



Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica

**ESTUDIO DE FACTIBILIDAD TÉCNICA Y COMERCIAL EN  
LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE  
RADIODIFUSIÓN DIGITAL EN EL ESPECTRO DE  
FRECUENCIAS REGULADAS EN LA CIUDAD DE  
GUATEMALA**

**Victor Manuel Velásquez Yax**

Asesorado por el Ing. Enrique Edmundo Ruiz Carballo

Guatemala, marzo de 2009



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**ESTUDIO DE FACTIBILIDAD TÉCNICA Y COMERCIAL EN LA  
IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE RADIODIFUSIÓN  
DIGITAL EN EL ESPECTRO DE FRECUENCIAS REGULADAS  
EN LA CIUDAD DE GUATEMALA.**

TRABAJO DE GRADUACIÓN  
PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**VICTOR MANUEL VELÁSQUEZ YAX**  
ASESORADO POR EL ING. ENRÍQUE EDMUNDO RUIZ CARBALLO

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE  
**INGENIERO ELECTRÓNICO**

GUATEMALA, MARZO DE 2009

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Inga. Glenda Patricia García Soria
VOCAL II	Inga. Alba Maritza Guerrero de López
VOCAL III	Ing. Miguel Ángel Dávila Calderón
VOCAL IV	Br. José Milton De León Bran
VOCAL V	Br. Isaac Sultán Mejía.
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Enrique Edmundo Ruiz Carballo
EXAMINADOR	Ing. Gustavo Adolfo Villeda
EXAMINADOR	Ing. Francisco Javier González Lopez
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas

**HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**ESTUDIO DE FACTIBILIDAD TÉCNICA Y COMERCIAL EN  
LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE  
RADIODIFUSIÓN DIGITAL EN EL ESPECTRO DE  
FRECUENCIAS REGULADAS EN LA CIUDAD DE  
GUATEMALA,**

tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, el 04 de mayo de 2005.



Victor Manuel Velásquez Yax

Guatemala 02 de Marzo de 2009.

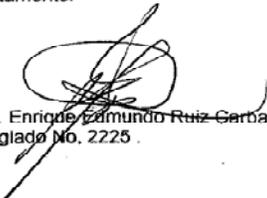
Ingeniero  
Julio César Solares Peñate  
Coordinador Área de Electrónica  
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica  
Facultad de Ingeniería  
Universidad de San Carlos de Guatemala.

Ingeniero Solares:

En forma atenta hago de su conocimiento que he revisado el trabajo de graduación titulado "ESTUDIO DE FACTIBILIDAD TÉCNICA Y COMERCIAL EN LA IMPLEMENTACION DE UN SISTEMA DE RADIODIFUSION DIGITAL EN EL ESPECTRO DE FRECUENCIAS REGULADAS EN LA CIUDAD DE GUATEMALA", desarrollado por el estudiante Victor Manuel Velásquez Yax y concluyo que el trabajo cumple con los objetivos propuestos.

Por lo tanto, el autor de este trabajo de graduación y yo como asesor nos hacemos responsables del contenido y conclusiones del mismo.

Atentamente.

  
Ing. Enrique Edmundo Ruiz Carballo  
Colegiado No. 2225





**FACULTAD DE INGENIERIA**

Escuelas de Ingeniería Civil, Ingeniería  
Mecánica Industrial, Ingeniería Química,  
Ingeniería Mecánica Eléctrica, Técnica  
y Regional de Post-grado de Ingeniería  
Sanitaria.

Ciudad Universitaria, zona 12  
Guatemala, Centroamérica

Guatemala, 4 de marzo de 2009

Señor Director  
Ing. Mario Renato Escobedo Martínez  
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica  
Facultad de Ingeniería, USAC.

Señor Director:

Por este medio me permito dar aprobación al Trabajo de Graduación titulado: "ESTUDIO DE FACTIBILIDAD TECNICA Y COMERCIAL EN LA IMPLEMENTACION DE UN SISTEMA DE RADIODIFUSION DIGITAL EN EL ESPECTRO DE FRECUENCIAS REGULADAS EN LA CIUDAD DE GUATEMALA", desarrollado por el estudiante Víctor Manuel Velásquez Yax, ya que considero que cumple con los requisitos establecidos.

Sin otro particular, aprovecho la oportunidad para saludarlo.

Atentamente,

**ID Y ENSEÑAD A TODOS**

  
Ing. Julio César Solares Peñate  
Coordinador de Electrónica





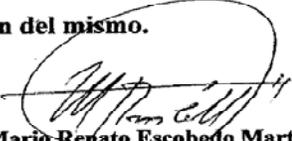
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS  
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

REF. EIME 11.2009.

**El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, después de conocer el dictamen del Asesor, con el Visto Bueno del Coordinador de Área, al trabajo de Graduación del estudiante; Victor Manuel Velásquez Yax, titulado: ESTUDIO DE FACTIBILIDAD TÉCNICA Y COMERCIAL EN LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE RADIODIFUSIÓN DIGITAL EN EL ESPECTRO DE FRECUENCIAS REGULADAS EN LA CIUDAD DE GUATEMALA, procede a la autorización del mismo.**

  
**Ing. Mario Renato Escobedo Martínez**  
**DIRECTOR**



GUATEMALA, 04 DE MARZO 2,009.



Universidad de San Carlos  
de Guatemala



Facultad de Ingeniería  
Decanato

Ref. DTG. 064.2009

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, al trabajo de graduación titulado: **ESTUDIO DE FACTIBILIDAD TÉCNICA Y COMERCIAL EN LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE RADIODIFUSIÓN DIGITAL EN EL ESPECTRO DE FRECUENCIAS REGULADAS EN LA CIUDAD DE GUATEMALA**, presentado por el estudiante universitario **Víctor Manuel Velásquez Yax**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

Ing. Murphy Olimpo Paiz Recinos  
DECANO



Guatemala, marzo de 2009

/cc



## DEDICATORIA A:

<b>Dios</b>	Por permitirme alcanzar un objetivo más en mi vida.
<b>Mis padres</b>	Manuel José Velásquez y Josefina Esther Yax Gutiérrez
<b>Mis hermanos</b>	Sergio, William, Sandra y Alfredo, por la solidaridad incondicional con un servidor.
<b>Dr. Ernesto Guevara</b>	Por el ejemplo que nos dejó con sus actos sociales.
<b>Nehemías Velásquez</b>	Por esa amistad incondicional en aquella época. (D.E.P).
<b>Diego Norato Cortez</b>	Al amigo incondicional y principal responsable de estudiar esta carrera, Diego misión cumplida perdón por la demora. (D.E.P).



## **AGRADECIMIENTOS A:**

Dios, por brindarme cada día lo necesario para disfrutar de la vida y de quienes me rodean.

Mi familia, por todo el apoyo en cada uno de mis aciertos y desaciertos.

Melvin Amílcar Cayax, por ser parte fundamental de esta carrera.

La familia Cayax Raymundo, por brindarme el primer apoyo en esta ciudad.

La familia Raymundo Álvarez, por ser parte de aquel apoyo que un estudiante necesita.

La familia Ortiz Tórtola, por ese gran apoyo y confianza a un desconocido en aquel entonces.

Todos los compañeros que compartieron y apoyaron a un servidor en el recorrido académico.

Los compañeros que me han brindado su amistad y me apoyaron durante mi vida estudiantil, en especial a María Elena, Coni, Erika, Melvin, Jorge, Giovanni, Omar, Allan y Gatica.

Carolina Ramírez, por ser tan especial y comprensiva.

El ingeniero Enrique Ruiz, por el asesoramiento de este trabajo de graduación.

La ingeniera María Elena, madrina de graduación, compañera y amiga.

El pueblo de Guatemala principal responsable de esta casa de estudios.

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	VII
LISTA DE SÍMBOLOS.....	IX
GLOSARIO.....	XI
RESUMEN.....	XIII
OBJETIVOS.....	XV
INTRODUCCIÓN.....	XVII
1. TEORÍA GENERAL DE LA RADIODIFUSIÓN COMERCIAL.....	1
1.1 Radiodifusión AM.....	1
1.1.1. Espectro electromagnético. ....	2
1.1.2. Radiofrecuencia.....	2
1.1.3. Usos de la radiofrecuencia.....	5
1.1.4. Bandas de frecuencia destacadas.....	7
1.1.5. Frecuencias de uso libre por el público.....	7
1.2 Radiodifusión AM digital DAB. ....	7
1.2.1. Codificador Musicam. ....	12
1.2.2. Multiplexor.....	15
2. ANTECEDENTES HISTÓRICOS DE RADIODIFUSIÓN DIGITAL ....	17
2.1 Descubrimiento de las Ondas Hertzianas.....	18
2.2 Nuevas aportaciones a la telegrafía sin hilos:.....	18
2.3 W. Marconi:.....	19
2.4 Conferencias Radiotelegráficas Internacionales:.....	22
2.5 Balbuceo Radiofónico.....	24

<b>3. FACTIBILIDAD DE IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA AM DIGITAL EN UN EQUIPO DE AM ANALÓGICO.....</b>	<b>31</b>
<b>3.1 Radio Digital Mundial.....</b>	<b>32</b>
3.1.1. Elección técnica del DRM:.....	34
3.1.2. La codificación de la fuente de audio.....	35
3.1.3. La codificación del canal:.....	36
3.2 Funcionamiento del DRM:.....	37
3.3 Nuevo impulso a la AM: .....	37
<b>4. ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE LAS ONDAS ELECTROMAGNÉTICAS DE LAS SEÑAL AM DIGITAL. ....</b>	<b>43</b>
4.1 Efecto Doppler:.....	43
4.2 Modulación COFDM: .....	44
4.3 Cómo funciona la modulación COFDM: .....	47
4.3.1. Modulación QPSK:.....	48
4.3.2. Intervalos de guarda: .....	50
4.3.3. Codificador de convolución: .....	50
4.3.4. Código convolucional:.....	51
4.3.5. FFT ( Transformada rápida de Fourier):.....	51
4.4 Características y ventajas de COFDM:.....	52
4.5 Codificación y transmisión:.....	53
4.6 Los transmisores y receptores de DAB:.....	57
4.7 Protocolo MOT (RO MOT).....	59
4.7.1. Parámetros de la cabecera: .....	61
4.7.2. Nivel de red. ....	63
4.7.3. Nivel de grupo de datos.....	63
4.7.4. Nivel de segmentación y nivel de objetos.....	63
4.7.5. Nivel de aplicación. ....	65

4.7.6. Mecanismos de transmisión.....	65
<b>5. PROPUESTAS DE ALTERNATIVAS DE IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA AM DIGITAL EN LA CIUDAD DE GUATEMALA.....</b>	<b>69</b>
5.1 Propuestas:.....	69
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>73</b>
<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>75</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>77</b>



## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1. Modulación de señal. ....	6
2. Propagación multitrayecto. ....	9
3. Emisor AM analógico y digital. ....	34
4. Receptor modelo DRM 2009. ....	41
5. Efecto Doppler del sonido.....	44
6. Reflexión de señales. ....	52
7. Aplicación del sistema COFDOM.....	53
8. Topologías de red.....	54
9. Generación de señal DAB. ....	58
10. Recepción de señal DAB.....	58
F11. Modelo de un codificador MOT y sus interfaces. ....	62

## TABLAS

I. Bandas del espectro electromagnético.....	3
II. Modos de transmisión digital DAB .....	55

## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Descripción</b>
<b>Mbps</b>	Megabit por segundo
<b>Gbps</b>	Gigabit por segundo
<b>Kbps</b>	Kilobit por segundo
<b>Html</b>	Lenguaje de marcas de hipertexto.
<b>ITU</b>	Unión Internacional de Telecomunicaciones
<b>RF</b>	Radio frecuencia
<b>LAN</b>	Red de Área Local
<b>Hz</b>	Hertz
<b>KHz</b>	Kilo Hertz
<b>MHz</b>	Mega Hertz
<b>GHz</b>	Giga Hertz
<b>ETH</b>	<i>Ethernet</i>
<b>AM</b>	Amplitud modulada
<b>FM</b>	Frecuencia Modulada
<b>%</b>	Porcentaje
<b>Km</b>	Kilómetro
<b>m</b>	Metro
<b>CW</b>	Onda continua
<b>BNC</b>	Conector Bayonet
<b>CD</b>	Disco compacto
<b>FFT</b>	Transformada rápida de Fourier
<b>IP</b>	Protocolo de Internet para la transmisión de datos

**μm**

Micrómetro

**DRM**

Radio Digital Mundial

**DAB**

Radio difusión de audio digital

## GLOSARIO

<b>Espectro electromagnético</b>	Distribución energética del conjunto de las ondas electromagnéticas
<b>Radiodifusión</b>	Rango menos energética del espectro electromagnético, situada entre 3 Hz y 300 GHz
<b>Ancho de Banda</b>	Rango de frecuencias en el cual se concentra la mayor parte de potencia de la señal.
<b>Ethernet</b>	Tecnología más utilizada para la transmisión de datos.
<b>Multiplexor.</b>	Canal único para transportar varias señales.
<b>Frecuencia</b>	Número de repeticiones de una onda periódica en un lapso de tiempo.
<b>MPEG</b>	Nombre de un grupo de estándares de codificación de audio y video
<b>Longitud de Onda</b>	Distancia existente entre dos crestas o valles consecutivos de una onda.



## RESUMEN

Como solución a la saturación del espectro radioeléctrico es necesario un proceso de transición de migración de radiodifusión analógica a digital, esta migración tiene aun muchos aspectos que dependen mucho de la velocidad y de la longitud del proceso, de las partes interesadas y del grado de intervención gubernamental.

La transición es más que una migración técnica, incide no sólo en la economía, sino también en la sociedad y el entorno político, afecta a todos los segmentos en la cadena de valor de la radiodifusión, concretamente: producción, transmisión y recepción de contenido, tTodos estos componentes necesitan actualizarse para poderlos adaptar a la radiodifusión digital, el desafío principal recae sobre el segmento de la recepción al tener que sustituir o actualizar la inmensa cantidad de receptores analógicos existentes.

Esto podría hacerse con decodificadores integrados, es decir receptores digitales conectados a los aparatos de recepción analógica actuales. En muchos casos, tendrán que adaptarse también los puntos de conexión (antenas, cableado, etc.).

El DRM (Digital Radio Mondiale) permite difundir una señal de radio digital en las bandas de frecuencia actualmente utilizadas por la AM.

La calidad del sonido DRM es próxima a la calidad FM, además puede difundir simultáneamente datos y texto y así servir a una nueva gama de contenido de radio, es un sistema ágil, capaz de adaptarse a las distintas exigencias de los operadores de red y al medio en el que operan, utiliza tecnologías existentes y se acomoda a la disposición actual de canales en las bandas AM para ofrecer técnicas de compresión y de codificación digitales.

Para una digitalización de la radiodifusión con más calidad se cuenta también con el sistema DAB puesto que es eficiente en el uso del espectro y la potencia puesto que usa un único bloque de transmisión de baja potencia, la cobertura puede ser local, regional, nacional o supranacional. Además no se tienen las interferencias tan comunes como en AM y FM puesto que el sistema DAB supera las reflexiones por obstáculos dado que el sistema de codificación distribuye a la información en un amplio número de frecuencias.

Las características y ventajas que destacan en el sistema DAB son:

Mejoras en la recepción, calidad de sonido, servicios de datos, cobertura, eficiencia en la utilización del espectro y potencia, rango de frecuencia de transmisión, distribución, multiplexado, capacidad, y flexibilidad

El sistema DAB está formado por cuatro elementos principales, estos son:

Codificador musicam, multiplexor, modulador COFDM y transmisor.

## OBJETIVOS

- **General:**

Estudio de factibilidad técnica y comercial para la implementación de un sistema de radiodifusión AM digital en la ciudad de Guatemala.

- **Específicos:**

1. Máximo aprovechamiento de la banda de radiodifusión comercial AM.
2. Implementación de un sistema AM digital con el equipo AM analógico actualmente utilizado.
3. Analizar el comportamiento de las ondas electromagnéticas que portaran la señal digital.
4. Sugerir propuestas para la implementación de un sistema de radiodifusión digital AM.



# INTRODUCCIÓN

Con la saturación del espectro radioeléctrico tanto en las bandas de amplitud modulada AM y frecuencia modulada FM es necesario sustituir los sistemas de radiodifusión actuales para seguir aumentando la cobertura y aprovechar al máximo el espectro de radiofrecuencia.

Para lograr lo antes mencionado además de brindar una mejor calidad de audio y servicios agregados es importante digitalizar la radiodifusión, actualmente se cuenta a nivel mundial con el sistema DRM, el cual es un sistema de digitalización universal, así también se está implementando en Europa el sistema DAB, que hasta la fecha es el sistema más eficiente en cuanto a la radiodifusión digital, es un sistema de radio digital multiservicio de alta calidad que no solamente transmitirá audio digitalizado, sino también codificaciones de vídeo, gráficos, páginas HTML, datos, radio texto, servicio de buscapersonas, etc...

Mediante una pantalla gráfica se podrá visualizar toda esta información e incluso en combinación con otros sistemas podrá establecerse una interactividad en tiempo real.



# **1. TEORÍA GENERAL DE LA RADIODIFUSIÓN COMERCIAL**

## **1.1 Radiodifusión AM**

La radio es una tecnología que posibilita la transmisión de señales mediante la modulación de ondas electromagnéticas. Estas ondas no requieren un medio físico de transporte, por lo que pueden propagarse tanto a través del aire como del espacio vacío.

Una onda de radio se origina cuando una partícula cargada (por ejemplo, un electrón) se excita a una frecuencia situada en la zona de radiofrecuencia (RF) del espectro electromagnético. Otros tipos de emisiones caen fuera de la gama de RF estos pueden ser los rayos gamma, los rayos X, los rayos cósmicos, los rayos infrarrojos, los rayos ultravioleta y la luz.

Cuando la onda de radio actúa sobre un conductor eléctrico (la antena), induce en él un movimiento de la carga eléctrica (corriente eléctrica) que puede ser transformado en señales de audio u otro tipo de señales portadoras de información.

### **1.1.1. Espectro electromagnético.**

Se denomina espectro electromagnético a la distribución energética del conjunto de las ondas electromagnéticas. Referido a un objeto se denomina *espectro electromagnético* o simplemente *espectro* a la radiación electromagnética que emite (espectro de emisión) o absorbe (espectro de absorción) una sustancia. Los espectros se pueden observar mediante espectroscopios que, además de permitir observar el espectro, permiten realizar medidas sobre éste, como la longitud de onda, la frecuencia y la intensidad de la radiación.

El espectro electromagnético se extiende desde la radiación de menor longitud de onda, como los rayos gamma y los rayos X, pasando por la luz ultravioleta, la luz visible y los rayos infrarrojos, hasta las ondas electromagnéticas de mayor longitud de onda, como son las ondas de radio. Se cree que el límite para la longitud de onda más pequeña posible es la longitud de Planck mientras que el límite máximo sería el tamaño del Universo aunque formalmente el espectro electromagnético es infinito y continuo.

### **1.1.2. Radiofrecuencia**

El término radiofrecuencia, también denominado espectro de radiofrecuencia o RF, se aplica a la porción menos energética del espectro electromagnético, situada entre unos 3 Hz y unos 300 GHz. Las ondas electromagnéticas de esta región del espectro se pueden transmitir aplicando la corriente alterna originada en un generador a una antena.

**Tabla I. Bandas del espectro electromagnético.**

Nombre	Abreviatura inglesa	Banda ITU	Frecuencias	Longitud de onda
			Inferior a 3 Hz	> 100,000km
Extra baja frecuencia Extremely low frequency	ELF	1	3-30 Hz	100,000km A 10,000km
Super baja frecuencia Super low frequency	SLF	2	30-300 Hz	10,000km A 1,000km
Ultra baja frecuencia Ultra low frequency	ULF	3	300–3000 Hz	1,000km A 100km
Muy baja frecuencia Very low frequency	VLF	4	3–30 kHz	100km A 10km
Baja frecuencia Low frequency	LF	5	30–300 kHz	10km A 1km
Media frecuencia Medium frequency	MF	6	300–3000 kHz	1km A 100m
Alta frecuencia High frequency	HF	7	3–30 MHz	100m A 10m
Muy alta frecuencia Very	VHF	8	30–300	10m A 1m

high frequency			MHz	
Ultra alta frecuencia Ultra high frequency	UHF	9	300–3000 MHz	1m A 100mm
Super alta frecuencia Super high frequency	SHF	10	3-30 GHz	100mm A 10 mm
Extra alta frecuencia Extremely high frequency	EHF	11	30-300 GHz	10mm A 1mm
			Por encima de los 300 GHz	< 1 mm

A partir de 1 GHz las bandas entran dentro del espectro de las microondas. Por encima de 300 GHz la absorción de la radiación electromagnética por la atmósfera terrestre es tan alta que la atmósfera se vuelve opaca a ella, hasta que, en los denominados rangos de frecuencia infrarrojos y ópticos, vuelve de nuevo a ser transparente.

Las bandas ELF, SLF, ULF y VLF comparten el espectro de la AF (audiofrecuencia), que se encuentra entre 20 y 20000 Hz aproximadamente. Sin embargo, éstas se tratan de ondas de presión, como el sonido, por lo que se desplazan a la velocidad del sonido sobre un medio material. Mientras que las ondas de radiofrecuencia, al ser ondas electromagnéticas, se desplazan a la velocidad de la luz y sin necesidad de un medio material.

Los conectores eléctricos diseñados para trabajar con frecuencias de radio se conocen como conectores RF. RF también es el nombre del conector estándar de audio/video, también conocido como BNC (Bayonet Connector).

### 1.1.3. Usos de la radiofrecuencia

Uno de sus primeros usos fue en el ámbito naval, para el envío de mensajes en código Morse entre los buques y tierra o entre buques.

Actualmente, la radio toma muchas otras formas, incluyendo redes inalámbricas, comunicaciones móviles de todo tipo, así como la radiodifusión. Antes de la llegada de la televisión, la radiodifusión comercial incluía no solo noticias y música, sino dramas, comedias, concursos y muchas otras formas de entretenimiento, siendo la radio el único medio de representación dramática que solamente utilizaba el sonido.

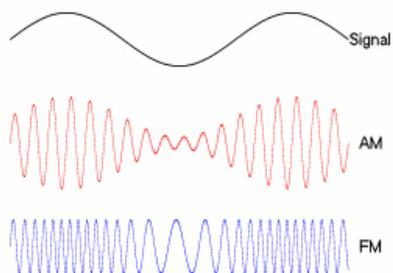
Otros usos de la radio son:

**Audio:** La forma más antigua de radiodifusión de audio fue la radiotelegrafía marina, ya mínimamente utilizada. Una onda continua (CW), era conmutada *on-off* por un manipulador para crear código Morse, que se oía en el receptor como un tono intermitente.

**Música y voz:** Mediante radio en modulación de amplitud (AM).

**Música y voz:** Con una mayor fidelidad que la AM, mediante radio en modulación de frecuencia (FM).

**Figura 1. Modulación de señal.**



**Música, voz y servicios interactivos:** Con el sistema de radio digital DAB empleando multiplexación en frecuencia OFDM para la transmisión física de las señales.

**Servicios RDS:** En sub-banda de FM, de transmisión de datos que permiten transmitir el nombre de la estación y el título de la canción en curso, además de otras informaciones adicionales.

**Servicios civiles y militares:** En alta frecuencia (HF) en la banda de Onda Corta, para comunicación con barcos en alta mar y con poblaciones o instalaciones aisladas y a muy largas distancias.

También se utiliza para: telefonía, video, navegación, radar, servicios de emergencia, transmisión de datos por radio digital

#### **1.1.4. Bandas de frecuencia destacadas.**

Frecuencias de radiodifusión y televisión:

- Radio AM = 530kHz – 1600kHz (MF)
- TV Banda I (Canales 2 – 6) = 54MHz – 88MHz (VHF)
- Radio FM Banda II = 88MHz – 108MHz (VHF)
- TV Banda III (Canales 7 – 13) = 174MHz – 216MHz (VHF)
- TV Bandas IV y V (Canales 14 – 69) = 512MHz – 806MHz (UHF)

#### **1.1.5. Frecuencias de uso libre por el público**

- PMR 446 (Región 1, Europa y África)
- FRS (Estados Unidos y otros países de América)

### **1.2 Radiodifusión AM digital DAB.**

Digital Audio Broadcasting DAB, son las siglas del nuevo sistema de radio digital multiservicio de alta calidad que en un futuro muy cercano permitirá ofrecer un servicio total en formato digital para la radiodifusión en Latinoamérica así como ya está sucediendo en Europa. No solamente se transmitirá audio digitalizado, sino también codificaciones de vídeo, gráficos, páginas HTML, datos, radio texto, servicio de buscapersonas, etc.

Mediante una pantalla gráfica se podrá visualizar toda esta información e incluso en combinación con otros sistemas podrá establecerse una interactividad en tiempo real.

A este sistema también se le conoce con el nombre de Eureka 147 pues fue este consorcio el encargado de desarrollar el estándar y se considera como el avance más importante en tecnología de radio desde la introducción de la radio FM estéreo.

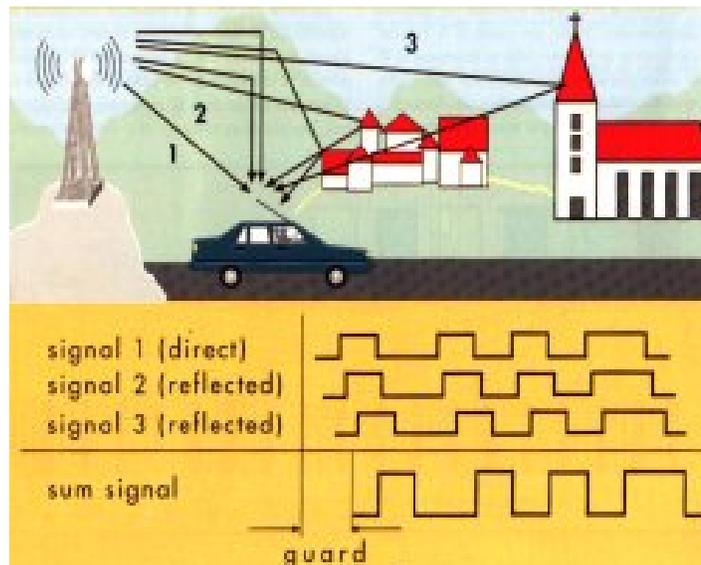
El sistema DAB es eficiente en el uso del espectro y la potencia puesto que usa un único bloque de transmisión de baja potencia, la cobertura puede ser local, regional, nacional o supranacional. Además no se tienen las interferencias tan comunes como en AM y FM puesto que el sistema DAB supera las reflexiones por obstáculos dado que el sistema de codificación distribuye a la información en un amplio número de frecuencias.

Después de codificar y comprimir la información de una señal de audio estéreo por el método MUSICAM, se puede transmitir a unos 192 Kbps. El sistema DAB es capaz de transportar 1,2 Mbps de información, por lo que se pueden multiplexar las señales comprimidas en 6 programas. Igualmente existe capacidad de transmitir otra información de servicio como puede ser el estado de carreteras, partes meteorológicas o emergencias. El resultado de toda la información empaquetada se llama "DAB ensamble" y ofrece lo que se conoce como "Multiplex" que permite seleccionar la información deseada de una serie de servicios que se ofrece.

Las características y ventajas que destacan en el sistema DAB son:

**Mejoras en la recepción:** Con el sistema DAB se superan los efectos que la propagación multitrayecto, causadas por las reflexiones en edificios, montañas, objetos etc. Los receptores estacionarios, portátiles y móviles y se protege la información frente a interferencias y perturbaciones como se muestra en la figura 2. Estas mejoras se logran mediante la transmisión COFDM que se describirá mas a delante, el cual utiliza un sistema de codificación para distribuir la información entre un elevado número de frecuencias.

**Figura 2. Propagación multitrayecto.**



**Calidad de sonido:** La calidad de sonido de este sistema es equivalente a la de un disco compacto (*CD*). En el sistema DAB se aprovecha el efecto de enmascaramiento que se produce debido a las características psicoacústicas del oído humano, ya que no es capaz de percibir todos los sonidos presentes en un momento dado y, por lo tanto, no es necesario transmitir los sonidos que no son audibles. El sistema DAB utiliza un sistema de compresión de sonido llamado MUSICAM para eliminar la información no audible, consiguiendo así reducir la cantidad de información a transmitir.

**Servicios de Datos:** Además de la señal de audio digitalizada, se pueden transmitir otras informaciones:

El canal de información transporta la configuración del multiplexor, información de los servicios, fecha y hora, servicios de datos generales como: radio búsqueda, sistema de aviso de emergencia, información de tráfico, sistema de posicionamiento global, etc.

Los datos asociados al programa se dedican a la información directamente relacionada con los programas radiofónicos: títulos musicales, autor, texto de las canciones en varios idiomas, etc.

Los servicios adicionales son servicios que van dirigidos a un grupo reducido de usuarios, como por ejemplo: cancelación de tarjetas de crédito robadas, envío de imágenes y textos a tableros de anuncios electrónicos, etc.

Todos estos datos se reciben a través de una pantalla incorporada en el receptor.

**Coberturas:** La cobertura puede ser local, regional, nacional y supranacional. El sistema es capaz de añadir constructivamente las señales procedentes de diferentes transmisores en el mismo canal, lo que permite establecer redes de frecuencia única para cubrir un área geográfica determinada en la que es posible utilizar pequeños transmisores para cubrir las zonas de sombra dejadas por transmisores más grandes.

**Eficiencia en la utilización del espectro y la potencia:** Se utiliza un único bloque para una Red nacional, territorial o local terrenal, con transmisores de baja potencia.

**Rango de frecuencias de transmisión:** El sistema DAB está diseñado para poder funcionar en el rango de frecuencias de 30 MHz. a 3.000 MHz.

**Distribución:** Se puede realizar por satélite y/o por transmisiones terrenales o de cable utilizando diferentes modos que el receptor detectará automáticamente.

**Multiplexado:** De manera análoga a como se entra en una sala de cines donde se exhiben varias películas y el usuario selecciona una de ellas, es posible "entrar" en un multiplexor DAB y seleccionar entre varios programas de audio o servicios de datos.

El sistema DAB permite multiplexar varios programas y servicios de datos para formar un bloque y ser emitidos juntos, obteniéndose la misma área de servicio para todos ellos.

**Capacidad:** Cada bloque (múltiplexor) tiene una capacidad útil de aproximadamente 1,5 Mbit/s, lo que por ejemplo permite transportar 6 programas estéreo de 192 kbit/s cada uno, con su correspondiente protección, y varios servicios adicionales.

**Flexibilidad:** Los servicios pueden estructurarse y configurarse dinámicamente. El sistema puede acomodar velocidades de transmisión entre 8 y 380 kbit/s incluyendo la protección adecuada.

El sistema de radiodifusión digital DAB está formado por cuatro elementos principales, los primeros dos serán descritos en este capítulo y los otros dos en el capítulo de análisis del comportamiento de las ondas electromagnéticas, estos cuatro elementos son:

- Codificador MUSICAM.
- Multiplexor.
- Modulador COFDM.
- Transmisor.

### **1.2.1. Codificador Musicam.**

Es el acrónimo en inglés de Masking Pattern Universal Sub-band Integrated Coding And Multiplexing.

**Compresión Musicam:** Es capaz de reducir la cantidad de datos requeridos por factores típicos de entre 6:1 a 12:1. Sin embargo, aun es capaz de dar una alta calidad de audio, subjetivamente percibida por el oyente como la de un *CD*. Utilizando fenómenos psico-acústicos se consigue, por ejemplo, frente a una decodificación lineal con 16 bit/48 kHz por mono señal, una reducción de datos de 96 kbit/s, o una reducción en un factor 8.

**Técnica Musicam:** Debido a la respuesta del oído humano posibilita eliminar información redundante o inservible para la percepción subjetiva de sonido. Efectos a tener en cuenta:

1. Sólo tonos por encima del límite audible son percibidos por el oído, eliminando frecuencias inferiores a 20 Hz y superiores a 20 KHz.
2. La percepción es diferente a distintas frecuencias.
3. Tonos de menor nivel que se encuentren próximos en frecuencia a tonos de mayor nivel quedan enmascarados y no se pueden oír. También quedan enmascarados aquellos tonos de menor nivel que están precedidos o seguidos de tonos de mayor nivel. Es lo que se conoce con el nombre de de enmascaramiento, en el cual se conciben las llamadas curvas de umbral. Una buena definición de la percepción psico-acústica de sonidos se ha dado en 1960 como "aquel proceso por el cual, el umbral de auditividad de un sonido, aumenta en presencia de otro sonido" (los efectos de enmascaramiento temporal y el enmascaramiento espectral).

Con un decodificador de fuente DAB, que contiene, por ejemplo, también un filtro de multifase para decodificación de banda parcial, también las funciones de audio realizadas según los conceptos de receptor actuales en técnica analógica de circuitos, tales como influencia sobre tono, volumen, regulación del desvanecimiento, balance, etc.

1. La señal de audio (24[kHz] en banda base=BW de la señal con calidad *CD* muestreada a:  $f_s = 48$  KHz) digitalizada es dividida por circuitos de filtros en 32 sub-bandas de idéntico ancho de banda:  $BW = 750$  Hz ( =  $[(f_s/2) / 32]$  ). Lo anterior se realiza con DSP's que realizan FFT (Transformada Rápida de Fourier) de 1024 bits, entregando 512 valores del espectro, es decir, muestras cada 46[Hz] del espectro de audio original.
2. Conocidas las componentes de frecuencia. Se divide el espectro en las 32 sub-bandas, cada una con 16 bits (512/32). Esta división del espectro permite la distribución óptima de los bits de acuerdo a los requerimientos psico-acústicos. Para aquellas sub-bandas que resultan completamente enmascaradas por otras, no hay necesidad de enviarlas, ya que no se escucharán.
3. Una vez que se cuenta con la información necesaria, a cada muestra se le asigna un factor de escala de 6 bits (asegurando un rango dinámico de 120[dB]), junto con información para reconstruir la distribución óptima y un encabezamiento para cierta información. De esta forma, se arma la trama.

4. El sistema contempla técnicas de protección de la información, ya que la destrucción por pequeña que sea, resulta desastrosa. Además de la eliminación de redundancias para los factores de escala.

### **1.2.2. Multiplexor**

En el campo de las telecomunicaciones el multiplexor se utiliza como el dispositivo que puede recibir varias entradas y transmitir las por un medio de transmisión compartido. Para ello lo que hace es dividir el medio de transmisión en múltiples canales, para que varios nodos puedan comunicarse al mismo tiempo.

Una señal que está multiplexada debe desmultiplexarse en el otro extremo al momento de la recepción.

Según la forma en que se realice esta división del medio de transmisión, existen varias clases de multiplexación:

Multiplexación por división de frecuencia

Multiplexación por división de tiempo

Multiplexación por división de código

Multiplexación por división de longitud de onda.



## **2. ANTECEDENTES HISTÓRICOS DE RADIODIFUSIÓN DIGITAL**

Durante el siglo XIX ya se conocían perfectamente sistemas de transmisión de señales mediante hilos (como el sistema Morse), así como señales ópticas producidas por la luz. Hay una serie de inventos ligados a la telegrafía sin hilos que van a influir en el nacimiento de la radio, la aparición de la radio no se produce de forma espontánea y directa, su invento, desde un punto de vista tecnológico, no se puede atribuir a una sola persona, sino que es consecuencia de varias aportaciones a lo largo del tiempo. Desde un punto de vista social, el uso que se le da más tarde a la radio no es el mismo que en sus orígenes.

Se considera a Michael Faraday y a Joseph Harry como precursores de la telegrafía sin hilos. En 1837 Faraday descubre los campos de propagación de la corriente eléctrica y Harry en 1842 descubre la naturaleza oscilatoria de las descargas eléctricas.

El desarrollo de la telegrafía sin hilos se puede dividir en fases como las que se describirán a continuación:

## 2.1 Descubrimiento de las Ondas Hertzianas.

Este descubrimiento se produce principalmente por las aportaciones de Maxwell y Hertz en el descubrimiento de las ondas en mención. En 1864, Maxwell desarrolla el principio teórico de las ondas hertzianas, esto quiere decir que muestra experimentos de cómo se desplaza la corriente eléctrica según las líneas de fuerza descubiertas por Faraday. Así mismo, presenta el concepto de Éter, lugar por donde se desplazan estas ondas (aire, espacio...).

Este principio teórico tiene su aplicación práctica en 1888 con Hertz, ya que consigue crear un campo electromagnético. Además, detecta y mide ondas electromagnéticas (ondas hertzianas). De él es el concepto de longitud de onda cada onda tiene longitudes distintas que son estudiadas, medidas y entendidas por Hertz, quien llega a la conclusión de que cada onda tiene características distintas de transmisión y recepción.

## 2.2 Nuevas aportaciones a la telegrafía sin hilos:

En esta etapa destacan las aportaciones de:

**Branley:** En 1891 inventa el Cohesor. Es un sistema que perfecciona la recepción de las ondas electromagnéticas. Discrimina qué ondas se quieren recibir y cuáles no. Es decir, permite escoger una frecuencia.

**Lodge:** En 1894 perfecciona la sintonización de las ondas.

**Alexander Popoff:** Inventa la antena de recepción en 1895, por lo que se produce una ampliación del campo de recepción.

### 2.3 W. Marconi:

Es a quien principalmente se le considera el inventor de la telegrafía sin hilos. Termina por unificar y darle un uso a los inventos de las etapas anteriores. Se puede dividir el desarrollo de la telegrafía sin hilos en tres etapas principales: Investigación, Comercialización y Monopolio

**Investigación:** Marconi va a trabajar en dos países: su Italia natal y en el Reino Unido. En esta fase hay que tener en cuenta dos aspectos importantes de Marconi: pertenece a una familia de buena situación social, por lo que no tiene problemas económicos para llevar a cabo sus investigaciones; por otro lado, conoce y sigue a Hertz.

Sus investigaciones nacen en Italia bajo los logros de Hertz. En esta primera etapa consigue una hábil utilización de los experimentos anteriores. En este momento, consigue una comunicación inicial de 1700 metros en telegrafía sin hilos. Pide ayuda al gobierno italiano, pero no lo consigue a pesar de lograr por primera vez la comunicación sin hilos.

A pesar de estos logros, busca apoyo institucional. El cual consigue en el Reino Unido, quien le otorga ayuda económica y técnica de la Oficina de Correos, Telégrafos y Teléfonos Británica. El 2 de Junio de 1896 patenta su invento, logrando una comunicación de 6 Km. Al año siguiente, esa distancia aumenta hasta los 15 Km. En el Canal de Bristol.

Esta nueva forma de comunicación se caracteriza por:

- Telegrafía sin hilos
- Medio más barato
- Largo alcance
- Transmisión instantánea
- Posibilidad de establecer comunicación en lugares inaccesibles geográficamente

Desde su comienzo, Marconi busca sacar rentabilidad económica a su invento. El uso social que se le da en un principio está lejos del de entretenimiento. Esta comunicación se usaba con fines institucionales, estatales, militares y de seguridad en general.

**Comercialización:** Cuando Marconi obtiene la patente, comienza la comercialización. Para ello, crea en 1897 la compañía Marconi Wireless and Telegraph con un gran capital social. Es director técnico y con un 50% de participación en la compañía. Sus clientes eran los estados, la marina de guerra, la protección costera... El material sólo era manejado por personal de la compañía, por lo que los clientes debían contratar también a un empleado de la compañía mencionada.

Poco a poco, el uso social de este sistema se va extendiendo. De la marina militar pasa a la mercantil. Así mismo, ofrece comunicación instantánea a la prensa, como al Daily Express o New York Herald. Aquí empiezan los inicios de la telegrafía sin hilo a la radiodifusión.

En esta etapa hay mejoras técnicas que permiten ver las posibilidades del nuevo medio:

- Se perfeccionan los sistemas de sintonización
- Se produce un enlace con el Atlántico
- Hay aplicaciones económicas del invento: información bursátil instantánea
- Se crean estaciones y redes en el continente europeo

**Monopolio:** Marconi pretende que su compañía tenga el monopolio en la comunicación de telegrafía sin hilos. Para ello, tendrá que enfrentarse con distintas compañías de otros países. Por ejemplo, en Francia están Bradley, Ferrier y Ducretet, cuya compañía comercializa en el Mediterráneo. En Alemania, el precursor es Adolf Slaby. Allí, en 1903 se funda la compañía Telefunken, que compite contra la de Marconi. En Italia hay libertad de uso de la patente porque Marconi la regala.

El monopolio de Marconi comienza desde 1903. Su compañía se ve envuelta en problemas con el resto de los otros países. Parte de una situación de privilegio, ya que tiene una mayor implantación (tiene más estaciones, sitios y barcos). Para poder imponer su monopolio, prohíbe la comunicación con otras compañías.

De todos los enfrentamientos, hay que destacar el que tuvo contra la Compañía de Correos Británica. Jurídicamente, ganó el caso, por lo que la compañía de Marconi obtuvo el monopolio en todo el Imperio Británico.

## 2.4 Conferencias Radiotelegráficas Internacionales:

Los países sienten la necesidad de reunirse y ver qué es lo que pasa con este nuevo medio. Tienen el deseo de acabar con el monopolio impuesto por Marconi, porque entre otros motivos, es un medio que no tiene fronteras geográficas debido a su propia naturaleza.

La primera de las reuniones es la *Conferencia Preliminar*, celebrada en Berlín en 1903. el objetivo de ésta es evitar las interferencias (donde pueden o no pueden emitir) y la lucha contra los monopolios. El resultado fue:

- Se acuerda la libertad de correspondencia de intercambio de telegramas entre los barcos y estaciones costeras de todo tipo.

Este protocolo final no es firmado por Italia e Inglaterra, ya que poseen la patente de Marconi. Así pues, debido a estos resultados tan pobres, es necesario celebrar otra conferencia.

En 1906, se celebra la *Primera Conferencia*. Los países que asisten son 29 (a diferencia de los 9 que fueron a la primera), debido a que la telegrafía sin hilos se ha establecido rápidamente. Su objetivo es luchar contra los monopolios. Se pretende establecer la estructura de un nuevo organismo internacional: la Unión Radiotelegráfica Internacional, debido a que, es un medio muy cambiante, es necesario una organización permanente que controle la situación.

Los resultados fueron los siguientes:

- Constitución de una union.
- Se encomiendan unas tareas consultivas y ejecutivas a esta organización.
- Se establece el S.O.S. (Señal Internacional de Socorro).

Poco tiempo después, surge la necesidad de hacer otra reunión, ya que el monopolio no se ha roto. Se rompe a partir de la ***Segunda Conferencia***, celebrada en Londres en 1912 a la que asisten 43 países.

Su objetivo es romper los monopolios, cosa que ahora si se consigue. Se establece comunicación con operadores de distintas compañías. Además, se establece un nuevo convenio, en el que se pretende que todos los barcos lleven un equipo radiofónico capaz de recibir y emitir (muy influido por el hundimiento del Titanic). Esto no se consigue, pero sí llevan estaciones de escucha.

El progreso científico contribuye al uso social que se le da a este nuevo medio, hace que se tengan que atribuir las frecuencias a diferentes servicios. Con lo que se le dan nuevos usos, como los reportes meteorológicos, las señales horarias.

Hay rasgos generales que caracterizan a estas conferencias:

- Ordenamiento internacional de la telegrafía sin hilos
- Se acaba el monopolio, lo que posibilita:
  - Aceleración de los avances técnicos
  - Creación de nuevos usos.
- El control de la telegrafía va a pasar del control de las empresas al control de los estados

## 2.5 Balbuceo Radiofónico

El antecedente de la radiodifusión es un dispositivo técnico llamado radioteléfono. Se conoce desde 1901 que se caracteriza por ser una telegrafía sin hilos pero de carácter individual. A partir de 1920, los términos de *radioteléfono* y *radiodifusión* van a estar totalmente definidos: el primero se refiere a un uso individual; el segundo, a uno colectivo.

El paso de la telegrafía sin hilos a la radiodifusión tiene tres grandes precursores:

- Lee de Forest
- Frank Conrad
- David Sarmoff

**Lee de Forest:** Destaca por sus aportaciones tecnológicas. Su mayor logro fue un sistema de amplificación en la recepción. Se pueden captar emisoras cada vez más lejanas. Presenta su invento en 1908 en París a empresarios y políticos. En Nueva York presenta sus avances en 1916.

**Frank Conrad:** Sus avances son técnicos. Pone en marcha la emisora, dotando a la radio de contenidos. Nacen las emisoras musicales más o menos como las conocemos a la fecha claro con las deficiencias tecnológicas de la época. La música emitida es la solicitada por los oyentes. Conrad también introduce publicidad en sus emisiones.

A partir de estos momentos, tanto las compañías electrónicas como los propios aficionados van a crear sus propias radios. En estos momentos ya hay un público que escucha la radio. A partir de 1919, la radio se empieza a llenar de contenidos.

El éxito de la emisora de Conrad es tan grande que ni el mismo lo creía. Es así, que ya empieza a hacer emisiones más regulares. Debido a la fama, la compañía Westinghouse encarga a Conrad la puesta en marcha de una nueva emisora, la KDKA, en Pittsburg. Ésta es considerada la primera emisora de radiodifusión.

Las emisoras pertenecen a las compañías eléctricas que vendían aparatos de radio. La puesta en marcha de emisoras sólo era una excusa para que la gente comprara sus radios receptores.

**David Sarmoff :** Tiene un golpe de suerte cuando trabaja como operador de la compañía Marconi. Su estación y su turno recibe información de los buques que ayudan al Titanic. Él se encarga de difundir los acontecimientos a toda Norteamérica. Se convierte, así, en una celebridad nacional.

Acompañando el fuerte sentimiento nacionalista que había en Estados Unidos, Sarmoff ofrece a Marconi su idea de la radio como la venta de *cajas de música*. La compañía rechaza tal propuesta, debido a la escasa visión comercial de Marconi.

Este proyecto se pone en marcha con la compañía RCA. Nace en 1919 y será consecuencia de la ruptura de la compañía *Marconi* en Norteamérica y por los nacionalismos que se dan allí. Las estaciones en Estados Unidos van a formar parte de la RCA. Así sí es posible que Sarmoff lleve a cabo su idea comercial.

Entre 1919-1920, la RCA y la Westinghouse (con la KDKA) van a poner en marcha la radio tal y como la conocemos en nuestros días. A partir de 1920 se incluye el concepto de programación. El cual se caracteriza por:

- Promover la fabricación y venta de receptores
- La radio se asienta a la audiencia colectiva
- Emisiones con periodicidad
- Posee regularidad
- Mejora en las condiciones de recepción, que se produce en el ámbito doméstico, lo que facilita que la radio sea un medio de masas.
- Cualquier mensaje se puede transmitir (sonido, música, palabra...)
- Se van a ampliar los contenidos del nuevo medio: la información comienza a ser un elemento importante en la radio, como son las elecciones norteamericanas.

Un gran paso en la calidad de los receptores, se produce en 1918 cuando Edwin Armstrong inventa el sistema superheterodino.

Las primeras transmisiones radiodifundidas, para entretenimiento, comenzaron en 1920 en Argentina. El día 27 de agosto desde la azotea del Teatro Coliseo de Buenos Aires, la Sociedad Radio Argentina transmitió la ópera de Richard Wagner, Parsifal, comenzando así con la programación de la primera emisora de radiodifusión en el mundo Su creador, organizador y primer locutor del mundo fue el Dr. Enrique Telémaco Susini.

La primera emisora de carácter regular e informativo es considerada por muchos autores la KDKA de Pittsburg (EEUU) que comenzó a emitir en el año 1920. La KDKA trasmitió por primera vez un reportaje sobre las elecciones norteamericanas. Ese mismo año, en Inglaterra, la estación de Chelmsford, perteneciente a la Marconi Wireless, emitía dos programas diarios, uno sobre música y otro sobre información. El 4 de noviembre de 1922 se fundó en Londres la British Broadcasting Corporation (BBC) que monopolizó las ondas inglesas.

En los primeros tiempos de la radio toda la potencia generada por el transmisor pasaba a través de un micrófono de carbón. En los años 1920 la amplificación mediante válvula termoiónica revolucionó tanto los radorreceptores como los radiotransmisores. Philips, Bell, Radiola y Telefunken consiguieron, a través de la comercialización de receptores de válvulas que se conectaban a la red eléctrica, la audición colectiva de la radio en 1928.

A principios de los años treinta radio-operadores aficionados inventaron la transmisión en banda lateral única (BLU).

En 1933 Edwin Armstrong describe un sistema de radio de alta calidad, menos sensible a los parásitos radioeléctricos que la AM, utilizando la modulación de frecuencia (FM). A finales de la década este procedimiento se establece de forma comercial, al montar a su cargo el propio Armstrong una emisora con este sistema.

En 1948, la radio se hace visible: se desarrolla abiertamente la televisión.

En los años cincuenta la tecnología radiofónica experimentó un gran número de mejoras que se tradujeron en la generalización del uso del transistor.

En 1952, se transmite televisión comercial en color sistema NTSC, en EE.UU. El primer programa en ser transmitido en color fue Meet the Press (Encuentro con la Prensa) de la cadena NBC, un ciclo periodístico que sigue emitiéndose hasta nuestros días.

En 1956 se desarrolla el primer sistema de televisión europeo, que basándose en él mejora el NTSC de Estados Unidos. El sistema es el llamado SECAM. En España durante varios meses TVE transmitió en pruebas en SECAM, aunque finalmente la norma que adoptó fue PAL (ver 1963).

En 1957, la firma Regency introduce el primer receptor transistorizado, lo suficientemente pequeño para ser llevado en un bolsillo y alimentado por una pequeña batería. Era fiable porque al no tener válvulas no se calentaba. Durante los siguientes veinte años los transistores desplazaron a las válvulas casi por completo, excepto para muy altas potencias o frecuencias.

En 1963, se establece la primera comunicación radio vía satélite. Se desarrolla el sistema de televisión en color PAL que mejora el NTSC. La norma que se utiliza en España es PAL. La ventaja del PAL sobre el SECAM es que su circuitería es más sencilla.

Al final de los años sesenta la red telefónica de larga distancia en EE.UU. comienza su conversión a red digital, empleando radio digital para muchos de sus enlaces.

En los años setenta comienza a utilizarse el LORAN, primer sistema de radionavegación. Pronto, la Marina de EE.UU. experimentó con la navegación satélite, culminando con la invención y lanzamiento de la constelación de satélites GPS en 1987.

Entre las décadas de los años 1960 y 1980 la radio entra en una época de declive debido a la competencia de la televisión y el hecho que las emisoras dejaron de emitir en onda corta (de alcance global) por VHF (el cual solo tiene un alcance de cientos de kilómetros).

En los años 1990 las nuevas tecnologías digitales comienzan a aplicarse al mundo de la radio. Aumenta la calidad del sonido y se hacen pruebas con la radio satelital, esta tecnología permite (también llamada radio HD) el resurgimiento en el interés por la radio.

A finales del siglo XX, experimentadores radioaficionados comienzan a utilizar ordenadores personales para procesar señales de radio mediante distintas interfaces (Radio Packet).

Hoy en día la radio a través de Internet avanza con celeridad. Por eso, muchas de las grandes emisoras de radio empiezan a experimentar con emisiones por Internet, la primera y más sencilla es una emisión en línea, la cual llega a un público global, de hecho su rápido desarrollo ha supuesto una rivalidad con la televisión, lo que irá aparejado con el desarrollo de la banda ancha en Internet.

### **3. FACTIBILIDAD DE IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA AM DIGITAL EN UN EQUIPO DE AM ANALÓGICO.**

Se prevé que con el paso del tiempo la transición de las tecnologías de radiodifusión analógica a digital será universal. No obstante, esta transición no progresará uniformemente en todos los países o regiones. Pese a que ya se han introducido mundialmente los servicios de radiodifusión por satélite (sonido y televisión) o se introducirán a corto plazo, la radiodifusión digital terrenal se encuentra en su fase inicial en muchos países como el nuestro.

El proceso de transición de migración de la radiodifusión analógica a la digital, que se iniciará con la introducción del sistema digital y concluirá una vez que se deje de utilizar la radiodifusión analógica, tiene aun muchos aspectos que dependen mucho de la velocidad y de la longitud del proceso, las partes interesadas y el grado de intervención gubernamental.

Cada país sigue su propia ruta a este cambio, la transición se supone más que una migración técnica, la transición incide no sólo en la economía, sino también en la sociedad y el entorno político, afecta a todos los segmentos en la cadena de valor de la radiodifusión, concretamente: producción, transmisión y recepción de contenido.

Todos estos componentes necesitan actualizarse para poderlos adaptar a la radiodifusión digital. El desafío principal recae sobre el lado de la recepción al tener que sustituir o actualizar la inmensa cantidad de receptores analógicos existentes.

Esto podría hacerse con decodificadores integrados, esto quiere decir que tendríamos receptores digitales conectados a los aparatos de recepción analógica actuales. En muchos casos, tendrán que adaptarse también los puntos de conexión (antenas, cableado, etc.).

### **3.1 Radio Digital Mundial.**

El DRM (Digital Radio Mondiale) es un sistema que permite difundir una señal de radio digital en las bandas de frecuencia actualmente utilizadas por la AM (amplitud modulada).

El sistema DRM ha sido concebido para dar un nuevo impulso a la difusión AM, en las bandas de frecuencias inferiores a 30 MHz, en ondas cortas, ondas medias y ondas largas.

El DRM es un sistema digital universal. Tiene la particularidad de utilizar las frecuencias y las bandas de frecuencias AM existentes. Es un sistema abierto en el sentido que no ha sido desarrollado por una entidad en particular, sino gracias a la unión de los esfuerzos de todos los miembros del consorcio.

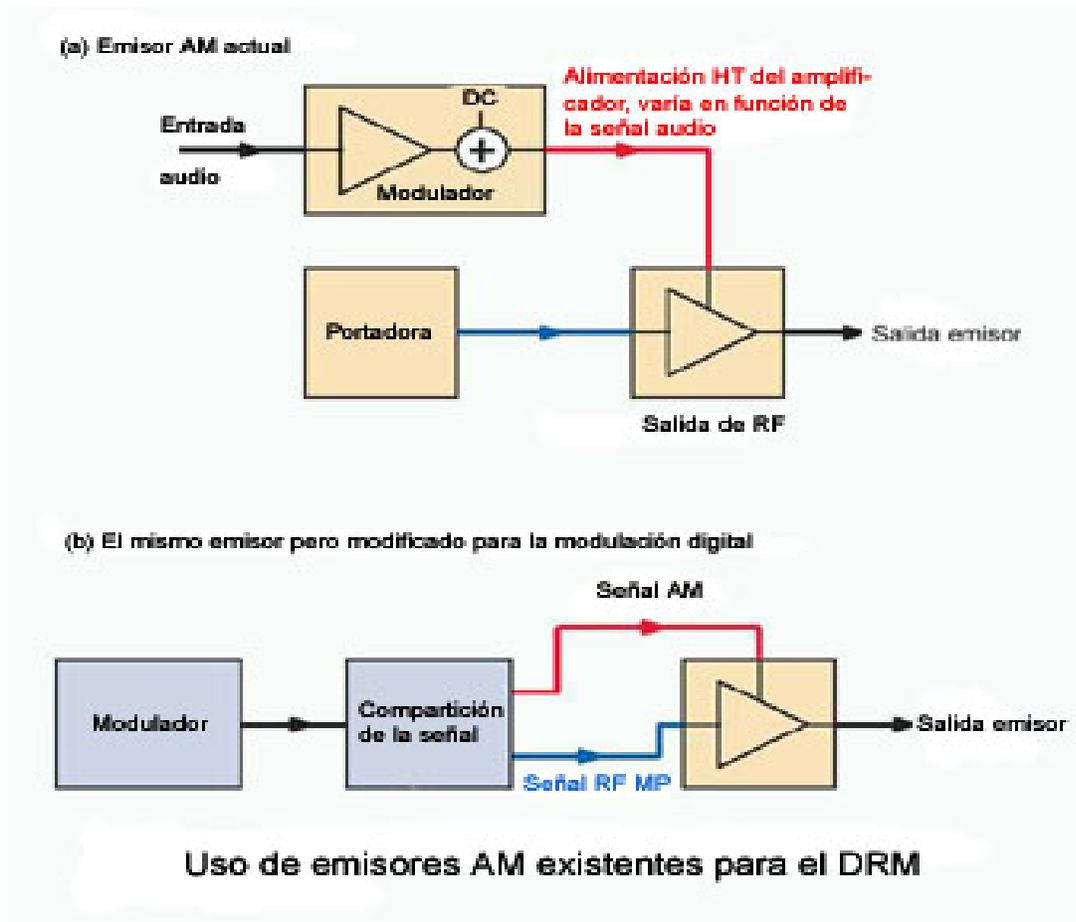
La calidad del sonido DRM está próxima a la calidad FM. Esta mejora en relación al analógico es fácilmente perceptible. Además, el sistema DRM puede difundir simultáneamente datos y texto y así servir a una nueva gama de contenido de radio. Este contenido adicional puede ser visualizado sobre los receptores DRM para apoyar o poner en relieve el mensaje sonoro. Las aplicaciones DRM son válidas para receptores de radio fijos y portátiles, radios para autos, software receptor y PDAs.

El DRM es un sistema ágil, capaz de adaptarse a las distintas exigencias de diferentes operadores de red y al medio en el que operan.

Utiliza tecnologías existentes y se acomoda a la disposición actual de canales en las bandas AM para ofrecer técnicas de compresión y de codificación digitales.

En la mayor parte de los casos o bajo reserva de alguna modificación, el DRM permite continuar utilizando los transmisores y equipos de difusión existentes.

Figura 3. Emisor AM analógico y digital.



### 3.1.1. Elección técnica del DRM:

La transición a un sistema digital de las bandas actuales de frecuencia inferiores a 30 MHz es posible gracias a técnicas digitales sofisticadas como la codificación de la fuente de radio, la codificación del canal y la multiplexación de varios servicios.

### **3.1.2. La codificación de la fuente de audio.**

Para compensar una tasa de transmisión variable, de 8 a 36 kbit/s, el consorcio DRM ha puesto en marcha un codificador de audio de excelentes resultados. Este proporciona una buena calidad sonora, incluso para tasas débiles.

En función de las elecciones hechas por el radiodifusor, el sistema DRM puede utilizar tres diferentes modos de codificación de audio:

- El sistema de codificación de audio MPEG-2 AAC está destinado a todos los usos (voz y música) y ofrece siempre la más alta calidad.
- El sistema de codificación MPEG-4 CELP ofrece igualmente una muy buena calidad cuando se trata de transmitir un sonido hablado, por lo que está particularmente indicado para radios que difunden música.
- El sistema de codificación MPEG-4 HVXC que puede ser utilizado para difundir un programa hablado con una tasa débil.

Para mejorar aún más la calidad de audio de la audiencia, se puede añadir a la codificación DRM una técnica de síntesis de señales sonoras de frecuencias elevadas. Esta técnica se llama SBR (Spectral Band Replication). El sistema de transmisión DRM utiliza un multiplexor para llevar la señal de difusión, la señal transmitida puede transportar varios tipos de codificación de audio durante la misma transmisión.

### **3.1.3. La codificación del canal:**

El DRM utiliza una modulación de portadoras múltiples, de tipo COFDM (Coded Orthogonal Frequency Division Multiplex). Esta técnica de modulación ha sido ya probada en sistemas como el DAB para la radio y el DVB-T para la Televisión Digital Terrestre (TDT) y será ampliamente descrita en el siguiente capítulo.

El ancho de banda RF utilizado para una canal DRM es modulable entre 4.5 / 5 / 9 y 10 kHz. Puede incluso ir hasta los 18 / 20 kHz para la difusión de estéreo de alta calidad.

Las tasas digitales difundidas por DRM son muy variables. En función del ancho del canal RF ocupado por el DRM y el modo de protección de los datos difundidos, son comprimidos entre 8 y 36 kbit/s y podrían incluso alcanzar 72 kbit/s acoplando varios canales.

Esta técnica de modulación COFDM permite igualmente considerar la habilitación de una red de difusión mono frecuencia SFN, principalmente para las ondas cortas y las ondas medias, asegurando una sincronización de frecuencia y temporal de datos sobre varios emisores repartidos sobre todo el territorio nacional a pesar de nuestra geografía.

Esto permite garantizar la continuidad de la recepción de un programa de radio para un vehículo que circula sobre el conjunto del territorio nacional.

### **3.2 Funcionamiento del DRM:**

La transmisión, digitalizada desde los emisores, es menos sensible a los riesgos de propagación propios de las frecuencias utilizadas (ondas largas, medias y cortas) y permite mejorar sensiblemente la calidad del sonido. Los problemas de desvanecimiento de la señal (fading o variación periódica de la intensidad) son considerablemente atenuados gracias al modo de propagación de la difusión en COFDM.

En lo que respecta a la señal, hay que hacer entrar una señal de calidad en el pequeño canal que utiliza la modulación de amplitud, ya que el espectro utilizable en AM es estrecho (9 ó 10 KHz). Por lo que es necesario comprimir la señal. La norma de compresión MPEG-4 utilizada para la parte audio permite obtener una calidad sonora excelente, incluso previendo tasas débiles (inferiores a 35 kb/s), y es para todos los usos, la señal es entonces difundida sobre un emisor gracias a la codificación del canal (modulación COFDM).

### **3.3 Nuevo impulso a la AM:**

Todo el mundo involucrado en tecnología reconoce hoy la necesidad de adoptar una tecnología digital en radio, principalmente en los campos del transporte y difusión de la señal.

La digitalización ofrece, en efecto, numerosas ventajas para los oyentes y, en consecuencia, para las radiodifusores nacionales e internacionales.

Actualmente la banda FM 87.5 - 108 MHz (VHF) está saturada. Para muchos radiodifusores nacionales e internacionales existen pues ventajas reales para abrir nuevos mercados poniendo en marcha un sistema de difusión digital que use las bandas de frecuencia inferiores a 30 MHz.

La introducción de la radio digital en las actuales bandas de frecuencia AM da a los radiodifusores la posibilidad de proponer nuevos servicios y de ser competitivos en la oferta FM. El sistema DRM aporta a las difusiones realizadas en estas bandas de radiodifusión, una mejora importante en la calidad de la señal sonora recibida y la posibilidad de difundir programas multimedia de tipo imágenes fijas o datos a nivel local, regional, nacional e internacional.

En países industrializados se están incorporando radios receptores digitales a los teléfonos celulares puesto que es factible técnicamente la digitalización también será factible económicamente puesto que el servicio será un valor agregado a la telefonía celular que ya es utilizado por la población en general y es aquí donde será importante que las radiodifusoras tomen la iniciativa en promover este servicio porque de lo contrario las compañías celulares lo harán.

Las ventajas de la radio digital son determinantes para los radiodifusores, puesto que:

- La banda FM está actualmente saturada, la introducción de la radio digital en las bandas de frecuencia AM actuales permite acceder a nuevas frecuencias.

- Se pueden beneficiar de una zona de cobertura muy extensa a partir de un número restringido de emisores y continuar utilizando sistemas de difusión existentes así como, de manera más eficaz, los actuales planes de frecuencias.
- Gracias a la ampliación de cobertura, tienen acceso a nuevos oyentes, en mayor número y mejor clasificados.
- Pueden proponer verdaderamente servicios de valor añadido, con programas multimedia de tipo imágenes fijas, textos u otros servicios.
- Crecimiento de la audiencia y de oyentes más fieles gracias a la mejora de la calidad de audio y a los servicios multimedia asociados.
- Proporciona una nueva fuente de ingresos gracias a las posibilidades multimedia, variadas y diversificadas, ofrecidas por el digital.

Actualmente más de 65 editores de programas en otros países emiten ya en DRM, y participan activamente en la promoción y desarrollo de la radio digital en el mundo.

La llegada de la radio digital y del DRM es una verdadera oportunidad para la industria, ya sea para fabricantes de receptores, emisores o incluso para fabricantes de componentes específicos.

Los receptores actualmente en funcionamiento no podrán alcanzar la calidad digital ofrecida por el DRM. Esta exigirá nuevos receptores. Consecuentemente, el desafío comercial es la renovación de 2,5 millares de receptores analógicos en todo el mundo.

El DRM permite igualmente aumentar el potencial mercado de centros de difusión y ofrece una segunda juventud a los medios AM actualmente en funcionamiento (los emisores anteriores de todas formas deben ser modificados o remplazados con el avance de la implementación digital).

Actualmente gran cantidad de fabricantes ponen ya a disposición de los radiodifusores, de los oyentes y de los operadores de redes receptores, software de recepción o equipos de difusión, en los países donde ya se está escuchando radiodifusión digital.

EL 18 de julio de 2007 la compañía Himalaya Power Electronics anuncia el lanzamiento de su receptor DRM 2009 al mercado europeo.

Es un receptor multi-estándar, Dotado de un módulo Radioscape, esta nueva generación de receptores de radio digital es multi-estándar, ya que el Himalaya DRM 2009 permite recibir la radio digital DRM, DAB, FM y AM.

Gracias a la tarjeta SD, el receptor puede ser empleado como un lector MP3, y además también puede registrar programas de radio DRM y DAB. De igual forma, su memoria interna permite detener un programa digital en curso de difusión, y reanudar para escucharla algún tiempo después.

Este receptor salió a la venta con un precio inicial de 300 dólares pero su precio ha bajado hasta el momento a los 225 dólares.

**Figura 4. Receptor modelo DRM 2009.**





## **4. ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE LAS ONDAS ELECTROMAGNÉTICAS DE LAS SEÑAL AM DIGITAL.**

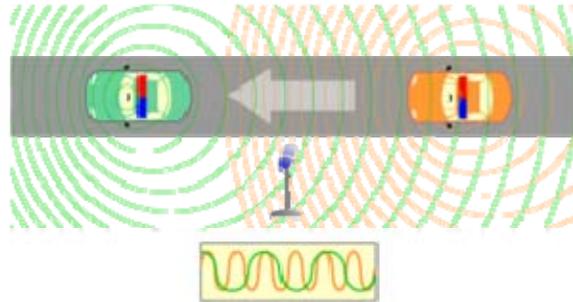
Para realizar este análisis es necesario definir algunos términos que se han mencionado en capítulos anteriores tales como el efecto doppler del sonido y la modulación COFDM.

### **4.1 Efecto Doppler:**

Llamado así por el austríaco Christian Doppler, consiste en la variación de la longitud de onda de cualquier tipo de onda emitida o recibida por un objeto en movimiento. Doppler propuso este efecto en 1842 en una monografía titulada *Über das farbige Licht der Doppelsterne und einige andere Gestirne des Himmels* ("Sobre el color de la luz en estrellas binarias y otros astros").

Su hipótesis fue investigada en 1845 para el caso de ondas sonoras por el científico holandés Christopher Hendrik Diederik Buys Ballot, confirmando que el tono de un sonido emitido por una fuente que se aproxima al observador es más agudo que si la fuente se aleja.

**Figura 5. Efecto Doppler del sonido.**



Un micrófono inmóvil registra las sirenas de los policías en movimiento en diversos tonos dependiendo de su dirección relativa.

#### **4.2 Modulación COFDM:**

La modulación tiene como fin fundamental adecuar los datos que se quieren transmitir a las características del canal empleado.

El canal de radiodifusión utilizado para recepción móvil en áreas urbanizadas como ciudades, es particularmente un entorno hostil para las transmisiones debido a que existe Interferencia industrial, bastante multi propagación causada por obstáculos naturales, necesitan de un sistema de modulación sofisticado si se desea un nivel de comunicación excelente.

El modelamiento del canal con multipropagación (multipath), asume que la señal recibida es la suma de señales retardadas y esparcidas. El esparcimiento de la señal (debido a árboles, otros vehículos, etc.) se puede modelar por factores que multiplican a la señal original y retardada, estos factores obedecen a una distribución de Raleigh con una función de probabilidad determinada.

Bajo este contexto de canal, los problemas que se presentan se pueden resumir en dos aspectos: Respuesta al impulso del canal:

1. Debido a su esparcimiento causa interferencia inter simbólica a medida que la tasa de bits aumenta.
2. Características dinámicas del canal, como resultado del entorno cambiante que rodea a un vehículo en movimiento. Lo anterior causará degradación en la estimación de la fase del receptor. Es lo que se conoce como efecto Doppler.

Para compensar estos problemas en la transmisión y otras etapas se desarrolla la modulación COFDM (Coded Orthogonal Frequency Division Multiplex). Esta modulación es un sistema de transmisión en paralelo, es decir, varios datos son transmitidos en el mismo instante de tiempo por múltiples portadoras; portadoras que se eligen de forma que sean ortogonales entre sí. El principio de ortogonalidad define la separación entre portadoras de manera que sea exactamente igual al recíproco del periodo de símbolo útil, es decir, que los máximos de una portadora coincidan con los ceros de la otra.

Este modulador COFDM es la pieza básica del sistema DAB y DMR y es el que aporta las mayores ventajas tecnológicas. Es un sistema basado en la modulación multi portadora que proporciona la recepción incluso en movimiento con altos niveles de seguridad y calidad, El modulador COFDM será explicado en este capítulo orientado mas a señales DAB puesto que hasta la fecha la transmisión digital de mayor calidad. Las ventajas tecnológicas que aporta la modulación COFDM son las siguientes:

- Permite el envío de un elevado volumen de información garantizando la recepción en equipos móviles.
- El sistema se muestra inmune al efecto Doppler (efecto de variación de la frecuencia en función del desplazamiento, perjudicial en Frecuencia Modulada), y permite la recepción con una calidad excepcional.
- Determina la posibilidad de configurar Redes de Frecuencia única, lo que facilita la recepción de un programa en la misma frecuencia en todo el territorio de cobertura. Esto representa una gran ventaja respecto a la F. M., donde el usuario debe re sintonizar continuamente el receptor de su vehículo a medida que se desplaza por zonas no cubiertas por un mismo centro emisor.
- Representa un ahorro de energía y recursos importante porque radia diferentes programas y servicios de datos a través de un mismo transmisor.

- Una de las características muy importantes de la modulación COFDM es su capacidad para recuperar la información con los mínimos errores posibles, cuando se produce la recepción de una señal directa y una de retardada en el tiempo por efecto de rebotes y reflexiones.

#### **4.3 Cómo funciona la modulación COFDM:**

En la entrada, la señal MPEG-2 como señal de audio codificada con MUSICAM, pasa por dos sistemas de corrección de errores y un proceso de corrección de ancho de banda. Luego se multiplica por una secuencia pseudoaleatoria para dispersar el espectro y minimizar el efecto de las interferencias.

El modulador COFDM utiliza 1536 frecuencias portadoras o más, espaciadas dependiendo del tipo de señal a enviar, el sistema DAB generalmente utiliza 1536).

En el caso del DAB hay una separación de 1 kHz. Los datos multiplexados se distribuyen en las portadoras, ocupando aproximadamente un ancho de banda de 1.54MHz.

Como consecuencia de la distribución de los datos en las portadoras la tasa de símbolos en cada una de ellas es mucho más baja que si se utilizara un sistema de portadora única.

Los diversos bloques de interés que constituyen la modulación COFDM son:

#### **4.3.1. Modulación QPSK:**

La trama se distribuye en 1536 portadoras (en modo 1), cada una de ellas están moduladas QPSK a la correspondiente baja velocidad. Las portadoras están colocadas de forma que una no influya en las demás. Como resultado, el periodo de cada símbolo que se obtiene es considerablemente superior que cualquier retardo de señal.

QPSK (Quadrature Phase-Shift Keying):

$$\text{QPSK} = 4\text{-PSK}$$

Desplazamiento de fase de 4 símbolos, desplazados entre sí  $90^\circ$ . Normalmente se usan como valores de salto de fase  $45^\circ$ ,  $135^\circ$ ,  $225^\circ$ , y  $315^\circ$ . Cada símbolo aporta 2 bits. Suele dividirse el flujo de cada bit que forman los símbolos como I y Q.

La modulación por desplazamiento de fase o PSK (Phase Shift Keying) es una forma de modulación angular que consiste en hacer variar la fase de la portadora entre un número de valores discretos. La señal moduladora es una señal digital y, por tanto, tiene un número limitado de estados.

La probabilidad de bit erróneo para QPSK es la misma que para PSK y esta definida por:

$$P_b = Q\left(\sqrt{\frac{2E_b}{N_0}}\right).$$

La tasa de símbolos erróneos se puede calcular con la siguiente expresión matemática:

$$\begin{aligned} P_s &= 1 - (1 - P_b)^2 \\ &= 2Q\left(\sqrt{\frac{E_s}{N_0}}\right) - Q^2\left(\sqrt{\frac{E_s}{N_0}}\right). \end{aligned}$$

Donde:

- $E_b$  = Energía por bit
- $E_s$  = Energía por símbolo =  $kE_b$  con  $k$  bits por símbolo
- $N_0 / 2$  = Densidad espectral de potencia de ruido(W/Hz)
- $P_b$  = Probabilidad de bit erróneo
- $P_s$  = Probabilidad de símbolo erróneo.

#### **4.3.2. Intervalos de guarda:**

La modulación emplea una técnica que consiste en habilitar un cierto intervalo temporal que se añade al intervalo de tiempo necesario para la transmisión de un súper símbolo. Con esto se evita que unos símbolos se vean afectados por otros (interferencia inter símbolo), aunque un símbolo siempre puede ser afectado por una versión retardada de sí mismo (interferencia intra símbolo). COFDM provee tolerancia contra la interferencia inter simbólica. Mientras el retardo de las señales de eco sea menor que el intervalo de guarda, existirá un beneficio constructivo en la recepción. La desventaja de la introducción del intervalo de guarda estriba en una reducción de la eficiencia espectral, ya que hay que transmitir muestras duplicadas que no aportan nueva información.

#### **4.3.3. Codificador de convolución:**

Está compuesto por dos elementos: un código convolucional y un demulador (es por ese motivo que pasa a llamarse Coded-OFDM. El funcionamiento del convolucional está basado en registros de memoria (cuya capacidad es de un bit) y sumas módulo dos. La codificación de los bits se realiza a partir del valor del bit presente a la entrada y los valores de los  $m$  bits anteriores que están guardados en los registros.

El demulador trata de introducir un cierto desorden de manera que las portadoras adyacentes no sean moduladas por datos consecutivos. Si se produce una pérdida de información llevada por portadoras adyacentes, al deshacer el desorden debido al barajador.

#### 4.3.4. Código convolucional:

Un código convolucional es un tipo de código de detección de errores donde cada símbolo de  $m$  bits de información se transforma, al ser codificado, en un símbolo de  $n$  bits, donde  $m/n$  es la tasa del código ( $n \geq m$ ).

La transformación es función de los  $k$  símbolos anteriores, donde  $k$  es la longitud del código.

#### 4.3.5. FFT ( Transformada rápida de Fourier):

Después de la asignación de información a las subportadoras, se lleva a cabo la transformación rápida de Fourier, obteniéndose la banda base DAB que está disponible como una señal en fase I y en cuadratura Q.

$$F(u) = \int_{-\infty}^{\infty} f(x) e^{j2\pi ux} dx$$

Es decir, una vez que se tienen todos los datos distribuidos en frecuencia, el siguiente paso que establece el estándar y es entonces donde se aplicación de la IFFT ( **Transformada Inversa Rápida de Fourier**) con lo cual, a partir de este punto, se pasa a trabajar en el dominio temporal.

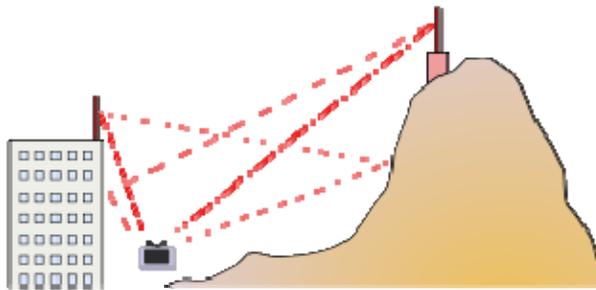
$$f(x) = \int_{-\infty}^{\infty} F(u) e^{j2\pi ux} dx$$

#### 4.4 Características y ventajas de COFDM:

La duración de los bits es superior a los retardos, evitando ecos y permitiendo reutilizar las mismas frecuencias en antenas vecinas.

Tener una menor tasa de símbolos por portadora se traduce en un periodo de símbolo más grande, lo que proporciona protección contra los ecos producidos por los múltiples caminos que toma la señal en su propagación. Este caso se da frecuentemente en las grandes ciudades, donde se puede recibir una señal directa del transmisor más una cierta cantidad de señales retardadas por las reflexiones con los edificios.

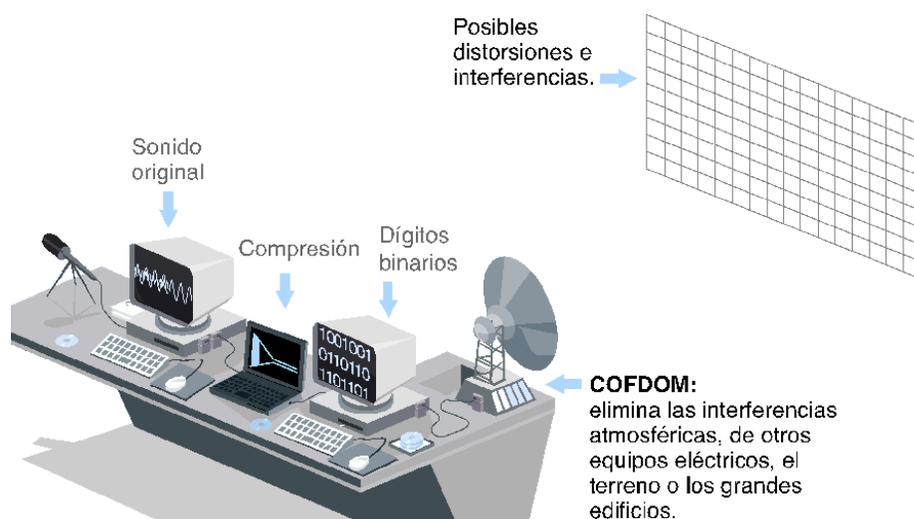
**Figura 6. Reflexión de señales.**



El hecho de tener un gran número de portadoras sobre las que se distribuye la información proporciona una protección contra interferencias co-canal, ya que si se pierde la información de una portadora debido a estas interferencias se pierde una pequeña porción de información que no tiene por qué ser relevante para la calidad de la transmisión.

La señal modulada tiene una *banda de guarda*, que es un periodo de tiempo en el que la señal se mantiene constante, repitiendo un símbolo. De esta forma las señales que lleguen con un retardo menor que ese tiempo de guarda se pueden aprovechar como señales constructivas para mejorar la recepción.

**Figura 7. Aplicación del sistema COFDM.**



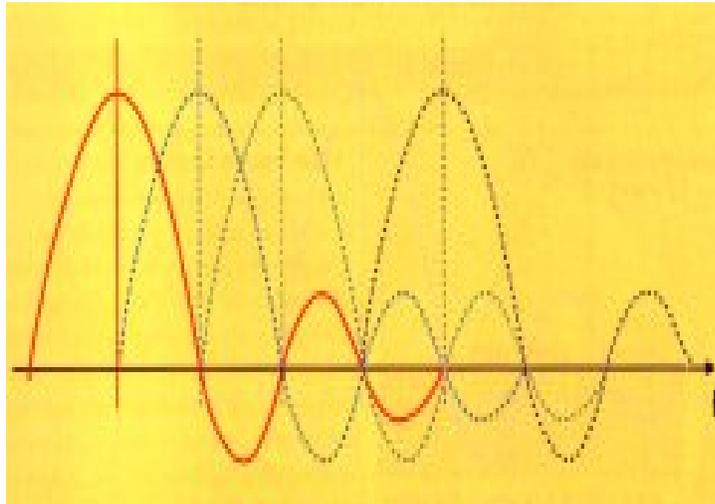
#### 4.5 Codificación y transmisión:

La salida del multiplexor "DAB ensamblador" también se llama ETI (Ensemble Transport Interface). Este ETI es un interface de 2 Mbps.

En la transmisión analógica de audio la señal que llega al receptor en un canal multi camino se altera por diversos efectos físicos. Por ejemplo las diferencias de retardos provocados por la propagación multi camino que produce interferencias entre símbolos transmitidos sucesivamente. Adicionalmente, en los receptores en movimiento se producen cambios de frecuencias y fases conocido técnicamente como (el efecto Doppler del sonido).

Para compensar estos y otros problemas a la transmisión se desarrolla la modulación COFDM. El principio de la modulación ortogonal se basa en que los picos máximos de cada portadora se hacen coincidir con los ceros de las otras, como se puede apreciar en la figura.

**Figura 8. Topologías de red.**



La trama ETI se distribuye en 1536 portadoras (en modo 1), cada una de ellas están moduladas QPSK a la correspondiente baja velocidad.

Las portadoras están colocadas de forma que una no influya en las demás. Como resultado el periodo de cada símbolo que se obtiene es considerablemente superior que cualquier retardo de señal. Existen distintos modos de transmisión que quedan reflejados en el cuadro siguiente.

**Tabla II. Modos de transmisión digital DAB**

MODO	I	II	III	IV
Duración de la trama	96 ms	24 ms	24 ms	48ms
Duración de símbolo nulo.	1297 $\mu$ s	324 $\mu$ s	168 $\mu$ s	648 $\mu$ s
Duración intervalo de guarda.	246 $\mu$ s	62 $\mu$ s	31 $\mu$ s	123 $\mu$ s
Rango de frecuencia nominal	<375 MHz	<1.5 GHz	<3 GHz	<1.5 GHz
Duración de símbolo útil.	1 ms	250 $\mu$ s	125 $\mu$ s	500 $\mu$ s
Duración total de símbolo.	1246 $\mu$ s	312 $\mu$ s	156 $\mu$ s	623 $\mu$ s
No. De portadoras radiadas.	1536	384	192	768

Técnicamente el sistema DAB puede ser utilizado en el intervalo de 30MHz y los 3 GHz. Este amplio rango de frecuencias incluye las bandas VHF I, II y III, las bandas UHF IV y V y la banda-L (que es la que está alrededor de los 1.5 GHz). Dado que las condiciones de propagación varían con la frecuencia se definen cuatro modos de transmisión en el sistema DAB, mismos que fueron descritos en la tabla anterior. Estos modos proporcionan una buena relación entre la distancia de separación del transmisor y la degradación por el efecto Doppler y son detectados automáticamente por el receptor siendo totalmente transparente al usuario.

A continuación se describe cada uno de estos 4 modos de transmisión:

- El *Modo I* está indicado para operaciones SFN (Single Frequency Networks) redes de frecuencia única, a frecuencias por debajo de los 300 MHz.
- El *Modo II* fue diseñado para servicios locales y regionales con frecuencias por debajo de los 1.5 GHz.
- El *Modo III* está disponible para transmisión vía satélite por debajo de los 3 GHz.
- El *Modo IV* permite a los transmisores proveer una óptima cobertura en áreas extensas operando en Banda-L. Sus parámetros están entre el *Modo I* y *Modo II*.

En cuanto a la señal se introduce un intervalo de guarda para eliminar interferencias entre símbolos adyacentes. El receptor entonces encuentra una señal libre de interferencias. Además, como la información se distribuye entre varias portadoras, sólo algunas partes de la información se destruirán si existen desvanecimientos selectivos de frecuencia, mientras que en métodos de portadora única toda la información se perdería. Esta información perdida se podría recuperar por la información recibida con la ayuda de los métodos de corrección de errores.

Como se había mencionado anteriormente, una ventaja adicional de la señal COFDM es que se puede transmitir en redes de una sola frecuencia un número determinado de programas. Esto es posible porque el máximo retardo de la señal resultante de la distancia del transmisor es más corto que el intervalo de guarda.

Por ejemplo, para transmisión en modo 1 (ver cuadro anterior) la distancia máxima entre transmisores es de 90 Km; los receptores recibirán las señales de otros transmisores como ecos útiles y por tanto no provocarán interferencias.

#### **4.6 Los transmisores y receptores de DAB:**

Teniendo presente que la señal modulada en COFDM consiste en un gran número de portadoras espaciadas por intervalos de guarda y a su vez moduladas en QPSK o QAM. Vista en un osciloscopio la señal COFDM es muy parecida a una señal de ruido con una gran amplitud de pico resultante de la suma de las portadoras individuales. La relación entre la potencia pico y la potencia media de la señal está, por ejemplo, entre 8 a 10 dB para el sistema DAB.

El amplificador del transmisor debe ser capaz de transmitir una potencia de pico con una extremada linealidad, si no fuera así aparecerán productos de intermodulación dentro y fuera de la señal DAB. Los P.I. dentro de banda degradarían la relación Señal/Ruido y fuera provocarían interferencias con otros servicios.

A continuación se muestra un diagrama descriptivo del proceso técnico de la generación y recepción de la señal DAB.

Figura 9. Generación de señal DAB.

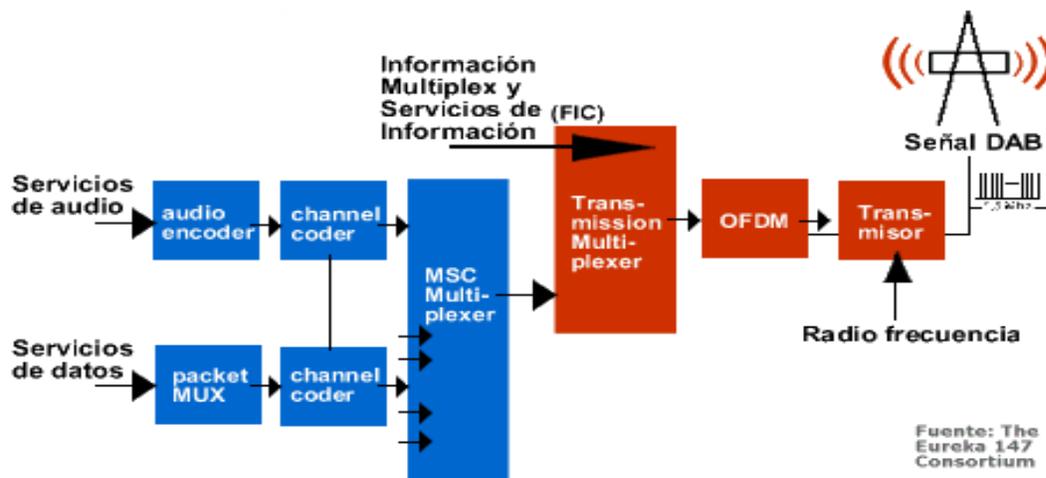
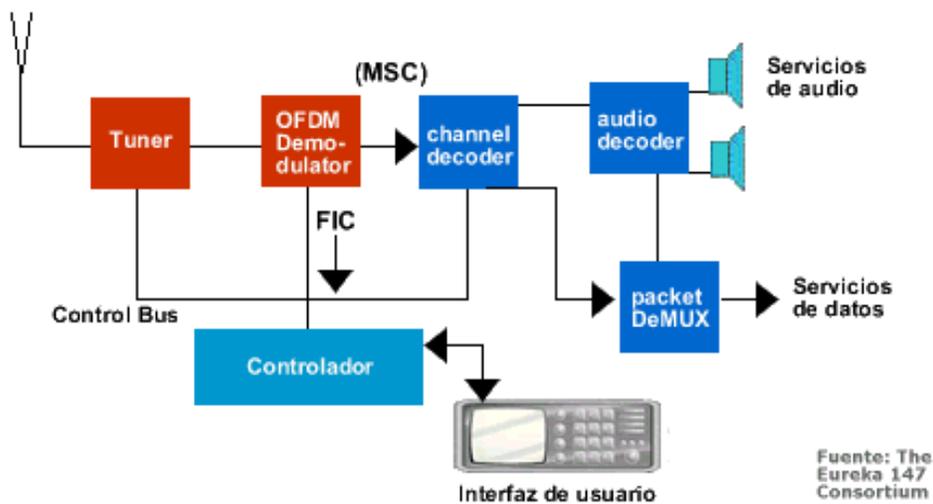


Figura 10. Recepción de señal DAB.



#### **4.7 Protocolo MOT (RO MOT).**

##### Rules of Operation for the Multimedia Object Transfer Protocol

MOT es un protocolo de transporte para la transmisión de contenido multimedia en canales de datos DAB a varios tipos de receptores con capacidades multimedia. El propósito es transmitir objetos de longitud finita de una fuente de información (un proveedor de contenidos o servicios) a un destino (un receptor).

Las ventajas del protocolo MOT son:

- No aplica restricciones al contenido que pueda ser transmitido.
- Tanto la segmentación como la transmisión de paquetes es transparente a la aplicación del usuario.
- El estándar MOT existente puede ser ampliado de manera que sea compatible con el anterior.

Hay que señalar que el protocolo MOT se ocupa del nivel de transporte y no del nivel de aplicación, aunque contiene información básica de la administración de objetos y de la presentación del contenido multimedia. Tampoco se ocupa del direccionamiento de los receptores ni del acceso condicional.

El tamaño de los objetos que pueden ser transmitidos usando MOT está limitado por el tamaño máximo del cuerpo cuya limitación real es igual a 255 Mbytes.

El tamaño de cualquier información que pudiera ser llevada en la cabecera está limitada por el tamaño del campo llamada Tamaño Cabecera (Header Size) que va desde 1 Byte a 8 Kbytes.

Los métodos de transmisión DAB que puede utilizarse para transportar objetos MOT son el modo paquete y el PAD (Datos asociados al programa). Ahora vamos a describir las diferentes operaciones necesarias para transmitir un archivo o un conjunto de archivos (por ejemplo un directorio) en formato MOT sobre DAB.

- El primer paso consiste en identificar el archivo y crear la cabecera MOT que contendrá tanto la identificación pura del fichero como la información adicional. El fichero o archivo está referido como el cuerpo MOT. Entonces así obtenemos un objeto MOT como la cabecera más el cuerpo y ya está listo para la segmentación.
- El segundo paso consiste en la segmentación. La estructura de datos que se usará por los mecanismos de transporte son los grupos de datos MSC (Canal de Servicio Principal). La cabecera MOT y el cuerpo son transportados en diferentes tipos de grupos MSC por lo que el cuerpo MOT será separado en segmentos de igual tamaño y el último tendrá los bytes restantes. El tamaño de los segmentos de la cabecera y el tamaño de los segmentos del cuerpo son independientes.

Las consideraciones que se toman para realizar la segmentación son: Proveer robustez a la transmisión, minimizar la cabecera y facilitar la administración de los segmentos en el decodificador de datos DAB. Este proceso se considera dentro del nivel de transporte. Después, en el nivel de red, se formarán paquetes de dos maneras diferentes: modo paquete (Packet Mode) o X-PAD, es decir, en grupos de datos X-PAD.

#### **4.7.1. Parámetros de la cabecera:**

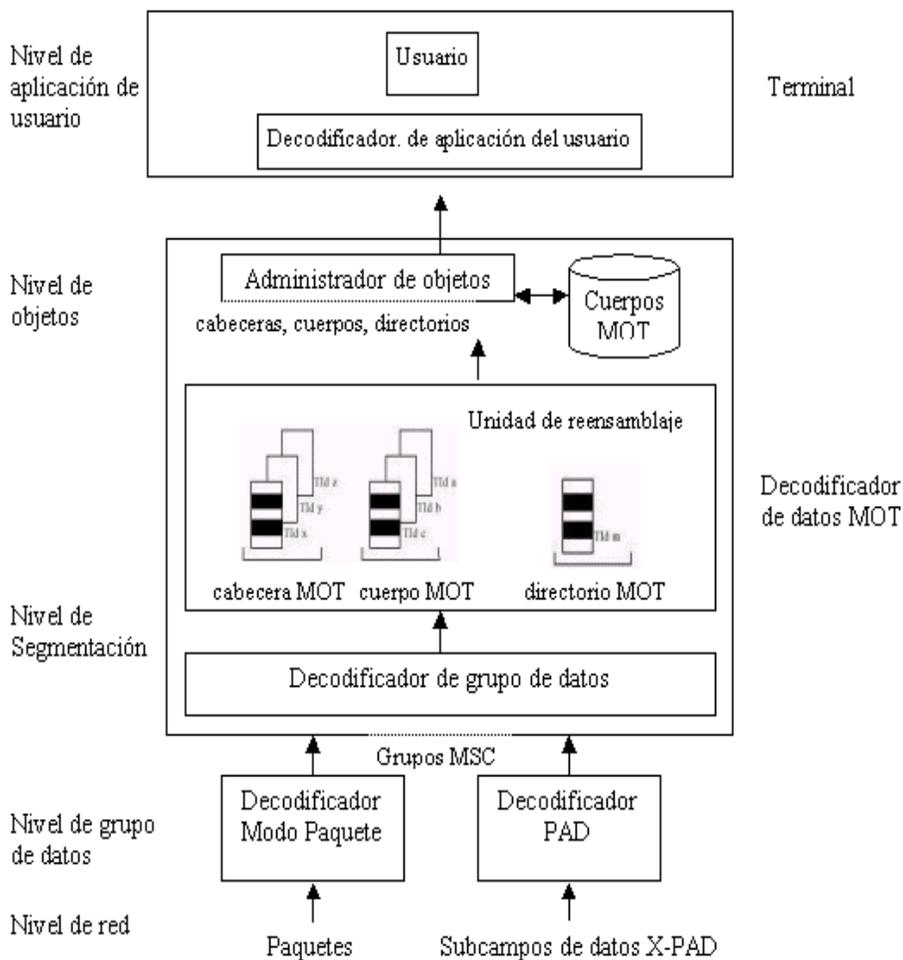
La cabecera básica (cualquier objeto debe tenerlos como mínimo) contiene importante información sobre el cuerpo del paquete, así pues los campos de tipo contenido y sub tipo contenido especifican el tipo exacto de información que lleva el cuerpo (Texto, Imagen, Audio, Vídeo, Transporte MOT, Sistema, datos generales o tabla propietaria); la cabecera básica se completan con los campos tamaño de cuerpo y tamaño de Cabecera.

La cabecera de extensión consiste en una serie de parámetros Param Id, indicación del tamaño (Data Field Length) y el valor del campo (Data Field). De los más significativos destacan el Start Validity y el Expire Time cuyos valores indican al decodificador MOT a partir de qué momento podrá ser presentado un objeto MOT o invalidado respectivamente.

Con el parámetro Trigger Time se especifica en qué momento exacto se debe mostrar el objeto después de la recepción.

Es importante mencionar que no está permitido transmitir simultáneamente dos versiones del mismo objeto. Hay sólo una versión de un objeto identificado en Nombre de Contenido al mismo tiempo, de hecho, una curiosidad relacionada está en la etiqueta Nombre de Contenido (este parámetro es obligatorio pero no está en la cabecera básica) que identifica a todos los objetos MOT, si un objeto es recibido con el mismo Nombre Contenido, reemplaza al antiguo.

**Figura 11. Modelo de un codificador MOT y sus interfaces.**



A continuación se explicara lo que realiza cada nivel del modelo MOT.

#### **4.7.2. Nivel de red.**

En el modo paquete, la dirección del paquete debe usarse para identificar el servicio en particular dentro del sub canal. La validación de cada paquete se verifica evaluando el CRC (Suma de comprobación) del paquete. En el modo X-PAD, el tamaño del grupo de datos MSC viene del indicador Tamaño (Length) del grupo de datos inmediatamente precedido del comienzo del grupo de datos MOT.

#### **4.7.3. Nivel de grupo de datos.**

La validación de cada grupo de datos MSC se verifica evaluando su CRC. El campo de datos del grupo MSC contiene un segmento completo.

#### **4.7.4. Nivel de segmentación y nivel de objetos.**

Un decodificador de datos MOT está formado por dos partes: la unidad de re ensamblaje que re ensambla cabeceras, cuerpos y directorios MOT; y el administrador de objetos que controla a la unidad de re ensamblaje, guardando los objetos recibidos y maneja las peticiones de la aplicación del usuario. Es necesario explicar los tipos de grupos: tipo 3 son de cabecera MOT, tipo 4 son los cuerpos MOT, tipo 5 son un cuerpo MOT y los parámetros CA, tipo 6 son directorios MOT y tipo 1 son mensajes CA. CA es el Acceso Condicional, es decir, servicios de pago.

Se describen, además, dos modos de operación para el decodificador: el modo cabecera MOT en donde son procesados tanto cabeceras como cuerpos, y el modo directorio MOT que procesa directorios y cuerpos. Si un flujo de datos contiene tanto cabeceras como directorios, el decodificador deberá trabajar en los dos modos. Tanto la unidad de re ensamblaje como el administrador de objetos están en el mismo modo.

La unidad de re ensamblaje continuamente evalúa los grupos de datos que llegan. Debe estar preparada para que muchos objetos se transmitan aplicando intervalos, por lo tanto se codifican casi en paralelo.

Esta unidad mantiene una lista con los Transport Id de las cabeceras MOT que se envían al administrador de objetos para que sepa que el resto de cabeceras con el mismo Transport Id sean descartadas. Si el administrador de objetos MOT quita una cabecera MOT de su memoria se lo dice a la unidad de re ensamblaje. Entonces ésta eliminará este Transport Id de su lista y continuará aceptando cabeceras MOT con sus Transport Id.

El modo directorio MOT es similar al anterior. El re ensamblaje de cuerpos MOT es independiente del modo en que esté la unidad de re ensamblaje. Si el administrador pide un cuerpo, la unidad obtiene una petición, indicando que los cuerpos están siendo re ensamblados. La petición incluirá el Transport Id y el tamaño de los cuerpos y quizá también el Tamaño de Segmento (si se da en un directorio MOT). La unidad de re ensamblaje puede entonces asignar memoria para los cuerpos de paquetes requeridos.

La unidad de administración almacena objetos y permite que la aplicación los pida, por ejemplo, a través de su nombre de contenido o por la etiqueta MOT. Intenta reducir el tiempo de acceso e incluye algunas estrategias de memoria caché. Evalúa los parámetros MOT y hace que estos parámetros estén disponibles a la aplicación del usuario. Si un objeto expira debido al parámetro *expire time*, se quita de la memoria y se advierte a la aplicación de esto.

#### **4.7.5. Nivel de aplicación.**

El nivel de aplicación pide objetos al decodificador MOT y los presenta. La especificación del nivel de aplicación de usuario no es parte de MOT.

#### **4.7.6. Mecanismos de transmisión.**

Se definen los *Mecanismos de transmisión* para permitir al receptor recuperar grupos de datos perdidos y objetos para asegurar la recepción correcta, para ello se usan uno o más de los siguientes métodos: repetición en el nivel de grupo de datos, repetición en el nivel de objetos, retransmisión de objetos e inserción de cabeceras MOT.

Generalmente se utiliza un mecanismo para permitir la transmisión/recepción de objetos en paralelo, este mecanismo es el intercalado de objetos en el flujo MOT. Esta transmisión puede ser cíclica o no cíclica.

La transmisión no cíclica se usa cuando un objeto se necesita sólo durante un periodo de tiempo. El problema surge cuando se realiza esta transmisión con repeticiones y un receptor sintoniza después del inicio de esta transmisión ya que no podrá recibir los datos al no tener el inicio.

La transmisión cíclica evita el problema anterior ya que está orientada a las aplicaciones de usuario que necesitan tener objetos disponibles en el terminal durante mucho tiempo. Cada objeto se transmite muchas veces de manera cíclica con un periodo entre cada transmisión. Cuando se solicita un objeto MOT que no está en memoria, se espera al siguiente ciclo. Incluso dentro de un ciclo también se puede repetir el mismo objeto.

Los diferentes objetos en un flujo cíclico MOT son identificados por su Nombre de Contenido. Se recomienda transmitir los objetos más importantes con más frecuencia que el resto para mejorar el acceso al servicio. Mecanismos de transmisión MOT que se mencionaron al inicio de este capítulo:

Repetición en el nivel de grupo de datos MSC: Los grupos de datos MSC contienen segmentos MOT que son transmitidos más de una vez con el mismo contenido de datos.

Repetición en el nivel de objetos: Es más fiable que la anterior. El objeto se transmite más de una vez con el mismo Transport Id, la misma segmentación y el mismo contenido en cabecera y cuerpo.

Retransmisión de objetos: Un objeto conserva el mismo Nombre de Contenido en todas las retransmisiones asignando un nuevo Transport Id si cambia algún parámetro.

Inserción de cabeceras MOT: Si hacemos transmisiones adicionales de la cabecera MOT junto a las repeticiones permitimos a los decodificadores que pierdan la cabecera y la parte inicial de un objeto empezar a recoger las subsecuentes partes del objeto.



## **5. PROPUESTAS DE ALTERNATIVAS DE IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA AM DIGITAL EN LA CIUDAD DE GUATEMALA.**

La radiodifusión sonora digital será una realidad en el futuro, ya que el oyente podrá disponer de una programación con una buena calidad de sonido, así como también, la radiodifusión futura tendrá un valor agregado debido a las diversas aplicaciones que puede ofrecer gracias a la tecnología digital.

Conociendo esta realidad, a fin de que nuestro país adopte un sistema digital de radiodifusión, es necesario conocer principalmente las tendencias de la radiodifusión digital en el mercado latinoamericano, así como también las tendencias a nivel mundial para que nuestro país también pueda estar a la vanguardia en cuanto a la tecnología de la radiodifusión, en muchos países industrializado ya se tienen fechas establecidas para establecer el apagado analógico tanto para televisión como para la radiodifusión es por ello que los países de Latinoamérica tiene que tomar cartas en el asunto para entrar a este tipo de tecnología.

### **5.1 Propuestas:**

Que el gobierno a través de sus entidades reguladoras de este servicio SIT (súper intendencia de telecomunicaciones) establezcan parámetros y normativas para que los operadores de radio den inicio con la investigación, análisis y pruebas de laboratorio respectivas para la digitalización de nuestra radiodifusión.

Realizar estudios de factibilidad técnica y económica para demostrar la rentabilidad que generalmente genera un avance en la tecnología.

Firmar acuerdos con empresas productoras de la nueva tecnología para que realicen pruebas en nuestro país a cambio de la utilización de su tecnología siempre y cuando esta sea aplicable a nuestra área así como ya lo está haciendo México y Brasil, quienes han firmado acuerdos con la corporación Harris para realizar experimentos de la tecnología IBOS utilizada y normalizada ya en Estados Unidos.

En cuanto al marco regulatorio de la entidad que rigen las telecomunicación en nuestro país será necesario modificar las normativas para que las transmisiones no sean únicamente por departamentos sino que en una cobertura nacional sin importar el departamento en el que se genere la transmisión, actualmente las emisoras de radio con mayor poder económico han establecido frecuencias repetidoras de su estación piloto en otros departamentos, con la nueva tecnología no será necesario contar con tantas repetidoras siempre y cuando esto sea regulado por el ente competitivo.

Actualización de los valores de tarifas por concesión y utilización de frecuencias, canales y otros servicios de radiodifusión y televisión para poder aperturar la competitividad de la radiodifusión ya sea en AM o FM.

Otra posible medida que se podría realizar es el de establecer fechas límites de funcionamiento para las transmisiones analógicas; para que de

esta manera todos los concesionarios de frecuencias actualicen sus instalaciones y equipos a fin de poder migrar hacia la radiodifusión digital. Se podría considerar en pasar por una fase híbrida, pero no se apreciaría las ventajas de la tecnología digital, por lo que sería recomendable pasar directamente a un modo de transmisión totalmente digital, a fin de aprovechar el valor agregado que ofrece esta tecnología.

Así como se dio la utilización progresiva del internet gracias a los establecimientos educativos que iniciaron instruyendo al estudiante y luego que el mismo estudiante considerara la necesidad de adaptarse a una nueva herramienta de gran utilidad así mismo se pueden establecer métodos y sistemas de divulgación, investigación de la radiodifusión digital sobre todo en carreras técnicas como la nuestra.

Por último se podrían implementar políticas de estado para incentivar la radiodifusión digital tanto en los concesionarios como en los oyentes, políticas como, bajar impuestos para la importación de los equipos de radiodifusión, realizar el ensamblaje de los equipos en el país, a fin de que los costos estén al alcance del consumidor.



## CONCLUSIONES.

1. Técnica y económicamente si es factible la implementación de un sistema AM digital sobre un sistema AM analógico en nuestro país utilizando el sistema DRM.
2. El DRM es un sistema digital universal. Tiene la particularidad de utilizar las frecuencias y las bandas de frecuencias AM existentes. Es un sistema abierto en el sentido que no ha sido desarrollado por una entidad en particular, sino gracias a la unión de los esfuerzos de todos los miembros del consorcio.
3. El DRM es un sistema ágil, capaz de adaptarse a las distintas exigencias de diferentes operadores de red y al medio en el que operan.
4. El sistema DRM utiliza tecnologías existentes y se acomoda a la disposición actual de canales en las bandas AM para ofrecer técnicas de compresión y de codificación digitales.
5. En la mayor parte de los casos o bajo reserva de alguna modificación, el DRM permite continuar utilizando los transmisores y equipos de difusión existentes.
6. Para obtener una radiodifusión digital con mayor calidad es recomendable utilizar el sistema DAB.

7. El sistema DAB es eficiente en el uso del espectro y la potencia puesto que usa un único bloque de transmisión de baja potencia, la cobertura puede ser local, regional, nacional o supranacional.
  
8. Con el sistema DAB no se tienen las interferencias tan comunes como en AM y FM puesto que el sistema DAB supera las reflexiones por obstáculos dado que el sistema de codificación distribuye a la información en un amplio número de frecuencias.

## RECOMENDACIONES

1. Es de suma importancia el involucramiento de las entidades del gobierno para promover la digitalización del sistema de radiodifusión en nuestro país y poder seguir los pasos de los países que ya están migrando a la digitalización.
2. Aprovechar la particularidad de que el sistema DRM es un sistema digital universal, teniendo la particularidad de utilizar las frecuencias y las bandas de AM existentes, puesto que es un sistema abierto en el sentido que no ha sido desarrollado por una entidad en particular, sino gracias a la unión de los esfuerzos de todos los miembros del consorcio DRM.
3. Que los establecimientos universitarios del país incluyan en su pensum de estudio en carreras técnicas de electrónica y telecomunicaciones la digitalización de los servicios de radio y televisión.
4. Que las entidades de radiodifusión del país apuesten a la actualización mediante la demanda del público, para brindar mejor servicio y valores agregados en la radiodifusión actual.



## BIBLIOGRAFÍA

1. Wolfgang, Hoeg. **Digital audio broadcasting**. 2ª ed.; Wiley, Alemania. 2003.
2. Graham, Jones. **A broadcast engineering tutorial**. 3ª ed.; Focal Press. Estados Unidos. 2005.
3. Schilling, Donald. **Principles of communication systems**. 2ª ed.; Hardcover, Estados Unidos, 1986
4. Krauss, John. **Teoria electromagnética**. 3ª ed.; Mac Graw Hill. Mexico. 1984.