de transmisión que dependen de la técnica de modulación que se este utilizando (AM o FM), así como de las necesidades de la estación de radio. Para las transmisiones efectuadas con modulación de amplitud (AM) bajo el estándar IBOC es posible efectuarla en los modos de híbrido y digital:

**Modo híbrido (Simulcast).** Es un modo en el que la transmisión realizada contiene señal analógica y digital, en la cual se puede observar la portadora analógica convencional y en las bandas laterales el contenido digital en forma de portadoras OFDM. Esta es una alternativa para las señales transmitidas afectadas por diversos aspectos físicos, entre los cuales se podría mencionar los errores y distorsiones ocasionadas por interferencias entre símbolos transmitidos sucesivamente, así como por los cambios de frecuencia y fase (efecto Doppler) que se originan en los receptores en movimiento. Para el modo de transmisión SIMULCAST, el espectro adopta la forma señalada en Fig. 3.6



**Fig. 3.6 Espectro de Señal en Modo Híbrido para AM. (Tomas Pérez Bendito, 117)**

En la que se puede observar como se distribuye cada banda en la señal. En esta se ve la banda secundaria; la cual está ubicada y repartida en la banda lateral superior e inferior de la señal digital.

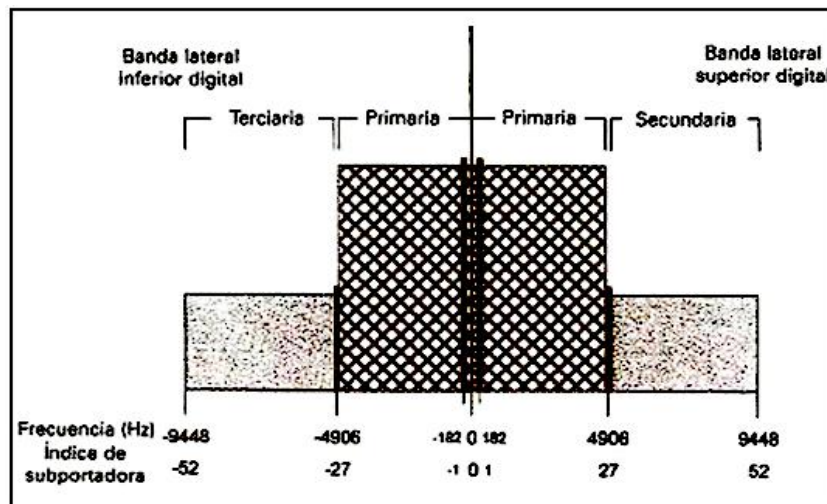
A su vez existe una banda terciaria ubicada en la parte baja de amplitud de la señal analógica y por último existe también la banda denominada primaria en los extremos opuestas de la banda superior e inferior de la banda de la señal digital, de lo cual se puede concluir que es una diferencia existente entre este modo de transmisión y el modo solo digital (para transmisiones en AM), en el que se sitúa solo en los extremos inmediatos de la referencia de frecuencia.

Este modo tiene algunas características específicas las cuales se señalan en la Tabla 3.2.

**Tabla 3.2 Características del Modo de Transmisión Híbrido para AM**

BANDAS LATERALES	RANGO DE SUBPORTADORA	FRECUENCIAS DE SUBPORTADORAS (EN Hz DESDE EL CENTRO DEL CANAL)	EXPANSIÓN DE FRECUENCIA EN Hz
Primaria superior	57 a 81	10356,1 a 14716,6	4360,5
Primaria inferior	-57 a -81	-10356,1 a -14716,6	4360,5
Secundaria superior	28 a 52	5087,2 a 9447,8	4360,5
Secundaria inferior	-28 a -52	-5087,2 a -9447,8	4360,5
Terciaria superior	2 a 26	363,4 a 4723,8	4360,4
Terciaria inferior	-2 a -26	-363,4 a -4723,8	4360,4
Referencia superior	1	181,7	181,7
Referencia inferior	-1	-181,7	181,7

*Modo de transmisión digital.* Para efectuar transmisiones digitales mediante el estándar IBOC, el espectro es como se indica en Fig. 3.7 en la que se verifica el punto de referencia de la portadora (0) y al rededor de este se identifican la banda primaria ocupada por las portadoras OFDM. Posteriormente alrededor de estas se encuentran los sectores secundarios y terciarios que en combinación con los demás conforman en su totalidad la banda ocupada por la señal digital.



**Fig. 3.7 Espectro de Frecuencia Modo de Transmisión Digital. (Tomas Pérez Bendito, 116)**

De igual manera que en el modo híbrido de transmisión, este modo posee características particulares las cuales son resumidas y mostradas en la Tabla 3.3

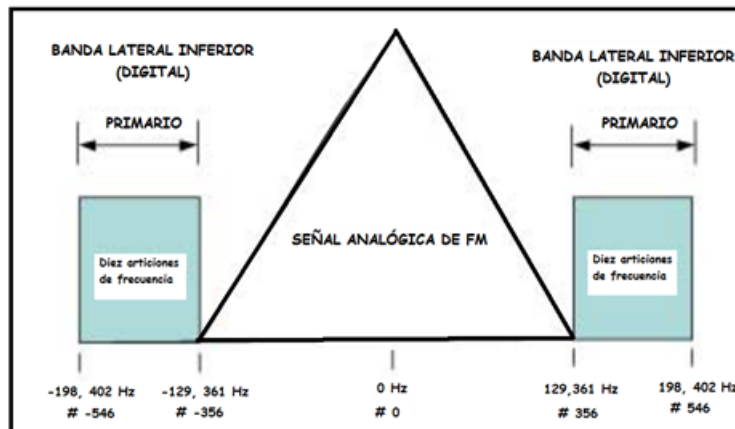
**Tabla 3.3 Características Principales de los Modos de Transmisión Digital**

BANDAS LATERALES	RANGO DE SUB PORTADORA	FRECUENCIA DE SUBPORTADORA (En Hz desde el centro del canal)	EXPANSIÓN DE FRECUENCIA EN (Hz)
Primaria Superior	2 a 26	363,4 a 4723,8	4360,5
Primaria Inferior	-2 a -26	-363,4 a -4723,8	4360,5
Secundaria	28 a 52	5087,2 a 9447,8	4360,5
Terciaria	-28 a -52	-5087,2 a -9447,8	4360,5
Referencia Superior	1	181,7	181,7
Referencia inferior	-1	-181,7	-181,7

Las transmisiones FM efectuadas en este tipo de modulación mediante la utilización del sistema IBOC se realiza por medio de tres modos: Modo híbrido, híbrido ampliado y digital:

**Modo híbrido.** Mediante este modo, la señal digital es transmitida en dos bandas laterales que encierran a su vez a la señal analógica, en este modo la señal digital es reducida en amplitud respecto a la señal analógica. Dichas bandas laterales están formadas por diez particiones de frecuencia, y en ellas se encuentran las subportadoras moduladas en OFDM.

Cada banda lateral contiene de 356 a 546 portadoras y a su vez también contiene una referencia de subportadoras, quien juega un papel importante a la hora de efectuar la demodulación. Las bandas laterales tienen la misma amplitud y son afectadas en igual proporción. El espectro de la portadora para este modo de transmisión se indica en la Fig. 3.8.



**Fig. 3.8. Espectro de frecuencia modo de transmisión híbrido para FM**

Las características principales de este modo de funcionamiento se muestran en la Tabla 3.4.

**Tabla 3.4 Características mas Importantes del Modo Híbrido para FM.**

BANDAS LATERALES	NÚMERO DE PARTICIONES DE FRECUENCIA	RANGO DE SUBPORTADORA	FRECUENCIA SUBPORTADORA (En Hz desde el centro del canal)	EXPANSIÓN DE FRECUENCIA ( Hz)
PRIMARIA SUPERIOR	10	356 a 546	129,361 a 198,402	69041
PRIMARIA INFERIOR	10	-356 a -546	-129,361 a -198,402	69041

Una de las ventajas que proporciona este modo de funcionamiento es permitir diversidad en el tiempo entre ambas señales. La señal analógica es retardada con respecto a la señal digital con la finalidad de lograr una sincronización entre ambas señales. Esto es garantía para que el receptor conmute al funcionamiento solo analógico cuando se presente una gran cantidad de bits erróneos de la señal digital. Es decir entonces que la señal analógica sirve de respaldo a la señal digital.

**Modo híbrido ampliado.** En este modo se agregan al espectro anterior hasta cuatro particiones más de frecuencia. Su número depende de los servicios que se deseen prestar entre las bandas comprendidas en los extremos del espacio analógico y las bandas laterales (con las subportadoras OFDM), quienes contienen la información digital.

Una ventaja de este modo de funcionamiento, es que permite la recepción del programa tanto por lo nuevos receptores digitales como por los receptores analógicos.

Al igual que el modo anterior también permite efectuar diversidad en el tiempo para realizar un retardo entre ambas señales y lograr de esta manera una sincronización para la misma situación anterior.

Este modo amplía el ancho de banda de la señal digital, y va en búsqueda de eliminar la señal analógica. Una vista del comportamiento de frecuencia del modo híbrido extendido se indica en la Fig. 3.9.

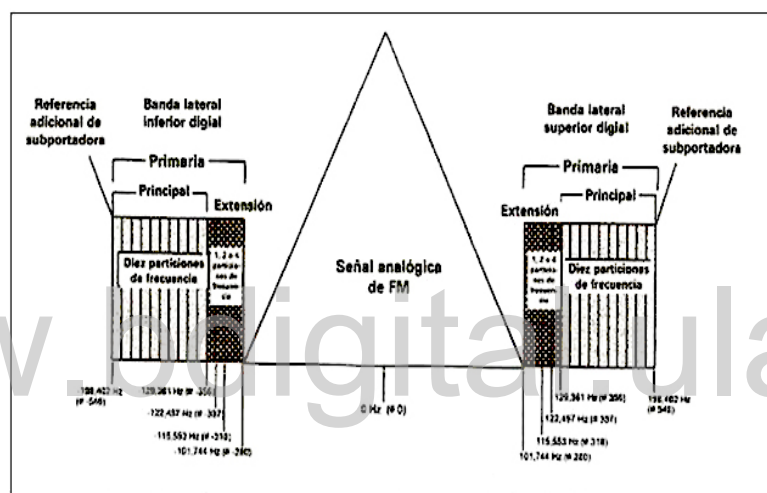


Figura. 3.9. Espectro de frecuencia modo Híbrido Ampliado FM. (Tomas Pérez Bendito, 120)

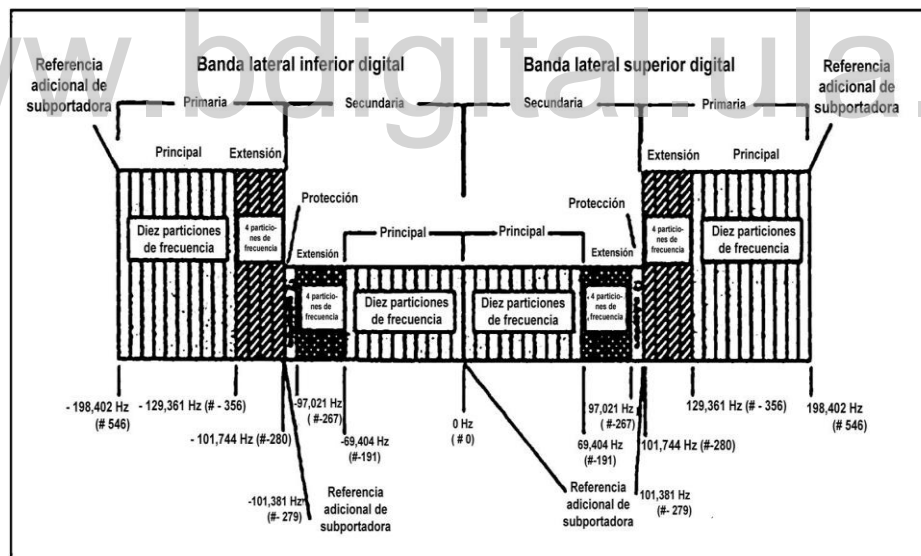
Las características principales del modo híbrido ampliado se resumen en la Tabla 3.5.

Tabla 3.5 Características más Relevantes del modo de transmisión ampliado para FM.

BANDAS LATERALES	NÚMERO DE PARTICIONES DE FRECUENCIA	RANGO DE SUBPORTADORA	FRECUENCIAS DE SUBPORTADORA	EXPANSIÓN DE FRECUENCIA	OTROS
PRIMARIA SUPERIOR	10	356 a 546	129,361 a 198,042	69041	Incluye referencia adicional en la subportadora 536
PRIMARIA INFERIOR	10	-356 a -546	-129,361 a -198,042	69041	Incluye referencia adicional en la subportadora -536
PRIMARIA SUPERIOR EXTENDIDA (PRIMERA PARTICION DE FRECUENCIA)	1	337 a 355	122,457 a 128,997	69041	

**Modo de transmisión digital.** Con este modo, la transmisión que se efectúa es solo de señales digitales, y es éste quien permite un funcionamiento óptimo del estándar IBOC para la transmisión de señales digitales. Este será el único modo a utilizar cuando ya los receptores analógicos no existan; es decir que se de el apagón analógico en la radio.

Este modo, expande en su totalidad el ancho de banda del contenido digital, debido a que el espectro analógico está ocupado por nuevas particiones de frecuencia, las cuales en total corresponden a un número de 10. Cada una de estas es acompañada de sus correspondientes extensiones, que se conforman de hasta cuatro particiones de frecuencia, las cuales determinan el número de servicios a prestar. Por otra parte permite aumentar la potencia de la señal digital. En la Fig. 3.10 se observa el comportamiento en frecuencia de una señal FM transmitida mediante este modo, así como las diferentes bandas que conforman el espectro de la señal y otros elementos.



**Figura. 3.10 Espectro de Señal en Modo digital para FM (Tomas Pérez Bendito, 122)**

Las características más relevantes del modo de transmisión totalmente digital para FM, al igual que los anteriores se expresan en la Tabla 3.6

**Tabla 3.6 Características del Sistema en Modo de Transmisión Digital**

BANDAS LATERALES	NÚMERO DE PARTICIONES DE FRECUENCIA	RANGO DE SUBPORTADORA	FRECUENCIAS SUBPORTADORAS	EXPANSIÓN DE FRECUENCIAS (Hz)	OTROS
Primaria principal inferior	10	-356 a -546	-129,361 a -198,042	69041	Incluye referencia adicional en la subportadora 536
Primaria superior extendida	4	380 a 355	101.744 a 128,997	272523	
Primaria inferior extendida	4	-380 a -355	-101.744 a -128,997	69041	
Secundaria principal superior	10	1 a 190	0 a 69041	69041	Incluye referencia adicional en la subportadora 0
Secundaria principal inferior	10	-1 a -190	-363 a 69041	68678	
Secundaria inferior extendida	4	191 a 266	69404 a 96657	27253	
Secundaria superior extendida	4	-191 a -266	-69404 a -96657	27253	
Secundaria superior de protección		267 a 269	97021 a 101381	4360	Incluye referencia adicional en la subportadora
Secundaria inferior de protección		-267 a -269	-97021 a -101381	4360	Incluye referencia personal en la subportadora 279

### 3.6.4 Elementos Funcionales de un Transmisor para IBOC

Dentro del funcionamiento de este sistema se encuentran algunos elementos esenciales, dentro de los cuales tenemos:

- Codificador y compresión de la fuente de audio.
- Codificación del canal.
- Entrelazado de tiempo y frecuencia.



- Generador de señal OFDM.
- Subsistema de transmisión.

**Codificador y compresión de audio.** El objetivo principal de éste es disminuir las velocidades binarias necesarias para lograr de esta manera que la transmisión de audio se efectúe con una alta calidad, esto se logra mediante la utilización del decodificador y el compresor de fuente.

Para efectuar la compresión del audio este estándar (IBOC) hace uso de un algoritmo que se basa en los efectos psicoacústicos del oído humano, con el que se logra una calidad de audio en los canales de 96Kbs.

Cuando es aplicado éste estándar para emisiones de FM los codificadores utilizados son diferentes a los de AM. Por ejemplo para FM se utilizan decodificadores basados en tecnologías MPEG (2AAC) y también el PAC, quienes funcionan a diferentes velocidades binarias según el flujo de los datos.

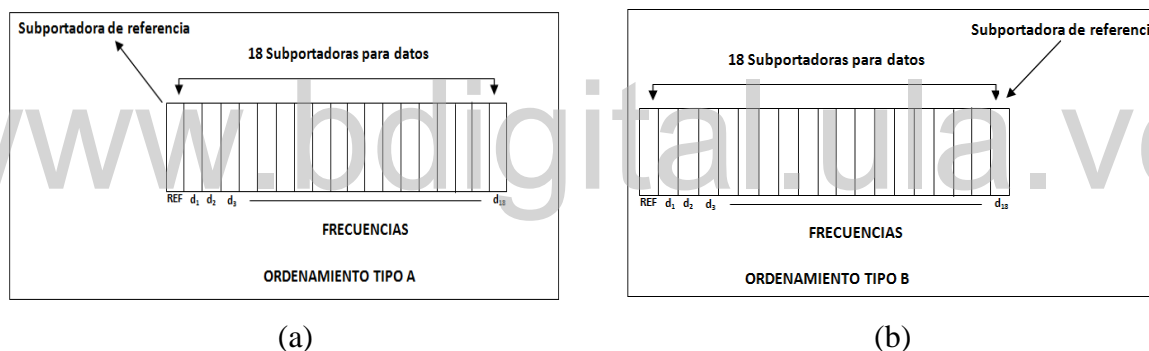
**Codificación de canales.** Se encarga de corregir los errores que pueden llevar consigo las señales transmitidas. La técnica utilizada para lograr la corrección de estos se basa en añadir bits de redundancia.

Generalmente los errores que frecuentemente se presentan son producidos entre transmisor-receptor por interferencias, ruidos, etc. Estos son corregidos en el receptor mediante técnicas de corrección que funcionan adecuadamente si la distribución de errores es de manera aleatoria.

Existen casos en los cuales los errores ocurren en intervalos de tiempo muy largos, así como también existen los errores producidos por desvanecimiento de frecuencias los cuales implican la necesidad de efectuar un proceso de entrelazado en el tiempo o en frecuencia de los datos, y a su vez un reordenamiento en la recepción; esto con la finalidad de que la técnica sea aplicada en forma correcta y, a la vez, garantizar que el error sea corregido.

**Generación de una señal OFDM.** Como se menciona una señal OFDM es una técnica de comunicación que consta en dividir un canal de frecuencias en un número de frecuencias equiespaciadas entre si para que a su vez en cada banda sea transmitida una sub-portadora quien a su vez lleva consigo una porción de información del usuario.

Una señal OFDM es una técnica de multiplexado multiplicadora, generalmente usadas en las comunicaciones digitales de banda ancha y su ventaja es que su funcionamiento en condiciones de extrema interferencia es excelente. En OFDM aplicada a IBOC las subportadoras se reúnen en grupos llamadas divisiones en frecuencia, cada una de estas divisiones esta conformada por 18 subportadoras que son utilizadas para el envío de datos y otra que se usa como referencia, la cual es de tipo A o B, estas pueden ser identificadas en la Fig. 3.11 (a) y 3.11 (b)



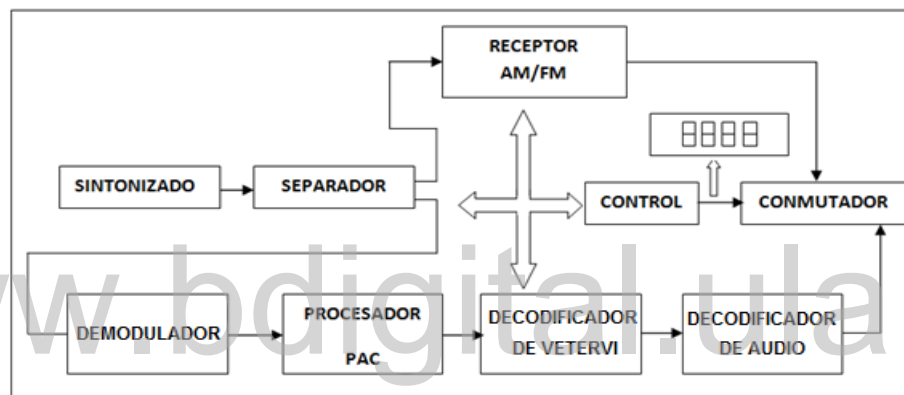
**Figura. 3.11 (a) Subportadoras Reunidas en Arreglo tipo A, (b) Subportadoras Reunidas en arreglo tipo B para una señal OFDM.**

**Entrelazado.** Es utilizado en procesos de transmisión digitales con la finalidad de proteger y corregir la información frente a posibles errores que hagan de la señal captada por el receptor sea defectuoso.

**Subsistema de transmisión.** Es la última etapa en el proceso funcional del estándar, y básicamente permite que la señal llegue a su destino final, es decir a los receptores. Este sistema esta incluido en el transmisor.

### 3.6.5 Receptor IBOC

El receptor utilizado por este estándar puede adoptar dos maneras de funcionamiento, las cuales están relacionadas con los modos en el que sea transmitida la señal (modos de transmisión IBOC). Esto quiere decir que el podría utilizarse como receptor de señales portadoras moduladas digitalmente o también para permitir la sintonía de señales cuya modulación sea analógicas. Actualmente este modo de funcionamiento es el más frecuentemente utilizado (modo híbrido de funcionamiento). La Fig. 3.12 muestra como está básicamente constituido dicho receptor.



**Figura. 3.12 Estructura Básica de un Receptor Híbrido IBOC.**

La unidad de recepción de señales IBOC, es similar a la utilizada por DAB, a continuación se efectuara un estudio de la estructura del mismo, basada en elementos que resultan muy importantes y esenciales para éste entre los cuales se tiene:

**El sintonizador.** Está conformado por un oscilador y mezclador, que son circuitos clásicos de sintonía de RF, quien permite obtener la frecuencia intermedia de operación, cuyo valor generalmente es de 10,7 MHz. Posee un filtro a la salida, quien permite que el único valor de frecuencia que se transfiere sea ese mismo, evitando de esta manera la presencia de múltiples radiofrecuencias en el oscilador. Además, el sintonizador puede contar en su interior con un PLL que facilita la sintonía automática.

**Separador.** Identifica y separa los contenidos de las señales analógicas y digitales ubicados en las subportadoras para luego direccionarlas a sus circuitos correspondientes. El diseño de este dispositivo, se basa en filtros que operan en el dominio del tiempo, para de esta manera identificar la naturaleza de las señales y poder separar las mismas.

**Receptor AM-FM.** Reciben la señal, la cual es amplificada y demodulada para obtener finalmente las señales en la banda base destinada a los amplificadores de potencia del equipo.

Cuando se este trabajando en modulación FM, el receptor contara con la presencia de un decodificador de la señal estéreo y un indicador para dar información de tal situación.

**Receptor digital.** Se encarga de las subportadoras, que son moduladas en OFDM, con la finalidad de buscar los siguientes propósitos:

- Desmodular la información digital contenida en los canales, para obtener las señales analógicas de audio en la banda base determinada. Luego estas son aplicadas al conmutador electrónico, y posteriormente son trasladadas a las etapas de potencia del equipo para la reproducción del audio en los dos canales.
- Identificar, desmodular y separar los datos adicionales con la finalidad de hacer que estos sean transportados al usuario.

Una vez efectuado los pasos previamente nombrados, esta señal es llevada a un control en el cual se gestiona su presentación y visualización en una LCD alfa numérica.

**Demodulador.** Está destinado a demodular las señales OFDM lo que permite obtener el flujo de los datos de transporte.

**PAC.** Es un descompresor, cuyo funcionamiento se basa en el procedimiento porcentual audio Códec. El cual efectúa la separación del audio en sub-bandas para analizarlas después y eliminar de ellas los datos que no pueden ser captados por el oído humano.

**Descodificador de Viterbi.** Es un circuito de detección de errores, los cuales son corregidos mediante procedimientos de detección en los métodos descritos anteriormente los cuales son empleados en la radio y televisión digital.

**Decodificador de audio.** Recibe los datos corregidos y separa los canales de audio, para reagrupar sus muestras para obtener palabras de 16 bits por canal. Esta señal posee en su estructura un doble convertidor digital analógico con la finalidad de obtener las señales analógicas destinadas a la reproducción. A su vez este puede contar también con la incorporación de sobremuestreo en la entrada y un filtro pasa bajo en la salida con la finalidad de facilitar y garantizar una mejor reconstrucción de la señal analógica de audio.

**Conmutador.** Comprende un conmutador electrónico de dos canales, en sus entradas se encuentran las señales de audio digitales y analógicas. Con él se selecciona las entradas que pasan a las entradas de los amplificadores de audio del equipo, dando prioridad a los datos procedentes del receptor digital.

**Control.** Es encargado de las gestiones de las funciones del receptor. Se basa en un microcontrolador el cual cuenta con una memoria ROM o EEPROM la cual posee la programación de gestión.

### 3.6.6 Ventajas del IBOC

Son muchos los beneficios aportados por este estándar dentro de cuales destacan:

- El audio es de muy buena calidad para ambas técnicas de modulación (AM y FM).
- Evita las interferencias, con lo cual se garantiza que la señal sea más robusta, a su vez esto hace que la transmisión sea más confiable tanto para los receptores móviles como fijos.
- La eficiencia en la utilización del espectro de frecuencia es mayor.
- Permite la transmisión tanto de audio como de datos y facilita la manipulación de los receptores.

- Mediante subdivisiones de frecuencia, permite duplicar la propagación, y en consecuencia una estación de radio que este operando bajo este estándar fácilmente podría transmitir dos programas simultáneamente.
- Otra ventaja de la utilización de este estándar es que permite la transición de una estación analógica a digital sin tener que hacer mayores modificaciones, es decir con una inversión económica aproximadamente de 30.000 a 200.000\$.

### **3.6.7 Desventajas del IBOC**

Al igual que los demás estándares, IBOC también posee aspectos que no son favorables en algunas circunstancias, dentro de los cuales están:

- Requiere la compra de nuevos equipos de transmisión y de la licencia para software, que es propiedad de Ibiqy. La licencia para efectuar transmisiones básicas de señales digitales y analógicas en los Estados Unidos tiene un costo entre 5.000 y 10.000\$. Pero en el caso que se requieran más servicios el precio de la licencia oscila entre 30.000 y 100.00\$.
- Cuando en los canales adyacentes hay emisoras pequeñas y analógicas las interferencias pueden afectarlas en gran proporción.
- En modulación AM, las transmisiones nocturnas se vuelven inestables a causa de las condiciones de propagación utilizadas por este estándar.
- La capacidad de transmisión de datos es limitada.
- La AM en Estados Unidos opera con canales de 40KHz, en el caso de otros países la AM tiene una separación de 30 KHz y 20KHz lo que puede impedir su operación adecuada.
- El hecho de que sea un nuevo estándar, implica nuevos receptores cuyos precios están sobre los 100\$.

### **3.7 DRM (DIGITAL RADIO MONDIALE)**

A nivel mundial existen numerosos receptores de AM cuya tecnología que operan analógica analógicamente, debido a que los transmisores, receptores y equipos usados para efectuar estas transmisiones son económicamente más accesibles, y por otra parte las áreas de cobertura de las estaciones de radio suelen ser mayores.

Sin embargo, estas circunstancias no han logrado que la era de la digitalización no afecte dichas técnicas de transmisión; por lo que se ha hecho necesario desarrollar nuevos métodos que permitan una evolución sencilla para pasar de la era analógica a una era digitalizada, en la que las ventajas son mayores, tanto para el usuario como para la estación de radio propiamente dicha. Es aquí entonces cuando surge un modelo conocido con el nombre de DRM, el cual es bastante útil como una alternativa para mantener en funcionamiento la difusión en AM, ya que permite operar en el rango de frecuencias existente (150 KHz – 30 MHz). El estándar DRM nace como una propuesta formulada por un consorcio durante el año 1998 en Guangzhou (China) y cuya sede actualmente se ubica en París, Francia. Esta cualidad de ser un consorcio, hace de este estándar una técnica accesible y libre de dueño alguno.

DRM es el resultado del trabajo de más de 80 radiodifusores, fabricantes y otros grupos, quienes transformaron e impulsaron este estándar, fue convalidado por la UIT (Unión Internacional de Telecomunicaciones) en el año 2003, además cuenta con la aprobación del estándar IFC62272-1 otorgado por el IEC (Comité Internacional de Electrónica/*Electrotechnical Commission*) bajo la referencia TS101980V1.1.1.

Permite entre otras cosas no sólo mejorar la calidad del audio, si no que otorga una fiabilidad durante la recepción así como proporciona una mayor funcionabilidad. Este estándar ayuda el cambio de la tecnología analógica por la digital de los radiodifusores, además de que es un estándar cuya tecnología no tiene un dueño único, lo que facilita económicamente su utilización en las transmisiones de señales.

### **3.7.1 Ubicación en el Espectro de Frecuencias del DRM**

Este estándar propone para su funcionamiento un rango de frecuencias diferentes a los existentes hasta ahora, comprendido entre los 150 KHz y 30 MHz

### **3.7.2 Características del Estándar DRM**

De igual manera que los estándares anteriores, DRM también tiene algunas características particulares tal como afirma Hernández Pérez, F. (2006), entre las que están:

**Flexibilidad.** Permite al estándar tener la capacidad particular de poder acceder al flujo o tren de bits en cada uno de los componentes del sistema (audio, protección y corrección de errores). A su vez, también permite configurar estos bits de acuerdo a la banda asignada al servicio y del uso previsto dentro de dicha banda.

**Canalización.** Este estándar DRM, fue designado para ser usado en la banda o canal de frecuencia actual (canales de 9 o 10 KHz). Pero además, de ser necesario, DRM permite disponer de un canal con rango de banda mayor bien sea para audio o cualquier otra tarea que se quisiera efectuar, esto quiere decir que canaliza los canales hacia el ancho de banda requerido para efectuar cualquier transmisión.

**Calidad de audio.** Para lograr una mejora de audio, el estándar DRM utiliza la técnica avanzada de MPEG4-AAC. La cual es complementada con la técnica de replicación de banda espectral (SBR), esta aporta una capacidad de 25 Kbps.

Otras técnicas de codificación de audio de menor calidad, que permiten a este estándar liberar espacio, son utilizadas para otras tareas; entre estas técnicas se podría mencionar la CELP-MPEG4, la cual es usada para codificar voz hasta 10 Kbps, el HVXC para transmisiones de muy baja velocidad de hasta 6kbit/s.

**Protección de errores e igualación del canal.** El estándar DRM al igual que los anteriores utiliza la técnica de entrelazado temporal, y la corrección de errores sin canal de retorno (FEC/ Forward Error correction) con codificación multinivel basada en el código convolucional.

**Transmisión en una red de frecuencia.** Permite que las transmisiones se hagan mediante redes que emiten en una sola frecuencia. Así como además brinda la posibilidad al receptor de seleccionar automáticamente la frecuencia más adecuada para un programa, en cualquiera de las bandas que se este transmitiendo.

### 3.7.3 Especificaciones del Estándar DRM

Es un estándar libre y universal las especificaciones técnicas del sistema DRM han sido estandarizadas por organismos internacionales competentes en la materia, mediante normas establecidas por ellos. Estos organismos son:



- El ETSI (Instituto Europeo de Normas de Telecomunicaciones), quien desarrolla estándares en el área de comunicaciones, y además responsable de elaborar en septiembre del año 2001 ETSI(ES) bajo la cual DRM posee la cualidad de estándar para ser utilizado para la transmisión de radiodifusión sonora digital. Posteriormente la norma fue modificada en julio del 2.004 por última vez.
- La CEI (La Comisión de Electrónica Internacional), fue el otro organismo que dio a DRM la atribución de estándar mediante la norma IEC 62272-1 durante el año 2008.

### 3.7.4 Modos de Transmisión del DRM

Para superar todas las causas adversas durante el proceso de transmisión, el sistema DRM posee cuatro modos de transmisión A, B, C, D. Los cuales poseen parámetros particulares y que permiten obtener grandes beneficios. Estos parámetros permiten elegir según sea el tipo de propagación de la señal, la velocidad binaria de codificación y la modulación. Lo que sin duda resulta ser interesante e importante a la hora de efectuar la transmisión ya que la adecuada selección de estos parámetros permite recibir la señal transmitida con muchísima más calidad y de cierta forma garantizar el área de cobertura para una estación de radio. Estos cuatro modos de transmisión son resumidos en la Tabla 3.7.

**Tabla 3.7 Modos de Transmisión DRM para Condiciones de Propagación y Bandas de Frecuencias.**

<b>MODOS DE TRANSMISIÓN</b>	<b>CONDICIONES TÍPICAS DE PROPAGACIÓN</b>	<b>BANDAS DE FRECUENCIAS</b>
<b>A</b>	Canales de onda con desvanecimiento reducido	Ondas Kilométricas y Hectométricas
<b>B</b>	Canales selectivos en tiempo y frecuencia con dispersión de retardo superior	Ondas Hectométricas y Decamétricas
<b>C</b>	Como el modo de robustez B pero con dispersión Doppler Superior	Solo Ondas Decamétricas
<b>D</b>	Como el modo de robustez B pero con dispersión Doppler Superior	Solo Ondas Decamétricas

El modo A, Esta conformado para que entregue la mayor velocidad binaria posible con cobertura mediante onda superficial. El B, es la opción que se puede utilizar cuando se requiera efectuar servicios con cobertura por onda Ionosférica.

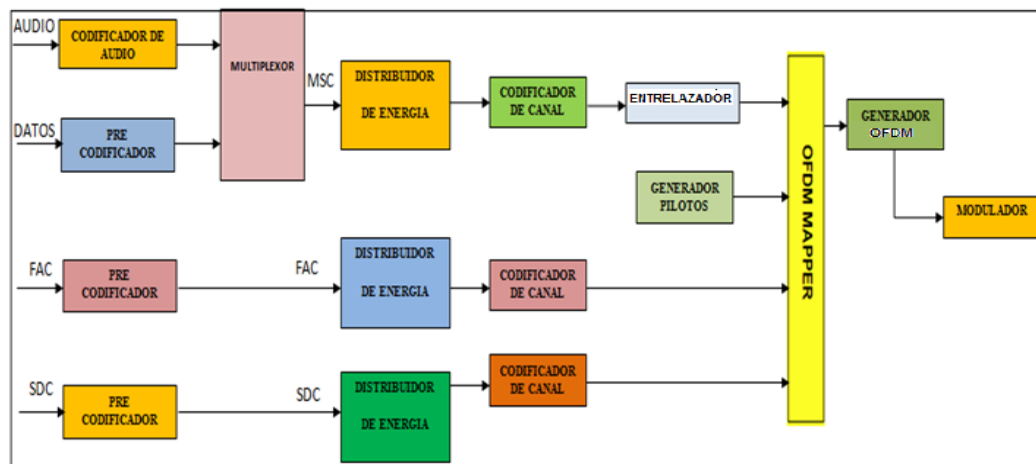
Los modos C y D, se usan cuando hay presencia de condiciones Ionosférica más exigentes, tales como en trayectos largos con saltos múltiples o cuando se producen fuertes reflexiones.

La característica importante de los modos de transmisión más robustos, es que tienen el efecto de poder reducir la velocidad binaria, lo que influye en la calidad de audio, y que a su vez, le permite a cada modo de transmisión poder escoger el ancho de la banda ocupada por la señal a transmitir. Esto varía de acuerdo al tipo de propagación que se utilice o se desee aplicar para la transmisión (Onda larga, media, corta).

### 3.7.5 Generador de una Señal DRM

Cuando se desea generar una señal a través de la técnica del estándar DRM es necesario realizar o disponer de un circuito que comprenda los componentes que se muestran en la Fig.

3.13.



**Figura. 3.13 Generador de una Señal DRM.**

Como se puede observar en la Fig. 3.13, existen tres medios para conducir la información, los cuales podría resumirse en dos canales prácticamente como:

- Canal de servicio principal ( MSC)

- Canal de información Rápida (FAC y SDC)

A su vez, existen otros componentes que conforman el total de la estructura necesaria para poder efectuar y generar estos dos canales, los cuales son:

**Codificadores y Pre-codificadores de fuente de audio y datos.** Estos hacen que los datos y bits se adapten a los formatos digitales adecuados al sistema DRM. Básicamente la señal de audio se convierte en digital, luego es multiplexada con las otras señales de datos y se forma la señal que se va a transmitir.

La codificación del Audio en el sistema DRM, se pueden hacer mediante la aplicación de cualquiera de las tres opciones siguientes:

- MPEG 4 AAC + SBR = hasta 72 Kbps (solo estero)
- MEPEG 4 CELP + SBR= entre 4 y 20 Kbps (solo voz)
- MEPEG 4 HVXC + SBR= entre 2y 4 Kbps (solo voz)

Cuando se codifica el audio mediante AAC (Advanced Audio Coding), es por que se esta transmitiendo radiodifusión estéreo, con su debida protección a error.

Por ejemplo para Onda Media (OM). Se puede utilizar una configuración estándar de 23,6 kbits/seg o 10 Kbs.

Para transmitir una señal de voz mediante radiodifusión mono, se utiliza la codificación CELP (Code Excinted linear Prediction) cuando se requiere baja velocidad binaria o una protección contra errores baja.

La codificación HVXC (Hamanic Vector Exitation Coding), también suele ser usada cuando se están transmitiendo voz; pero se requiere velocidad binaria mucho más baja que en las anteriores, y protección frente a errores más robustas.

**Multiplexor de servicio principal.** Realiza una combinación de los niveles de protección de todos los servicios de datos y audio.

**Distribución de energía.** Es afectado por repeticiones prolongadas de datos (0 o 1), lo que a su vez afecta al proceso digital de la señal así como el proceso de transmisión de la misma. Es un elemento que efectúa la inserción determinística de bits, y así evita que se transmitan secuencias indeseadas.

**Audio y datos.** Emplean algoritmos de compresión y codificación para conseguir la mejor calidad que sea posible en los datos y señales a transmitir.

Los datos y audio son combinados en el canal principal, el cual a su vez está conformado por dos canales subsidiarios de información (FAC, Fast Access Channel) y SDC, (Service Descripción Channel), cuya función es hacer que el receptor pueda identificar los parámetros de transmisión y de decodificación.

El canal Principal (MSC) Contiene toda la información y todos los servicios contenidos en el multiplex, quien puede tener de uno hasta cuatro servicios a la vez, este canal también es utilizado para la selección rápida de la información sobre parámetros del canal, como el ancho de banda, que tipo de modulación se utiliza, la profundidad del entremezclado o inclusive el número de servicios que contiene el canal, entre otros.

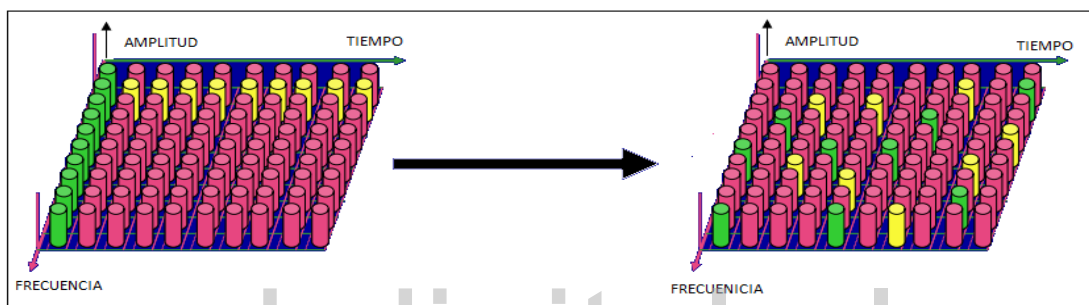
El canal de descripción de servicio (SDC, Service descripción channel), es por donde se transporta la información de audio y las frecuencias alternativas del servicio, a su vez permite por medio de la información contenida en él la codificación del canal del servicio principal.

El canal FAC (FAS ACCES CHANNEL). Permite al usuario a través del receptor efectuar una búsqueda rápida y fácil por medio del dial, además que proporciona información de los servicios presentes en el multiplex.

**Codificador de canal.** Añade información redundante, la cual es utilizada con la finalidad de lograr disminuir en una proporción los datos transmitidos para que estén libres de errores; para esto, hace uso de decodificación multinivel con lo que logra aumentar significativamente el nivel de optimización tanto en la codificación como en la modulación. Adicionalmente hace

uso para la corrección de errores de la técnica de entrelazado. La técnica de modulación empleada en esta codificación de canal son digitales QPSK Y QAM.

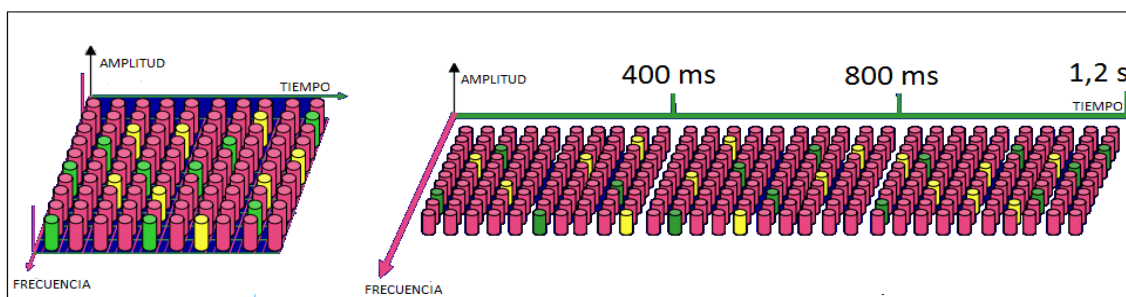
**Entrelazado.** Hace una dispersión de muestras moduladas en QAM del canal de servicio principal, en portadoras COFMD no consecutivas en el tiempo y la frecuencia. Garantizando con esto hacer del sistema más robusto ante posibles errores a la hora de efectuar la transmisión. La Fig. 3.14 permite observar gráficamente como es aplicada esta técnica a un grupo de muestras.



**Figura.3.14 Técnica de Entrelazado en el Tiempo.**

Existen 2 opciones de entrelazados. Fig. 3.15

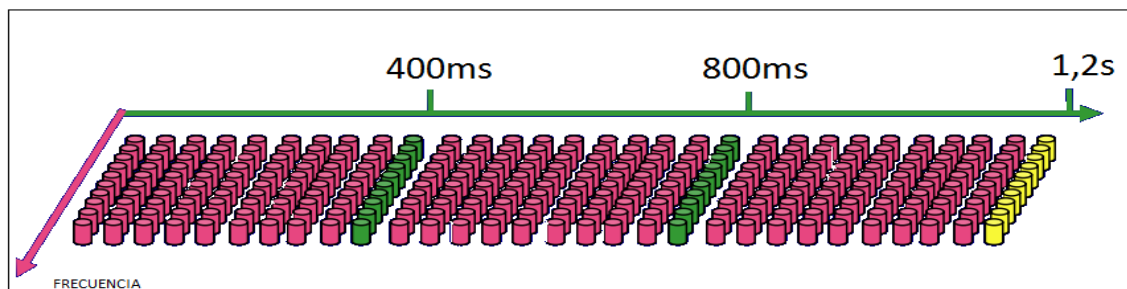
- Uno Corto, que tiene la duración de 400ms
- Uno Largo, cuya duración de trama es de 1,2seg.



**Figura. 3.15. Entrelazo en el Tiempo (corto y largo)**

**Generador Piloto.** Este dispositivo lo que hace es insertar portadoras codificadas en QAM con lo cual busca facilitar la sincronización y recepción.

**OFDM Mapper.** Es un recuperador de todas las portadoras que viajan a lo largo de los diferentes canales (MSC, SDC, FAC) y las coloca en una rejilla de tiempo-frecuencia. Esta distribución de células moduladas en QAM provenientes de cada canal es ordenada mediante el estándar DRM. Con este elemento las células quedan estructuradas en tramas cuya duración es de 400ms. Existen casos donde se presentan los denominados súper tramos, que son conformados por 3 tramas. Esta característica tan propia de este estándar puede observarse en la Fig. 3.16.

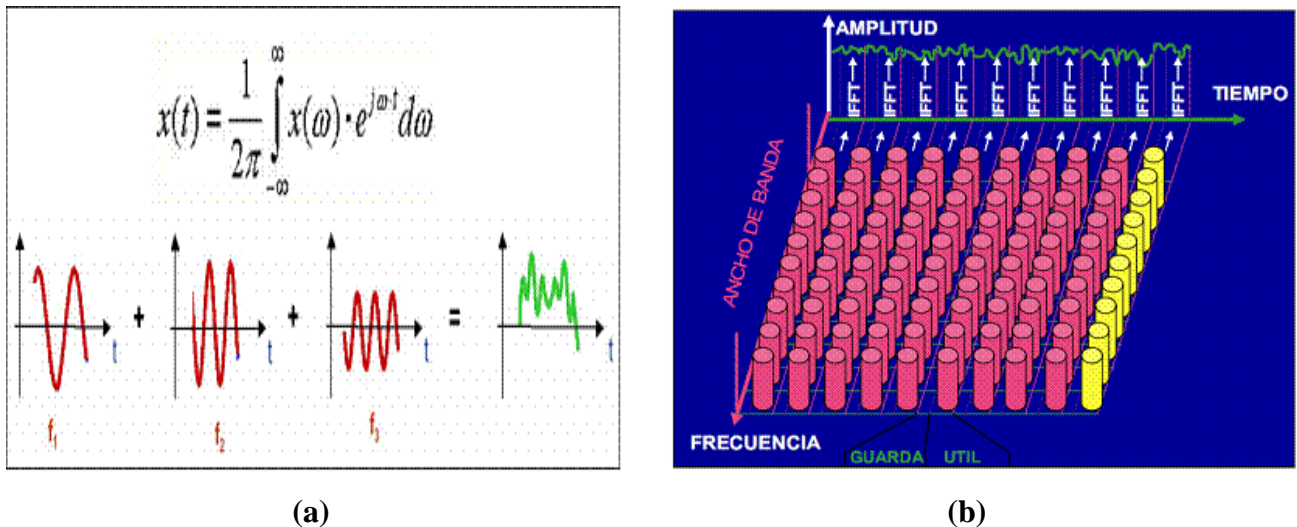


**Figura. 3.16 Estructura de un Supertramo**

Por otra parte, es importante mencionar que en las tramas el número de símbolos COFDM y el número de portadoras por símbolo están determinados por el modo de transmisión (A, B, C, D).

**Generador OFDM.** Convierte los símbolos en una representación en el dominio del tiempo, e inserta un intervalo de guarda que es una repetición de una parte de la señal. Esto se efectúa median la aplicación de la transformada inversa de Fourier.

Generalmente una señal COFDM, es un conjunto de células o tonos de diferentes frecuencias, amplitudes y fases conformadas por tres señales representativas que mediante la aplicación de la transformada inversa de Fourier a la suma de tres, permite obtener la representación en el tiempo de dicha señal. Fig. 3.17 (a) y Fig. 3.17 (b)



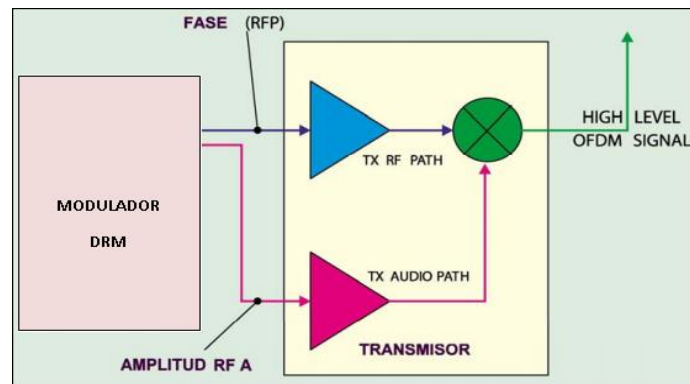
**Fig.3.17 (a) y (b) Resultado obtenido al Aplicar la IFFT a la Suma de Tres Señales**

**Modulador.** La IFFT (transformada inversa de Fourier) aplicada para DRM, es resultado de un proceso totalmente digital, por lo que entonces la señal obtenida es digital. El modulador es un dispositivo que convierte dicha señal digital en una analógica y la entrega de tal forma que pueda ser usada en el receptor. Además, se encarga de efectuar un proceso de filtrado con el cual se produce un enmascaramiento del espectro de frecuencia. La modulación utilizada por el sistema DRM, es COFDM, que es una técnica de modulación que se combina de técnicas para combatir los defectos que pueden sufrir la señal en el momento de transmisión en cualquiera de las bandas de transmisión DRM, bien sea onda larga, media o corta. Para el estándar DRM el número de subportadoras utilizadas varía entre 88 y 458, dependiendo exclusivamente tanto del ancho de banda, así como del modo que se este utilizando para transmitir.

### 3.7.6 Transmisor DRM

El objetivo del sistema DRM es lograr que los transmisores existentes puedan ser utilizados aunque haya que adaptarlos, pero siempre considerando dos requisitos fundamentales al momento de ser colocados en funcionamiento. Deben suministrar por lo menos una potencia pico de 10dB y su comportamiento debe ser lineal. Sin embargo el hecho de que los transmisores usados tengan que ser lineales, no elimina la posibilidad de poder usar también

transmisores no lineales, Fig. 3.18, pero para estos hay que considerar que la señal COFDM previamente tiene que ser dividida en dos componentes (amplitud y fase) antes de ser inyectadas al modulador, a diferencia de lo que ocurre con la señal cuando el transmisor utilizado es lineal, ya que esta es directamente aplicada al modulador.



**Figura. 3.18 Transmisor No Lineal para DRM**

### 3.7.7 Ventajas del estándar DRM

Sin duda alguna que la manera en que se han venido estudiando los diferentes estándares estos proporcionan una potencial oportunidad para avanzar tanto en la búsqueda de la utilización del espectro en forma eficiente, así como también en otros aspectos (Económicas, Sociales, Educativos, entre otros). Es por ello que el estándar DRM proporciona las siguientes ventajas:

- Da a la industria de radiodifusión sonora la posibilidad de desarrollar sus actividades e ir reemplazando progresivamente los receptores analógicos.
- Permite ampliar las zonas de cobertura de las estaciones radiodifusión.
- Permite a las personas tener la posibilidad de no solo recibir señales de audio con mejor calidad, si no que además permite obtener información mediante el uso de otros datos adicionales.
- Las distorsiones ocasionadas por el desvanecimiento y propagación multitrayectos y otras son superadas, por lo que permite que la señal transmitida sea eficiente y en consecuencia, la información en el receptor sea más parecida a la original.
- Es compatible con las bandas actuales y futuras.



- Permite hacer un máximo uso de la infraestructura existen actualmente, lo cual hace mucho menor el gasto económico a las emisoras.

### 3.7.8 Desventajas del Estándar DRM

Dentro de las desventajas que este estándar puede proporcionar están las siguientes:

- La transmisión de datos con la utilización de este estándar es limitada
- Las transmisiones en FM están en proceso de diseño aun.
- Para efectuar las transmisiones simultaneas (digital y analógico) aun esta siendo desarrollado.
- La disponibilidad de receptores es limitada.

## 3.8 ISDB (ESTÁNDAR INTEGRATE DIGITAL SERVICES BROADCASTING)

Nace como una solución versátil en cuanto a la digitalización de los sistemas de comunicación, ya que puede ser usado para las transmisiones tanto de televisión digital como de radio digital.

Fue desarrollado en Japón por la asociación ARIB, las primeras pruebas en el campo comenzaron en el año 1980 y finalmente fue aprobado como un estándar técnico en los años 1990. A su vez ISDB posee subestándares bases, como por ejemplo: El ISDB-S, el cual es usado para transmisiones de TV vía satelital; ISDB-T, mediante el cual se realizan transmisiones terrestre y el ISDB-C usado para efectuar transmisiones por cable.

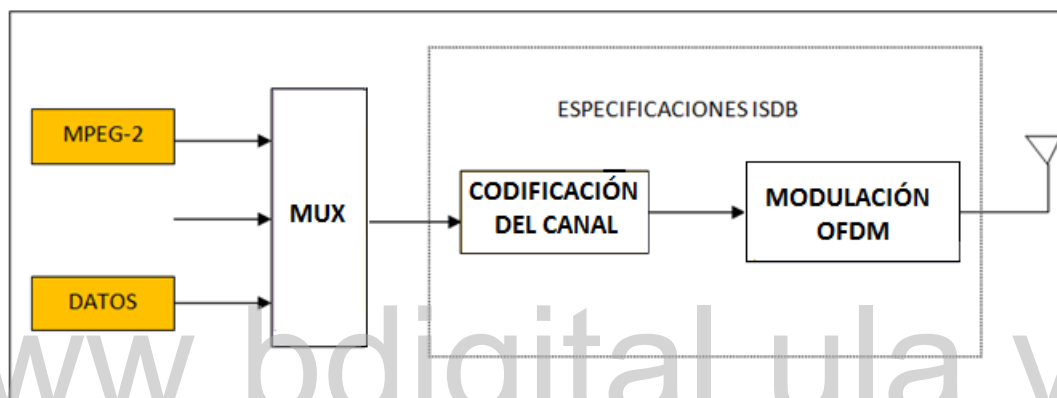
Estos subestándares son diseñados para funcionar en frecuencias y modulaciones determinadas, lo que hace posibles que puedan ser diferentes en cuanto a su funcionalidad se refiere por ejemplo:

- Para la banda de 12 GHz, se usa ISDB-S, y la modulación que se utiliza frecuentemente es PSK.

- Para las bandas VHF o UHF, se usa ISDB-T, y la modulación que se utiliza es M-QAM o QPSK.

### 3.8.1 Funcionamiento Básico y General del estándar ISDB

El funcionamiento en general y básico de un sistema de transmisión de radio digital mediante el estándar ISDB se describe como el indicado en la Fig. 3.19 El cual cuenta en su estructura el multiplex, entre otros componentes.



**Figura.3.19. Estructura Básica de un Sistema que Opera Bajo las especificaciones ISDB**

Para efectos de estudio será considerado en detalle el estándar ISDB, bajo las aplicaciones terrestres, esto quiere decir, que se estará mencionando constantemente el subestándar ISDB-T, que es aplicado a las transmisiones de radiodifusión sonora digital. Cuando ISDB fue creado en Japón, sus especificaciones funcionales se estandarizaron mediante la Asociación de la Industria Negocios de la Radio (ARIB).

### 3.8.2 Características del Estándar ISDB-T

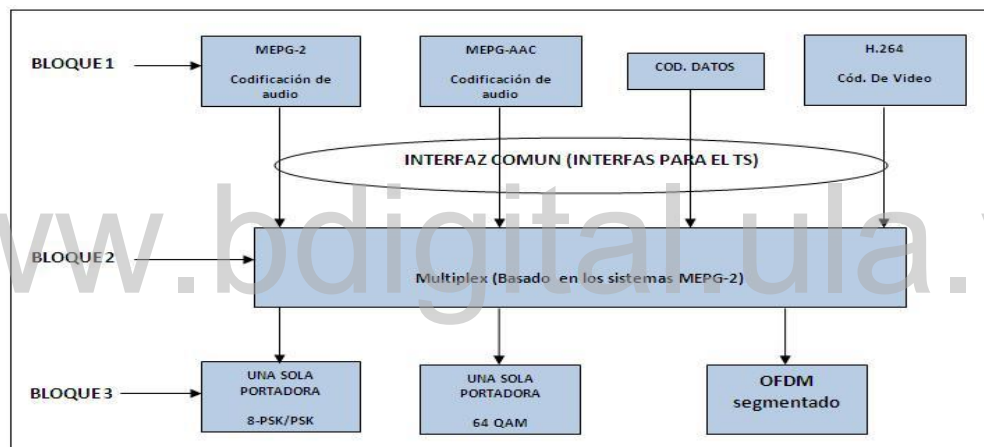
Este estándar, al igual que los demás, posee aspectos propios que lo describen dentro de los cuales están:

- Es capaz de otorgar una variedad de servicios de audio, datos y video.

- Hace de la señal transmitida más robusta a interferencias.
- Permite la existencia y utilización de receptores separados e integrados que permitan captar audio, video y datos.
- Acomoda redes de frecuencias únicas.
- Es compatible con servicios digitales y analógicos existentes.

### 3.8.3 Estructura del Sistema de Transmisión ISDB-T

Esta compuesto o conformado por tres bloques básicos, los cuales se pueden observar de manera ordenada en la Fig. 3.20.



**Figura. 3.20 Estructura Básica de un Transmisor ISDB-T**

**Codificación de fuente (bloque uno).** Integra el primer bloque funcional del sistema, el utiliza el formato AAC MPEG-2 para codificar el audio, que corresponde a un estándar normalizado internacionalmente por la norma ISO/IEC 13.818-7<sup>57</sup>, y que no es más que una extensión del sistema MPEG. AAC-MPE-2, es de un algoritmo cuya tasa es de 144Kbps y cuyo rendimiento es mayor al de MP3.

**Multiplexado.** Integra el bloque funcional 2; mediante él, se logra la conformación de una sola trama (PES), lo que permite obtener una reproducción sincronizada y continua, que se consigue con la combinación y uso de todos los datos provenientes de los canales bien sea de audio, video o datos. Por otra parte los contenidos que no son del tipo de flujo de datos (Datos

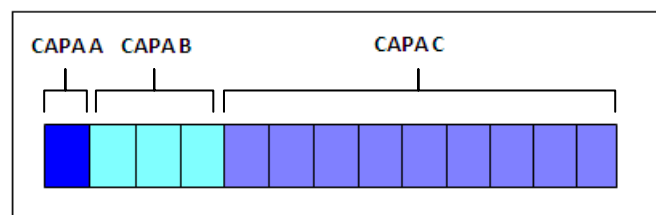
de archivos, etc.) son combinados en una trama de igual manera que los anteriores en otra trama denominada SECCION. Siendo estas 2 únicas tramas las que conforman la trama conocida con el nombre de flujo de transporte que suele ser abreviada con las siglas TS (Transport Stream).

El proceso de la multiplicación, que se efectúa mediante las tramas, hace posible que ocurra un aspecto importante como lo es la Jerarquización, que produce una diferencia interesante entre este estándar y los demás existentes, pues hace que el orden y la forma en la cual los datos son codificados y luego localizados en frecuencia en la modulación OFDM, sean distintos. La idea básica es subdividir la banda de transmisión en segmentos; para el caso del estándar ISDB se hace en 13 (segmentos), de los cuales, si se utilizara de ISDB-T, ISDB-S de los trece segmentos solo serian usados uno o tres.

Esta propiedad de uso de los diferentes segmentos proporciona dos ventajas frente a la modulación OFDM tradicionalmente conocida y utilizada anteriormente por los otros estándares obteniendo como resultado lo siguiente:

- Permite realizar la transmisión jerárquica; mediante la cual es posible efectuar ajustes a algunos parámetros de transmisión (la tasa de codificación y la profundidad del entrelazado), así como también hace posible poder asignar varios segmentos a un mismo servicio o capa individualmente de acuerdo a las necesidades y objetivos de los servicios a ser transmitidos.

En Figura 3.21, se pueden observar y comprender las tres capas existentes denominadas (capa A, capa B y capa C).



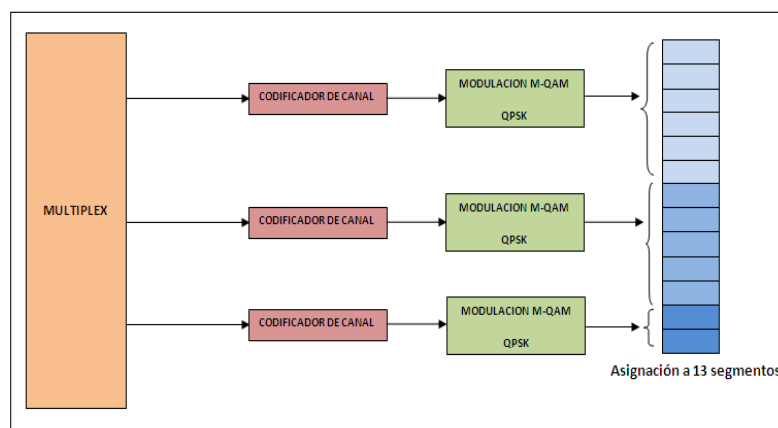
**Figura. 3.21. Cómo se Organizan las Capas Según el Uso de Segmentos**

La existencia de estas tres capas en ISDB-T es lo que origina la transmisión jerárquica, esta segmentación en capas, permite efectuar la asignación de estos segmentos según la necesidad de los servicios que se vayan a transmitir. Por ejemplo la capa A (formada por solo segmento) puede ser utilizada para la transmisión de audio, mientras que la capa B (conformada por tres segmentos) puede ser utilizada para transmitir video en definición normal; y la capa C puede ser usada para transmitir Video en alta definición.

➤ La recepción parcial, Es un caso especial de la transmisión jerárquica, ya que la codificación y el entrelazado son completamente auto contenidos dentro del segmento central de la banda de transmisión. El segmento puede ser recibido y decodificado independientemente de los otros 12 segmentos, resultando ser ventajoso cuando se realizan transmisiones a receptores portátiles que son comúnmente conocidos como receptores de un segmento que son más económicos que los receptores que pueden captar los 13 segmentos totales.

*Codificación del canal (bloque tres).* Esta conformado por los procesos en los que se efectúa la demultiplexación o separación de los datos que provienen de la etapa anterior (bloque dos), con la finalidad de realizar la codificación por separado para cada servicio o capa jerárquica.

La señal posteriormente, es sometida a un proceso mediante el cual se busca efectuar todas las correcciones necesarias para evitar en gran medida los errores que puedan perturbar la misma, Este proceso se efectúa mediante técnicas como entrelazado, dispersión, entre otros. Una manera sintetizada de comprender este proceso lo expresa la Fig.3.22



**Figura. 3.22 Codificación del Canal y Proceso de Jerarquización.**

### 3.8.4 Parámetros del Estándar ISDB

Inicialmente para este estándar, las frecuencias se concentraron en la banda VHF, aproximadamente dentro del rango de 188 y 192MHz. Lo cual permitiría que todas las emisoras existentes pudieran seguir efectuando sus transmisiones, hasta que llegara a desarrollarse y aplicarse completamente la digitalización de la radio.

Dentro de los parámetros que rigen el funcionamiento de este sistema se definen tres posibles ancho de bandas para los segmentos COFDM según el canal de referencia a ser utilizado (Canal de 6, 7 y 8 MHz), de los cuales a su vez un catorceavo de los canales es quien conforma el ancho de banda de cada segmento. Es decir:

- De un canal de 6 MHz, resulta un ancho de banda de 429 KHz (6 MHz/14 MHz)
- De un canal de 7 MHz, resulta un ancho de banda de 500 KHz (7 MHz/14 MHz)
- De un canal de 8 MHz, resulta un ancho de banda de 571 KHz (8 MHz /14 MHz)

Este ancho de banda queda a consideración según sea la necesidad de cada país y selecciona de acuerdo a la ubicación de frecuencias del mismo. Algo importante de mencionar es que actualmente esto es regularizado por la norma ISDB-T, que especifica que el ancho de banda del segmento debe ser 5.7 MHz. Lo que representa el 99% de la energía radiada.

### 3.8.5 Modos de Transmisión del ISDB

Para efectuar una transmisión en ISDB existen tres modos útiles, que a su vez son responsables de otorgar una gran variedad de frecuencias útiles, según lo que se desee transmitir, así como por otra parte también permite tener 4 posibles longitudes de intervalos de guarda para el diseño de una transmisión.

El uso adecuado de estos tres modos de transmisión, mejoran la recepción y a su vez facilitan el proceso de corrección de errores producidos durante la transmisión de señales. Estos 3 modos y algunos otros aspectos pueden ser observados en la Tabla 3.8.

**Tabla 3.8 Modos de Transmisión del Sistema ISDB-T, S, C.**

<b>MODOS DE TRABAJO</b>	<b>MODO I</b>	<b>MODO II</b>	<b>MODO III</b>
<b>NÚMERO DE SEGMENTOS</b>	1	3	
<b>ANCHO DE BANDA DEL CANAL DE REFERENCIA</b>	6	7	8
<b>ESPACIAMIENTO ENTRE PORTADORAS</b>	4,5,5.3	2,2.31,3	1,1.2,1.3
<b>NÚMERO DE PORTADORAS DE ACUERDO AL NÚMERO DE SEGMENTOS</b>	109,323	217,649	433,1297
<b>MODULACIÓN DE PORTADORAS</b>	DQPSK	QPSK	QAM

### 3.8.6 Ventajas del estándar ISDB-T

Son numerosas las mejoras que este estándar al igual que todos los demás estándares proporcionan, dentro de las cuales están:

- Alta calidad en el audio, esto se debe a que aplica técnicas que permiten la compresión del mismo.
- Facilita la selección de la programación en una estación de radiodifusión.
- Robustez a la señal a transmitir, pues la hace mas fuerte a las posibles interferencias a las que esta sometida durante el proceso de transmisión.
- Flexibilidad, ya que permite por medio de un mismo ancho de banda o canal transmitir diferentes datos.
- Aporta ventajas importantes relacionadas con la potencia usada en la transmisión ya que mediante este estándar la utilizada durante el proceso de suele ser menor.

### 3.8.7 Desventajas del estándar ISDB-T

Entre las desventajas que puede proporcionar la utilización de este estándar están:

- Por ser un estándar relativamente nuevo es poco utilizado por diferentes países.
- Fue creado en principio para ser utilizado solo en Japón lo que ha retardado el proceso de desarrollo de este estándar para la utilidad del mismo en otros países.

### 3.9. ESCENARIO ACTUAL DE LA RADIODIFUSIÓN DIGITAL EN ALGUNOS PAÍSES

En el mundo, el desarrollo de la radio digital ha venido creciendo de diversa formas en cuanto a la aplicación de los estándares se refiere, ya que cada país conforme a sus necesidades tecnológicas en esta materia, recurre a un estándar que le permite adecuar la funcionabilidad del mismo a las estaciones de radio existentes en ellos. En tal sentido, se resume en la Tabla 3.9. una muestra de la aplicación de estos estándares en algunos países.

**Tabla 3.9. Estándares Adoptados a por Algunos Países**

PAÍSES	ESTÁNDAR
1. Australia	DAB-DRM
2. Bélgica	DAB
3. Alemania	DAB-DRM
4. Hong Kong	DAB
5. Israel	DAB
6. Chile	IBOC
7. Francia	DAB-DRM
8. Filipinas	IBOC
9. Italia	DAB
10. Japón	ISDB
11. Noruega	DAB
12. Sudáfrica	DAB
13. Brasil	IBOC-DRM
14. Tailandia	IBOC
15. España	DAB
16. China	DAB
17. Estados Unidos	IBOC
18. Puerto Rico	IBOC
19. Indonesia	IBOC
20. Suecia	DAB
21. México	IBOC
22. Gran Bretaña	DRM
23. India	DRM

En atención a la tabla 3.9, la utilización de los estándares se puede graduar conforme a la aplicación en los distintos países, siendo que de la cantidad de 23 países más de 50 % prefieren la aplicación de estándar DAB, quedando el DRM en segundo lugar en aplicación



para dejar al IBOC y ISDB en tercer y cuarto lugar, respectivamente; estos datos conforme a la investigación de la Escuela Politécnica Nacional (s/f).

[www.bdigital.ula.ve](http://www.bdigital.ula.ve)

# **CAPÍTULO IV**

## **COMPARACIÓN ENTRE LOS ESTÁNDARES Y PROPUESTA DEL ESTÁNDAR DE RADÍO DIGITAL PARA EL PAÍS**

Una vez analizados, en los capítulos anteriores, los estándares utilizados en las transmisiones de radio digital, en este capítulo, se realizara la comparación entre ellos para formular una propuesta del estándar que debe ser adoptado en Venezuela, tomando para ello en consideración aspectos técnicos y económicos.

### **4.1 COMPARACIÓN ENTRE LOS ESTÁNDARES**

En atención de los diferentes caracteres, bajo los parámetros de frecuencia de operación, ancho de banda, modulación de portadoras, técnica de compresión de audio, transmisión de información permitida, modos de transmisión y aspectos económicos, se establece una relación comparativa entre los estándares de radiodifusión sonora digital DAB, IBOC, DRM, ISDB, realzando las ventajas y desventajas atinentes al punto de vista técnico y económico.

De los resultados obtenidos, se presentan un análisis descriptivo que abarca la funcionalidad de cada estándar y las variantes que se presentan en cada uno conforme a su eficacia y eficiencia; este sistema comparativo se lleva a cabo por medio de una representación de cada estándar en la Tabla 3.10, la cual se presenta a continuación.

**Tabla 3.10 Resumen de las Características y Algunos Aspectos Técnicos y Económicos de los Estándares de Radiodifusión Digital**

<b>ESTÁNDAR</b>	<b>DAB</b>	<b>IBOC</b>	<b>DRM</b>	<b>ISDB</b>
<i>Frecuencia de Operación</i>	Entre 300 MHz y 3GHZ	<b>Para AM:</b> 530 KHz-1.710KHz <b>Para FM:</b> 88MHz-108 MHz	150 KHz-30MHz	Bandas VHF ó UHF
<i>Ancho de Banda</i>	20 KHz para el Audio	Depende del modo de transmisión y de si se esta usando AM O FM	Banda actúan de 9KHz ó 10KHz, ero que depende de los datos a transmitir	Existen 3 Canales con diferentes Anchos de banda. 1) Canal de 6 MHz, cuyo ancho de banda es de 492KHz 2) Canal de 7MHz
<i>Modulación de Portadoras</i>	COFDM	OFDM	OFDM	OFDM
<i>Técnica de Compresión de Audio</i>	MPEG	MPGE	MPEG	MPEG
<i>Transmisión de Información Permitida</i>	Audio y datos Adicionales	Audio y otros datos adicionales, dependiendo de la licencia obtenida	Audio y otros datos adicionales.	Audio y otros datos adicionales
<i>Modos de Transmisión</i>	4 Modos, cuyas características se observan en la Tabal 3.1	Dependiendo si la transmisión es en FM o AM. Las características de cada modo se observan en la Tabla,3.2, 3.3, 3.4, 3.5 y 3.6 Respectivamente	3 modos de transmisión, cuyas características son detalladas en la Tabla 3.7	3 Modos de transmisión, cuyas características están detalladas en la Tabla 3.8
<i>Aspectos Económicos</i>	Requiere una inversión considerable en nuevos equipos	Requiere una inversión económica mas costosa, ya que es necesario poseer una licencia ara poder usar el software	No muy Elevada en comparación con la requerida por los estándares anteriores	Por el hecho de ser un estándar aplicado a televisión digital y útil bajo los algunos principios para radio digital, la inversión económica es menor. Pero los equipos receptores

En este orden de ideas, analizado la información presentada en la tabla 3.10, se puede concluir lo siguiente:

- Existen aspectos técnicos que son comunes entre los estándares, que buscan mejorar el uso del espectro de frecuencia haciéndolo más eficiente, implicando una mejora significativa en los niveles de energías necesarios en el proceso de transmisión, ya que estos niveles suelen ser menores.
- Las mejoras efectuadas en las transmisiones de audio, representan una ventaja común entre todos los estándares, a pesar de que cada uno de ellos difieren en la aplicación de la técnica MPEG utilizada.
- Los estándares DAB, IBOC, DRM, ISDB permiten enviar ya no solo audio, sino además también datos. Aunque es de aclarar que hay estándares como el IBOC que por ser propiedad de una corporación (Ibiquy), requieren de una licencia para la aplicación del software, cuyo costo oscila entre 5000 -10.000\$ para transmisiones sencillas y puede llegar a tener un costo de 100.00\$ para transmisiones más selectas o exclusivas. Algo similar ocurre con el estándar DRM, en cual la transmisiones de datos también es limitada pero ya no por aspectos económicos sino técnicos.
- Todos los estándares poseen diferentes modos de transmisión, más es de destacar que sólo el IBOC permite realizar transmisiones analógicas y digitales de señales.
- Los estándares mejoran y amplían las zonas de cobertura de las emisoras, lo cual marca un precedente en comparación con la tecnología que actualmente opera en Venezuela (tecnología analógica)
- Las técnicas de modulación utilizadas para las transmisiones AM y FM permiten una utilización indistinta entre ambas transmisiones bien de manera conjunta, o bien cada una por separado como sucede con el caso de DRM. En el cual la técnica FM aun esta en desarrollo.
- Se observa que cada estándar posee un rango de operación dentro del espectro de frecuencias; en tal sentido, existen algunos que proponen la creación de nuevas bandas de frecuencia (IBOC).
- El estándar ISDB se distingue de los demás, debido a que permite efectuar transmisiones, no solo de radio digital sino también de TV digital; más en un aspecto desfavorable este estándar en comparación con el DAB y IBOC, que son considerados como los más

desarrollados en cuanto a materia de transmisión digital de radiodifusión, dado su carácter limitativo ya que en principio fue considerado para ser aplicado sólo en Japón; sin embargo este factor ha venido variando con el transcurso del tiempo.

## **4.2 FORMULACIÓN DE LA PROPUESTA DEL ESTÁNDAR**

Luego de haber efectuado el estudio de los diferentes estándares de radiodifusión sonora digital y haber realizado una comparación entre ellos, se proponen los objetivos y la justificación que fundamentan la propuesta del estándar a recomendar.

### **4.2.1 Objetivo de la Propuesta**

Proponer un estándar para radio digital en el país, que permita la transición de la radiodifusión analógica a digital mediante la aplicación del mismo.

### **4.2.2 Propuesta**

En principio, las transmisiones de radiodifusión se efectuaban en forma analógica tanto para la modulación AM como FM, dicha transmisión incurría en ciertas desventajas derivadas principalmente de los altos niveles de potencia requeridos para efectuar las transmisiones, así como el uso ineficiente del espectro de frecuencias, el ancho de banda utilizado y audio (es muy vulnerable a las interferencias); en atención a esto, aproximadamente en la década de los 80 comienzan a aparecer nuevas alternativas de transmisión de radiodifusión basada en la digitalización del proceso. Ante estas nuevas formas de transmisión y la necesidad constante de avance en el área, esta técnica, de manera paulatina, se ha ido extendiendo hasta alcanzar en la actualidad, ser aplicada en casi todos los países.

En Venezuela, la tecnología de radiodifusión sonora mantiene vigente las técnicas analógicas, haciéndose presentes todas sus desventajas, siendo necesario un estudio que implique una propuesta que permita solventar esta problemática en la transmisión; a tales efectos, se comienza a desarrollar todo lo relacionado a los estándares de radiodifusión sonora digital, que permita la selección adecuada del estándar, conforme a las necesidades

tecnológicas y económicas del país. Proponiendo para tal fin, en principio, el estándar DAB por su compatibilidad y buen desempeño en las transmisiones de radiodifusión y la gran utilidad en muchos de países.

Dicha propuesta, se ratifica en el funcionamiento de este estándar dentro de un Rango de Frecuencia de Operación de 300 MHz - 3GHZ, haciéndolo propicio para las transmisiones de radio terrestre así como satelital, permitiendo el funcionamiento conjunto de la banda de frecuencia en la que opera la FM o Frecuencia Modulada, actualmente vigente en el país, de igual manera, del Ancho de Banda del Canal, usado sigue siendo de 20 KHZ, usando además modulación de Portadoras en base a la modulación COFDM, técnica esta consecuencia de la modulación OFDM, facilitando la corrección de errores y mejorando la recuperación de la señal original transmitida. También fue un factor importante en la selección de este estándar, las Técnicas de Compresión de Audio, empleadas bajo criterios de codificación MPEG-1 (MUSICAN-Masking Pattern Adapter Universal Sub-band Integrated Coding And Multiplexing), la cual hace uso de la condición psicoacustica del sentido de audición humana para una mejor utilización de las frecuencias involucradas en la señal a enviar, presentando los datos de salida en tramas, lo que permite adaptarse a diversas aplicaciones y que están regulados bajo la norma ISO 11172-3.

La Transmisión de Información permitida es otro aspecto a considerar para la elección de estándar, ya que admite enviar datos adicionales. Por otra parte la diversidad que posee este estándar en los modos de Transmisión, los cuales para su buen desempeño, dependen de parámetros como rango de frecuencia, número de portadoras, espacio entre portadoras, entre otros. Ahora bien, dentro del aspecto de la dinámica económica del país, la utilización de este estándar para el proceso de radiodifusión digital requiere una inversión para la adquisición de nuevos equipos, cuyo valor en comparación a la aplicación de otros estándares, resulta ser menos costosa, además de que permite la libre utilización del mismo sin previa solicitud de permiso alguno, ventaja considerada a favor de los usuarios y los dueños de la emisoras.

A demás, el DAB (estándar Digital Audio Broadcasting) ha comprobado su versatilidad en lo que a su funcionamiento respecta en los numerosos países en los que ha sido aplicado ara las transmisiones de radiodifusión , ya que entre otros aspectos permite conservar operativa la tecnología analógica existente, mientras se va impulsando la aplicación de las transmisión digital de la radio; esto es posible porque dicho estándar hace uso de otra banda de frecuencias diferente a la existente para efectuar las transmisiones digitales tal como se observa en la investigación de La Radio Popular y Comunitaria en la Era Digital (S/f). Por otra parte el DAB garantiza tener una excelente ventaja, que se refleja en los beneficios que este estándar incorpora novedosamente (envió de datos, textos, audio entre otros).

A pesar de considerar en primera instancia como estándar para ser aplicado en Venezuela el DAB, no puede quedar exento a esto, el hecho de que actualmente en el país se este implementando el estándar ISDB-T para transmisiones de televisión; el cual conforme al estudio que se realizó previamente, puede ser aplicado a las transmisiones de radiodifusión sonora digital, sin embargo el hecho de que ISDB-T sea un estándar relativamente nuevo y que en su comienzo fuese concebido como estándar a ser aplicado solo en Japón (país donde se origino) dejada latente cierta incertidumbre en cuanto a su utilización en las transmisiones de radio, ya que no ha presentado un amplio historial de aplicación en diferentes países del mundo, así como se explica en el portal web [http://www.dibeg.org/techp/feature/isdb-t\\_Spanish.pdf](http://www.dibeg.org/techp/feature/isdb-t_Spanish.pdf) (S/f). Bajo esta óptica de estudio, igualmente el estándar DRM a pesar de ser novedoso y permitir aumentar la calidad y el rendimiento de la modulación AM que según el profesor Hernán Pérez, F. (2006), se basa en el multiplex en frecuencia COFDM donde se distribuye el audio y datos; y en este sentido, mantiene el mismo ancho de banda de 10 KHz con potencia inferiores que las necesarias para trabajar con técnicas analógicas, dando así al estándar DRM, la posibilidad de permitir a las estaciones de radio una cobertura aceptables aplicado para la modulación AM hasta el momento.

Por otra parte, cabe destacar que dado el alcance tecnológico de la radiodifusión en Venezuela actualmente, no puede negarse la posibilidad de aplicar el estándar DRM para ser utilizado en el proceso de digitalización en las emisoras que operan en amplitud modulada

(AM) y, a tal efecto, se propone este estándar en segunda instancia, ya que actualmente Brasil ha suscrito un convenio con el consorcio que promueve y reglamenta todo lo relacionado con este estándar, por medio del cual es autorizado en la producción de receptores, lo observado bajo el enfoque diplomático que une a estos dos países( Venezuela y Brasil), se podría pensar en una disminución de la inversión económica inicial para la adquisición de dichos equipos.

Siguiendo esta línea de estudio, el estándar IBOC a pesar de que tecnológicamente propone mantener las bandas de frecuencia AM y FM, existe un inconveniente de carácter económico por cuanto su uso requiere adquirir una licencia cuyo pago debe efectuarse anual y dependiente de los datos transmitidos por una determinada estación de radio; de igual manera, representa una inversión mayor en transmisores y receptores. Además, el ancho de canal propuesto por el estándar para modulación AM es de 30 KHz siendo incompatible con el de Venezuela que es actualmente de 10 KHz, haciendo para su funcionabilidad necesario una adaptación de las frecuencias asignadas para la modulación de amplitud, lo que retardaría aun más el proceso de digitalización de la radiodifusión.

[www.bdigital.ula.ve](http://www.bdigital.ula.ve)



## CONCLUSIONES

- Con el surgimiento de la digitalización de radio, aparecen nuevas técnicas de modulación, las cuales son utilizadas en los transmisores digitales para conformar en su totalidad las señales portadoras, que dan origen a señales moduladas en COFDM y OFDM haciéndolas más robustas a las interferencias.
- La estructura de cualquier estación de radio esta fundamentada en tres aspectos que son: el estudio, transmisor y receptor. Estructura ésta, que indiferentemente de que la estación de radiodifusión sea utilizada para efectuar transmisiones analógicas o digitales, siguen siendo la misma.
- Una estación de radio que opere mediante la técnica de transmisión digital, puede hacerlo a través de transmisión satelital o también terrestre, las cuales tienen características propias y que, a su vez, son efectuadas mediante la aplicación de ciertos estándares que se encargan de definir todos los aspectos técnicos y de funcionalidad.
- Actualmente, existen bandas de frecuencias designadas para la operación de las diversas estaciones de radio analógicas, pero que pueden cambiar según el estándar utilizado en la tecnología digital.
- Existen aspectos comunes a cada estándar como son la flexibilidad, uso más eficiente del espectro de frecuencias, menor potencia requerida para efectuar las transmisiones, mejor audio, incorporación de novedosos y mejores servicios, entre otros. Es de señalar, que así como tienen semejanzas, difieren en cuando a sus modos de transmisión, modulaciones de portadoras y métodos para efectuar la compresión del audio.

- Tomando en consideración, todos los aspectos necesarios para la selección de un estándar para la digitalización de la radio, Venezuela posee características propicias para que se opte en primer término por el estándar DAB, que resulta ser el más indicado principalmente por su desempeño, alcance y desenvolvimiento en los aspectos técnicos considerados (frecuencia de operación, modulación de portadora, ancho de banda, entre otros) para tal estudio.
- Es segunda instancia, basados en el estudio de los estándares, se tiene el DRM como una posibilidad rentable para la amplitud modulada presente en el país, garantizando la modernización y supervivencia de la misma.
- En cuanto a los estándares IBOC, no se recomienda a implementar ya que su inversión económica implica el pago anual de una licencia para poder usar dicha tecnología, licencia cuyo precio varía de acuerdo a los datos adicionales que se deseen enviar. Por otra parte el estándar ISDB-T, no se recomienda usar en primera instancia, ya que su aplicación nace como una expectativa bajo la necesidad de Japón, país responsable del desarrollo del mismo y que además es un estándar relativamente nuevo, así como por otra parte el hecho de que no haya sido utilizado como es el caso de otros estándares (DAB, DRM, IBOC) a nivel mundial crea cierta incertidumbre para su aplicación.

## RECOMENDACIONES

Debido a que la radio es un medio sumamente utilizado en Venezuela, se propone las siguientes recomendaciones:

### *A CONATEL (Comisión Nacional de Telecomunicaciones) y al Poder Ejecutivo.*

- Estudiar la posibilidad de establecer un fondo económico mediante el cual se facilite la adquisición de equipos, laboratorios y recurso humano necesario, para efectuar de esta manera todas las pruebas y mediciones pertinentes, que permitan comprobar en principio el desempeño de la propuesta y verificar que los resultados sean los esperados. Por otra parte, sería necesario posteriormente a esto, establecer mecanismos que permitan a los propietarios de las estaciones de radios la adquisición de nuevos equipos, lo que representaría un incentivo para que hagan uso de las técnicas digitales aplicadas a la radiodifusión.
- Elaborar las modificaciones necesarias en su normativa, para mantener la coexistencia entre la transmisión a través de la técnica digital y la técnica analógica, buscando con esto poder hacer el proceso del apagón analógico de la radio en Venezuela en los mejores términos posibles, de manera que no se vean afectadas las partes involucradas en dicho proceso. Igualmente, realizar una comprobación, en un intervalo de tiempo adecuado, de la funcionalidad de las transmisiones de radio mediante la aplicación del estándar DAB como primera opción y del DRM.

### *A los Propietarios Estaciones de Radiodifusión.*

Aplicar la tecnología propuesta, utilizando los estándares DAB y DRM conforme a las capacidades requeridas en sus operaciones, ya que hace más sencillo el proceso de transición

de la tecnología analógica a la digital, Pues se fundamentan en el principio de las ventajas que la digitalización de la radio ofrece (envío de datos adicionales, mejoras del audio, entre otras).

[www.bdigital.ula.ve](http://www.bdigital.ula.ve)

## REFERENCIAS

- Amo, L. (2006, Diciembre). La FM Digital Sistema IBOC FM. Consultado el 07 de Octubre, de 2009. En: [http://coitt.es/res/revistas/Antena166\\_06a\\_Reportaje\\_FM\\_digital.pdf](http://coitt.es/res/revistas/Antena166_06a_Reportaje_FM_digital.pdf)
- ANEXO-BB. Servicio One-seg en un mismo canal. (S.f). Recuperado el 03 de Noviembre del 2009, de [http://www.dibeg.org/techp/feature/ANNEX-BB\\_spanish.pdf](http://www.dibeg.org/techp/feature/ANNEX-BB_spanish.pdf)
- Bonet, M (S.f). *La radio digital, estándares tecnológicos y plataformas de distribución.* Recuperado el 25 de Marzo del 2.009 en <http://www.acradio.org/download.php?id=26&-tipus=D&fitxer=29.pdf>
- Bruce Carlson, A. (1.980). *Sistemas de Comunicación.* Naulcalpan de Juárez: México. McGrawhill.
- Características del sistema DAB. (S.f). Recuperado el 26 de mayo del 2.009, de <http://www.televisiondigital.electronicafacil.net/Sections-article6-p1.html>
- Castells, M. (06/2001). *La Radio en la Convergencia Multimedia. Para ampliación, La Era de la Información. Vol. I: La Sociedad Red.* Recuperado el 1 de Julio del 2.009 en <http://www.librospdf.net/La-radio-en-la-convergencia-multimedia/1/>
- Centro Cultural Miscelánea. (S.f). La Tecnología Radiofónica; Curso básico de radio. Recuperado el 15 de mayo del 2.009, de <http://Recursos.cine.mec.es/media/radio/bloque1/index.html>
- Centro Cultural Miscelánea. (S.f). La Tecnología Radiofónica; Curso básico de radio. Recuperado el 15 de mayo del 2.009, de <http://recursos.cnice.mec.es/media/radio/bloque2/index.html>
- Centro Cultural Miscelánea. (S.f). La Tecnología Radiofónica; Curso básico de radio. Recuperado el 15 de mayo del 2.009, de <http://recursos.cnice.mec.es/media/radio/bloque3/index.html>
- Centro Cultural Miscelánea. (S.f). La Tecnología Radiofónica; Curso básico de radio. Recuperado el 15 de mayo del 2.009, de <http://recursos.cnice.mec.es/media/radio/bloque4/index.html>
- Centro Cultural Miscelánea. (S.f). La Tecnología Radiofónica; Curso básico de radio. Recuperado el 15 de mayo del 2.009, de <http://recursos.cnice.mec.es/media/radio/bloque5/index.html>
- Centro Cultural Miscelánea. (S.f). *La Radio por Dentro.* Recuperado el día 20 de Julio del 2.009 en: [http://www.hostingperfect.com/streaming/pdf/la\\_tecnologia\\_radiofonica.pdf](http://www.hostingperfect.com/streaming/pdf/la_tecnologia_radiofonica.pdf)
- Como Funciona la Radio Digital. (S.f). Recuperado el 26 de Mayo del 2.009, de <http://www.televisiondigital.electronicafacil.net/Sections-article8-p1.html>
- Cortes, E. (2004 Julio). La Radio Digital, Revista Chasquin N<sup>o</sup>89, 2004. Consultado el 07 de Octubre del 2.009. En: [http://www.legislaciones.amarc.org/Cortes\\_La\\_radio\\_digital.doc](http://www.legislaciones.amarc.org/Cortes_La_radio_digital.doc)

- Digital Broadcasting Expertos Group. (S.f). Recuperado el 02 de Noviembre del 2009, de [http://www.dibeg.org/techp/feature/ANNEX-AA\\_spanish.pdf](http://www.dibeg.org/techp/feature/ANNEX-AA_spanish.pdf)
- Digital Radio Mondiale. (S.f). Recuperado el 20 de Octubre del 2009 en [http://es.wikipedia.org/wiki/Digital\\_Radio\\_Mondiale](http://es.wikipedia.org/wiki/Digital_Radio_Mondiale)
- Digital Radio-The Sound of the future. (S.f). Recuperado el 07 de octubre del 2009 en <http://www.fcc.gov/cgb/consumerfacts/digitalradio.html>
- El Sistema DAB. (S.f). Recuperado el día 25 de Mayo del 2.009, de <http://www.televisiondigital.electronicafacil.net/sections-article5-p1.html>
- El sistema DAB. (S.f). Recuperado el día 20 de mayo del 2.009, de <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/11307/fichero/MEMORIA%252F7++Cap%EDtulo+1.pdf>
- El Sistema DRM (Digital Radio Mondiale).(S.f). Recuperado el 20 de Octubre del 2009, de [http://www.rtve.es/drm/doc/sistema\\_drm.pdf](http://www.rtve.es/drm/doc/sistema_drm.pdf)
- Escuela Politécnica Nacional (s/f). *Radiodifusión Digital Mediante Redes de Frecuencia Única.* Recuperado el 12 de Febrero de 2010, de <http://vieec.epn.edu.ec:8180/dspace/bitstream/123456789/1264/5/T%2011154%20caitulo%202.pdf>.
- Eureka 147. (S.f). Recuperado el 10 de mayo del 2.009, de [http://translate.google.co.ve/translate?hl=es&sl=en&u=http://www.worlddab.org/&ei=jBrRS\\_P1AYqIswPP1aHDCQ&sa=X&oi=translate&ct=result&resnum=1&ved=0CA8Q7gEwAA&prev=/search%3Fq%3Dwww.worlddab.org/%26hl%3Des](http://translate.google.co.ve/translate?hl=es&sl=en&u=http://www.worlddab.org/&ei=jBrRS_P1AYqIswPP1aHDCQ&sa=X&oi=translate&ct=result&resnum=1&ved=0CA8Q7gEwAA&prev=/search%3Fq%3Dwww.worlddab.org/%26hl%3Des)
- Frecuencias de Radio Digital DAB. (S.f). Recuperado el 25 de mayo del 2.009, de: <http://www.televisiondigital.electronicafacil.net/sections-article35-p1.html>
- Frecuencias. (S.f). Recuperado el 22 de Octubre del 2009, de <http://www.drm.org.es/art.php?cID=7&nID=21>
- Germano Gómez, G (Octubre 2.007). *Televisión y Radio Digital ¿Democratización o Mayor Concentración?* Recuperado el 15 de marzo del 2.009 en [http://www.apc.org/en/system/files/digital\\_TV\\_radio\\_ES\\_web.pdf](http://www.apc.org/en/system/files/digital_TV_radio_ES_web.pdf)
- HD Radio Descúbrelo, AM y FM digital. (S.f). Recuperado el 10 de Octubre del 2009 en [http://www.ickrom.com.mx/info/informacion\\_tecnica/hd\\_radio\\_descubrelo\\_am\\_y\\_fm\\_di.php](http://www.ickrom.com.mx/info/informacion_tecnica/hd_radio_descubrelo_am_y_fm_di.php)
- Hernández Pérez, F. (2006 Septiembre 23). Introducción al Sistema DRM. Consultado el 23 de Octubre del 2.009. En: [legislaciones.amarc.org/Cortes\\_La\\_radio\\_digital.doc](http://legislaciones.amarc.org/Cortes_La_radio_digital.doc)
- Huidobro, J. (S.f) *Notas sobre El Desarrollo de las Radiodifusiones.* Recuperado el 10 de Mayo del 2.009 en: [http://www.coit.es/foro/pub/ficheros/radiocomunicaciones\\_b6926155.pdf](http://www.coit.es/foro/pub/ficheros/radiocomunicaciones_b6926155.pdf)
- IBOC: The Tecnology Behinn Hd Radio Broasdcasting. (S.f). Consultado el 07 de Octubre, del 2009. Recuperado en [http://www.hd-radio.com/hd\\_radio/what\\_is\\_iboc\\_technology](http://www.hd-radio.com/hd_radio/what_is_iboc_technology)

ISDB-T. (S.f). Recuperado el 03 de Noviembre del 2009, de <http://es.wikipedia.org/wiki/ISDB-T>

La Radio Digital Terrestre. (S.f). Recuperado el 15 de agosto del 2009 de, [http://es.wikipedia.org/wiki/Radio\\_Digital\\_Terrestre#ESTÁNDARes\\_de\\_radio\\_digital](http://es.wikipedia.org/wiki/Radio_Digital_Terrestre#ESTÁNDARes_de_radio_digital)

Las Señales Digitales y Analógicas. (S.f). Recuperado el 10 de Julio del 2.009, de [http://www.kalipedia.com/tecnologia/tema/senales-analogicas-senales-digitales.html?x=20070822klpingtncn\\_137.Kes](http://www.kalipedia.com/tecnologia/tema/senales-analogicas-senales-digitales.html?x=20070822klpingtncn_137.Kes)

León W, C. (1.998). *Sistemas de Comunicaciones Digitales y Analógicos*. (5ª Edición) México. Prince Hall.

Modulación Digital: FSK-QSK-QAM. (S.f). Recuperado el 22 de abril del 2.009, de <http://www.electronicafacil.net/tutoriales/MODULACION-DIGITAL-FSK-PSK-QAM.html>

Modulación. (S.f). Recuperado el 3 de mayo del 2.009, de <http://w.w.w.qsl.net/ea2ak/modulacion.hmt>

Nakahara, S. (2003). Overview. ISDB-T for sound Broadcasting Terrestrial Digital Radio in Japan. [EN LINEA]. Consultado el 04 de Noviembre del 2009 en [http://www.rthk.org.hk/-/about/digitalbroadcasting/DSBS/ABU\\_AIR\\_2003/ses2.pdf](http://www.rthk.org.hk/-/about/digitalbroadcasting/DSBS/ABU_AIR_2003/ses2.pdf)

Normas de y reglamentación. (S.f). Recuperado el 23 de Octubre del 2009, de <http://www.drm.org.es/art.php?cID=8&nID=26>

Perales Bendito, T. (2.005). *Tecnología de los Sistemas DAB, DVB, IBOC Y ATSC. Radio y Televisión Digitales*. (4ª Edición). México. Pearson Educación México S.A. de C.V.

Prabakaran, D. (2.004 June). IBOC Technology for digital Radio. Consultado el 07 de Octubre, del 2009. En: <http://www.electronicsforu.com/EFYLinux/circuit/june2004/IBOC-tech.pdf>

Producción pro-radio. (S.f). Recuperado el 30 de Julio del 2.009, de <http://www.lectorias.com/radio.html>

Prof. Pietrosemoli, E. (S.f). *Guía de Estudio Comunicaciones I*. Mérida. Universidad de Los Andes. Escuela de Ingeniería Eléctrica. Mérida Venezuela.

Programas de Radio. (S.f). Recuperado el 22 de Octubre del 2009, de <http://www.drm.org.es/art.php?cID=5&nID=16>

¿Que es el sistema DAB de Radio? (S.f). Recuperado el día 20 de mayo del 2.009, de <http://www.lukor.com/ordenadores/05072901.htm>

Que es el DRM. (S.f). Recuperado el 21 de Octubre del 2009, de <http://www.drm.org.es/art.php?cID=3&nID=6>

Qué es la Radio Digital; Ventajas de a Radio Digital .(S.f). Recuperado el 03 de julio setiembre del 2.009, de [http://www.radiodigitalterrestre.com/radio/radio\\_ppal.htm](http://www.radiodigitalterrestre.com/radio/radio_ppal.htm)

Qué significa ISDB-T. (S.f). Recuperado el 6 de Noviembre del 2009, de <http://www.isdbt.org/joomla/isdbt.php>

- Radio Vs Televisión. (S.f). Recuperado el 25 de Julio del 2.009, de <http://www.monografias.com/trabajos23/radio/radio.shtml>
- Radio Vs Televisión. (S.f). Recuperado el 25 de Julio del 2.009, de <http://www.monografias.com/trabajos23/radio/radio.shtml>
- Radiodifusión digital de hoy. (S.f). Recuperado el día 10 de mayo del 2.009 en : [http://translate.google.co.ve/translate?hl=es&sl=en&u=http://www.worlddab.org/&ei=jBrRS\\_P1AYqIswPPlaHDCQ&sa=X&oi=translate&ct=result&resnum=1&ved=0CA8Q7gEwAA&prev=/search%3Fq%3Dwww.worlddab.org/%26hl%3Des](http://translate.google.co.ve/translate?hl=es&sl=en&u=http://www.worlddab.org/&ei=jBrRS_P1AYqIswPPlaHDCQ&sa=X&oi=translate&ct=result&resnum=1&ved=0CA8Q7gEwAA&prev=/search%3Fq%3Dwww.worlddab.org/%26hl%3Des)
- Reporte Técnico AIRB. Características del sistema ISDB-T. (S.f). Recuperado el 02 de noviembre del 2009, de [http://www.dibeg.org/techp/feature/isdb-t\\_Spanish.pdf](http://www.dibeg.org/techp/feature/isdb-t_Spanish.pdf)
- Rodríguez, R. (S.f). *DAB LA gran Desconocida*. Recuperado el día 29 de Mayo 2.009 en: <http://sociedadinformacion.fundacion.telefonica.com/urldirect/pdfgenerator?tipoContenido=articulo&idContenido=2009100116310245>
- Rodríguez, R.(15/04/2009) *DAB: La Gran Desconocida*. Recuperado el día 05 de julio del 2.009 en <http://sociedadinformacion.fundacion.telefonica.com/url-direct/pdf-generator?tipoContenido=articulo&idContenido=2009100116310245>
- Sistema Digital y Sistema Analógico: Concepto, ventajas y ejemplos. (S.f). Recuperado el 20 de abril del 2.009, de <http://www.monografias.com/trabajos27/analogico-y-digital/analogico-y-digital.shtml>
- The World DAB Fórum. (S.f). Recuperado el día 10 Junio del 2009 en: [http://translate.google.co.ve/translate?hl=es&sl=en&u=http://www.worlddab.org/&ei=jBrRS\\_P1AYqIswPPlaHDCQ&sa=X&oi=translate&ct=result&resnum=1&ved=0CA8Q7gEwAA&prev=/search%3Fq%3Dwww.worlddab.org/%26hl%3Des](http://translate.google.co.ve/translate?hl=es&sl=en&u=http://www.worlddab.org/&ei=jBrRS_P1AYqIswPPlaHDCQ&sa=X&oi=translate&ct=result&resnum=1&ved=0CA8Q7gEwAA&prev=/search%3Fq%3Dwww.worlddab.org/%26hl%3Des)
- Tipos de Modulación. Modulación de Señales Digitales Definición de Modulación: Modificación de algunos parámetros que definen una onda. (S.f). Recuperado el 01 de marzo del 2.009, de <http://www.slideshare-.net/javieralbarracin/tipos-de-modulacion-1295186>
- Ventajas de la Radio Digital ,(S.f). Recuperado el 27 de mayo del 2.009, de <http://www.televisiondigital.electronicafacil.net/Sections-article9-p1.html>
- Ventajas del DRM.(S.f). Recuperado el 21 de Octubre del 2009 de <http://www.drm.org.es/art.-php?cID=4&nID=12>
- Wayne, T. (2.003). *Sistemas de Comunicaciones Digitales*. (4ª Edición). México. Pearson Educación México S.A. de C.V.
- World DMB - DAB - Digital Radio.(S.f). Recuperado el 24 de Junio del 2.009, de [http://www.worlddab.org/introduction\\_to\\_digital\\_broadcasting/dab\\_digital\\_radio](http://www.worlddab.org/introduction_to_digital_broadcasting/dab_digital_radio)
- World DMB - Outline of the DAB System.(S.f). Recuperado el 24 de Junio del 2009, de [http://www.worlddab.org/introduction\\_to\\_digital\\_broadcasting/dab\\_digital\\_radio/how\\_dab\\_works](http://www.worlddab.org/introduction_to_digital_broadcasting/dab_digital_radio/how_dab_works)
- World DMB-Introducción al DAB/DAB+/DMB.(S.f). Recuperado el 24 de Junio del 2.009, de [www.worlddab.org/introduction\\_to\\_digital\\_broadcasting](http://www.worlddab.org/introduction_to_digital_broadcasting).