



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE
MÉXICO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA
DIVISIÓN DE INGENIERÍA ELÉCTRICA**

**COMPARACIÓN DE TECNOLOGÍAS
DE RADIO DIGITAL PARA SU
APLICACIÓN EN MÉXICO**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERA EN TELECOMUNICACIONES

Presenta:

MARTHA ALEJANDRA SALINAS CECCOPIERI



Director de Tesis: Dr. José María Matías Maruri

Codirector: Ing. Mario Arreola Santander

**MÉXICO, D. F., CIUDAD UNIVERSITARIA
OCTUBRE 2011**



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Dedicatorias y Agradecimientos

A mis padres Martha Leticia Ceccopieri Gómez y Lisandro Salinas Salazar por su apoyo incondicional, la paciencia infinita, pero sobre todo, por su guía y consejo que han hecho de mí la persona que hoy soy. Esto es solo el principio. Los amo

A mis hermanos Valeria Sofía y Lisandro por nunca permitirme olvidar mi objetivo y alegrar cada día de mi vida. Los quiero mucho

A la UNAM, mi universidad, y en especial a la Facultad de Ingeniería, por abrirme sus puertas y permitirme crecer como estudiante y como persona

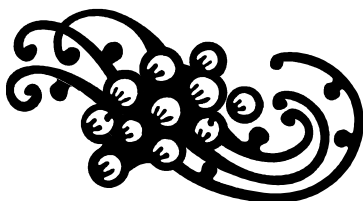
A todos mis profesores de la Facultad, por su dedicación y compromiso a la labor tan importante de formar profesionistas de excelencia

Al Dr. José María Matías por dirigir este trabajo y por despertar aún más mi interés por la radiodifusión

Al mejor equipo de Ingeniería de Radio UNAM, los ingenieros Ignacio, Mario, José, Oscar y Manuel, por hacer de mi servicio social una muy buena experiencia, por iniciarme en la verdadera ingeniería, y por ayudarme a entrar en el ambiente de la radiodifusión

To Mr. John Schneider for helping me so much in my research about the IBOC standard

A Daniel, Eduardo, Ibis, Jesús, Jorge, Juan Pablo, Miguel y Nayla, por estar conmigo desde siempre, por su amistad incondicional a pesar del tiempo y la distancia y por todas las palabras de aliento. ¡Los quiero!



A Gaby, Jennifer, Jesús, Juan Carlos, Julio, Lorena, Oswaldo, Pablo y Vladimir, por hacer de mi paso por la Facultad la mejor de las experiencias; por compartir conmigo 4 años de estudio, fiesta, juego, exámenes... Estoy segura de que esto es solo el principio



ÍNDICE

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN.....	1
1. HISTORIA DE LA RADIODIFUSIÓN SONORA TERRESTRE EN MÉXICO	2
2. RADIODIFUSIÓN SONORA DIGITAL TERRESTRE EN MÉXICO.	3
CAPÍTULO II. SISTEMA EN BANDA DENTRO DEL CANAL (IBOC, IN-BAND ON-CHANNEL)	7
1. INTRODUCCIÓN	7
1.1. <i>Historia del desarrollo del sistema IBOC</i>	7
1.2. <i>Ventajas del sistema IBOC (HD Radio)</i>	9
1.3. <i>Características y servicios en desarrollo</i>	10
1.4. <i>Definición de términos</i>	11
2. SERVICIOS DE DATOS	12
2.1. <i>Descripción de los datos del servicio de programa</i>	13
2.2. <i>Servicios de información de estación</i>	13
3. COMPONENTES PRINCIPALES DEL SISTEMA IBOC.....	14
3.1. <i>Capa 4. Codificación de fuente</i>	15
3.2. <i>Capa 2. Multiplexación de servicios</i>	16
3.3. <i>Capa 1. Capa física</i>	16
3.3.1. <i>Canales lógicos (LC, Logical Channel)</i>	19
3.3.2. <i>Capacidad de transmisión del sistema</i>	23
3.4. <i>Componentes funcionales de la capa 1 del sistema IBOC</i>	24
3.4.1. <i>Aleatorización</i>	25
3.4.2. <i>Codificación de canal</i>	26
3.4.3. <i>Entrelazado</i>	26
3.4.4. <i>Procesamiento del control del sistema</i>	26
3.4.5. <i>Mapeo de las sub portadoras OFDM</i>	27
3.4.6. <i>Generación de la señal OFDM</i>	27
3.4.7. <i>Sub sistema de transmisión</i>	27
3.5. <i>Formas de onda y características espectrales de las señales IBOC</i>	30
3.5.1. <i>Amplitud modulada</i>	30
3.5.1.1. <i>Forma de onda híbrida</i>	30
3.5.1.2. <i>Forma de onda totalmente digital</i>	31
3.5.2. <i>Frecuencia modulada</i>	34
3.5.2.1. <i>Particiones de frecuencia</i>	35
3.5.2.2. <i>Forma de onda híbrida</i>	35
3.5.2.3. <i>Forma de onda híbrida extendida</i>	36
3.5.2.4. <i>Forma de onda totalmente digital</i>	37



4.	REQUERIMIENTOS DE CONVERSIÓN PARA LA TRANSMISIÓN DE LA SEÑAL IBOC	39
4.1.	<i>Requerimientos de conversión para estaciones de AM</i>	40
4.1.1.	Características de los equipos de transmisión	40
4.2.	<i>Requerimientos de conversión para estaciones de FM</i>	41
4.2.1.	Ventajas y desventajas de cada método de generación de la señal híbrida IBOC FM	43
4.2.2.	Repetidores en la transmisión de FM	44
4.2.3.	Características de los equipos de transmisión	44
4.3.	<i>Costos adicionales del sistema</i>	45
5.	RESUMEN DEL CAPÍTULO	47
CAPÍTULO III.SISTEMA DIGITAL RADIO MONDIALE (DRM)		51
1.	INTRODUCCIÓN	51
1.1.	<i>Historia del sistema</i>	52
1.2.	<i>Ventajas y servicios del sistema DRM</i>	53
2.	SERVICIOS DE DATOS	54
2.1.	<i>Datos obligatorios</i>	54
2.2.	<i>Servicios de valor agregado</i>	55
3.	COMPONENTES PRINCIPALES DEL SISTEMA DRM	56
3.1.	<i>Codificación y multiplexación del contenido DRM</i>	57
3.1.1.	Codificación de fuente	58
3.2.	<i>Codificación de canal y modulación DRM</i>	59
3.2.1.	Codificación de canal.....	60
3.2.2.	Modulación y parámetros de codificación.....	60
3.3.	<i>Capacidad de transmisión del sistema</i>	61
3.4.	<i>Generación de la trama de radiodifusión</i>	62
3.5.	<i>Redes de frecuencia única y frecuencia múltiple</i>	63
3.6.	<i>Simulcast</i>	64
3.6.1.	Simulcast para DRM30	64
3.6.2.	Simulcast para DRM+	65
3.7.	<i>Señalización de frecuencia alternativa</i>	66
3.8.	<i>Uso de la banda de 26 MHz</i>	67
4.	REQUERIMIENTOS DE CONVERSIÓN PARA LA TRANSMISIÓN DE LA SEÑAL DRM	68
4.1.	<i>Transmisión en los modos DRM30</i>	68
4.1.1.	Conversión de los transmisores AM analógicos.....	68
4.2.	<i>Transmisión en los modos DRM+</i>	69
4.2.1.	Generación de la señal totalmente digital	70
4.2.2.	Generación de la señal híbrida.....	70
4.3.	<i>Costos adicionales del sistema</i>	72
5.	RESUMEN DEL CAPÍTULO	74



CAPÍTULO IV. SISTEMA DIGITAL AUDIO BROADCASTING (DAB)	77
1. INTRODUCCIÓN	77
1.1. <i>Historia del sistema DAB</i>	77
1.2. <i>Ventajas y servicios del sistema DAB</i>	79
1.2.1. DAB y GSM.....	80
1.2.2. DAB y DRM	81
2. SERVICIOS DE DATOS	81
2.1. <i>Información del Servicio (SI, Service Information)</i>	82
2.2. <i>Servicios de valor agregado</i>	82
3. COMPONENTES PRINCIPALES DEL SISTEMA DAB.....	84
3.1. <i>Generación de la señal DAB</i>	85
3.1.1. Mecanismos de transporte	86
3.1.2. Codificación de fuente	87
3.1.3. Codificación de canal y modulación de la señal DAB.....	89
3.2. <i>Señal de transmisión DAB</i>	89
3.2.1. Uso de los modos de transmisión	90
3.2.2. Características espectrales de la señal.....	91
4. REQUERIMIENTOS DE CONVERSIÓN PARA LA TRANSMISIÓN DE LA SEÑAL DAB	93
5. RESUMEN DEL CAPÍTULO	95
CAPÍTULO V. COMPARACIÓN DE LOS ESTÁNDARES DE RADIO DIGITAL TERRESTRE	97
1. INTRODUCCIÓN	97
2. NORMATIVA MEXICANA PARA LA RADIODIFUSIÓN ANALÓGICA SONORA TERRESTRE	98
2.1. <i>Normas para la asignación de las bandas de frecuencia para la radiodifusión</i>	98
2.2. <i>Normas para las especificaciones espectrales para la radiodifusión</i>	100
2.2.1. Sistemas analógicos de radiodifusión de AM.....	100
2.2.2. Sistemas analógicos de radiodifusión de FM	101
3. CUADRO COMPARATIVO DE LAS TECNOLOGÍAS DE RADIO DIGITAL TERRESTRE.....	103
3.1. <i>Análisis de la tabla comparativa de estándares de radio digital</i>	106
3.1.1. Banda de frecuencias en las que transmite la señal digital	106
3.1.2. Canal y ancho de banda utilizado por la señal digital	106
3.1.3. Sistemas de radiodifusión analógicos que sustituye	107
3.1.4. Capacidad de transmisión de datos del sistema	107
3.1.5. Servicios de audio y valor agregado que ofrece	108
3.1.6. Codificación de canal.....	109
3.1.7. Codificación de fuente	109
3.1.8. Calidad de audio digital	109
3.1.9. Facilidad para la migración de tecnologías y costos adicionales de implementación.....	109
CAPÍTULO VI. CONCLUSIONES	111
GLOSARIO	115
FUENTES DE CONSULTA	119



**ÍNDICE DE FIGURAS****CAPÍTULO II. SISTEMA EN BANDA DENTRO DEL CANAL (IBOC, IN-BAND ON-CHANNEL)**

FIGURA II.1.1. ADOPCIÓN DEL SISTEMA IBOC A NIVEL MUNDIAL	9
FIGURA II.3.1. CAPAS DEL SISTEMA IBOC	14
FIGURA II.3.2. DIAGRAMA A BLOQUES DE LA INTERFAZ DE AIRE (CAPA 1) DEL SISTEMA IBOC.....	25
FIGURA II.3.3. DIAGRAMA A BLOQUES DEL SUB SISTEMA DE TRANSMISIÓN HÍBRIDO (IBOC AM)	28
FIGURA II.3.4. DIAGRAMA A BLOQUES DEL SUB SISTEMA DE TRANSMISIÓN TOTALMENTE DIGITAL (IBOC AM)	28
FIGURA II.3.5. DIAGRAMA A BLOQUES DEL SUB SISTEMA DE TRANSMISIÓN HÍBRIDO E HÍBRIDO EXTENDIDO (IBOC FM)	29
FIGURA II.3.6. DIAGRAMA A BLOQUES DEL SUB SISTEMA DE TRANSMISIÓN TOTALMENTE DIGITAL (IBOC FM).....	29
FIGURA II.3.7. ESPECTRO DE LA FORMA DE ONDA HÍBRIDA IBOC AM (ANCHO DE BANDA DE AUDIO ANALÓGICO DE 5 kHz)	30
FIGURA II.3.8. ESPECTRO DE LA FORMA DE ONDA HÍBRIDA IBOC AM (ANCHO DE BANDA DE AUDIO ANALÓGICO DE 8 kHz)	31
FIGURA II.3.9. ESPECTRO DE LA FORMA DE ONDA TOTALMENTE DIGITAL IBOC AM.....	32
FIGURA II.3.10. MÁSCARA ESPECTRAL PARA LA SEÑAL IBOC AM HÍBRIDA (ANCHO DE BANDA DE AUDIO ANALÓGICO DE 5 kHz)	32
FIGURA II.3. 11. MÁSCARA ESPECTRAL PARA LA SEÑAL IBOC AM HÍBRIDA (ANCHO DE BANDA DE AUDIO ANALÓGICO DE 8 kHz).....	33
FIGURA II.3. 12. MÁSCARA ESPECTRAL PARA LA SEÑAL IBOC AM TOTALMENTE DIGITAL.....	33
FIGURA II.3.13. PARTICIÓN DE FRECUENCIA (ORDEN A)	35
FIGURA II.3.14. PARTICIÓN DE FRECUENCIA (ORDEN B)	35
FIGURA II.3.15. ESPECTRO DE LA FORMA DE ONDA HÍBRIDA IBOC FM	36
FIGURA II.3.16. ESPECTRO DE LA FORMA DE ONDA HÍBRIDA EXTENDIDA IBOC FM.....	36
FIGURA II.3.17. ESPECTRO DE LA FORMA DE ONDA TOTALMENTE DIGITAL IBOC FM	37
FIGURA II.3. 18. MÁSCARA ESPECTRAL PARA LA SEÑAL IBOC FM HÍBRIDA O HÍBRIDA EXTENDIDA	38
FIGURA II.3. 19. MÁSCARA ESPECTRAL PARA LA SEÑAL IBOC FM TOTALMENTE DIGITAL	38
FIGURA II.4.1. IMPLEMENTACIÓN PARA LA TRANSMISIÓN DE LA SEÑAL IBOC AM	40
FIGURA II.4.2. COMBINACIÓN DE ALTO NIVEL O AMPLIFICACIÓN SEPARADA PARA LA SEÑAL IBOC FM.....	41
FIGURA II.4.3. COMBINACIÓN DE BAJO NIVEL O AMPLIFICACIÓN COMÚN PARA LA SEÑAL IBOC FM	42
FIGURA II.4.4. IMPLEMENTACIÓN DE ANTENAS SEPARADAS PARA LA SEÑAL IBOC FM.....	42
FIGURA II.4.5. DISTANCIA ENTRE LA ANTENA ANALÓGICA Y LA DIGITAL	43

CAPÍTULO III. SISTEMA DIGITAL RADIO MONDIALE (DRM)

FIGURA III.1.1. BANDAS DE USO DEL SISTEMA DRM	51
FIGURA III.3.1. SERVIDOR DE CONTENIDOS DRM (CODIFICACIÓN DE FUENTE Y MULTIPLEXACIÓN)	57
FIGURA III.3.2. CODIFICACIÓN DE AUDIO DRM.....	58
FIGURA III.3.3. PROPUESTA DE USO DE LOS CODIFICADORES DE AUDIO DRM	59
FIGURA III.3.4. DIAGRAMA A BLOQUES DEL MODULADOR DRM	60
FIGURA III.3.5. ESTRUCTURA DE LA TRAMA DRM (MODOS DRM30 Y DRM+)	62
FIGURA III.3.6. SIMULCAST DE CANAL ÚNICO	64
FIGURA III.3.7. SIMULCAST MULTI CANAL O MULTI FRECUENCIA.....	64
FIGURA II.3.8. MÁSCARA DE TRANSMISIÓN PROPUESTA PARA DRM30.....	65
FIGURA III.3.9. SIMULCAST PARA EL MODO E (FM)	65



FIGURA III.3.10. RELACIÓN DE POTENCIAS ANALÓGICA Y DIGITAL EN SIMULCAST PARA DRM+.....	66
FIGURA III.3.11. MÁSCARA DE TRANSMISIÓN PARA DRM+ Y FM	66
FIGURA III.4.1. TRANSMISOR CON TOPOLOGÍA A/RFP	69
FIGURA III.4.2. TRANSMISOR DRM+ CON AMPLIFICADOR LINEAL DE POTENCIA	70
FIGURA III.4.3. COMBINACIÓN POR ACOPLADOR DIRECCIONAL (ALTO NIVEL)	70
FIGURA III.4.4. COMBINACIÓN CON ANTENA DE POLARIZACIÓN CIRCULAR.....	71
FIGURA III.4.5. COMBINACIÓN CON ANTENAS SEPARADAS	71
FIGURA III.4.6. COMBINACIÓN DE BAJO NIVEL.....	72
CAPÍTULO IV. SISTEMA DIGITAL AUDIO BROADCASTING (DAB)	
FIGURA IV.1.1. COBERTURA MUNDIAL ACTUAL DEL SISTEMA DAB	79
FIGURA IV.3.1. DIAGRAMA A BLOQUES DEL SISTEMA DAB	85
FIGURA IV.3.2. CODIFICACIÓN DE AUDIO DEL SISTEMA DAB	87
FIGURA IV.3.3. ESTRUCTURA DE LA TRAMA DE TRANSMISIÓN DAB	89
FIGURA IV.3.4. ESPECTRO TEÓRICO PARA EL MODO DE TRANSMISIÓN I	91
FIGURA IV.3.5. ESPECTRO TEÓRICO PARA EL MODO DE TRANSMISIÓN II	91
FIGURA IV.3.6. ESPECTRO TEÓRICO PARA EL MODO DE TRANSMISIÓN III	92
FIGURA IV.3.7. ESPECTRO TEÓRICO PARA EL MODO DE TRANSMISIÓN IV	92
FIGURA IV.3.8. MÁSCARA PARA TRANSMISIONES FUERA DE BANDA	93
CAPÍTULO V. COMPARACIÓN DE LOS ESTÁNDARES DE RADIO DIGITAL TERRESTRE	
FIGURA V.2.1. REGIONES ESTABLECIDAS POR LA ITU	99
FIGURA V.2.2. LÍMITE ESPECTRAL DE LA ANCHURA DE BANDA DE AUDIOFRECUENCIA PARA LA RADIODIFUSIÓN ANALÓGICA EN AM	100
FIGURA V.2.3. MÁSCARA DEL ESPECTRO DE EMISIÓN PARA UNA ESTACIÓN DE AM	101
FIGURA V.2.4. MÁSCARA DEL ESPECTRO DE EMISIÓN PARA UNA ESTACIÓN DE FM	102

**ÍNDICE DE TABLAS****CAPÍTULO II. SISTEMA EN BANDA DENTRO DEL CANAL (IBOC, IN-BAND ON-CHANNEL)**

TABLA II.3.1. MODOS DE CÓDEC DE AUDIO	15
TABLA II.3.2. FACTORES DE ESCALA DE AMPLITUD DE LAS SUB PORTADORAS OFDM (IBOC AM)	18
TABLA II.3.3. FACTORES DE ESCALA DE LAS SUB PORTADORAS OFDM (IBOC FM)	19
TABLA II.3.4. CARACTERIZACIÓN DE LOS CANALES LÓGICOS DE ACUERDO AL MODO DE SERVICIO (IBOC AM)	20
TABLA A. PARÁMETROS DEL SISTEMA IBOC AM.....	20
TABLA II.3.5. CARACTERIZACIÓN DE LOS CANALES LÓGICOS DE ACUERDO AL MODO DE SERVICIO (IBOC FM)	21
TABLA B. PARÁMETROS DEL SISTEMA IBOC FM	22
TABLA II.3.6. VELOCIDAD DE INFORMACIÓN DE SALIDA APROXIMADA PARA CADA CANAL LÓGICO DE IBOC AM	23
TABLA II.3.7. VELOCIDAD APROXIMADA DE TRANSFERENCIA DE INFORMACIÓN DE LOS LC'S PRIMARIOS DE IBOC FM	24
TABLA II.3.8. VELOCIDAD APROXIMADA DE TRANSFERENCIA DE INFORMACIÓN DE LOS LC'S SECUNDARIOS DE IBOC FM.....	24
TABLA II.3.9. LÍMITES PARA LAS EMISIONES ESPECTRALES DE LA SEÑAL IBOC AM HÍBRIDA (ANCHO DE BANDA ANALÓGICO DE 5 KHZ).....	33
TABLA II.3.10. LÍMITES PARA LAS EMISIONES ESPECTRALES DE LA SEÑAL IBOC AM HÍBRIDA (ANCHO DE BANDA ANALÓGICO DE 8 KHZ)	34
TABLA II.3.11. LÍMITES PARA LAS EMISIONES ESPECTRALES DE LA SEÑAL IBOC AM TOTALMENTE DIGITAL.....	34
TABLA II.3.12. LÍMITES PARA LAS EMISIONES ESPECTRALES DE LA SEÑAL IBOC FM HÍBRIDA	39
TABLA II.3.13. LÍMITES PARA LAS EMISIONES ESPECTRALES DE LA SEÑAL IBOC FM TOTALMENTE DIGITAL	39

CAPÍTULO III. SISTEMA DIGITAL RADIO MONDIALE (DRM)

TABLA III.3.1. MODOS DE ROBUSTEZ DRM.....	61
TABLA III.3.2. VELOCIDAD DE TRANSMISIÓN DEL SISTEMA DRM.....	62
TABLA III.4.1. CUOTAS DRM PARA FABRICANTES DE RECEPTORES.....	73

CAPÍTULO IV. SISTEMA DIGITAL AUDIO BROADCASTING (DAB)

TABLA IV.2.1. APLICACIONES DE LOS SERVICIOS DE DATOS Y SU COMPATIBILIDAD CON LAS TECNOLOGÍAS DAB	83
TABLA IV.3.1. VELOCIDADES DE TRANSMISIÓN CON FRECUENCIA DE MUESTREO DE 24 KHZ	88
TABLA IV.3.2. VELOCIDADES DE TRANSMISIÓN CON FRECUENCIA DE MUESTREO DE 48 KHZ	88
TABLA IV.3.3. DEFINICIÓN DE PARÁMETROS PARA LOS MODOS DE TRANSMISIÓN I, II, III Y IV.....	90

CAPÍTULO V. COMPARACIÓN DE LOS ESTÁNDARES DE RADIO DIGITAL TERRESTRE

TABLA V.3.1. CUADRO COMPARATIVO DE LAS TECNOLOGÍAS DE RADIODIFUSIÓN DIGITAL TERRESTRE	104
---	-----





CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

En años recientes se han desarrollado en varias partes del mundo distintos estándares para la radiodifusión digital terrestre de audio; *HD Radio IBOC (In - Band On - Channel System)* y *FM-Extra* en Estados Unidos, *DRM (Digital Radio Mondiale)* y *Eureka-147 DAB (Digital Audio Broadcasting)* en Europa e *ISDB-TSB (Integrated Services Digital Broadcasting – Terrestrial Sound Broadcasting)* en Japón. Cada uno de estos estándares ofrece diferentes ventajas en cuanto a transmisión de datos y audio, pero con características y necesidades técnicas diferentes.

En este trabajo se realiza un estudio comparativo entre los diferentes estándares principales de radiodifusión sonora digital terrestre existentes, con el propósito de conocer las características técnicas y normativas de cada uno, y así estar en posición de recomendar el estándar más adecuado para las condiciones existentes en México.

Para lograr lo anterior, esta tesis se encuentra estructurada de la siguiente forma: a continuación se presenta una breve historia del desarrollo de la radiodifusión sonora en México, así como la situación actual de la misma, incluyendo los temas de migración de radiodifusoras de la banda de AM a FM y el proceso de selección de un estándar oficial de radiodifusión sonora digital terrestre por parte de la Comisión Federal de Telecomunicaciones (COFETEL).

Posteriormente, se describe a detalle cada uno de los estándares que se compararán; HD Radio o IBOC (capítulo II), DRM (capítulo III) y Eureka-147 o DAB (capítulo IV), para luego mostrar la comparación entre ellos (capítulo V) y poder así presentar, a manera de conclusión (capítulo VI), una propuesta de cuál sería el estándar más adecuado para su adopción en México de acuerdo a aspectos como velocidad de transmisión, ventajas y servicios que ofrece el sistema, ancho de banda y canales de frecuencia asignados, y flexibilidad en la migración de tecnología.



1. Historia de la radiodifusión sonora terrestre en México

La radio es el medio de comunicación que tiene una historia de más de 80 años en México, la cual comienza en 1919 [CIRT] con las transmisiones realizadas por el Ing. Constantino de Tárnava en la ciudad de Monterrey, N. L., proyecto que se fue consolidando hasta convertirse en la primera emisora nacional (octubre de 1921), identificada por las siglas CYO, que posteriormente fueron cambiadas por XEH (actualmente 1420 AM, “La H”).

Para 1923 se inauguraron [CIRT] las emisoras CYL “El universal ilustrado, la casa del radio”, propiedad de los señores Raúl Azcárraga y Félix F. Palavicini, y la CYB, hoy conocida con las siglas XEB (1220 AM, “La B grande de México, el buen tono de la radio”) y el 18 de septiembre de 1930 surgió la XEW [CIRT] “La voz de la América Latina desde México”, que marca una nueva etapa en la industria de la radiodifusión sonora analógica terrestre.

Ante el surgimiento de diferentes radiodifusoras, en 1941 [CIRT] se decidió formar una nueva estructura radiofónica: Radio Programas de México, la cual se conformó gracias a la unión de diferentes estaciones de radio con fines comerciales.

En 1952 [CIRT] Don Federico Obregón Cruces instaló la primera estación en Frecuencia Modulada, la XHFM-FM (94.1 MHz, “Radio Joya”), y para el 28 de agosto de 1955 el Sr. Guillermo Salas Peyró logró darle un gran impulso a la radio FM al instalar en la Ciudad de México la radiodifusora XEOY-FM (89.7 MHz, “Oye”), ya que fue la primera en América Latina en transmitir en sonido estéreo [CIRT].

Para los años 70, la penetración de la radio a nivel nacional, según la UNESCO [CIRT], era de 278 aparatos receptores por cada mil habitantes. En 1973 la radiodifusión en México cumplió su primer medio siglo de vida y para entonces ya se contaban con 1,250,000 W [CIRT] de potencia acumulada en 46 emisoras de la Ciudad de México, y en 1985 en la ciudad ya se contaban con seis millones de aparatos receptores de radio, lo que significaba tres radios en cada hogar y un tiempo promedio de escucha de tres horas y media diarias [CIRT].

Así, a medida que la radiodifusión iba teniendo una mayor penetración en la sociedad, esta se convirtió no solo en un medio de entretenimiento y de comercialización, sino que también pasó a formar parte importante en los procesos electorales que se vivieron a partir de 1997 [CIRT], teniendo una participación activa y responsable.

A finales de los años 90 y entrando al siglo XXI, la radio se consolidó [CIRT] como medio de comunicación por excelencia en México, la señal de AM llegaba ya a prácticamente todo el territorio nacional y su penetración era de más del 90% de los hogares; la función social de la radio se hizo cada vez más patente en las miles de campañas, programas y espacios dedicados a causas sociales que los radiodifusores ofrecen de manera gratuita a su auditorio.

Actualmente en la República Mexicana se cuentan con 853 radiodifusoras de Amplitud Modulada (759 concesionadas y 94 permisionadas), 947 radiodifusoras de Frecuencia Modulada (677 concesionadas y 270 permisionadas) y 7 radiodifusoras de Onda Corta (3 concesionadas y 4 permisionadas) [COFE].

Como se puede observar, a partir de que se comenzó a implementar la radiodifusión sonora terrestre, no solo en México sino en el mundo entero, esta ha ido evolucionando a medida



que las necesidades de los radioescuchas y la tecnología se han ido modificando. Es así que, pensando en cómo mejorar la calidad de audio y aumentar la cantidad de información que se hace llegar a los usuarios, los medios de comunicación comenzaron a sufrir una transformación importante, una migración de tecnología analógica a digital, y claro está, la radio no podía ser la excepción.

2. Radiodifusión sonora digital terrestre en México

Para efectuar este cambio de tecnología en México, la Comisión Federal de Telecomunicaciones (COFETEL), en conjunto con la Cámara Nacional de la Industria de Radio y Televisión (CIRT), crearon el *Comité Consultivo de Tecnologías Digitales para la Radiodifusión* (20 de julio de 1999) [COFE], organismo que se encargó de analizar los siguientes tres estándares de radio digital para determinar cuál sería el adoptado en el país:

- a) IBOC: Basado en una tecnología por la que se pretende transmitir en el mismo canal y en la misma banda la señal analógica y la digital, tanto para AM como para FM.
- b) Eureka-147 (DAB): Basado en una tecnología que requiere el uso de una nueva banda (en México [COFE] podría utilizarse la banda "L" de 1,452-1,492 MHz).
- c) DRM: Basado en una tecnología que requiere la transmisión en un canal libre dentro de la misma banda asignada; su enfoque actual es hacia la Onda Corta, AM y FM.

Así, a partir de entonces, el Comité Consultivo llevó a cabo varias pruebas de los sistemas DAB y DRM para conocer su funcionamiento en las condiciones de propagación de ciudades como el Distrito Federal; para esto, y a petición del Comité [DOF 0300], la COFETEL reservó ciertas bandas de frecuencias, mismas que serían liberadas una vez que se eligiera el sistema de radiodifusión digital para México.

Mientras en México se comenzaba la etapa experimental para la adopción de un sistema de radiodifusión digital, en Estados Unidos la Comisión Federal de Comunicaciones (FCC, *Federal Communications Commission*) aprobó, el 22 de marzo de 2007 [DOF 0508], que las emisoras de AM iniciaran las emisiones diurnas utilizando IBOC, lo que ocasionó problemas en la calidad de recepción de las estaciones mexicanas localizadas a una distancia de 320 km de la frontera dentro del territorio mexicano.

En respuesta a este problema, a pesar de que el Comité Consultivo aún no emitía ninguna resolución para adoptar algún sistema de radiodifusión digital, en 2008 se le permitió a las estaciones localizadas a lo largo de la frontera norte [DOF 0508] el comenzar a realizar transmisiones digitales utilizando el sistema IBOC, esto para evitar las interferencias causadas por las emisiones de las radiodifusoras estadounidenses, además de que colaboraría también a la investigación para la protección de las emisiones de las estaciones mexicanas.



Así pues, a partir del 14 de mayo de 2008 y hasta el 09 de julio de 2010, la COFETEL autorizó [GASO-10] a 25 radiodifusoras (10 de AM y 15 de FM) el iniciar sus transmisiones utilizando IBOC híbrido. Los estados afectados son Baja California, Coahuila, Chihuahua, Sonora y Tamaulipas, y las empresas con mayor número de estaciones digitalizadas son:

- Grupo Fórmula; con 5 radiodifusoras localizadas en Nogales, Tijuana, Nuevo Laredo, Mexicali y Ciudad Juárez.
- Comunicación XERSA; con 3 radiodifusoras localizadas todas en Tijuana.
- Comercial Libertas; con 2 radiodifusoras localizadas en Nogales y Valle Hermoso.

La Comisión Nacional para el Desarrollo de los Pueblos Indígenas también solicitó permiso para transmitir en formato digital el contenido de su estación XEQIN-AM, 1160 AM “La voz del valle”, localizada en San Quintín, B. C.

La primera emisora en México en iniciar transmisiones digitales [GASO-10] (julio de 2008) fue la XHTYFM, “La invasora, 99.7”, perteneciente a grupo Uniradio en Tijuana, B. C.; dicha estación es también la primera en realizar transmisiones multicanal (transmisión de hasta 4 programas diferentes utilizando el mismo canal de frecuencia asignado).

Por otro lado, y como parte de un plan para adoptar un sistema de radiodifusión digital, la COFETEL decidió iniciar un proceso de migración de frecuencias de radiodifusión de AM para FM [COF 3810], esto con el fin de que los concesionarios y permisionarios de AM pudieran migrar a las tecnologías digitales y mejorar el aprovechamiento del espectro radioeléctrico; según el acuerdo para llevar a cabo este cambio de frecuencias de radiodifusión autorizadas [DOF 0908], publicado en 2008, los beneficios de la digitalización serán mayores en las estaciones de FM que en las de AM porque:

- a) Dadas las características de propagación de la banda AM, con la tecnología digital pudiera haber interferencias en la operación nocturna.
- b) La compresión de la señal limita la calidad del servicio.
- c) Con la digitalización, en AM solo se obtiene una calidad de audio igual a FM, mientras que en FM se alcanza una calidad igual a la del disco compacto y hay posibilidad de transmisión múltiple.

Este cambio de frecuencias tiene como objetivo [DOF 0908] favorecer la competitividad de las radiodifusoras de AM, y la solicitud de cambio de frecuencia deberá ser presentada por la radiodifusora interesada en la fecha indicada de acuerdo a las regiones establecidas:

- Región I: Tabasco, Campeche, Yucatán y Quintana Roo.
- Región II: Veracruz, Chiapas, Oaxaca y Guerrero.
- Región III: Baja California Sur, Sinaloa, Nayarit, Durango, Zacatecas, Aguas Calientes y San Luís Potosí.
- Región IV: Jalisco, Colima, Michoacán y Guanajuato.
- Región V: Querétaro, Hidalgo, Tlaxcala, Puebla, Estado de México, Distrito Federal y Morelos.
- Región VI: Baja California, Sonora, Chihuahua, Coahuila, Nuevo León y Tamaulipas.



Al 06 de mayo de 2010 [COFE] la COFETEL aprobó el cambio de frecuencia a 28 concesionarios y 2 permisionarios, todos pertenecientes a la Región I. La situación en cuanto a solicitudes por región es la siguiente:

- Región I: 43 solicitudes (36 concesionarios y 7 permisionarios) de un total de 43 estaciones de AM.
- Región II: 121 solicitudes (117 concesionarios y 4 permisionarios) de un total de 148 estaciones de AM.
- Región III: 67 solicitudes (todas de concesionarios) de un total de 123 estaciones.
- Región IV: 5 solicitudes (todas de concesionarios).

Finalmente, después de varias pruebas experimentales con los sistemas DAB y DRM y tomando en cuenta también en funcionamiento de las estaciones fronterizas que habían adoptado el sistema IBOC, la COFETEL anunció el 23 de febrero de 2011 [COF 0411], tomando en cuenta los resultados obtenidos por el Comité Consultivo, que el sistema de radiodifusión digital que sería adoptado por México sería el sistema IBOC.

Cabe destacar que la migración de tecnología se realizará de forma voluntaria [DOF 0511], por lo que las radiodifusoras interesadas deberán presentar su solicitud ante la COFETEL, y una vez aprobada, tendrán un plazo de 240 días hábiles para realizar la adecuación de sus instalaciones y poder así comenzar con las transmisiones digitales en modo híbrido.

Es importante mencionar que, al inicio de este trabajo, la COFETEL aún no emitía resolución alguna respecto al estándar de radiodifusión digital que se adoptaría en México, por esta razón se decidió abordar este tema. Sin embargo, dado que la COFETEL ya estableció que el estándar que será utilizado por México es IBOC, el fin de este trabajo será apoyar esta decisión o, en su defecto, proponer otro estándar, basándose en las características técnicas, los servicios de valor agregado que ofrecen, su facilidad para implementarlos, los costos que esto implica, y las ventajas que ofrece la implementación de cada estándar.





CAPÍTULO II. SISTEMA EN BANDA DENTRO DEL CANAL (IBOC, IN-BAND ON-CHANNEL)

1. Introducción

También conocida en los Estados Unidos como HD Radio (nombre comercial), es una tecnología que permite a las estaciones de radiodifusión seguir transmitiendo su contenido en su canal de frecuencia asignado, dentro de la banda asignada para radiodifusión de audio analógico (de ahí su denominación de en banda dentro del canal o IBOC, por sus siglas en inglés).

Una de las principales mejoras que ofrece este sistema es que las transmisiones en AM alcanzan una calidad de audio igual a la que se escucha actualmente en las estaciones de FM analógicas, mientras que en FM se alcanza una calidad de audio semejante a la de un disco compacto [IBIQ]; también permite la transmisión de información escrita (textos) a los receptores (título de la canción, artista, alertas de tráfico o clima, etc.) y ofrece la posibilidad de la “multidifusión” [IBIQ], que consta en permitir a las radiodifusoras ofrecer hasta 3 canales independientes de audio y datos desplegados en pantalla.

1.1. Historia del desarrollo del sistema IBOC

El desarrollo de este estándar comenzó cuando en 1990 se presentó el estándar europeo Eureka-147 en la *Muestra de Radio* anual de la Asociación Nacional de Radiodifusores (NAB, *National Association of Broadcasters*) en Estados Unidos. Este estándar maneja la migración de las radiodifusoras para un nuevo canal de frecuencias dentro de la banda III y la banda L del espectro radioeléctrico para poder comenzar con las transmisiones digitales; esto en Estados Unidos constituyó un problema debido a que, en este país, la banda L del espectro está reservada para uso militar, además de que los radiodifusores no estaban dispuestos a cambiar la frecuencia en la que transmiten actualmente, ya que esto generaría confusión en los radioescuchas.

Por esta razón, la FCC estableció que el sistema “ideal” para realizar una transición de tecnología analógica a digital, debía ser aquel que permitiera una transmisión híbrida, en banda y dentro del canal (IBOC, por sus siglas en inglés); es decir, un sistema que realice la transmisión digital en la banda asignada para la radiodifusión analógica y que no requiera de un cambio de canal de frecuencia y, dado que para entonces aún no existía una tecnología que cubriera estas necesidades, en 1994 tres compañías estadounidenses; USA Digital Radio Partners, Lucent Digital Radio y Digital Radio Express crearon cada una un estándar IBOC.

Como estos estándares no eran compatibles entre sí, el Comité Nacional de Sistemas de Radio (NRSC, *National Radio Systems Committee*) formó el Subcomité de Radio Digital para evaluar cada uno de los sistemas emergentes y poder emitir una opinión acerca de cuál era el mejor para ser adoptado. Los primeros resultados de las pruebas realizadas por dicho sub comité fueron entregados a la NRSC en el otoño de 1999.



Sin embargo, el 12 de julio de 2000 las compañías USA Digital Radio Partners (ya entonces llamada USA Digital Radio, Inc.) y Lucent Digital Radio decidieron unirse para formar la “iBiquity Digital Corporation”, donde se utilizó lo mejor de cada sistema desarrollado por cada una de las empresas para crear una nueva tecnología.

Para abril de 2001, la Unión Internacional de Telecomunicaciones (*ITU, International Telecommunications Union*) aprobó al sistema IBOC AM como estándar universal (llamándolo Sistema digital C) [BS.1514], y en agosto de 2002, aprobó al sistema IBOC FM [BS.1114]. El 10 de octubre de 2002 la FCC adoptó la tecnología IBOC como el estándar de radio digital para los Estados Unidos; para entonces, las estaciones de AM y FM podían realizar transmisiones digitales únicamente mediante un permiso provisional por parte de la FCC, y solo se permitieron las transmisiones diurnas en AM; en este mismo año, la compañía iBiquity lanzó la marca comercial *HD Radio*.

En septiembre de 2005 la NRSC publicó el estándar NRSC-5A que define los parámetros técnicos para la tecnología HD Radio, y para el 2007 la FCC decidió eliminar la necesidad de que las radiodifusoras tramitaran una autorización temporal para poder realizar transmisiones digitales y autorizó la multidifusión y las transmisiones nocturnas de AM utilizando IBOC.

A partir de entonces, miles de radiodifusoras a lo largo de Estados Unidos comenzaron a migrar de tecnología, y para 2008 iBiquity informó que ya se contaban con 1,750 estaciones de HD Radio al aire y en 2009 anunció el lanzamiento del primer receptor portátil.

Actualmente, según cifras publicadas por iBiquity [IBOC-10], en los Estados Unidos existen más de 3.5 millones de receptores digitales en el mercado. Además, 16 de los más importantes fabricantes de automóviles (Audi, BMW, Ford, Jaguar, VW, Volvo, entre otros) anunciaron que instalarán receptores digitales en 87 modelos, de los cuales en 36 el receptor digital será el equipo estándar. Los principales fabricantes de dichos receptores son Eclipse, JVC Kenwood, Panasonic, y Sanyo; en cuanto a receptores fijos, los principales fabricantes son Boston Acoustics y Yamaha.

El número de emisoras en Estados Unidos, que transmiten utilizando la tecnología HD Radio aumentó de 1,750 (2008) a más de 2,200 (noviembre de 2010), mientras que el número de canales de multidifusión al aire es de más de 1,400 [IBOC-10].

En el ámbito internacional [IBIQ], el sistema de radiodifusión digital IBOC ha sido adoptado por varios países como Estados Unidos, Puerto Rico y las Filipinas que ya tienen una operación a nivel nacional; México y Panamá cuya operación es regional; Jamaica, República Dominicana, Ucrania, Tailandia e Indonesia con operación limitada; por último Canadá, Colombia, Chile, Uruguay, Argentina, China, India, Brasil y Vietnam se encuentran en etapa de pruebas (figura II.1.1).

Por último, el anuncio más reciente de iBiquity es el lanzamiento de una nueva característica del sistema HD Radio: “*Experiencia Acústica*” [IBOC-10], la cual permite la transmisión de imágenes (portadas de discos, logotipos de las emisoras, imágenes de patrocinadores, etc.); el primer receptor capaz de soportar esta nueva característica es el Insignia NS-HD02.



Figura II.1.1. Adopción del sistema IBOC a nivel mundial [IBIQ]

1.2. Ventajas del sistema IBOC (HD RADIO)

A continuación se enlistan las principales mejoras que ofrece este sistema en comparación con la tecnología de radiodifusión sonora analógica terrestre que se utiliza actualmente:

- Transmisión digital en la misma frecuencia que las transmisiones analógicas: La nueva señal digital es transmitida como una banda lateral de la señal analógica actual; el uso de la misma frecuencia permite que los radioescuchas no tengan que memorizar una nueva frecuencia de sus estaciones favoritas.
- Capacidad de ofrecer canales multidifusión en la banda de FM: La multidifusión es la capacidad que tiene el sistema para difundir varios programas sobre una misma frecuencia. Las estaciones de FM tienen un ancho de banda disponible de 150 kbps [IBIQ], de los cuales 96 kbps son utilizados para la programación de audio y a su vez, estos se pueden dividir en diferentes canales para transmitir diferentes programas. Esto permite a las estaciones de FM expandir la variedad de contenido que ofrecen sin necesidad de ocupar más canales de frecuencias dentro del espectro radioeléctrico.
- Transmisión libre de interferencias: La interferencia por trayectoria múltiple y fuentes de ruido son eliminadas a través de la codificación y técnicas de combinación de potencia. Por otro lado, el uso de la corrección de errores utiliza procesadores digitales para comparar constantemente la calidad de transmisión de las dos bandas laterales digitales, combinándolas para obtener una mayor ganancia en potencia cuando sea posible, o eligiendo la que tenga mayor potencia.
- Las transmisiones de FM tienen una calidad de audio igual a la de un disco compacto.
- Las transmisiones de AM tienen una calidad de audio igual a la del FM estéreo analógico actual.



- El sistema ofrece una variedad de servicios de datos referentes al programa de audio (nombre del artista, título de la canción, etc.) o que contengan información totalmente independiente a la programación de audio (alerta del clima, tráfico, noticias, etc.).
- El receptor tiene la capacidad de almacenar la señal recibida para poder realizar una transición “invisible” entre la señal analógica y la digital o viceversa.
- Sintonización más rápida de estaciones: La selección inicial de la estación se realiza con la señal analógica, y una vez seleccionada la estación deseada, se hace el cambio a la señal digital.

1.3. Características y servicios en desarrollo

Actualmente la compañía iBiquity se encuentra desarrollando nuevas características para mejorar la tecnología HD Radio [IBIQ], entre ellas se encuentran las siguientes:

- Reportes de tráfico locales en tiempo real que serán desplegados en la pantalla del receptor.
- Sonido envolvente.
- Almacenamiento y reproducción: Permitirá al radioescucha repetir una canción que acaba de escuchar o grabar un programa entero para poder reproducirlo en otro momento.
- Capacidad bajo demanda: Dará al usuario acceso inmediato a noticias e información de su interés.
- Botón de “compra”: Transformará al radio en un dispositivo interactivo que permitirá la compra automática de los productos anunciados en ese momento.
- Servicios de audio principal controlados por el usuario: Permitirá pausar, almacenar, adelantar, marcar y repetir la programación de audio mediante una guía de programación integrada.
- Guía de Programación Electrónica (*EPG, Electronic Program Guide*): Es una lista de estaciones, servicios, programas e información detallada de los mismos, entregada por las estaciones para mejorar su identificación, selección del programa y sintonización; también permitirá colocar recordatorios de programación, así como el almacenamiento y reproducción de contenido.
- Acceso Condicionado (*CA, Conditioned Access*): Esquema encriptado que permitirá a las estaciones la entrega de audio y datos complementarios, bajo suscripción.
- “Large Object Transfer” (*LOT*): Permitirá la transferencia de archivos de datos; ya sea texto, audio o imágenes.



1.4. Definición de términos

A continuación se presenta una breve explicación de algunos términos que facilitarán la comprensión de los temas que se exponen más adelante.

1. **Aleatorización:** Es el proceso de “revolver” en tiempo el flujo de bits de datos, esto para evitar periodicidades en la señal y permitir que una sincronización más rápida del receptor.
2. **Canal lógico:** Es una trayectoria que conduce las tramas de transferencia de la capa 2 a través de la capa 1 con un grado de servicio específico.
3. **Capa 1:** Es la capa inferior dentro de la pila de protocolos IBOC. También conocida como la capa de forma de onda y transmisión, es donde se lleva a cabo la transmisión de datos a lo largo del canal de comunicaciones. Incluye procesos como la codificación de canal, entrelazado, modulación, etc.
4. **Capa 2:** Es la capa de multiplexación del canal de la pila de protocolos IBOC. Multiplexa los datos provenientes de las capas superiores dentro de los canales lógicos para su procesamiento en la capa 1.
5. **Código madre:** Es la secuencia de código completa generada por un codificador convolucional.
6. **Entrelazado:** Es el reordenamiento de los bits de un mensaje para distribuirlos en tiempo (a lo largo de diferentes símbolos OFDM) y frecuencia (a lo largo de diferentes sub portadoras OFDM) para mitigar los efectos negativos causados en la señal por desvanecimientos e interferencias.
7. **Factor de escala de amplitud:** Factor que multiplica los componentes en banda base de una sub portadora OFDM en particular dentro del espectro transmitido, con el objetivo de mantener la potencia radiada dentro de un nivel ya establecido.
8. **Latencia:** Es el retraso en tiempo que un canal lógico impone a una trama de transferencia mientras esta atraviesa la capa 1. Es uno de los tres parámetros de caracterización de un canal lógico.
9. **Modo de servicio:** Es una configuración específica de los parámetros de operación para especificar velocidades de salida, nivel de funcionamiento y los canales lógicos activos.
10. **Multiplexación por División Ortogonal de Frecuencia (OFDM):** Esquema paralelo de multiplexación que modula un flujo de datos dentro de un gran número de sub portadoras ortogonales que son transmitidas de forma simultánea.
11. **Perforación:** Es el proceso mediante el cual se remueven ciertos bits específicos de una palabra código madre, esto para incrementar la tasa de codificación FEC.
12. **Retraso por diversidad:** Imposición de un retraso en tiempo fijo en uno o dos canales que transportan la misma información para evitar problemas como ruido y desvanecimientos.
13. **Robustez:** Es la habilidad de un canal lógico para resistir las adversidades del canal como ruido, interferencia y desvanecimiento. Existen 8 niveles de robustez diseñados para IBOC AM y 6 niveles de robustez diseñados para IBOC FM. Es uno de los tres parámetros de caracterización de un canal lógico



14. **Trama de transferencia:** Es una colección unidimensional, ordenada, y de longitud específica de bits de datos agrupados para su procesamiento dentro de un canal lógico.
15. **Transferencia:** Es una medida de la salida de datos de un canal lógico. Es uno de los tres parámetros de caracterización de un canal lógico.

En las secciones siguientes se presentan varios aspectos técnicos y económicos del sistema IBOC; primeramente se hace una breve descripción de los servicios de datos que maneja el sistema IBOC, posteriormente se muestra cómo es que está estructurado el sistema y se explican las funciones de las capas consideradas como importantes para el desarrollo del presente trabajo; entre estas están la capa 4, la capa 2 y la capa 1.

Posteriormente se describe la función de los canales lógicos, y se muestra la manera en que se obtienen las diferentes velocidades de transmisión con las que trabajan los diferentes sistemas IBOC. A continuación se presenta la composición de la capa 1, encargada de la generación y transmisión de la señal IBOC, así como una descripción de cada uno de sus bloques funcionales. Después, se presentan las diferentes formas de onda con las que trabaja el sistema así como sus características espectrales y requerimientos.

Finalmente, se presentan todos los aspectos relacionados con la conversión de los sistemas analógicos de transmisión actuales; se explican las diferentes configuraciones para realizar tanto las transmisiones híbridas como las digitales, y las características con las que deben contar los equipos de transmisión actuales para lograr una señal híbrida de calidad. Por último, se presenta el proceso para obtener la licencia necesaria para comenzar con las transmisiones digitales con el sistema IBOC.

2. Servicios de datos

Como ya se mencionó, el sistema IBOC es capaz de manejar, además de los datos de audio, otros tipos de información que puede estar relacionada o no con la programación. Estos datos pueden ser *metadatos*, que es texto asociado a los servicios de audio (como título del programa o canción, autor, nombre de la estación, etc.), o puede ser información que será utilizada por el receptor para la sintonización rápida de estaciones, o para ofrecer anuncios de servicios que se encuentren cerca de donde se localiza el usuario.

A continuación se presentan los dos grupos de datos que maneja el sistema IBOC durante la transmisión. El primer de ellos son los datos del servicio de programa, donde se agrupa toda la información relacionada con el programa de audio que se está escuchando; el segundo de ellos son los datos del servicio de información de la estación, que abarca la información utilizada por el receptor para la sintonización, para ofrecer servicios locales, o para el envío de datos independientes a la programación.



2.1. Descripción de los datos del servicio de programa

Los Datos de Servicio del Programa (*PSD, Program Service Data*) se transmiten junto con el audio del programa, y están destinados a describir o complementar el programa de audio que está escuchando el usuario [NRSC-5B]. La PSD consiste de un conjunto de categorías que describen los diferentes contenidos de un programa, estos campos incluyen:

- Título del programa o canción
- Artista
- Nombre del álbum
- Comentarios
- Información de comerciales
- Género o descripción de contenido del programa

2.2. Servicios de información de estación

El Servicio de Información de Estación (*SIS, Station Information Service*) provee la identificación de la estación y la información de control [NRSC-5B]. A continuación se presenta una breve explicación de cada tipo de mensaje que puede transportar el SIS, así como su Identificador de Mensaje (*MSG ID, Message Identification*) correspondiente. El campo de MSG ID consta de 4 bits, por lo que las combinaciones no mostradas son consideradas como reservadas para futura expansión.

1. **Número de identificación de la estación (MSG ID=0000):** Este tipo de mensaje está asignado de manera única para cada una de las radiodifusoras. Es un mensaje compuesto por 32 bits, de los cuales 10 bits están destinados para el envío del código del país (dos letras), 3 bits reservados con valor de 0, y 19 bits utilizados para el identificador asignado por la FCC en los Estados Unidos (estos últimos bits solo son utilizados en Estados Unidos).
2. **Nombre de la estación:** Este tipo de mensaje tiene dos formatos, uno corto (MSG ID=0001) y uno largo (MSG ID=0010). El formato corto se multiplexa con otros mensajes y así se puede repetir frecuentemente. El formato largo puede usarse para identificar estaciones mediante una cadena larga de texto.
3. **Localización de la estación (MSG ID=0100):** Este tipo de mensaje reserva un espacio de carga útil de 27 bits donde se transporta la información de la locación tridimensional (altitud, latitud y longitud) del punto donde se está generando la señal radiodifundida. Esta información puede ser usada por el receptor para la determinación de su posición.
4. **Mensaje de la estación (MSG ID=0101):** Este tipo de mensaje permite a la estación enviar un mensaje de texto con información arbitraria. Ejemplos de esto pueden ser anuncios, reportes del clima o teléfonos para comunicarse a cabinas.
5. **Mensaje de parámetro SIS (MSG ID=0111):** Tipo de mensaje utilizado para transportar diferentes parámetros del sistema, dentro de los cuales están los datos del tiempo local que permiten la modificación del horario dependiendo de si en la región se implementa el horario de verano o no.



3. Componentes principales del sistema IBOC

En esta sección del capítulo II se presenta, primero que nada, la composición del sistema IBOC, posteriormente se describen las funciones de las capas esenciales para el desarrollo de este trabajo; éstas son la capa 4, encargada de la codificación de fuente, la capa 2, que es donde se lleva a cabo la multiplexación de los servicios y, por último, la capa 1, última capa del sistema IBOC encargada de la generación y transmisión de la señal HD. Posteriormente se describe la función de los canales lógicos y su capacidad de transmisión, para dar paso a la presentación y explicación de cada uno de los diagramas funcionales que componen a la capa 1.

Finalmente, se presentan las formas de onda que el sistema IBOC es capaz de generar, tanto para AM como para FM, así como su composición, características de potencia y ocupación del espectro.

El funcionamiento del sistema IBOC está diseñado en base al modelo ISO OSI (*International Standards Organization Open System Interconnection*) [NRSC-5B], el cual es un modelo basado en capas diseñadas para realizar funciones específicas durante la generación, transmisión y recepción de información dentro de los sistemas de comunicación (figura II.3.1).

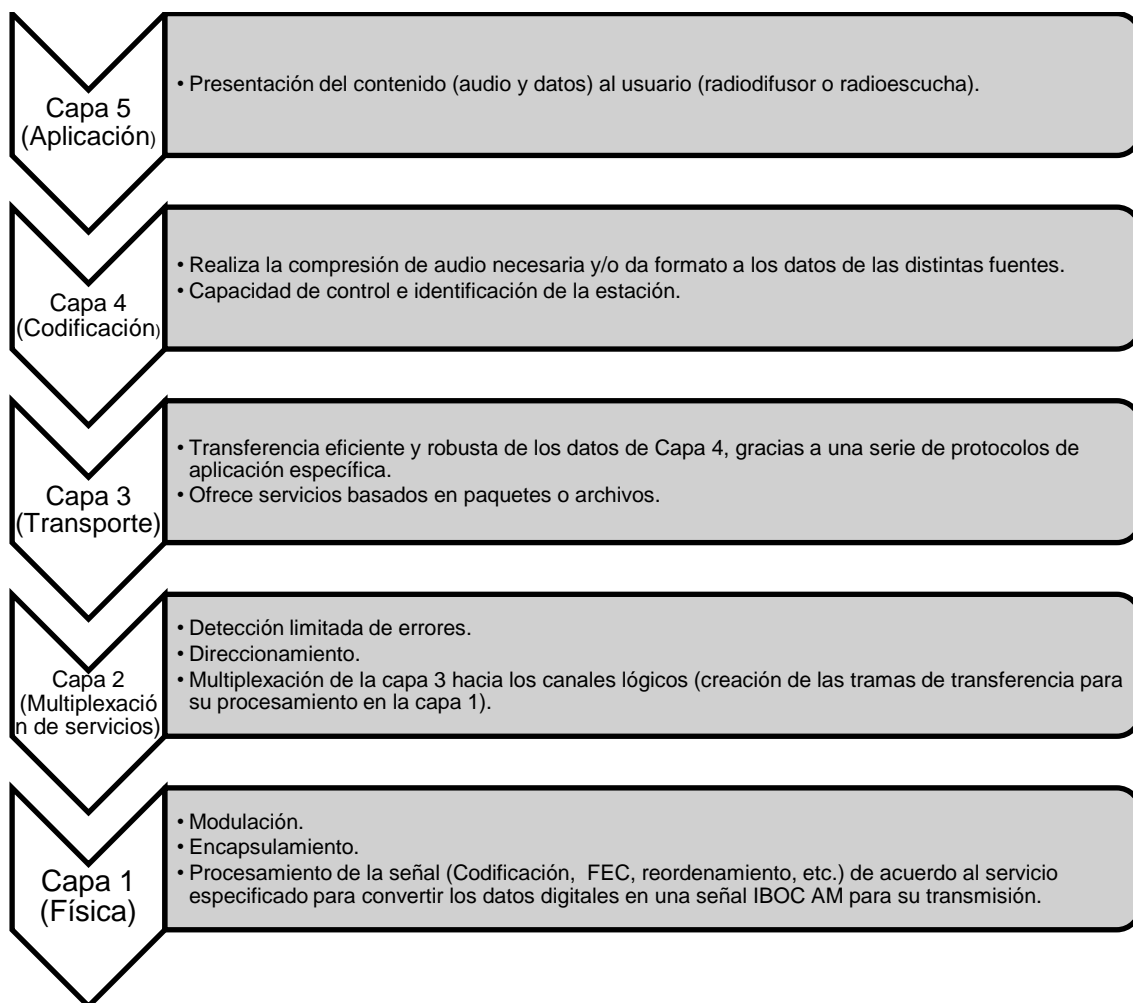


Figura II.3.1. Capas del sistema IBOC [NRSC-5B]



Las capas que interesan para efectos de este trabajo son la Capa 4, que es la encargada de la codificación de audio, la Capa 2, que es la encargada de recibir los datos y el audio que serán radiodifundidos y darles el formato adecuado, y la Capa 1, que es la encargada de la generación y transmisión de la señal IBOC. Estas capas serán descritas con más detalle a continuación.

3.1. Capa 4. Codificación de fuente

El sistema IBOC utiliza un codificador HE-AAC [WBU_DRG] de flujo múltiple, usado para proveer una cobertura más robusta y tiempos de sintonización menores. El codificador de flujo múltiple esparce el contenido de audio codificado dentro de flujos de bits diferentes; los bits más importantes son colocados en los flujos básicos para que puedan ser decodificados de manera independiente, mientras que los bits restantes son colocados en un flujo mejorado que, combinado con el flujo básico en el decodificador, produce la salida de audio con una calidad parecida a la obtenida si únicamente se trabajara con un solo flujo de bits codificados.

La tabla II.3.1 muestra los modos de códec de audio tanto para AM como para FM de acuerdo a la configuración de flujo, tramas y velocidades de transferencia de bits, así como la cantidad promedio de bits de datos por PDU. Los modos de códec que aún no se encuentran definidos están reservados para futura expansión; dichos modos deberán ser compatibles con aquellos ya definidos.

Tabla II.3.1. Modos de códec de audio [NRSC-5B]

Modo de códec de audio	Uso	Número de flujos	Tipo de flujo	PDU's por trama L1	Número promedio de paquetes de audio por PDU	Velocidad de transmisión [kbps]	Velocidad de PSD [bytes/PDU]
0000	FM híbrido	1	Básico	1	32	96	128
0001	FM digital	2	Básico	8	4	48	7
			Mejorado	1	32	48	0
0010	AM híbrido	2	Básico	8	4	20	7
			Mejorado	1	32	16	0
	AM digital	2	Básico	8	4	20	7
			Mejorado	1	32	20	0
0011	FM digital	2	Básico	8	4	24	7
			Mejorado	1	32	72	0
1010	FM	2	Básico	1	32	22	7
			Mejorado	8	4	24	0
1101	FM	1	Básico	8	4	24	7
0100-1001 1011-1100 1110-1111	Reservado	----	----	----	----	----	----



3.2. Capa 2. Multiplexación de servicios

La función principal de la capa 2 es recibir el audio y los datos provenientes de las capas superiores del sistema de radio digital IBOC, multiplexar esta información dentro de las Unidades de Datos de Protocolo (*PDU, Protocol Data Unit*) y enviarla al Canal Lógico (*LC, Logical Channel*) apropiado, dentro de la capa 1.

La capa 2 le permite al sistema IBOC proporcionar cuatro tipos de servicios de transporte [NRSC-5B]:

1. **Servicio del Programa Principal (*MPS, Main Program Service*):** Incluye el Audio del Servicio del Programa Principal (*MPSA, Main Program Service Audio*) y los Datos del Servicio del Programa Principal (*MPSD, Main Program Service Data*). Las Unidades de Datos de Protocolo (*PDU, Protocol Data Unit*) del MPS son generados por el Transporte de Audio y encapsulan tanto la información del MPSA como del MPSD.
2. **Servicio del Programa Complementario (*SPS, Supplemental Program Service*):** Este servicio da al radiodifusor la opción de multiplexar información de programas adicionales junto con la información del MPS. Al igual que los PDU's del MPS, los PDU's del SPS incluyen el Audio del Servicio del Programa Complementario (*SPSA, Supplemental Program Service Audio*) y los Datos del Servicio del Programa Complementario (*SPSD, Supplemental Program Service Data*).
3. **Servicios de Aplicación Avanzada (*AAS, Advance Application Services*):** Junto con el MPS, provee el mecanismo de transporte de paquetes de información de contenido adicional, diferente al SPS. Existen dos métodos para multiplexar los datos del AAS dentro de una PDU de capa 2: fija y oportunista. Los datos fijos tienen asignado un ancho de banda específico que se obtiene reduciendo el ancho de banda asignado al MPS; los datos oportunistas, por su parte, hacen uso de cualquier ancho de banda que no sea utilizado por el MPS o el SPS.
4. **Servicio de Información de Estación (*SIS, Station Information Service*):** Es una conexión especializada para transmitir los datos del SIS en el canal lógico del Servicio de Datos Primarios IBOC (*PIDS, Primary IBOC Data Service*) de la capa 1. Para este canal lógico, la capa 2 no realiza la función de multiplexaje, simplemente envía los PDU's del SIS directamente, sin agregar cabeceras; esto debido a que aquí se transporta la información de las características de transmisión de la señal.

3.3. Capa 1. Capa física

La Capa 1 (*L1, Layer 1*) del sistema IBOC AM convierte la información proveniente de la Capa 2 (*L2, Layer 2*) y la información del control del sistema, proveniente del administrador de configuración, en una forma de onda AM de Alta Definición (*HD, High Definition*) que es transmitida dentro del canal ya asignado en la banda de Frecuencia Media (*MF, Medium Frequency*) [NRSC-5B] o en una forma de onda FM también de alta definición que será transmitida en la banda de Frecuencias Muy Altas (*VHF, Very High Frequency*). Estos datos de información y control son transportados en tramas de transferencia discretas, las cuales son llamadas Unidades de Datos de Protocolo de Capa 2 (*PDUs, Protocol Data Units*).



La información de control del sistema que se añade a la señal IBOC, a través del Canal de Control del Sistema (*SCCH, Service Control Channel*), es la siguiente:

1. **Control de Modo de Servicio (*SMC, Service Mode Control*):** Determina la configuración y funcionamiento de los Canales Lógicos (*LC, Logical Channel*). El sistema IBOC AM trabaja con dos Modos de Servicio (*SM, Service Mode*) diferentes; MA1 y MA3, donde MA1 es un modo híbrido y MA3 es un modo totalmente digital. Para IBOC FM existen diez modos de servicio divididos en dos tipos básicos:
 - a. Modos de servicio primarios: Definidos por el Control de Modo de Servicio Primario (*PSM, Primary Service Mode Control*) y son MP1, MP2, MP3, MP11, MP5 y MP6.
 - b. Modos de servicio secundarios: Definidos por el Control de Modo de Servicio Secundario (*SSM, Secondary Service Mode Control*) y son MS1, MS2, MS3 y MS4.

Todas las formas de onda disponibles para FM necesitan que ambos SM's sean definidos; sin embargo, no todas las combinaciones son posibles. Únicamente los SM's primarios MP5 y MP6 pueden ser combinados con cualquiera de los SM's secundarios; los modos MP1 a MP3 y MP11 son solo para las formas de onda híbrida e híbrida extendida.

2. **Control de Nivel de Potencia (*PL, Power Level Control*):** Usado por el sistema IBOC AM, define en la forma de onda híbrida únicamente, el nivel nominal de potencia relativo a la portadora analógica, de las bandas laterales secundarias, las bandas laterales terciarias y el Canal Lógico de Servicio de Datos Primarios (*PIDS, Primary IBOC Data Service Logical Channel*).

El PL tiene dos posibles valores, bajo o alto. Cuando PL toma el valor de un cero lógico (bajo nivel de potencia), las sub portadoras híbridas son escaladas por los factores CH_{S1} , CH_{I1} y CH_{T1} para aumentar la cobertura digital. Cuando PL toma el valor de un uno lógico (alto nivel de potencia), las sub portadoras híbridas son escaladas por los factores CH_{S2} , CH_{I2} y CH_{T2} para reducir la interferencia analógica [NRSC-5B] (tabla II.3.2). Cuando se transmite la forma de onda digital, el PL es ignorado, ya que solo está presente la señal digital.



Tabla II.3.2. Factores de escala de amplitud de las sub portadoras OFDM (IBOC AM) [NRSC-5B]

Forma de onda	Modo de servicio	Bandas laterales	Factor de escala	Tipo de modulación	Densidad espectral de potencia máx. $\left[\frac{dBc}{sub\ portadora} \right]$	Densidad espectral de potencia máx. en un A.B. de 300 Hz [dBc]
Híbrida	MA1	Primaria	CH _p	64-QAM	-30	-27.8
		Secundaria	CH _{S1}	16-QAM	-43	-40.8
			CH _{S2}	16-QAM	-37	-34.8
		Terciaria	CH _{T1} [0]	QPSK	-44	-41.8
			CH _{T1} [1]	QPSK	-44.5	-42.8
			CH _{T1} [2]	QPSK	-45	-42.8
			CH _{T1} [3]	QPSK	-45.5	-43.3
			CH _{T1} [4]	QPSK	-46	-43.8
			CH _{T1} [5]	QPSK	-46.5	-44.3
			CH _{T1} [6]	QPSK	-47	-44.8
			CH _{T1} [7]	QPSK	-47.5	-45.3
			CH _{T1} [8]	QPSK	-48	-45.8
			CH _{T1} [9]	QPSK	-48.5	-46.3
			CH _{T1} [10]	QPSK	-49	-46.8
			CH _{T1} [11]	QPSK	-49.5	-47.3
		CH _{T1} [12:24]	QPSK	-50	-47.8	
CH _{T2} [0:24]	QPSK	-44	-41.8			
Referencia	CH _B	BPSK	-26	-23.8		
PIDS	CH _{I1}	16-QAM	-43	-40.8		
	CH _{I2}	16-QAM	-37	-34.8		
Totalmente digital	MA3	Primaria	CD _p	64-QAM	-15	-12.8
		Secundaria	CD _E	64-QAM	-30	-27.8
		Terciaria	CD _E	64-QAM	-30	-27.8
		Referencia	CD _B	BPSK	-15	-12.8
		PIDS	CD _I	16-QAM	-30	-27.8

3. **Control del Ancho de Banda del Audio Analógico (AAB, Analog Audio Bandwidth Control):** También transportado en la señal IBOC AM, este especifica, en la forma de onda híbrida, el ancho de banda que será utilizado por la señal analógica. Cuando el AAB toma el valor de un cero lógico, el ancho de banda seleccionado es de 5 kHz, mientras que si el AAB toma el valor de un uno lógico, el ancho de banda seleccionado es 8 kHz [NRSC-5B]. En la forma de onda digital, como no existe señal analógica, el AAB es ignorado.



Sin embargo, cuando se transmite con un ancho de banda de audio analógico de 8 kHz, la cobertura digital de una estación híbrida (solo las sub portadoras primarias) se ve afectada por las transmisiones híbridas adyacentes [NRSC-5B] (sección 3.5.1.1).

4. **Selección del Factor de Escala de Amplitud (ASF, Amplitude Scale Factor Select):** Las bandas laterales primarias y secundarias de la señal IBOC FM son escaladas en amplitud de manera independiente. Los factores de escala de las bandas laterales primarias (a_0 y a_1) son determinados al momento de elegir el SM, mientras que el factor de escala de amplitud para las bandas laterales secundarias (a_2 hasta a_5) es elegido por el usuario y es indicado mediante el ASF (tabla II.3.3) [NRSC-5B].

Tabla II.3.3. Factores de escala de las sub portadoras OFDM (IBOC FM) [NRSC-5B]

Forma de onda	Modo de servicio	Bandas laterales	Factor de escala de amplitud	Densidad espectral de potencia $\left[\frac{dBc}{\text{sub portadora}} \right]$	Densidad espectral de potencia en un A. B. de 1 kHz [dBc]
Híbrida	MP1	Primarias	a_0	-45.8	-41.4
Híbrida extendida	MP2- MP6	Primarias	a_0	-45.8	-41.4
Totalmente digital	MP5- MP6	Primarias	a_1	-27.3	-22.9
	MS1-MS4	Secundarias	a_2	-32.3	-27.9
		Secundarias	a_3	-37.3	-32.9
		Secundarias	a_4	-42.3	-37.9
		Secundarias	a_5	-47.3	-42.9

3.3.1. Canales lógicos (LC, Logical Channel)

Un canal lógico es una trayectoria que conduce a las L2 PDU's, en tramas de transferencia, dentro y fuera de la L1 con un grado de servicio específico determinado por el SM.

La L1 de la interfaz aérea del sistema IBOC AM provee tres canales lógicos a las capas de protocolos superiores: P1, P3 y PIDS [NRSC-5B]. Los canales lógicos P1 y P3 están diseñados para audio de propósito general y transferencia de datos; sin embargo, P1 es más robusto que P3, lo que permite una transferencia de información que puede ser adaptada a diversas aplicaciones. Por su parte, el canal lógico PIDS está diseñado para transportar los datos del SIS.

La L1 de la interfaz de aire de FM provee once LC's a las capas de protocolos superiores; sin embargo, no todos los LC's son utilizados en cada SM [NRSC-5B].

- a. **Canales lógicos Primarios:** Existen 5 canales lógicos primarios que pueden ser utilizados con las tres formas de onda (híbrida, híbrida extendida y totalmente digital) y son; P1, P2, P3, P4 y PIDS. Los canales P1 a P4 están diseñados para transportar paquetes de datos y audio, mientras que el canal PIDS, al igual que en AM, transporta la información del SIS.
- b. **Canales lógicos Secundarios:** Existen 6 canales lógicos secundarios que son utilizados únicamente con la forma de onda totalmente digital y son; S1, S2, S3, S4, S5 y el canal lógico de Servicio de Datos Secundarios IBOC (SIDS, Secondary IBOC Data Service),



donde los canales S1 a S5 también son utilizados para transportar paquetes de audio y datos, y el canal SIDS está diseñado para transportar información del SIS.

El funcionamiento de cada canal lógico, en ambos sistemas, está completamente determinado por tres parámetros de caracterización; transferencia, latencia y robustez. La codificación de canal, mapeo del espectro, profundidad de entrelazado y retraso por diversidad, son los componentes de dichos parámetros (tablas II.3.4 y II.3.5).

Tabla II.3.4. Caracterización de los canales lógicos de acuerdo al modo de servicio (IBOC AM) [NRSC-5B]

Modo de servicio	Canal Lógico	Transferencia		Latencia L1 [s]**	Robustez relativa
		Tamaño de la trama [bits]	Velocidad de la trama [Hz]**		
MA1	P1	3,750	R_b	$T_f + T_{dd}$	5
	P3	24,000	R_f	T_f	6 (PL=alto) u 8 (PL=bajo)
	PIDS	80	R_b	T_b	3 (PL=alto) ó 7 (PL=bajo)
MA3	P1	3,750	R_b	$T_f + T_{dd}$	1
	P3	30,000	R_f	$T_f + T_{dd}$	4
	PIDS	80	R_b	T_b	2

**Consultar tabla A

Tabla A. Parámetros del sistema IBOC AM [NRSC-5B]

Parámetro	Símbolo	Unidades	Valor exacto	Valor aproximado
Espaciado entre Sub portadoras OFDM	Δf	Hz	$\frac{1,488,375}{8,192}$	181.7
Ancho Cíclico Predefinido	α	Ninguna	$\frac{7}{128}$	5.469×10^{-2}
Duración del símbolo OFDM	T_s	s	$\frac{(1 + \alpha)}{\Delta f} = \left(\frac{135}{128}\right) \cdot \left(\frac{8,192}{1,488,375}\right)$	5.805×10^{-3}
Velocidad del símbolo OFDM	R_s	Hz	$= \frac{1}{T_s}$	172.3
Duración de la Trama L1	T_f	s	$\frac{65,536}{44,100} = 256 \cdot T_s$	1.486
Velocidad de la Trama L1	R_f	Hz	$= \frac{1}{T_f}$	6.729×10^{-1}
Duración del Bloque L1	T_b	s	$= 32 \cdot T_s$	1.858×10^{-1}
Velocidad del Bloque L1	R_b	Hz	$= \frac{1}{T_b}$	5.383
Tramas de Retraso por Diversidad	N_{dd}	Ninguna	3	3
Tiempo de Retraso por Diversidad	T_{dd}	s	$= N_{dd} \cdot T_f$	4.458



Tabla II.3.5. Caracterización de los canales lógicos de acuerdo al modo de servicio (IBOC FM) [NRSC-5B]

Modo de servicio	Canal Lógico	Transferencia			Latencia L1 [s]**	Robustez relativa
		Tamaño de la trama [bits]	Velocidad de la trama [Hz]**	Módulo de trama		
MP1	P1	146,176	R_f	1	T_f	2
	PIDS	80	R_b	16	T_b	3
MP2	P1	146,176	R_f	1	T_f	2
	P3	2,304	R_p	8	$2 \cdot T_f$	3
	PIDS	80	R_b	16	T_b	3
MP3	P1	146,176	R_f	1	T_f	2
	P3	4,608	R_p	8	$2 \cdot T_f$	3
	PIDS	80	R_b	16	T_b	3
MP11	P1	176,176	R_f	1	T_f	2
	P3	9,216	R_p	8	$2 \cdot T_f$	3
	P4	9,216	R_p	8	$2 \cdot T_f$	3
	PIDS	80	R_b	16	T_b	3
MP5	P1	4,608	R_p	8	$T_p + T_{dd}$	1
	P2	109,312	R_f	1	T_f	2
	P3	4,608	R_p	8	$2 \cdot T_f$	3
	PIDS	80	R_b	16	T_b	3
MP6	P1	9,216	R_p	8	$T_p + T_{dd}$	1
	P2	72,448	R_f	1	T_f	2
	PIDS	80	R_f	16	T_b	3
MS1	S4	18,272	R_p	8	T_p	7
	S5	512	R_b	16	T_b	6
	SIDS	80	R_b	16	T_b	8
MS2	S1	4,608	R_p	8	$T_p + T_{dd}$	5
	S2	109,312	R_f	1	T_f	9
	S3	4,608	R_p	8	T_p	11
	S5	512	R_b	16	T_b	6
	SIDS	80	R_b	16	T_b	10
MS3	S1	9,216	R_p	8	$T_p + T_{dd}$	5
	S2	72,448	R_f	1	T_f	9
	S5	512	R_b	16	T_b	6
	SIDS	80	R_b	16	T_b	10
MS4	S1	4,608	R_p	8	T_p	11
	S2	146,176	R_f	1	T_f	9
	S3	4,608	R_p	8	T_p	11
	S5	512	R_b	16	T_b	6
	SIDS	80	R_b	16	T_b	10

**Consultar tabla B



Tabla B. Parámetros del sistema IBOC FM [NRSC-5B]

Parámetro	Símbolo	Unidades	Valor exacto	Valor aproximado
Espaciado entre Sub portadoras OFDM	Δf	Hz	$\frac{1488375}{4096}$	363.4
Ancho Cíclico Predefinido	α	Ninguna	$7/128$	5.469×10^{-2}
Duración del símbolo OFDM	T_s	s	$\frac{(1+\alpha)}{\Delta f} = \left(\frac{135}{128}\right) \cdot \left(\frac{4096}{1488375}\right)$	2.902×10^{-3}
Velocidad del símbolo OFDM	R_s	Hz	$= \frac{1}{T_s}$	344.5
Duración de la Trama L1	T_f	s	$\frac{65536}{44100} = 512 \cdot T_s$	1.486
Velocidad de la Trama L1	R_f	Hz	$= \frac{1}{T_f}$	6.729×10^{-1}
Duración del Bloque L1	T_b	s	$= 32 \cdot T_s$	9.288×10^{-2}
Velocidad del Bloque L1	R_b	Hz	$= \frac{1}{T_b}$	10.77
Duración del Bloque par L1	T_p	s	$= 64 \cdot T_s$	1.858×10^{-1}
Velocidad del Bloque par L1	R_p	Hz	$= \frac{1}{T_p}$	5.383

El SM es el encargado de configurar de manera única estos componentes para cada LC activo, permitiendo así la asignación de los parámetros de caracterización apropiados, además de que especifica la sincronización y tamaño de las tramas de transferencia dentro de cada canal lógico.

1. **Transferencia:** La salida de los canales lógicos, también llamada transferencia, está definida en términos del tamaño de la trama de transferencia (en bits) y la velocidad de la trama de transferencia (en Hz o número de tramas transferidas por segundo) [NRSC-5B]. El mapeo del espectro y la codificación de canal son los componentes que determinan la transferencia de un LC, ya que el mapeo del espectro limita la capacidad, mientras que la cabecera de la codificación limita la cantidad de información de salida.
2. **Latencia:** Se le denomina latencia al retraso impuesto por el LC a una trama de transferencia mientras esta atraviesa la L1 [NRSC-5B]. La latencia de un LC está definida como la suma de su profundidad de entrelazado y su retraso por diversidad. Las capas superiores de la pila de protocolos del sistema IBOC asignan la información a cada LC con la latencia solicitada a través de la selección del modo de servicio.
3. **Robustez:** La robustez es la capacidad de un LC para resistir las adversidades del canal como ruido e interferencias. Existen ocho niveles [NRSC-5B] relativos de robustez diseñados dentro de la L1 de la interfaz de aire AM; una robustez de 1 indica un nivel muy alto de resistencia, mientras que una robustez de 8 indica una tolerancia menor a los errores provocados por el canal. Por su parte, el sistema IBOC FM ofrece 11 niveles de robustez para la L1 [NRSC-5B]; una robustez de 1 indica un nivel muy alto de resistencia a las adversidades del canal, mientras que una robustez de 11 indica una baja tolerancia a los errores inducidos por el canal.
Los factores que determinan la robustez de un canal lógico son; el mapeo del espectro (que afecta a la robustez estableciendo el nivel de potencia relativo, la



protección contra la interferencia espectral y la diversidad de frecuencia de un LC), la codificación de canal (que incrementa la robustez añadiendo redundancia al LC), la profundidad de entrelazado (que influye en el desempeño ante atenuaciones) y el retraso por diversidad (que mitiga los efectos del canal de radio móvil).

3.3.2. Capacidad de transmisión del sistema

Para calcular la salida de información de un LC, teniendo en cuenta la información anterior (tablas II.3.4 y II.3.5), se utiliza la siguiente fórmula [NRSC-5B]:

$$\text{Salida} \left[\frac{\text{bits}}{\text{s}} \right] = \text{Tamaño de la trama de transferencia}[\text{bits}] \cdot \text{Velocidad de la trama de transferencia} [\text{Hz}]$$

Entonces, por ejemplo, en el modo de servicio MA1 la salida para el canal lógico P1 es:

$$\text{Salida} \left[\frac{\text{bits}}{\text{s}} \right] = 3750 \cdot \left(\frac{8 \cdot 44100}{65536} \right) \approx 20.2 \left[\frac{\text{kbits}}{\text{s}} \right]$$

Y para el caso del modo de servicio MP1, la salida del canal lógico P1 es:

$$\text{Salida} \left[\frac{\text{bits}}{\text{s}} \right] = 146,176 \cdot \frac{44,100}{65,536} \approx 98.4 \left[\frac{\text{kbits}}{\text{s}} \right]$$

Los valores aproximados de la velocidad de información de salida de los canales lógicos para cada SM, tanto de AM como de FM, se muestran en las tablas II.3.6 a II.3.8. Para el caso de AM, el modo MA3 es el que ofrece la mayor velocidad de transmisión, 40 kbps, mientras que el modo MA1 ofrece una velocidad de 36 kbps. En FM, la unión de los modos de servicio MP5 y MS4 (transmisión de la forma de onda híbrida o totalmente digital) ofrece la mayor velocidad de transmisión con 278 kbps, mientras que el modo de transmisión híbrido MP1 ofrece la mínima velocidad con solo 98 kbps.

Tabla II.3.6. Velocidad de información de salida aproximada para cada canal lógico de IBOC AM [NRSC-5B]

Modo de Servicio	Velocidad de información de salida aproximada del canal			Forma de onda
	P1	P3	PIDS	
MA1	20	16	0.4	Híbrida
MA3	20	20	0.4	Totalmente digital



Tabla II.3.7. Velocidad aproximada de transferencia de información de los LC's primarios de IBOC FM [NRSC-5B]

Modo de Servicio	Velocidad aproximada de transferencia de información $\left[\frac{kbits}{s}\right]$					Forma de onda
	P1	P2	P3	P4	PIDS	
MP1	98	N/A	N/A	N/A	1	Híbrida
MP2	98	N/A	12	N/A	1	Híbrida Extendida
MP3	98	N/A	25	N/A	1	Híbrida Extendida
MP11	98	N/A	25	25	1	Híbrida Extendida
MP5	25	74	25	N/A	1	Híbrida Extendida, Totalmente Digital
MP6	50	49	N/A	N/A	1	Híbrida Extendida, Totalmente Digital

Tabla II.3.8. Velocidad aproximada de transferencia de información de los LC's secundarios de IBOC FM [NRSC-5B]

Modo de Servicio	Velocidad aproximada de transferencia de información $\left[\frac{kbits}{s}\right]$						Forma de onda
	S1	S2	S3	S4	S5	SIDS	
MS1	0	0	0	98	6	1	Totalmente Digital
MS2	25	74	25	0	6	1	Totalmente Digital
MS3	50	49	0	0	6	1	Totalmente Digital
MS4	25	98	25	0	6	1	Totalmente Digital

3.4. Componentes funcionales de la capa 1 del sistema IBOC

En esta sección se presenta un diagrama a bloques (figura II.3.2) de la capa 1 del sistema IBOC, que es donde se lleva a cabo el procesamiento de la información proveniente de las capas superiores para poder generar la señal digital HD que será transmitida, tanto para AM como para FM.

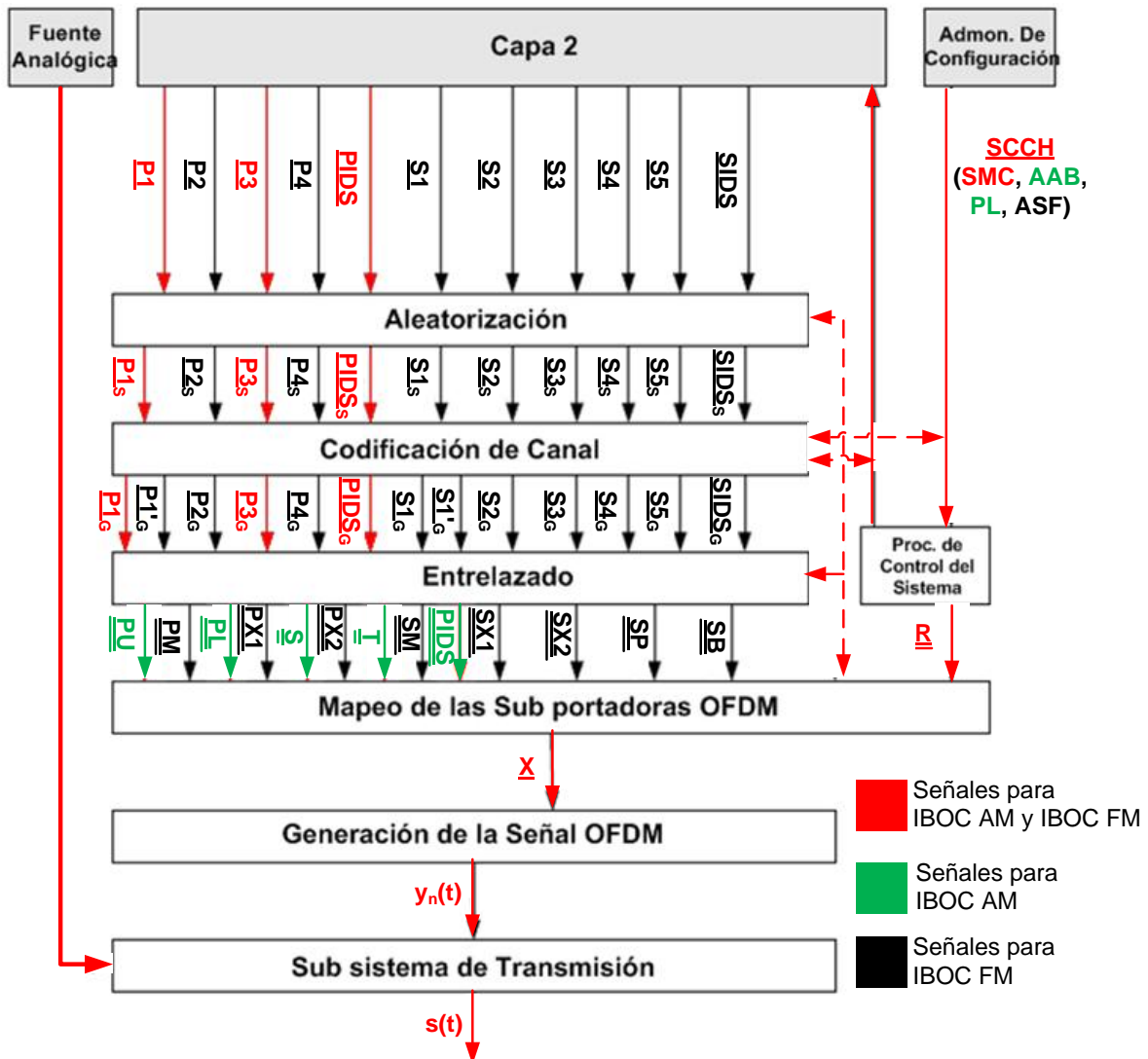


Figura II.3.2. Diagrama a bloques de la interfaz de aire (capa 1) del sistema IBOC [NRSC-5B]

A continuación, se presenta una explicación [NRSC-5B] de las funciones de cada uno de los bloques que componen a la capa 1.

3.4.1. Aleatorización

Este es el primer proceso dentro de la L1; los bits provenientes de la L2 (encapsulados en las PDU's) a través de los LC's, son revueltos de manera independiente para aleatorizar la información en el dominio del tiempo y reducir así [NRSC-5B] las periodicidades dentro de la señal y poder facilitar la sincronización del receptor.

A la salida de este primer bloque tenemos tramas de transferencia de bits aleatorizados que son enviados al proceso de codificación de canal para aplicarles la Corrección de Errores Hacia Adelante (FEC, Forward Error Correction).



3.4.2. Codificación de canal

La información de entrada a este proceso son tramas de transferencia de bits aleatorizados, provenientes del bloque de la aleatorización. Este proceso de codificación de canal utiliza [NRSC-5B] la codificación convolucional para añadir redundancia a los datos digitales en cada uno de los LC's para mejorar su confiabilidad y resistencia ante interferencias y adversidades del canal. Las técnicas de codificación [NRSC-5B] son configuradas dependiendo del SM activo.

Debido a lo anterior, el sistema IBOC AM cuenta con tres [NRSC-5B] codificadores convolucionales; el codificador E1 (usado por ambos SM's) utiliza una tasa madre de $1/3$ la cual es perforada para obtener una tasa de $5/12$, el codificador E2 (usado solo por el SM MA1) también utiliza una tasa madre de $1/3$ perforada para obtener una tasa de $4/6$; finalmente, el codificador E3 (usado por ambos SM's) utiliza la misma tasa madre, sin perforar.

Por su parte, el sistema IBOC FM utiliza [NRSC-5B] cuatro tasas de código diferentes, de $2/6$ (usado por los SM's secundarios), $2/5$ (usado por todos los SM's excepto MS1) y $2/4$ (usado por todos los SM's excepto MP1 y MS1), todos generados a partir de una tasa madre de $1/3$, y un código con tasa $2/7$ (usado por el SM MS1), generado a partir de una tasa madre de $1/4$.

Lo anterior significa que el tamaño de los vectores de cada LC se incrementa de forma inversamente proporcional a la tasa de código; por ejemplo, si el sistema IBOC AM utiliza el codificador E1, por cada 5 bits aleatorizados de entrada, se obtendrán a la salida 12 bits codificados.

Finalmente, a la salida del bloque de codificación de canal tenemos tramas de transferencia de bits codificados, asociados a cada LC activo.

3.4.3. Entrelazado

Un entrelazador es una función que toma un vector de bits como entrada y genera una matriz de bits reordenados; este reordenamiento antes de la transmisión mitiga el impacto de los errores de ráfaga causados por el desvanecimiento de la señal e interferencias.

Como ya se mencionó, la salida del entrelazador está estructurada en forma de matriz; cada matriz de salida contiene información completa o parcial de los LC's y se asocia con una porción específica del espectro transmitido. Dichas salidas son luego dirigidas al bloque de mapeo de sub portadoras OFDM, donde se mapea un renglón de cada matriz de entrelazado a su respectiva banda lateral superior e inferior. Este mapeo depende del SM seleccionado para la transmisión.

3.4.4. Procesamiento del control del sistema

El procesamiento del control del sistema recibe los datos de control del sistema (SMC, PL, AAB, ASF) provenientes del administrador de configuración a través del SCCH [NRSC-5B]. Estos datos son combinados con bits de sincronización, paridad y reservados dentro de la L1 para crear, bajo la dirección de las capas superiores, una matriz de secuencias de datos de control del sistema denominada como R.



Esta matriz es transmitida en las llamadas sub portadoras de referencia (figuras II.3.7 a II.3.9 y II.3.12 a II.3.14) [NRSC-5B], que en el caso de la señal IBOC AM están localizadas a ambos lados de la portadora analógica principal, mientras que en la señal IBOC FM, el número de sub portadoras de referencia radiodifundidas en una forma de onda dada, depende del SM.

3.4.5. Mapeo de las sub portadoras OFDM

En este bloque se asignan las matrices de entrelazado y el vector de control del sistema a las sub portadoras OFDM correspondientes. Dependiendo del sistema (IBOC AM o IBOC FM) y de la posición de las sub portadoras dentro del espectro [NRSC-5B], es el tipo de modulación utilizada para el mapeo de la información.

Para el caso del sistema IBOC AM [NRSC-5B], en la forma de onda híbrida, los renglones de las matrices de entrelazado que están destinados a las bandas laterales primarias, son mapeados utilizando una modulación 64QAM, aquellos destinados a las bandas laterales secundarias y la información del PIDS utilizan una modulación 16QAM, finalmente, los renglones destinados a las bandas laterales terciarias utilizan modulación QPSK. Para la forma de onda totalmente digital, la información de las bandas laterales secundarias y terciarias utilizan modulación 64QAM, mientras que la información del PIDS usa modulación 16QAM. En ambos casos, para las sub portadoras de referencia se utiliza la modulación BPSK.

Para el sistema IBOC FM [NRSC-5B], independientemente del SM seleccionado y de la forma de onda transmitida (híbrida, híbrida extendida o totalmente digital), las sub portadoras de datos utilizan una modulación QPSK y las sub portadoras de referencia utilizan la modulación BPSK.

3.4.6. Generación de la señal OFDM

El módulo de generación de la señal OFDM recibe símbolos complejos OFDM en el dominio de la frecuencia, provenientes de la salida del módulo de mapeo de las sub portadoras OFDM, y genera pulsos en el dominio del tiempo que representan la porción digital de la señal de radio IBOC AM o IBOC FM.

3.4.7. Sub sistema de transmisión

El sub sistema de transmisión da formato a la forma de onda de radio AM HD o FM HD en banda base para su transmisión a través del canal de MF o VHF respectivamente.

Sus funciones principales son la concatenación de símbolo y la conversión de frecuencia hacia arriba; además, cuando se transmite la forma de onda híbrida, el sub sistema también filtra y modula la señal en banda base de audio analógico antes de combinarla coherentemente con la porción digital de la forma de onda (figuras II.3.3 a II.3.6).

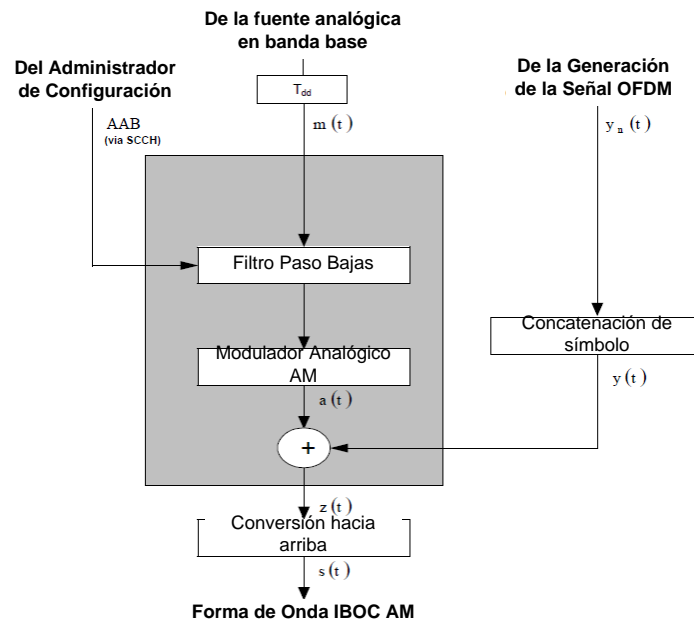


Figura II.3.3. Diagrama a bloques del sub sistema de transmisión híbrido (IBOC AM) [NRSC-5B]

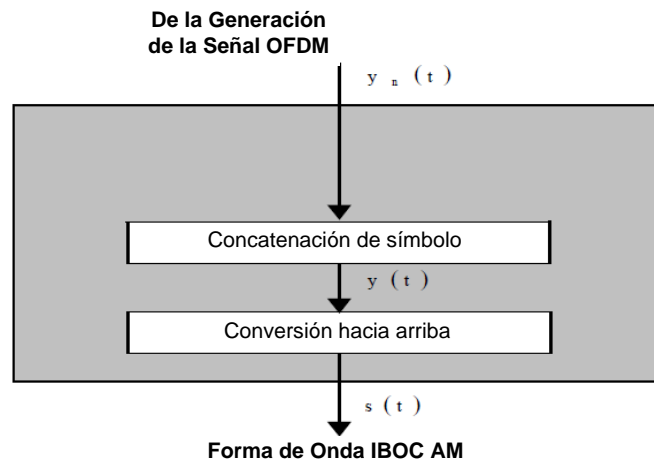


Figura II.3.4. Diagrama a bloques del sub sistema de transmisión totalmente digital (IBOC AM) [NRSC-5B]

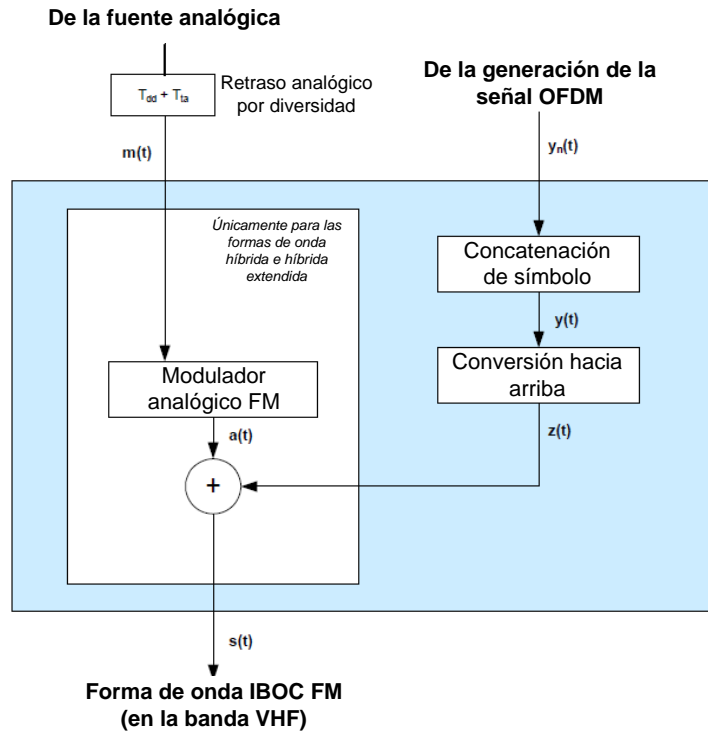


Figura II.3.5. Diagrama a bloques del sub sistema de transmisión híbrido e híbrido extendido (IBOC FM) [NRSC-5B]

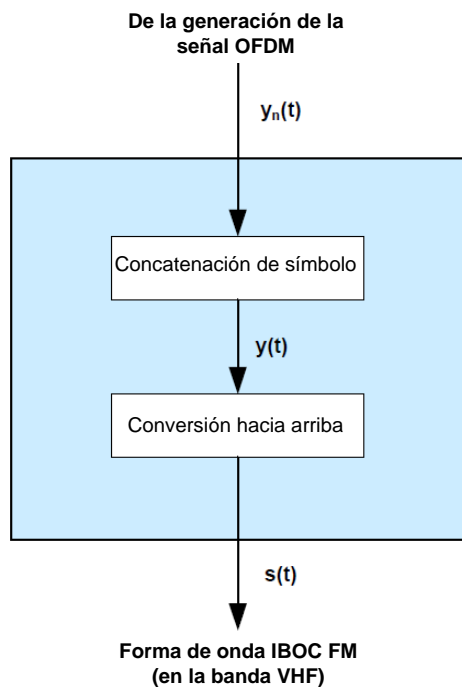


Figura II.3.6. Diagrama a bloques del sub sistema de transmisión totalmente digital (IBOC FM) [NRSC-5B]



3.5. Formas de onda y características espectrales de las señales IBOC

En esta sección se presentan las características espectrales de las señales IBOC AM y IBOC FM. Para ambos casos se presentan los espectros de todas las modalidades de señal existentes, así como su composición y las máscaras de transmisión definidas [NRSC-5B].

3.5.1. Amplitud modulada

El diseño del sistema IBOC provee los medios necesarios para permitir una transición gradual hacia un sistema de radiodifusión digital; para esto, cuenta con dos nuevos tipos de forma de onda, la forma de onda híbrida, que mantiene la señal analógica y añade la digital, y la forma de onda totalmente digital, usando como tipo de modulación de la señal digital (en ambas formas de onda) la Multiplexación por División Ortogonal de Frecuencia (*OFDM*, *Orthogonal Frequency Division Multiplexing*), ya que es un esquema de multiplexación flexible que permite el mapeo de los LC's en diferentes grupos de sub portadoras [NRSC-5B].

Ambos tipos de forma de onda cumplen con la máscara de emisiones espectrales [FCC-73] aprobada por la FCC en Estados Unidos para AM.

3.5.1.1. Forma de onda híbrida

Como se explicó anteriormente, el ancho de banda del audio analógico en la forma de onda híbrida puede ser de 5 kHz u 8 kHz. Para el primer caso, la señal digital es transmitida en las bandas laterales primarias y en las bandas laterales secundarias, a ambos lados de la señal analógica anfitriona, así como en las bandas laterales terciarias, por debajo de la señal analógica (figura II.3.7). En el segundo caso, además de las bandas laterales terciarias, las bandas laterales secundarias están también por debajo de la señal analógica anfitriona (figura II.3.8).

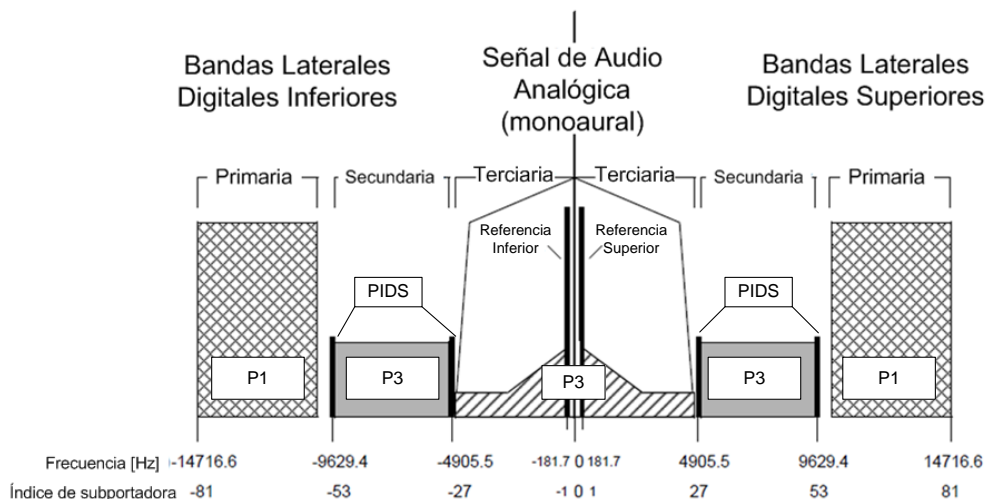


Figura II.3.7. Espectro de la forma de onda híbrida IBOC AM (ancho de banda de audio analógico de 5 kHz) [NRSC-5B]

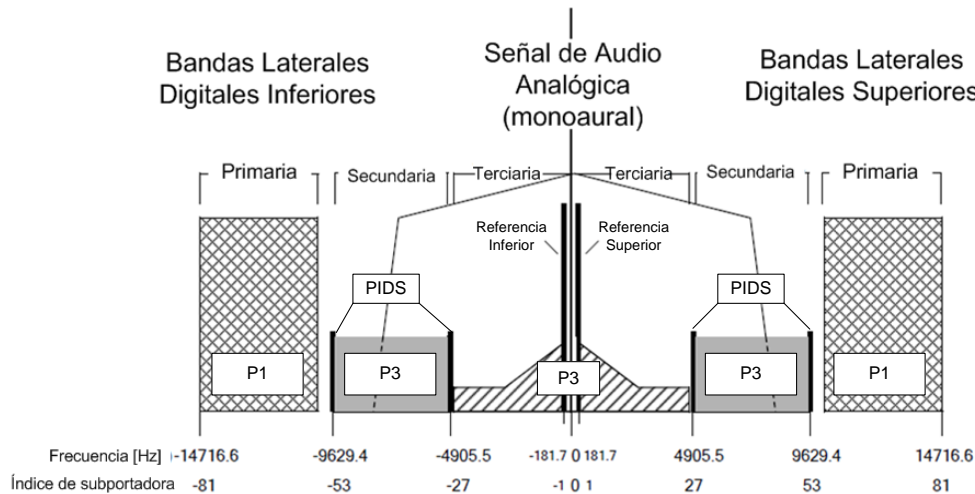


Figura II.3.8. Espectro de la forma de onda híbrida IBOC AM (ancho de banda de audio analógico de 8 kHz) [NRSC-5B]

El motivo de que existan dos configuraciones de ancho de banda para el audio analógico es que, al transmitir con un ancho de banda analógico de 8 kHz, la cobertura analógica de esa estación se mejora, pero se pueden causar interferencias a la señal digital de las transmisiones híbridas adyacentes. Por lo tanto, para evitar interferencias a las estaciones que utilizan canales adyacentes, se utiliza un ancho de banda analógico de 5 kHz, aunque la desventaja es que se reduce la cobertura analógica [NRSC-5B].

Además de las señales de audio, también se transmite la información de estado y control a través de sub portadoras de referencia localizadas a ambos lados de la portadora principal, y cada banda lateral tiene una componente superior e inferior. El canal lógico PIDS se transmite en sub portadoras individuales justo por arriba y por abajo de los límites de las bandas laterales secundarias superiores e inferiores (figuras II.3.7 y II.3.8). El nivel de potencia de cada una de las sub portadoras OFDM se fija de acuerdo al nivel del resto de las sub portadoras dentro de la misma banda lateral, mientras que los niveles de potencia de todas las bandas laterales, son ajustables de acuerdo al nivel de la portadora analógica principal sin modular [NRSC-5B] (tabla II.3.2).

En cada uno de los espectros mostrados en las figuras II.3.7 y II.3.8, se indica el número y frecuencia central de las sub portadoras OFDM principales; la frecuencia central de una sub portadora se calcula multiplicando el número de sub portadora por el espacio entre sub portadoras OFDM Δf (tabla A). El centro de la sub portadora cero está localizado en 0 Hz, pero este es relativo al canal de Radio Frecuencia (RF, Radio Frequency) asignado para la transmisión.

3.5.1.2. Forma de onda totalmente digital

En la forma de onda totalmente digital, la señal analógica es reemplazada por bandas laterales primarias de alta potencia, mientras que la portadora AM analógica sin modular es mantenida; la banda lateral superior secundaria es trasladada a frecuencias mayores por encima de la banda lateral superior primaria y la banda lateral inferior terciaria es trasladada a frecuencias más bajas, por debajo de la banda lateral inferior primaria. Las bandas laterales superiores secundaria y terciaria ya no se utilizan y la potencia de las bandas laterales secundaria y terciaria remanentes es incrementada.



Además, al igual que en la forma de onda híbrida, las sub portadoras de referencia están localizadas a ambos lados de la portadora AM sin modular, pero con un mayor nivel, y el nivel de potencia de cada una de las sub portadoras OFDM dentro de cada banda lateral se determina de acuerdo a la portadora analógica principal sin modular [NRSC-5B] (figura II.3.9 y tabla II.3.2).

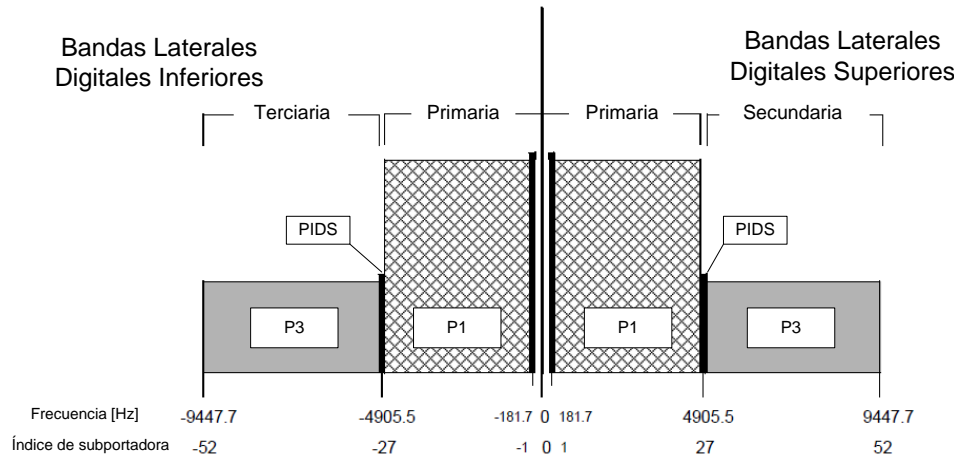


Figura II.3.9. Espectro de la forma de onda totalmente digital IBOC AM [NRSC-5B]

Todos los cambios anteriores dan como resultado una reducción en el ancho de banda, haciendo que la forma de onda totalmente digital sea menos susceptible a la interferencia por canal adyacente [NRSC-5B].

Finalmente, La forma de onda de radio AM HD [NRSC-5B] es radiodifundida en las bandas de radio AM actuales, y sus niveles de potencia y contenido espectral están limitados por la máscara espectral definida por la FCC [FCC-73] para AM (figuras II.3.10 a II.3.12 y tablas II.3.9 a II.3.11).

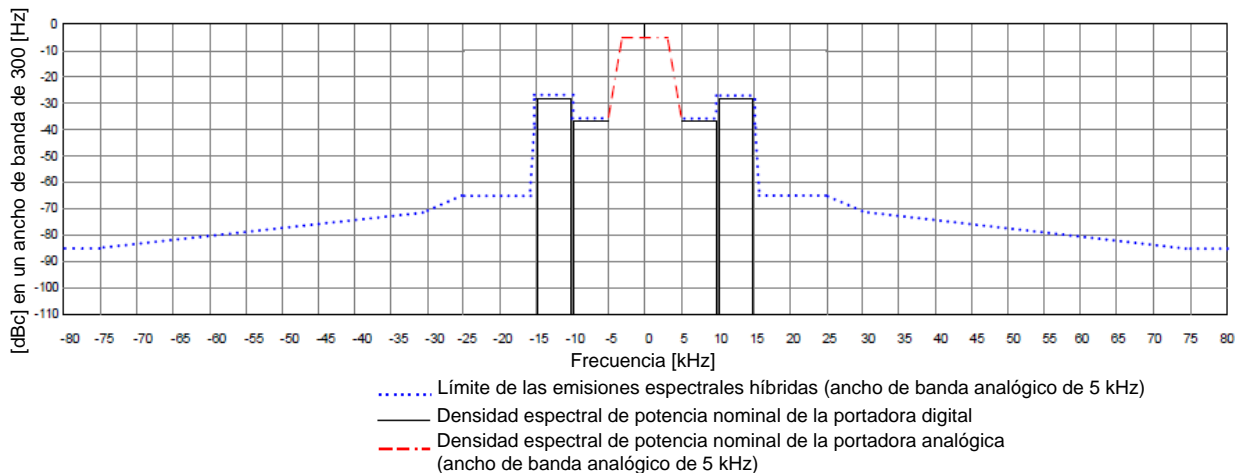


Figura II.3.10. Máscara espectral para la señal IBOC AM híbrida (ancho de banda de audio analógico de 5 kHz) [NRSC-5B]

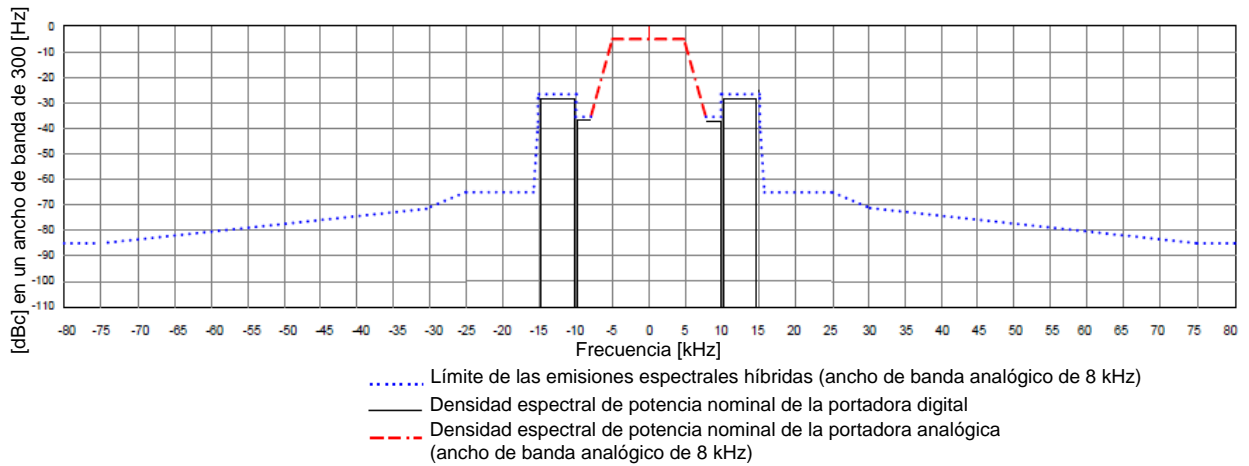


Figura II.3. 11. Máscara espectral para la señal IBOC AM híbrida (ancho de banda de audio analógico de 8 kHz) [NRSC-5B]

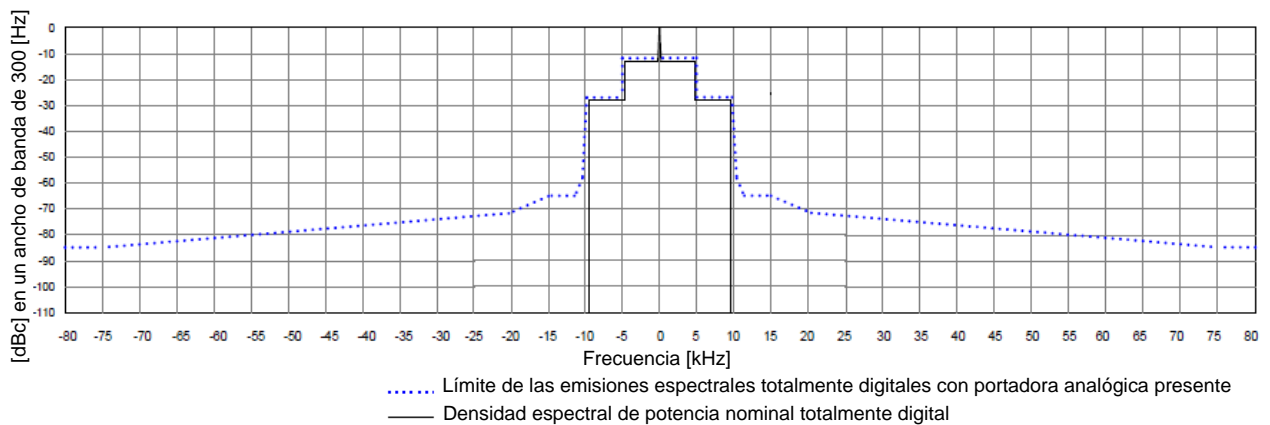


Figura II.3. 12. Máscara espectral para la señal IBOC AM totalmente digital [NRSC-5B]

Tabla II.3.9. Límites para las emisiones espectrales de la señal IBOC AM híbrida (ancho de banda analógico de 5 kHz) [NRSC-5B]

Frecuencia respecto a la portadora central	Nivel relativo a la portadora sin modular ([dBc] por 300 [Hz])
5 a 10 kHz de distancia	-34.3
10 a 15 kHz de distancia	-26.8
15 a 15.2 kHz de distancia	-28
15.2 a 15.8 kHz de distancia	$-39 - (\text{distancia respecto a la portadora central en kHz} - 15.2) \cdot 43.3$
15.8 a 25 kHz de distancia	-65
25 a 30.5 kHz de distancia	$-65 - (\text{distancia respecto a la portadora central en kHz} - 25) \cdot 1.273$
30.5 a 75 kHz de distancia	$-72 - (\text{distancia respecto a la portadora central en kHz} - 30.5) \cdot 0.292$
> 75 kHz de distancia	-85



Tabla II.3.10. Límites para las emisiones espectrales de la señal IBOC AM híbrida
(ancho de banda analógico de 8 kHz) [NRSC-5B]

Frecuencia respecto a la portadora central	Nivel relativo a la portadora sin modular ([dBc] por 300 [Hz])
8 a 10 kHz de distancia	-34.3
10 a 15 kHz de distancia	-26.8
15 a 15.2 kHz de distancia	-28
15.2 a 15.8 kHz de distancia	$-39-(\text{distancia respecto a la portadora central en kHz} -15.2) \cdot 43.3$
15.8 a 25 kHz de distancia	-65
25 a 30.5 kHz de distancia	$-65-(\text{distancia respecto a la portadora central en kHz} -25) \cdot 1.273$
30.5 a 75 kHz de distancia	$-72-(\text{distancia respecto a la portadora central en kHz} -30.5) \cdot 0.292$
> 75 kHz de distancia	-85

Tabla II.3.11. Límites para las emisiones espectrales de la señal IBOC AM totalmente digital [NRSC-5B]

Frecuencia respecto a la portadora central	Nivel relativo a la portadora sin modular ([dBc] por 300 [Hz])
181.7 a 4,814.65 Hz de distancia	-12.3
4,814.65 Hz a 9.8 kHz de distancia	-27.3
9.8 a 10.5 kHz de distancia	$-28-(\text{distancia respecto a la portadora central en kHz} -9.8) \cdot 42.86$
10.5 a 11.5 kHz de distancia	$-58-(\text{distancia respecto a la portadora central en kHz} -10.5) \cdot 7.0$
11.5 a 15 kHz de distancia	-65
15 a 20.5 kHz de distancia	$-65-(\text{distancia respecto a la portadora central en kHz} -15) \cdot 1.273$
20.5 a 75 kHz de distancia	$-72-(\text{distancia respecto a la portadora central en kHz} -20.5) \cdot 0.239$
> 75 kHz de distancia	-85

El espaciado entre frecuencias portadoras y los esquemas de numeración de canal son también compatibles con los establecidos por la FCC [FCC-73]; los canales están centrados a intervalos de 10 kHz en el rango de frecuencias de 540 kHz a 1700 kHz. Tanto la parte analógica como la digital de la forma de onda híbrida están centradas en la misma frecuencia portadora [NRSC-5B].

3.5.2. Frecuencia Modulada

El diseño del sistema IBOC FM provee [NRSC-5B] tres nuevos tipos de forma de onda; híbrida, híbrida extendida y totalmente digital. Tanto la forma de onda híbrida como la híbrida extendida mantienen la señal analógica de FM, mientras que la señal totalmente digital no.

Al igual que en el sistema IBOC AM, los tres tipos de forma de onda utilizan la modulación OFDM [NRSC-5B] para la señal digital y cumplen con la máscara de emisiones espectrales aprobada por la FCC en Estados Unidos para FM [FCC-73].

3.5.2.1. Particiones de frecuencia

Para las tres formas de onda, las sub portadoras OFDM son agrupadas en particiones de frecuencia [NRSC-5B]; cada partición contiene 18 sub portadoras de datos y una sub portadora de referencia. La posición de dicha sub portadora de referencia varía de acuerdo a la localización de la partición de frecuencia dentro del espectro, puede ser el orden A (figura II.3.13) o el orden B (figura II.3.14).

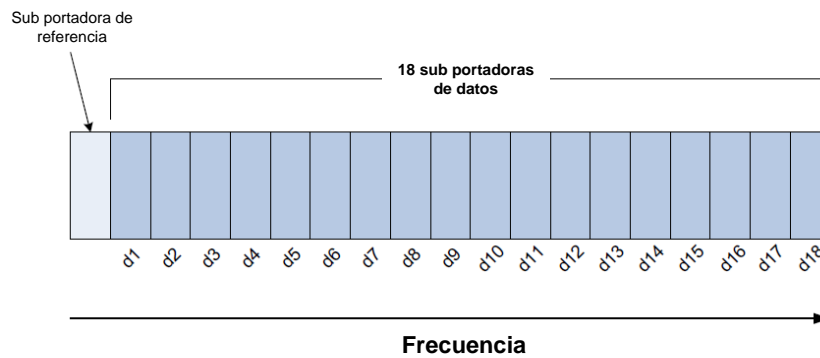


Figura II.3.13. Partición de frecuencia (orden A) [NRSC-5B]

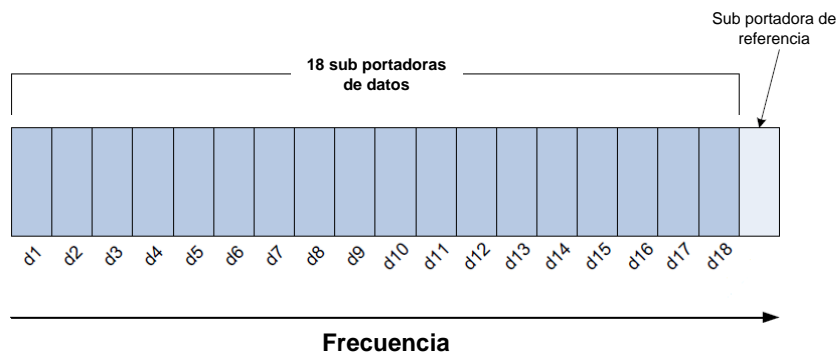


Figura II.3.14. Partición de frecuencia (orden B) [NRSC-5B]

Para cada partición de frecuencia, las sub portadoras de datos d1 a d18 transportan la carga útil (datos o audio codificado) proveniente de la L2, mientras que la sub portadora de referencia transporta la información de control del sistema [NRSC-5B]. Las sub portadoras están numeradas de -546 a 0 (frecuencia central) a +546 a lo largo del canal de frecuencia asignado.

Además de las sub portadoras de referencia contenidas en cada partición de frecuencia, dependiendo del SM [NRSC-5B], se pueden añadir hasta cinco sub portadoras de referencia adicionales dentro del espectro en las posiciones -546, -279, 0, +279 y +546, lo que ocasiona una distribución regular de sub portadoras de referencia a lo largo del espectro.

3.5.2.2. Forma de onda híbrida

Para la forma de onda híbrida, la señal digital es transmitida en las bandas laterales Primarias Principales (PM, Primary Main) a ambos lados de la señal analógica de FM. El nivel de potencia de cada banda lateral es menor a la potencia total de la señal analógica de FM (tabla II.3.3), la cual puede ser monofónica o estéreo [NRSC-5B].



Cada banda lateral PM está compuesta por 10 particiones de frecuencia que abarcan de la sub portadora +356 a la +545 y de la -356 a la -545; las sub portadoras +546 y -546 (también incluidas en las bandas laterales PM) son sub portadoras de referencia adicionales. Todo lo anterior, se muestra en la figura II.3.15, mientras que los factores de escala de amplitud de cada banda lateral se muestran en la tabla II.3.3.

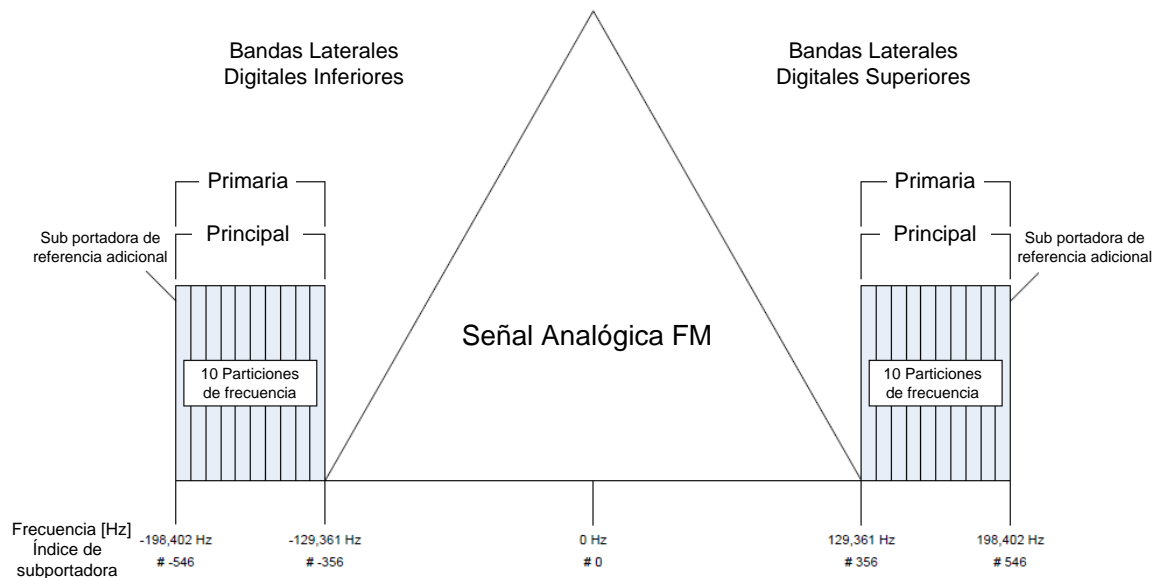


Figura II.3.15. Espectro de la forma de onda híbrida IBOC FM [NRSC-5B]

3.5.2.3. Forma de onda híbrida extendida

En la forma de onda híbrida extendida, el ancho de banda de las bandas laterales híbridas se extiende hacia la señal analógica de FM para incrementar la capacidad digital. Este espectro adicional, localizado en el borde interno de cada banda lateral PM es denominado banda lateral Primaria Extendida (PX, Primary Extended) figura II.3.16. Esta forma de onda es utilizada para mejorar la capacidad de transmisión y cobertura digitales, la desventaja es que la cobertura analógica se verá afectada, ya que el ancho de banda analógico se reduce.

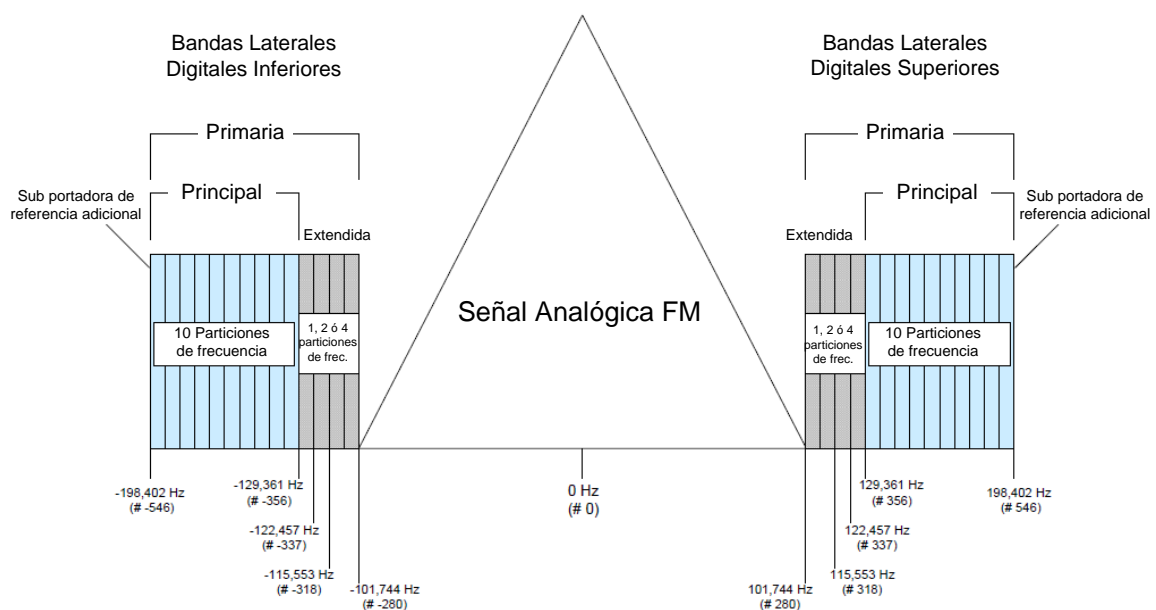


Figura II.3.16. Espectro de la forma de onda híbrida extendida IBOC FM [NRSC-5B]

El SM activo define la extensión de las bandas laterales PX (una, dos o cuatro particiones de frecuencia) así como el mapeo de los LC's a cada partición de frecuencia. Para el modo MP1 no se usan las bandas PX, el modo MP2 utiliza 1 partición de frecuencia, el modo MP3 utiliza 2 particiones de frecuencia y los modos MP11, MP5 y MP6 usan las 4 particiones.

3.5.2.4. Forma de onda totalmente digital

Las principales mejoras que ofrece el sistema IBOC se realizan con la forma de onda totalmente digital [NRSC-5B], en la que la señal analógica es retirada y en su lugar se colocan bandas laterales secundarias de baja potencia, además, el ancho de banda de las bandas laterales digitales primarias es extendido completamente (como en el caso de la forma de onda híbrida extendida). Con lo anterior, se logra un ancho de banda total del espectro totalmente digital de 396,804 Hz.

Como se muestra en la figura II.3.17, además de las 10 particiones de frecuencia principales, en cada banda lateral primaria de la forma de onda están presentes las cuatro particiones de frecuencia extendidas. Por otro lado, cada banda lateral secundaria también tiene 10 particiones de frecuencia Secundarias Principales (*SEM, Secondary Main*) y cuatro Secundarias Extendidas (*SX, Secondary Extended*). Sin embargo, a diferencia de las bandas laterales primarias, las particiones de frecuencias SEM están mapeadas más cerca del centro del canal mientras que las particiones de frecuencia extendidas están más alejadas del centro.

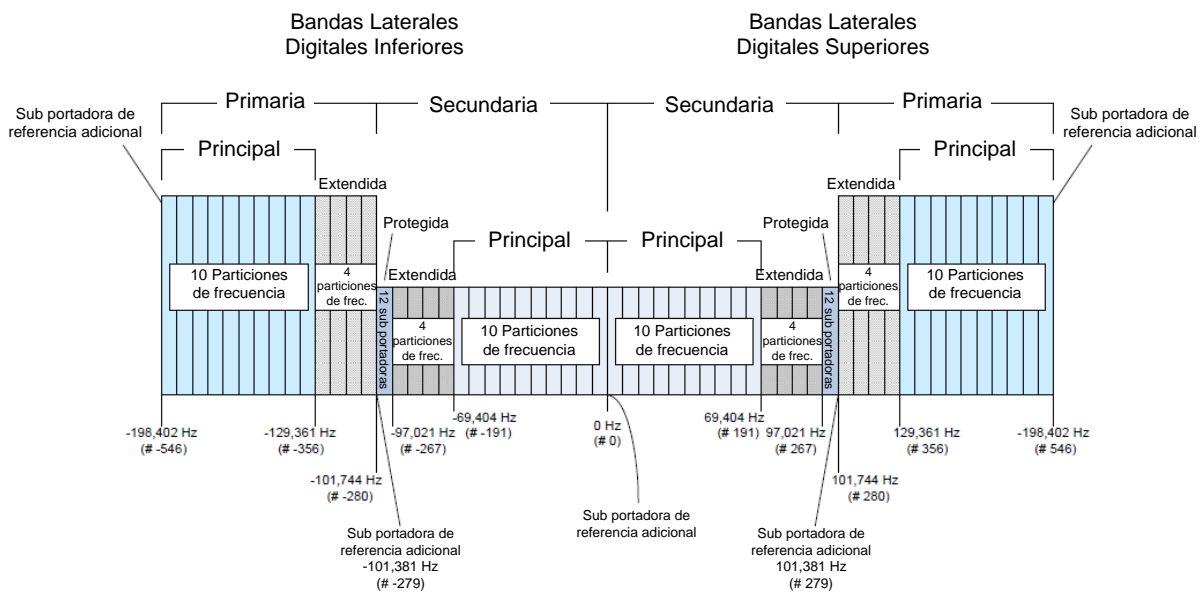


Figura II.3.17. Espectro de la forma de onda totalmente digital IBOC FM [NRSC-5B]

Además, cada banda lateral secundaria cuenta con una pequeña región Secundaria Protegida (*SP, Secondary Protected*) formada por 12 sub portadoras OFDM y las sub portadoras de referencia +279 y -279. Estas bandas laterales son llamadas "protegidas" porque están localizadas en el área del espectro menos afectada por interferencias analógicas o digitales [NRSC-5B].

Finalmente, el espaciado entre frecuencias portadoras, así como el esquema de numeración de canales, son compatibles con lo establecido por la FCC en los Estados Unidos para la



radiodifusión en FM [FCC-73]; las portadoras retienen su espaciado de 200 kHz en el rango de frecuencias de 88.0 a 108.0 MHz y los canales están numerados de 201 a 300, donde el canal 201 está centrado en 88.1 MHz y el canal 300 está centrado en 107.9 MHz. También, al igual que en AM, tanto la señal analógica como la digital se transmiten dentro del canal ya asignado y cumpliendo con las máscaras de transmisión aprobadas por la FCC [FCC-73] en Estados Unidos (figuras II.3.18 y II.3.19 y tablas II.3.12 y II.3.13).

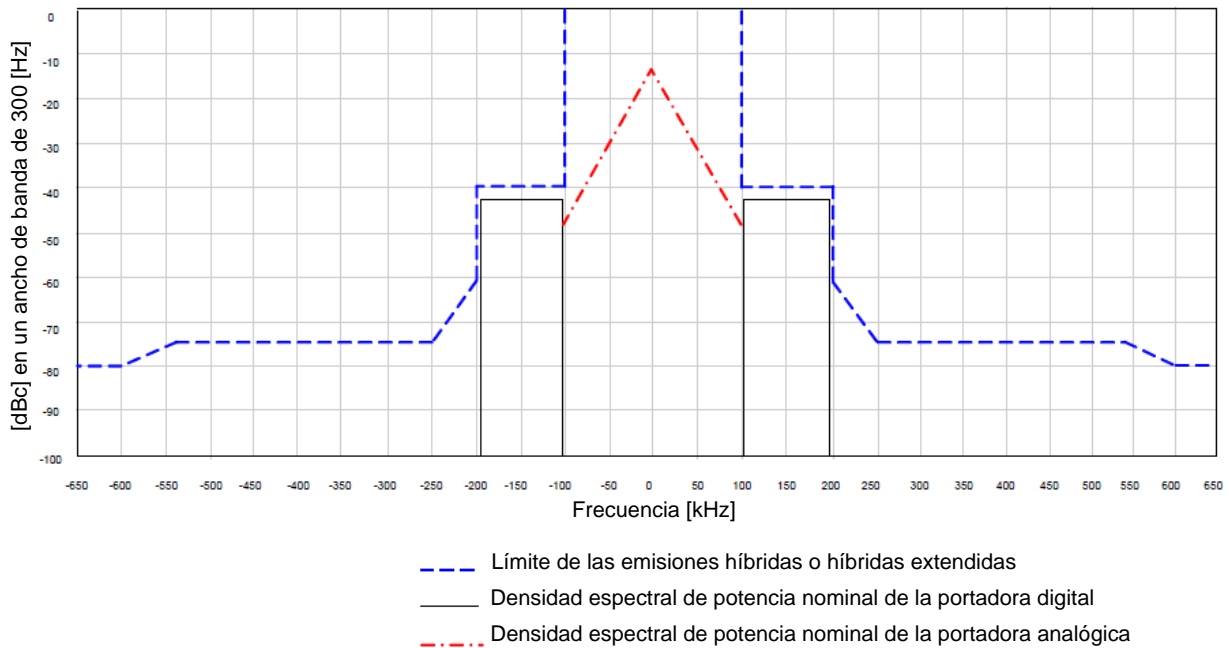


Figura II.3. 18. Máscara espectral para la señal IBOC FM híbrida o híbrida extendida [NRSC-5B]

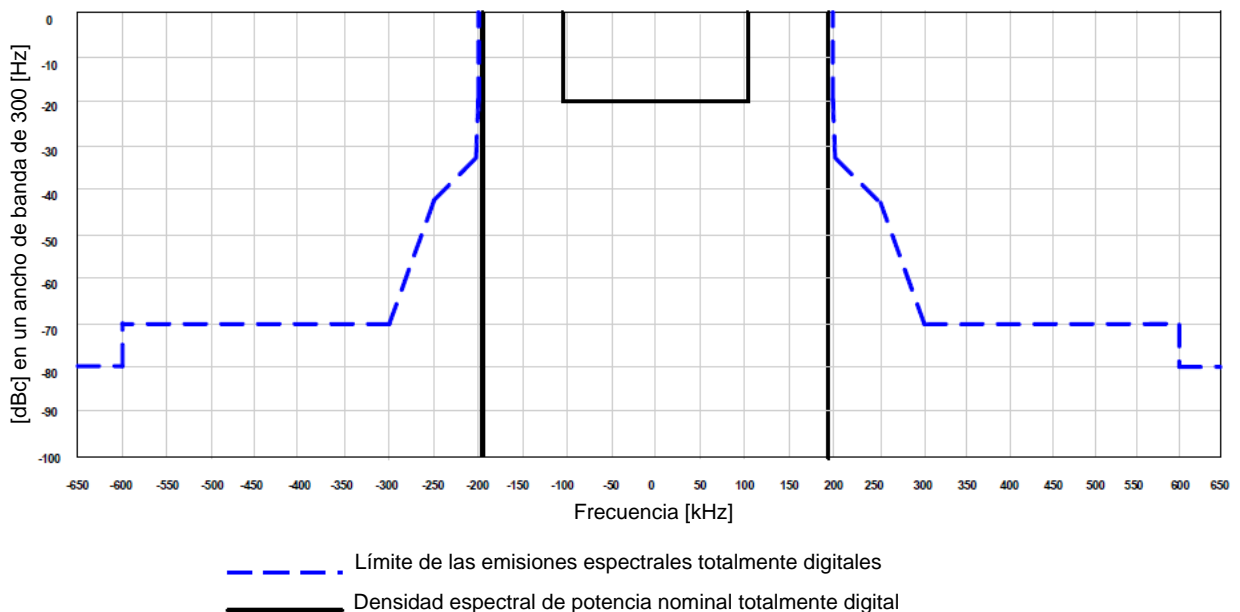


Figura II.3. 19. Máscara espectral para la señal IBOC FM totalmente digital [NRSC-5B]



Tabla II.3.12. Límites para las emisiones espectrales de la señal IBOC FM híbrida [NRSC-5B]

Frecuencia respecto a la portadora central	Nivel relativo a la portadora sin modular ($[dBc]$ por 300 [Hz])
100 a 200 kHz de distancia	-40
200 a 250 kHz de distancia	$-61.4 - (\text{distancia respecto a la portadora central en kHz} - 200) \cdot 0.260$
250 a 540 kHz de distancia	-74.4
540 a 600 kHz de distancia	$-74.4 - (\text{distancia respecto a la portadora central en kHz} - 540) \cdot 0.093$
> 600 kHz de distancia	-80

Tabla II.3.13. Límites para las emisiones espectrales de la señal IBOC FM totalmente digital [NRSC-5B]

Frecuencia respecto a la portadora central	Nivel relativo a la portadora sin modular ($[dBc]$ por 300 [Hz])
181.7 a 4,814.65 Hz de distancia	$-20 - (\text{distancia respecto a la portadora central en kHz} - 200) \cdot 1.733$
4,814.65 Hz a 9.8 kHz de distancia	$-33 - (\text{distancia respecto a la portadora central en kHz} - 207.5) \cdot 0.2118$
9.8 a 10.5 kHz de distancia	$-42 - (\text{distancia respecto a la portadora central en kHz} - 250) \cdot 0.56$
10.5 a 11.5 kHz de distancia	-70
> 75 kHz de distancia	-80

4. Requerimientos de conversión para la transmisión de la señal IBOC

Como ya se explicó en las secciones anteriores de este capítulo, el sistema IBOC provee la oportunidad a los radiodifusores de poder realizar una transición gradual de las transmisiones analógicas a las digitales, sin necesidad de interrumpir el servicio, gracias a que cuenta con 3 formas de onda (híbrida, híbrida extendida y digital) [NRSC-5B] y la transmisión de la señal digital se hace junto con la señal analógica, dentro del mismo canal de frecuencia ya asignado.

Por su parte, los usuarios no están obligados a cambiar sus equipos receptores de forma inmediata, gracias a la capacidad del sistema IBOC de generar señales híbridas tanto de AM como de FM. Por esta razón, los radioescuchas pueden continuar sintonizando la señal analógica de sus estaciones favoritas, y una vez adquirido el nuevo receptor, no tendrán necesidad de aprenderse nuevas frecuencias de recepción y serán capaces de sintonizar las estaciones de AM y FM con una calidad digital, libre de estática y desvanecimientos [IBIQ], además de recibir información como nombre del artista, tipo de programa, avisos de tráfico, clima, etc. [NRSC-5B]

A pesar de lo anterior, una parte muy importante que los radiodifusores también deben considerar al momento de optar por una tecnología de radiodifusión digital terrestre, es el costo que implica la migración de tecnología; es decir, deben considerar la inversión que deberán realizar para adecuar las instalaciones y el equipo que usan actualmente para la generación y transmisión de la señal analógica de audio, o en su defecto, la que representa el adquirir nuevos equipos de transmisión para poder comenzar a realizar transmisiones



digitales. Además, es importante tener en cuenta las cuotas que deben cubrirse para poder utilizar la tecnología HD Radio.

En esta sección se presentan los requerimientos, en cuanto a equipos e instalaciones, para poder realizar la transición de tecnología. Además, se presentan las características principales con las que deben contar los equipos tanto de AM como de FM para poder generar una señal digital de buena calidad.

Por último, se presentan los costos de las cuotas que los radiodifusores deben cubrir antes de poder hacer uso de la tecnología IBOC.

4.1. Requerimientos de conversión para estaciones de AM

En el caso de las estaciones de AM, el sistema IBOC presenta un tipo de configuración para poder transmitir la señal híbrida del sistema, dicha configuración se muestra en la figura II.4.1 y consiste simplemente en añadir al sistema de transmisión ya existente (conformado por el transmisor analógico de AM y la antena transmisora de AM) un excitador que será el encargado de generar la señal híbrida IBOC AM.

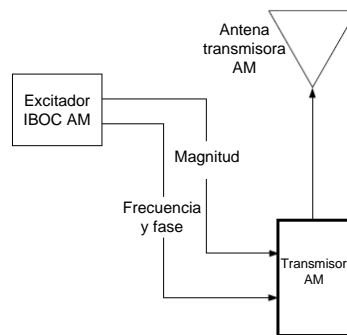


Figura II.4.1. Implementación para la transmisión de la señal IBOC AM [JEDE]

Sin embargo, los equipos analógicos deben contar con ciertas características para garantizar la generación de una señal de buena calidad. Dichas características se mencionan a continuación.

4.1.1. Características de los equipos de transmisión

Como ya se mencionó, tanto el transmisor como la antena pueden ser los mismos con los que cuenta actualmente una radiodifusora; los únicos requisitos para obtener una señal híbrida de buena calidad es que el transmisor debe proveer [JEDE] un ancho de banda amplio, provocar una mínima distorsión de fase (ambas características para permitir el paso de la forma de onda IBOC) y que la respuesta en frecuencia no decaiga al aumentar los niveles de modulación y al aumentar la frecuencia.

Según las pruebas realizadas por iBiquity [JEDE], los transmisores multifase de estado sólido y que usan la Modulación digital por Duración de Pulso (*PDM, Pulse Duration Modulation*), son los transmisores compatibles con la tecnología híbrida IBOC, ya que requieren de muy pocas modificaciones para la introducción de la señal digital.

Otro de los factores que debe tomarse en cuenta dentro de las adaptaciones para comenzar a transmitir la señal IBOC de AM, es el funcionamiento de la antena. El sistema IBOC AM fue probado por iBiquity con varios tipos de antenas [JEDE], incluyendo antenas



omnidireccionales, direccionales y antenas de cable largo; durante estas pruebas, se observó que en zonas oscuras (zonas donde la recepción es mínima o nula debido a características del terreno), tanto la recepción de la señal analógica como la digital no es posible; sin embargo, las zonas oscuras para la transmisión digital se reducen cuando se utilizan antenas direccionales. Además, para obtener características óptimas de transmisión, la impedancia de la antena debe mantenerse lo más cercana posible a los 50 Ω .

4.2. Requerimientos de conversión para estaciones de FM

Para las estaciones de FM, el sistema IBOC ofrece tres métodos para producir la señal híbrida IBOC FM [JEDE]; cada uno de estos métodos ofrece la posibilidad de hacer adaptaciones a las conexiones y equipos utilizados por las radiodifusoras actualmente; sin embargo, cada uno trabaja con eficiencias diferentes [JEDE].

Estos métodos son: combinación de alto nivel o amplificación separada, combinación de bajo nivel o amplificación común e implementación de antenas separadas, y cada uno de ellos se explica a continuación.

1. **Combinación de alto nivel o amplificación separada:** En este método, el transmisor analógico tendrá su salida combinada con la salida de un transmisor digital independiente, compatible con la tecnología IBOC y la señal híbrida resultante es enviada a la antena transmisora actual (figura II.4.2).

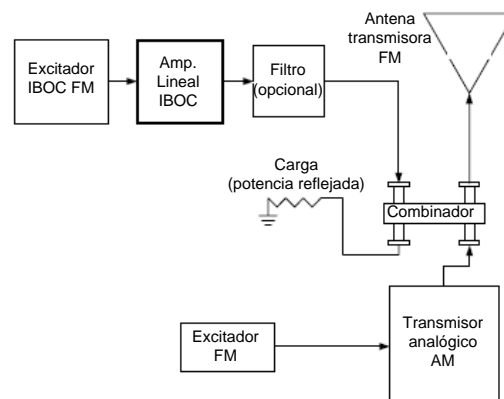


Figura II.4.2. Combinación de alto nivel o amplificación separada para la señal IBOC FM [JEDE]

En el método de combinación de alto nivel, llamado así porque las señales son primero amplificadas y luego combinadas, la mayor pérdida de potencia se presenta debido a la diferencia de potencia entre las señales combinadas. Los combinadores utilizados durante las pruebas que realizó iBiquity al sistema IBOC [JEDE], mostraron una pérdida de aproximadamente 0.5 dB (10%) de la potencia analógica y 10 dB (90%) de la potencia digital. Sin embargo, dado que los requerimientos de potencia de la tecnología IBOC son menores a -20 dB (relativos a la potencia analógica) [NRSC-5B], esta pérdida es tolerable.

Por ejemplo, para una estación de FM con un transmisor que genera una potencia de salida de 10 KW, la potencia de la portadora digital de la señal IBOC sería de 100 W y asumiendo las pérdidas del combinador arriba mencionadas, la potencia del transmisor analógico FM tendría que ser incrementada a 11.1 KW para superar las



pérdidas de inserción del combinador. De la misma manera, la potencia de salida del transmisor digital debe ser aumentada a 1 kW para superar la pérdida de 10 dB causada por el combinador.

2. **Combinación de bajo nivel o amplificación común:** La combinación de bajo nivel se muestra en la figura II.4.3; en este caso, la salida del excitador analógico FM se combina con la salida del excitador IBOC; después, las salidas combinadas son alimentadas a un amplificador lineal de banda ancha para aumentar la potencia de la señal a la potencia de transmisión deseada.

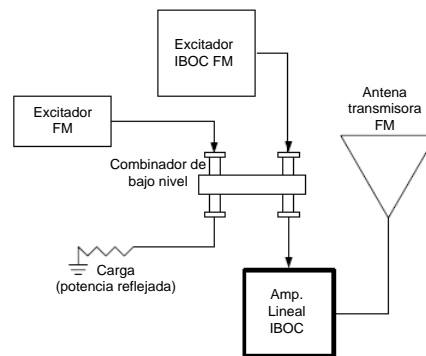


Figura II.4.3. Combinación de bajo nivel o amplificación común para la señal IBOC FM [JEDE]

Este método reduce el número de elementos independientes necesarios dentro de la cadena de radiodifusión y, por lo tanto, reduce los requerimientos de espacio dentro del sitio de transmisión, así como la potencia consumida.

3. **Implementación de antenas separadas:** Las pruebas realizadas al sistema IBOC por parte de iBiquity [JEDE] muestran que la señal digital IBOC también puede ser transmitida utilizando una antena independiente a la utilizada para la transmisión de la señal analógica (figura II.4.4). Las condiciones que deben cumplir ambas antenas para obtener una señal de buena calidad, es que deben tener el mismo patrón de radiación, y que no exista una diferencia de fase mayor a 30 cm entre ambas señales, ya que esto puede causar un deterioro en la señal analógica (semejante al deterioro causado por multitrayectoria) recibida cerca de la torre (figura II.4.5) [JOSC-10]. La ventaja de este método es que se elimina la pérdida de potencia ocasionada por el combinador, lo que permite el uso de un transmisor IBOC más pequeño para la generación de la señal IBOC [JEDE].

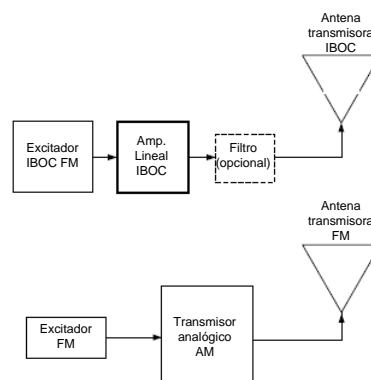


Figura II.4.4. Implementación de antenas separadas para la señal IBOC FM [JEDE]

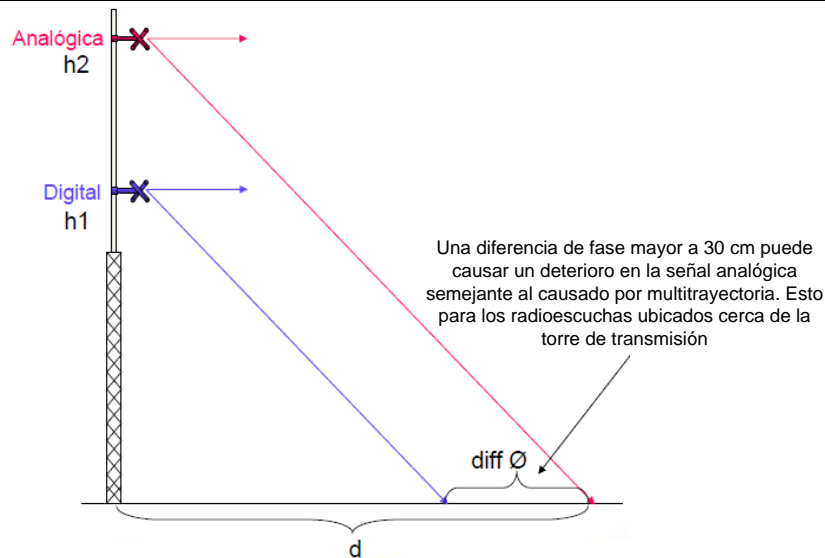


Figura II.4.5. Distancia entre la antena analógica y la digital [JOSC-10]

4.2.1. Ventajas y desventajas de cada método de generación de la señal híbrida IBOC FM

A continuación se presentan las principales ventajas y desventajas de cada uno de los 3 posibles métodos de adaptación del sistema de transmisión analógico actual de los radiodifusores para poder transmitir la señal de radio digital IBOC FM [JOSC-10].

1. **Combinación de alto nivel o amplificación separada:**

- a. Sistema ineficiente debido a la pérdida de potencia de transmisión en el combinador en forma de calor.
 - i. 90% de pérdida de la potencia digital generada en el transmisor (10 dB).
 - ii. 10% de pérdida de la potencia analógica generada en el transmisor (0.5 dB).
- b. Tiene un alto costo de operación ya que es necesario aumentar la potencia de salida del transmisor para poder superar las pérdidas en el combinador y poder así obtener la potencia de transmisión deseada.
- c. Provee redundancia, ya que el transmisor analógico puede funcionar como respaldo en caso de que el transmisor digital falle.

2. **Combinación de bajo nivel o amplificación común:**

- a. Es una implementación eficiente ya que las pérdidas de potencia en forma de calor en el combinador son menores.
- b. Reduce la cantidad de equipos necesarios para generar la señal híbrida y, por lo tanto, los requerimientos de espacio y energía eléctrica son menores.
- c. El amplificador lineal es poco eficiente, lo que ocasiona que se tenga que utilizar un transmisor de mayor potencia.

3. **Implementación de antenas separadas:**

- a. La antena digital puede ser registrada como una antena auxiliar analógica.
- b. El utilizar dos antenas de transmisión independientes requiere de mayor espacio en la torre de transmisión.



- c. Ofrece redundancia al sistema, ya que la antena digital puede funcionar también como antena de respaldo.
- d. Pueden existir problemas para igualar el área de cobertura de ambas antenas (patrones de radiación).

4.2.2. Repetidores en la transmisión de FM

El uso de la modulación OFDM en el sistema IBOC, permite el uso de repetidores digitales dentro del canal para cubrir las áreas donde la señal se pierde debido a las condiciones del terreno.

Para eliminar la interferencia entre símbolos, la cobertura efectiva en la dirección de mayor cobertura de la antena principal, debe ser limitada a 14 mi (22.53 km). Además, la relación entre la señal proveniente del transmisor principal y la señal generada por el repetidor debe ser de al menos 10 dB en zonas localizadas a más de 14 mi (22.53 km) del repetidor, en la dirección de mayor cobertura de la antena principal. Fuera de la dirección de mayor cobertura, la cobertura no está limitada; sin embargo, debe cumplir con lo establecido por la FCC para cada estación [FCC-73].

4.2.3. Características de los equipos de transmisión

Como ya se mencionó, el método de combinación de alto nivel (ofrecido por el sistema IBOC FM), utiliza dos transmisores para producir la señal híbrida que será transmitida; por lo tanto, requiere de la adición de un transmisor digital IBOC, un excitador digital, un combinador y un filtro (opcional), y dado que ambos transmisores (analógico y digital) operarán en el mismo sitio, las demandas de consumo de energía eléctrica aumentan y, por lo tanto, deben hacerse las adecuaciones necesarias de los servicios eléctricos. Además, la carga de calor también se verá incrementada, lo que demanda un sistema de enfriamiento adicional para mantener la temperatura de los equipos dentro de los límites aceptables.

Por su parte, el método de combinación de bajo nivel utiliza un transmisor común para combinar la señal digital IBOC con la señal analógica anfitriona, lo que reduce la demanda de espacio en el sitio así como el consumo de energía eléctrica. Por lo tanto, el sitio donde se encuentra actualmente el transmisor analógico puede utilizarse sin necesidad de aplicar cambios considerables en la estructura, aunque es necesario comprar el transmisor híbrido [JEDE].

Dado que las implementaciones del sistema IBOC FM pueden variar tanto en exigencias de espacio como en configuración, el sitio de transmisión debe ser analizado para poder adquirir los equipos adecuados, dependiendo de la cantidad de espacio disponible dentro del mismo.

Por último, las pruebas de campo realizadas por iBiquity [JEDE] al sistema IBOC FM muestran que las antenas utilizadas para la radiodifusión de la señal IBOC únicamente deben cumplir con los requerimientos de ancho de banda del sistema.



4.3. Costos adicionales del sistema

Una de las características más importantes que los radiodifusores deben tomar en cuenta al momento de adoptar un estándar es el costo que implica la migración de tecnología. Dentro de estos costos, como ya se explicó, se encuentra el generado por el cambio de equipos así como el acondicionamiento de los sitios de transmisión y de las antenas. Sin embargo, en el caso del sistema IBOC, dado que es un sistema propietario [IBIQ], es necesario que todos los radiodifusores que deseen adoptarlo como nuevo sistema de radiodifusión digital paguen una cuota establecida para poder obtener una licencia que los acredite como usuarios.

La compañía iBiquity cuenta con un programa de acreditación [IBIQ] que permite a los radiodifusores interesados en adoptar el sistema IBOC, obtener la licencia que les permitirá obtener las herramientas y el soporte necesarios para iniciar sus transmisiones digitales.

Para las radiodifusoras que se encuentran en Estados Unidos, el procedimiento de acreditación es el siguiente:

1. **Adquirir la licencia de tecnología de iBiquity Digital:** Las estaciones de AM y FM que se encuentran dentro de los Estados Unidos y planean adoptar la tecnología HD Radio, deben obtener su licencia directamente de iBiquity Digital. Esta licencia garantiza a la estación el derecho a utilizar las patentes, software y marcas registradas de HD Radio; dicha licencia debe estar en regla antes de que una estación pueda adquirir equipo que contenga material intelectual propiedad de iBiquity. Los términos que abarca la licencia son los siguientes:
 - a. **Duración:** La duración de la licencia es permanente.
 - b. **Cuotas para el audio de canal principal:** iBiquity Digital define la radiodifusión de la señal analógica existente como “audio de canal principal”, y para el derecho a radiodifundirlo es necesario realizar un único pago. Los derechos para la radiodifusión de datos asociados al audio de canal principal (datos primarios del canal principal) como son nombre del artista, nombre de la canción, título del álbum y programa, se cubren también con la cuota correspondiente a los derechos por el audio de canal principal. El costo de la licencia para la radiodifusión del audio de canal principal es de \$25,000 USD [IBIQ].
 - c. **Cuotas para el audio de canal complementario para los canales de multidifusión:** Esta cuota está basada en un modelo de repartición de ventas. Las estaciones deberán pagar el 3% del incremento de las ventas netas producido por la transmisión de servicios de audio complementario, teniendo como cuota anual mínima \$1,000 USD por canal de audio [IBIQ].
 - d. **Cuotas de datos:** Cualquier otra información independiente a los datos primarios del canal principal, son considerados como datos auxiliares. La cuota para la transmisión de estos datos auxiliares está también basada en un modelo de incremento de las ventas netas; las estaciones deberán pagar el 3% del incremento de las ventas netas producido por la transmisión de datos auxiliares, esta cuota es cuatrimestral.
 - e. **Requerimientos operacionales:** Para promover la aceptación de esta tecnología, las estaciones deben sincronizar el audio analógico y digital de canal principal retrasando el audio analógico.



- f. **Asignación:** La licencia se puede asignar a otra estación solo cuando la estación sea transferida o asignada a otra compañía.
 - g. **Revisiones y actualizaciones:** Todas las revisiones de software (programas que tienen por objetivo corregir errores en el funcionamiento del software) están libres de cualquier tipo de cuota; sin embargo, las actualizaciones deberán registrarse, ya sea pagando una cuota anual o pagando el costo de la actualización al momento de ser emitida.
2. **Notificar a la FCC del inicio de las transmisiones digitales:** Las estaciones que comienzan a transmitir HD Radio pueden iniciar sus transmisiones digitales en cuanto tengan la licencia y el equipo necesarios, no se requiere de ningún permiso especial por parte de la FCC. Sin embargo, la estación está obligada a avisar a la FCC del inicio de sus transmisiones digitales dentro de los 10 días siguientes al inicio de la radiodifusión de la señal digital.

Por su parte, las radiodifusoras que se encuentran fuera de Estados Unidos y que desean adoptar el estándar IBOC para la radiodifusión digital terrestre, es necesario que se pongan en contacto directo con los representantes de iBiquity Digital en su país.

Para el caso de México en particular, de acuerdo al Ing. John Schneider, Director de Desarrollo de Negocios para América Latina, ninguna de las cuotas mencionadas anteriormente aplican para las radiodifusoras mexicanas que deseen adoptar al sistema IBOC para las transmisiones digitales. Además el método para notificar a la COFETEL del inicio de las transmisiones digitales es el siguiente:

1. Pedir a la COFETEL el permiso necesario para poder comenzar con la transmisión de la señal híbrida de audio.
2. Una vez aprobadas las transmisiones, la radiodifusora puede comenzar a transmitir la señal híbrida; para la transmisión en multicasting, bastará con notificar a la COFETEL del número de canales adicionales que serán transmitidos.



5. Resumen del capítulo

El sistema de radiodifusión sonora digital terrestre IBOC (HD Radio) es una tecnología propietaria que permite a las estaciones de radiodifusión seguir transmitiendo su contenido en el canal de frecuencia ya asignado, dentro de la banda destinada para radiodifusión (de ahí su nombre de *en banda dentro del canal*, IBOC, por sus siglas en inglés). La principal ventaja que ofrece este sistema es una recepción de audio de mayor calidad; en AM se alcanza una calidad semejante a la de FM actual, mientras que en FM se obtiene una calidad de audio parecida a la del disco compacto. Además, en FM, IBOC permite la transmisión de datos asociados al audio y la multidifusión (transmisión de hasta 3 programas diferentes dentro del mismo canal).

El desarrollo de este estándar comenzó en Estados Unidos en 1990, cuando se dio a conocer el estándar europeo de radiodifusión sonora digital terrestre Eureka-147. La FCC estableció que este estándar no era adecuado para su uso en Estados Unidos, ya que la transmisión digital se realiza en la banda "L" (banda asignada para uso militar), además de que los radiodifusores no estaban dispuestos a cambiar su frecuencia actual de transmisión, ya que esto generaría confusión en los radioescuchas. Es así como el 25 de octubre de 2000 la ITU aprueba el sistema IBOC AM como estándar universal, y el 10 de octubre de 2002 se establece como el estándar para la radiodifusión digital en Estados Unidos.

A partir de entonces, el sistema IBOC ha tenido gran aceptación a nivel mundial. Países como Estados Unidos, Puerto Rico, México, Panamá y Filipinas ya adoptaron este sistema a nivel nacional; Brasil, Canadá, Chile, Uruguay, Argentina, Colombia, Nigeria, Polonia y China, por su parte, muestran un gran interés por la adopción del mismo.

El sistema IBOC utiliza la modulación OFDM, con lo que se genera una señal más resistente a las interferencias ocasionadas por canales adyacentes y por el efecto de trayectoria múltiple. Además, este sistema está diseñado para ofrecer cuatro tipos de servicios; servicio de programa principal (que incluye el audio y los datos del programa principal), servicio de programa complementario (que incluye el audio y los datos de los programas complementarios), servicios de aplicación avanzada (datos fijos y oportunistas) y el servicio de información de estación (datos relacionados con la identificación de la estación). Estos cuatro servicios permiten ofrecer al radioescucha datos como alertas de clima, tráfico, noticias, nombre del programa, artista, nombre de la canción o programa, y la capacidad de ofrecer contenido local. Cabe mencionar que tanto los cuatro tipos de servicios de datos como la multidifusión, aplican únicamente para el sistema IBOC FM, ya que el canal de transmisión para FM tiene un ancho de banda mayor al de AM, lo que permite la transmisión de una mayor cantidad de información.

Para lograr una transición gradual hacia la tecnología digital, el sistema IBOC está diseñado para generar dos tipos de formas de onda, tanto para AM como para FM. La *forma de onda híbrida* es aquella que está compuesta por la señal analógica y la señal digital, ambas señales son transmitidas al mismo tiempo y dentro del mismo canal de transmisión asignado, esto con el fin de que las radiodifusoras puedan ofrecer tanto los servicios analógicos como los digitales al mismo tiempo, y poder realizar una transición gradual de tecnología. Por su parte, la *forma de onda totalmente digital* es aquella que se genera eliminando la señal



analógica y extendiendo el ancho de banda de la señal digital a lo largo del ancho de banda total del canal.

En el caso de la forma de onda híbrida para el sistema IBOC AM, la señal analógica puede tener dos anchos de banda posibles, 5 u 8 kHz. Este ancho de banda puede ser establecido dependiendo de las necesidades del radiodifusor, ya que algunas veces, al utilizar el ancho de banda de 8 kHz, la recepción digital se ve afectada, por lo que es necesario reducir el ancho de banda de la señal analógica a 5 kHz.

En cuanto a la capacidad de transmisión de datos del sistema, esta depende directamente del modo de servicio seleccionado (MA1 y MA3 para AM y MP1 a MP3, MP11, MP5, MP6 y MS1 a MS4 para FM), ya que este es el que define los canales lógicos que estarán activos. Cada canal lógico tiene una capacidad de salida específica en la que serán distribuidos los datos y el audio.

Para las adecuaciones que los radiodifusores deben realizar en el sitio de transmisión, el sistema IBOC ofrece diferentes alternativas para que, haciendo algunas adecuaciones, se puedan seguir utilizando los equipos de transmisión actuales para generar y transmitir la señal híbrida de radio. En el caso de AM, es importante que el transmisor analógico utilizado sea de estado sólido y que cuente con un ancho de banda amplio y una buena respuesta en frecuencia; a este transmisor solo es necesario agregarle un excitador digital para poder comenzar a generar y transmitir la señal híbrida. Por su parte, para FM, el sistema IBOC ofrece tres métodos para la generación y transmisión de la señal híbrida, estos son:

1. Combinación de alto nivel: Aquí se requiere de un transmisor analógico y uno digital, la salida de ambos se combina y la señal resultante se transmite. La ventaja de este sistema es que el transmisor digital ofrece redundancia al sistema en caso de que el transmisor analógico falle; la principal desventaja es que, dado que primero se amplifican las señales y luego se combinan, existe una pérdida de potencia de transmisión considerable (0.5 dB de la potencia analógica y 10 dB de la potencia digital).
2. Combinación de bajo nivel: En este método las señales analógica y digital son primero combinadas, luego amplificadas y finalmente transmitidas; esto permite que las pérdidas de potencia sean menores, por lo que es más eficiente y requiere de un menor consumo de energía. Sin embargo, es difícil conseguir un amplificador lineal eficiente.
3. Implementación de antenas separadas: Como su nombre lo indica, en este caso cada transmisor cuenta con su antena transmisora independiente. La ventaja de este sistema es que, al contar con dos antenas, la antena digital ofrece redundancia al sistema de transmisión; sin embargo, es necesario contar con el suficiente espacio para su colocación en la torre (ya que ambas señales deben estar en fase), y asegurarse de que ambos patrones de radiación deben coincidir.

Por último, es importante tomar en cuenta que, dado que IBOC es un sistema propietario, los radiodifusores que adopten esta tecnología, antes de poder comprar el equipo y software necesarios, deben cubrir con las cuotas necesarias que les permitan obtener el derecho a utilizar dicha tecnología.



Dentro de las cuotas establecidas por iBiquity están; cuota para la radiodifusión del audio de canal principal (incluye la señal analógica existente y los datos asociados a la misma), cuota para el audio de canal complementario (comprende los canales de multidifusión) y las cuotas de datos (incluye todos los datos transmitidos que son independientes al canal principal). El costo de estas cuotas está sujeto al plan de pagos que se adopte, el número de estaciones que serán registradas y de la cantidad de canales de multidifusión que se tengan. Sin embargo, todas estas cuotas podrían no aplicar para las radiodifusoras mexicanas, esto como parte de los acuerdos realizados por iBiquity para lograr la adopción de la tecnología IBOC por parte de México.



CAPÍTULO III. SISTEMA DIGITAL RADIO MONDIALE (DRM)

1. Introducción

El sistema de radiodifusión DRM fue diseñado por el Consorcio DRM como un reemplazo digital de alta calidad para las transmisiones analógicas de AM actuales [DRM_BG]; por esta razón, la señal digital DRM puede ser transmitida dentro de las bandas y canales asignados actualmente para dichos servicios (figura III.1.1).

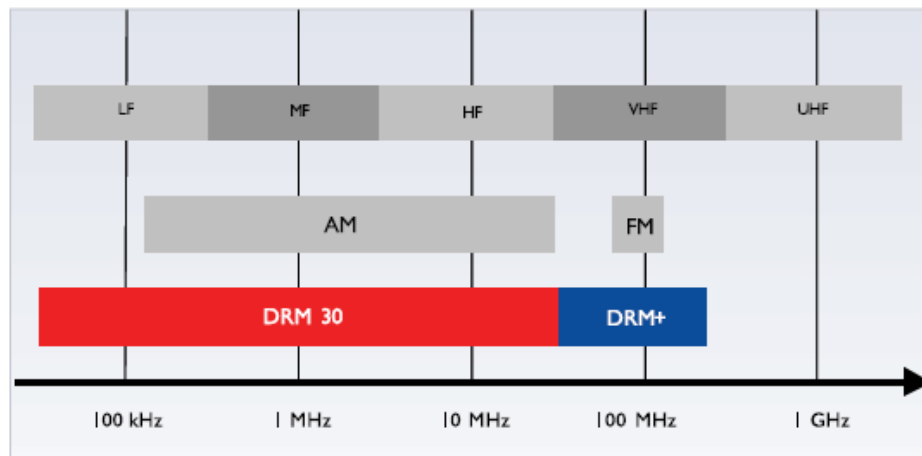


Figura III.1.1. Bandas de uso del sistema DRM [DRM_BG]

Como se observa en la figura III.1.1, el sistema DRM está formado por varios modos de operación que pueden ser divididos en dos grupos [DRM_BG]:

- Modos *DRM30*: Denominados como modos de transmisión A, B, C, y D, son aquellos que fueron diseñados específicamente para la radiodifusión en las bandas de AM, utilizando frecuencias por debajo de los 30 MHz.
- Modos *DRM+*: El modo E está diseñado para permitir la radiodifusión en las bandas de 30 MHz a 174 MHz, donde se incluye la banda de FM, dentro de la banda de Frecuencias Muy Altas (*VHF, Very High Frequency*).

Además de la característica de poder ajustarse a los requerimientos espectrales actuales, DRM también tiene la ventaja de ser un sistema abierto, ya que todos los organismos interesados tienen acceso libre a todos los estándares técnicos para diseñar y fabricar nuevos equipos, esto con el objetivo de ser un mecanismo importante para asegurar la constante mejora del sistema y la rápida reducción en los precios de los equipos diseñados.

Dentro de las principales ventajas que ofrece DRM están [DRM_BG]:

- En la banda de AM, calidad de sonido parecido al FM estéreo actual.
- Envío de datos como texto e imágenes (Guía electrónica de programación, Journaline, etc.).
- Rápida sintonización de estaciones, basándose en el nombre de la estación, no en la frecuencia.
- Uso eficiente del espectro asignado para la radiodifusión.



- Disminución en los costos de operación ya que trabaja con una menor potencia de transmisión.
- Reducción en el consumo de potencia (40% ó 50% aproximadamente).
- Uso de Redes de Frecuencia Única (*SFN, Single Frequency Network*) para la transmisión. Una red SFN es un tipo de radiodifusión donde distintos transmisores emiten la misma señal en el mismo canal de frecuencia. Estas señales están alineadas en tiempo de manera tal que, en la zona de cobertura, la diferencia de llegada entre la primera señal y la última estará dentro del intervalo de guarda para evitar interferencias negativas en la señal.
- Sintonización de otros servicios de datos y audio analógico y digital (DAB, AM o FM).

1.1. Historia del sistema

El Consorcio DRM es una organización sin fines de lucro compuesta por radiodifusores, proveedores de redes de servicios, fabricantes de equipo, universidades, e institutos de investigación, que tiene como objetivo la difusión de un sistema de radiodifusión digital terrestre apropiado para su uso en las bandas de frecuencia utilizadas para la radiodifusión terrestre de audio.

DRM se formó en Guangzhou, China, en 1997; el objetivo inicial fue el de digitalizar las bandas de radiodifusión por debajo de los 30 MHz (bandas de onda larga, onda media y onda corta). Así, en septiembre de 2001 [DRMO], el Instituto de Estándares Europeos de Telecomunicaciones (*ETSI, European Telecommunications Standards Institute*) publicó la especificación técnica del sistema para la radiodifusión por debajo de los 30 MHz, DRM30; y para mayo de 2003, esta se convirtió en estándar [ES 201980].

Durante el 2002, la ITU aceptó al sistema DRM30 publicando la recomendación ITU-R BS.1514 [BS.1514]; para enero de 2003 fue catalogado como estándar internacional por la International Electrotechnical Commission [IEC 62272], y en junio del mismo año, durante la Conferencia Mundial de Radiocomunicaciones (CMR 2003), organizada por la ITU, se realizó la primera transmisión comercial diaria utilizando el estándar DRM. Para entonces, el estándar cubría la radiodifusión de AM en las bandas de onda larga, onda media y onda corta, excepto las bandas de la zona tropical, las cuales fueron cubiertas en 2007 cuando la ITU aceptó el uso de DRM30 en dichas bandas; con lo anterior, DRM se convirtió en el único estándar de radio digital aceptado para transmisiones en todas las bandas de radiodifusión de onda corta [BS.1514].

En marzo de 2005, el Consorcio DRM tomó la decisión de extender el estándar DRM30 para incorporar los modos de transmisión necesarios para operar en las bandas de radiodifusión de VHF (conocidos como DRM+), y así, después de varias pruebas de laboratorio y de campo para perfeccionar dichos modos, en 2009 se publicó la especificación extendida del sistema DRM ETSI ES 201 980 v3.1.1 [ES 201980].

Actualmente, existen aproximadamente 119 emisiones DRM alrededor del mundo, con un total de 450 horas diarias de transmisión [DRMO]. En países como Alemania, Francia, Italia, Brasil, Rusia y China, se están realizando pruebas de campo para analizar su posible adopción [DRM_BG].



En cuanto al mercado de los receptores se refiere, existen receptores para hogares (marcas como Uniwave Di-Wave 100, Himalaya DRM 2009, TechniSat MultyRadio, etc., que soportan todos los servicios de datos DRM30 así como la recepción analógica y digital), receptores para automóviles (Starwaves Car Box que es un convertidor que permite la recepción de la señal analógica y digital) y software para permitir la recepción en computadoras (WinRadio Communications) [DRMO].

1.2. Ventajas y servicios del sistema DRM

Dentro de las principales ventajas que ofrece el sistema DRM sobre el sistema de radiodifusión analógico utilizado actualmente están las siguientes [DRM_BG]:

- Ofrece una mejora en la calidad de audio tanto en las transmisiones de AM (que llegan a una calidad parecida a la de la FM actual) como en FM (ofrece la posibilidad de transmitir sonido envolvente).
- DRM permite la transmisión simultánea de la señal digital y analógica.
- En la banda de FM, DRM ofrece la posibilidad de transmitir hasta 4 programaciones diferentes dentro de un mismo canal de transmisión.
- Reduce considerablemente el consumo de potencia durante la transmisión (aproximadamente 40% o 50%), ya que la transmisión de la señal digital se hace con menor potencia para obtener la misma zona de cobertura.
- Es un sistema que está diseñado para complementar y trabajar de forma simultánea con otros estándares. Gracias a la Señalización de Frecuencia Alternativa (*AFS, Alternative Frequency Signalling*) (sección 3.7), cuando se sintoniza un programa en DRM, el receptor puede buscar programas de contenido similar en otros sistemas (DAB, AM o FM), o dentro de las mismas transmisiones DRM; esto para que, en caso de que la señal sintonizada pierda calidad, se haga el cambio inmediato para evitar problemas en la recepción.
- DRM permite el uso de redes SFN, lo que permite un uso más eficiente del espectro radioeléctrico, así como mejorar la recepción en zonas de sombra.
- En la banda de FM, DRM permite el envío de información adicional como:
 - Información de identificación del servicio como tipo de programa, idioma y país de origen.
 - Guía de Programación Electrónica (*EPG, Electronic Program Guide*): Permite al usuario saber el tipo de programas que serán transmitidos, fecha y horario, así como el establecer recordatorios.
 - Journaline: Es un servicio de información que permite al usuario seleccionar los temas de su interés de una lista de posibles temas. La información que se presenta al usuario puede tener referencias geográficas, es decir, que vaya de acuerdo al lugar donde se encuentra.
 - MOT Slideshow: Permite el envío de animaciones e imágenes relacionadas o no con los programas.
 - Canal de Mensajes Tráfico (*TMC, Traffic Message Channel*): Su principal objetivo es, como su nombre lo indica, ofrecer al usuario información de tráfico en tiempo real.



En las secciones siguientes pertenecientes a este capítulo, se presenta primeramente una descripción de todos los servicios de datos que ofrece el sistema DRM+; a continuación, se presentan las características técnicas del sistema. Primero se presenta un resumen de los procesos de codificación de canal, codificación de fuente, características espectrales de la señal DRM (ancho de banda del canal, niveles de potencia y la compatibilidad con las señales analógicas), modos de transmisión, velocidades de transmisión, el uso de las redes de frecuencia única y frecuencia múltiple, y la aplicación y ventajas del sistema en la “Banda de 26 MHz”. Posteriormente se presentan los requerimientos del sistema para realizar la conversión de tecnología; se explican las características con las que deben cumplir los transmisores analógicos de AM y de FM para que puedan ser adaptados para la transmisión de una señal simulcast (señal híbrida compuesta por el audio analógico y el audio y los datos digitales) o de una señal totalmente digital.

Por último, se presenta el costo que implica para los radiodifusores la migración de tecnología, incluyendo la adaptación o adquisición de equipos para generación y transmisión de la señal, la adaptación de los sitios de transmisión, y los costos adicionales por pago de cuotas por derechos de uso del sistema digital.

2. Servicios de datos

En esta sección se describen los diferentes elementos de la señal DRM que están catalogados como “contenido”; dichos elementos incluyen los siguientes tipos de información:

- El contenido de audio.
- Datos obligatorios, que son aquellos que son componentes esenciales del sistema DRM. Ejemplos de esto son todos los datos transportados por los canales FAC y SDC (estos canales se describen más adelante, en la sección 3.1).
- Servicios de datos o de valor agregado que los radiodifusores pueden o no incluir en la transmisión.

2.1. Datos obligatorios

Los datos que toda radiodifusora debe incluir dentro de sus transmisiones DRM son los siguientes [DRM_BG]:

1. **Identificador del servicio:** Este identificador es único a nivel mundial y es asignado a cada programa DRM; su función es la de permitir el funcionamiento del AFS (sección 3.7) y permitir al receptor encontrar e identificar el programa seleccionado por el usuario, aún cuando la frecuencia cambie (en el caso del uso de las redes de frecuencia múltiple, sección 3.5).

El identificador de servicio es generalmente asignado por las autoridades de cada nación que adopte el sistema DRM, y es utilizado únicamente por el receptor, el radioescucha selecciona su programa mediante el nombre del mismo.



2. **Etiqueta del servicio:** Como ya se mencionó, el radioescucha selecciona la programación que desea mediante el nombre, el cual se presenta gracias a la etiqueta de servicio. Esta etiqueta es la herramienta primaria del usuario para la identificación y selección del programa.
La etiqueta del servicio DRM puede ser cualquier texto de hasta 16 caracteres de longitud y es capaz de desplegar cualquiera de los caracteres de la escritura mundial. Un uso que se le puede dar a esta etiqueta es que, si una estación es más conocida por los usuarios por su frecuencia de transmisión actual de AM o FM, esta información puede enviarse como parte de la señal DRM.
3. **Tipo de programa:** La selección del programa también puede hacerse por el tipo de contenido (noticias, música pop, rock, drama, etc.), por lo que el sistema DRM también soporta la señalización de 29 diferentes tipos de programas para los servicios de audio.
4. **Idioma del servicio:** El usuario tiene la posibilidad de seleccionar el idioma de los programas que desea escuchar; en regiones donde existen muchas lenguas, esto puede ser útil, ya que de esta manera el usuario evita sintonizar programas que no pueda entender. Para la señalización del idioma, se utiliza el código establecido por la ISO.
5. **País de origen:** Con esta opción el radiodifusor puede señalar el país de origen de un servicio DRM en particular, esta información se referencia al lugar del estudio, no del transmisor. Al igual que el caso anterior, esta señalización se basa en los códigos asignados a cada país por la ISO.

2.2. Servicios de valor agregado

Las aplicaciones catalogadas como servicios de valor agregado pueden ser desde simples servicios de texto que acompañen al audio transmitido hasta el uso total de la capacidad del MSC para servicios de datos multimedia.

Los servicios más complejos de multimedia pueden incluir tanto texto como imágenes, aunque en el caso de DRM30, debido a que tiene velocidades de transmisión menores, la cantidad de datos que se pueden enviar, así como sus actualizaciones, se ve restringida. Por esta razón, es recomendable que en estos modos, los servicios de texto ocupen únicamente de 2 kbps a 4kbps de la capacidad del MSC.

Dentro de los servicios de valor agregado se encuentran [DRM_BG]:

1. **Mensajes de texto DRM:** DRM ofrece a los radiodifusores la opción de enviar una secuencia de mensajes de texto cortos (hasta 128 caracteres de longitud). Estos mensajes están siempre asociados al programa de audio, por ejemplo, nombre de la canción, artista, nombre del programa, noticias de la estación, etc.
2. **Servicio de información de texto Journaline:** Este es un servicio de información basado en texto que puede ser manejado como un servicio asociado a un programa de audio o como servicio independiente. En este caso, el usuario tiene acceso a una lista de diferentes temas, de la cual es posible seleccionar los que son de interés.
La estructura del servicio y los elementos de información que se presentan al usuario están definidos completamente por el radiodifusor, y la información se presenta como páginas de texto, listas y/o tablas o mensajes. En total, un servicio de



journaline puede estar compuesto por más de 65,000 páginas individuales, cada una conteniendo hasta 4 kbytes de contenido textual.

Al aire, Journaline puede trabajar con velocidades de transmisión muy bajas, de hasta 200 bps.

3. **EPG:** Esta es una guía digital de la programación disponible; el contenido es típicamente desplegado en la pantalla del receptor con funciones que le permiten al usuario navegar, seleccionar y buscar el contenido mediante el horario, título, canal, género, etc. Además, la EPG permite también la grabación de los programas de interés, ya sea por medio del receptor DRM, o mediante un grabador digital.
4. **Slideshow:** El contenido de este servicio puede estar compuesto de manera tal que se le presente al usuario información útil cada vez que este mire la pantalla del receptor. Generalmente se transmite información relacionada con el programa (portadas de discos, logotipo de programa, fotografía del presentador, mapas, fotografías, imágenes relacionadas con noticias, etc.), aunque también puede incluirse información totalmente independiente del servicio de audio (anuncios, alertas de clima, etc.).
La capacidad de canal requerida para este servicio no debe ser menor a 4 kbps, por lo que los modos DRM30 de doble canal de ancho de banda y DRM+ son los modos que ofrecen las mejores condiciones para agregar este servicio.
5. **TMC:** Este es un servicio utilizado generalmente por los radiodifusores para enviar informes del tráfico en tiempo real. Dicha información puede ser entregada al usuario de diferentes maneras, la más común es a través de un sistema de navegación que pueda ofrecer una guía dinámica a lo largo de la ruta, alertando al conductor sobre los problemas en la trayectoria planeada y calculando una ruta alternativa para evitar los incidentes.
6. **Diveemo:** Esta es una aplicación, aún en desarrollo, que está basada en DRM y permite el envío de video a pequeña escala, por lo que podría ser utilizada con diferentes fines, dependiendo de los deseos del radiodifusor:
 - a. Como un sistema de educación a distancia.
 - b. Servicio de noticias basado en video.
 - c. Aplicación para anuncios mediante video.
 - d. Sistema de información de emergencia.

3. Componentes principales del sistema DRM

En esta sección se muestran las características técnicas que componen al sistema DRM y que intervienen durante la generación de la señal digital. Primero se presentan los tres canales lógicos de información con los que cuenta el sistema para transportar los datos dependiendo del tipo de información del que se trate, posteriormente se presentan los métodos de codificación de audio con los que se cuentan, los criterios de uso de cada uno, la calidad de audio que soportan y sus velocidades de transmisión.

Posteriormente se explica cuales son los métodos de modulación y codificación de canal de la información. En este caso, DRM cuenta con 5 modos de robustez (4 para DRM30 y 1 para DRM+), los cuales, gracias a que utilizan diferentes constelaciones para la modulación, anchos de banda, y niveles de robustez, se ajustan a diferentes condiciones de transmisión

dependiendo de la banda de frecuencias que se esté utilizando para la radiodifusión y del entorno en el que se realice. Después se muestra la distribución de los datos de los tres diferentes canales a lo largo de la trama de transmisión conocida como multiplex, tanto para DRM30, como para DRM+.

A continuación se presentan las características que permiten al sistema DRM utilizar las redes de frecuencia única y las redes de frecuencia múltiple, sus ventajas y detalles de diseño. Luego, se presenta la característica simulcast del sistema, la cual permite una convivencia de la señal digital con las transmisiones analógicas actuales; también se presentan todas las características relacionadas con el espectro de la señal, los canales de transmisión utilizados, anchos de banda de las señales y máscaras de transmisión.

Finalmente se explica el funcionamiento de la opción de señalización de frecuencia alternativa (la cual permite la re sintonización del receptor no solo a otras frecuencias DRM, sino también a servicios de AM, FM o DAB) y el uso del sistema DRM en la denominada “Banda de 26 MHz”.

3.1. Codificación y multiplexación de contenidos DRM

Tanto la función de codificación de fuente como la multiplexación, se encuentran integradas en el Servidor de Contenidos [DRM_BG], mostrado en la figura III.3.1.

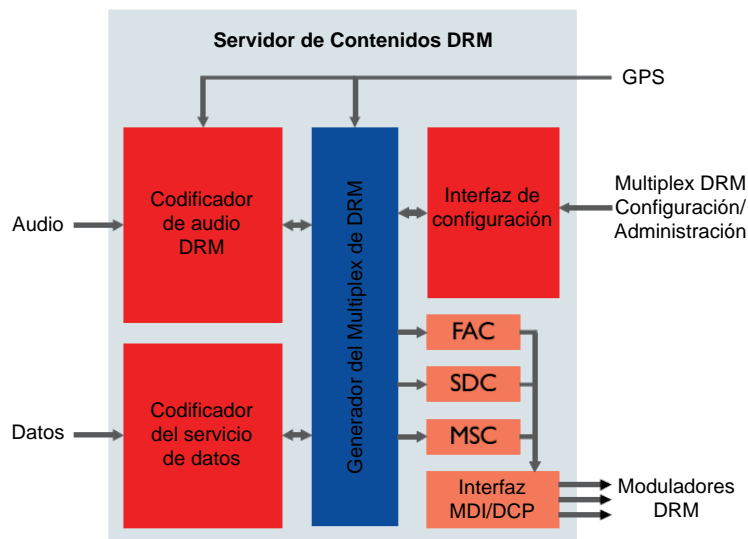


Figura III.3.1. Servidor de Contenidos DRM (codificación de fuente y multiplexación) [DRM_BG]

En la misma figura se muestran también los dos tipos básicos de información de entrada:

1. El audio y los datos que serán transmitidos a través del Canal de Servicio Principal (MSC, Main Service Channel).
2. Los datos de identificación del o los servicios y los parámetros de codificación que sirven para ayudar al receptor en la sintonización y a codificar de forma correcta la señal recibida. Todos estos datos viajan a través de dos canales [WBU_DRG]:
 - a. Canal de Acceso Rápido (FAC, Fast Access Channel): Provee la información necesaria para un escaneo rápido de la información y permitir así una sintonización más rápida. Además contiene los parámetros del canal (ancho de banda del espectro, tipo de modulación, número de servicios, etc.) que



permiten la demodulación de la señal DRM, y los parámetros del servicio (identificador del servicio, identificador corto, acceso condicional, idioma, etc.)

- b. Canal de Descripción del Servicio (*SDC, Service Description Channel*): Incluye los datos necesarios para la decodificación del MSC, los atributos de los servicios contenidos en el multiplex, e información como acceso condicional, información de frecuencia y de horario de frecuencia (ambos para permitir la búsqueda de fuentes alternativas de la misma programación), soporte de anuncios y cambio, identificación de la región de cobertura, información de fecha y hora, información del audio, etc.

Una vez que el servidor de contenidos recibe todos los tipos de datos antes mencionados, estos deben ser codificados para poder transformarlos a un formato digital apropiado para su transmisión. Es así como para la codificación de fuente se utilizan los siguientes codecs: AAC, CELP y HVXC

3.1.1. Codificación de fuente

El sistema DRM provee 3 codecs pertenecientes al estándar MPEG4 (figura III.3.2); AAC (*Advanced Audio Coder*) provee la mayor calidad de audio así como la mayor velocidad de transmisión, mientras CELP (*Code Excited Linear Prediction*) y HVXC (*Harmonic Vector Excitation Coding*) requieren de una menor velocidad de transmisión (2 kbps con HVXC o 4 kbps para CELP, como mínimo), por lo que están diseñados para codificar únicamente servicios de voz. El desempeño de los tres codecs se puede mejorar mediante el uso de la codificación por Réplica de Banda Espectral (*SBR, Spectral Band Replication*) [DRM_BG] [WBU_DRG].

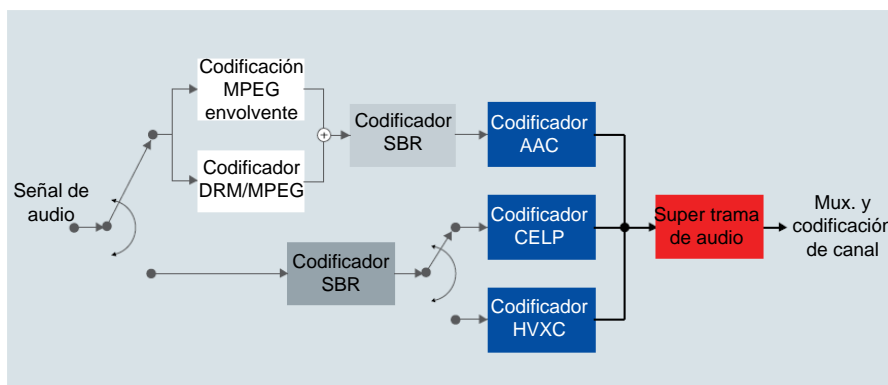


Figura III.3.2. Codificación de audio DRM [DRM_BG]

Como cada codificador de audio requiere de velocidades de transmisión específicas, no todos los codecs pueden utilizarse para todos los modos DRM [DRM_BG]. En la figura III.3.3 se ilustra la operación de los tres diferentes codecs de acuerdo a la capacidad de transmisión de los modos DRM más comunes.

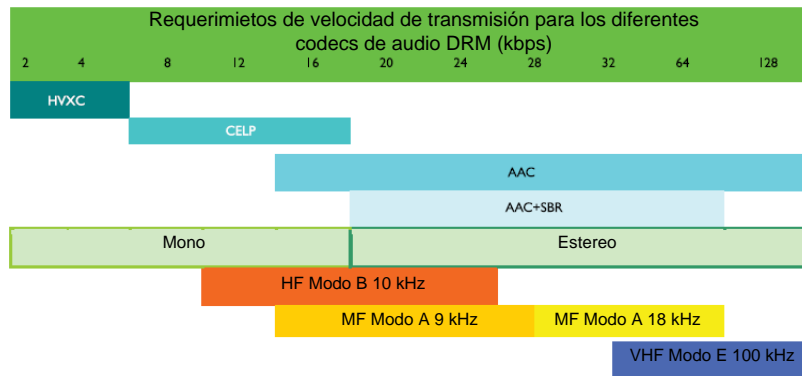


Figura III.3.3. Propuesta de uso de los codificadores de audio DRM [DRM_BG]

Para permitir que el audio, los datos asociados al servicio y los parámetros asociados a la transmisión puedan ser generados desde las cabinas de audio y luego enviados al sitio de transmisión sin necesidad de utilizar un gran ancho de banda, DRM ha especificado un método eficiente para unir todos estos datos en un solo flujo (*multiplex*) conocido como Interfaz de Distribución del Multiplex (*MDI, Multiplex Distribution Interface*) y el Protocolo de Comunicaciones y Distribución (*DCP, Distribution and Communications Protocol*) [DRM_BG].

3.2. Codificación de canal y modulación DRM

En la figura III.3.4 se muestra un diagrama de bloques simplificado de un modulador DRM [DRM_BG], cuyas funciones se explican brevemente a continuación:

- En la etapa de dispersión de energía se aleatorizan los bits, esto con el fin de reducir la periodicidad no deseada en la señal transmitida.
- El codificador de canal añade, de forma ordenada, bits de redundancia a la información para proveer una herramienta de protección y corrección de errores; además, también define el mapeo de la información digitalmente codificada en símbolos QAM, que luego serán enviados al transmisor para su modulación.
- El entrelazador se encarga de reordenar la secuencia de bits de la señal, esto para revolver la información y que la reconstrucción final en el receptor esté menos afectada por los desvanecimientos que pudiera causar el canal de transmisión.
- El generador de la señal piloto añade portadoras de referencia (de amplitud y fase definidas), las cuales permiten al receptor obtener la información de equalización de canal y poder hacer así una demodulación correcta de la señal.
- El mapeador OFDM junta todos los símbolos QAM generados en los tres canales (MSC, FAC y SDC) y los coloca dentro de sus respectivas sub portadoras dentro de la señal OFDM.

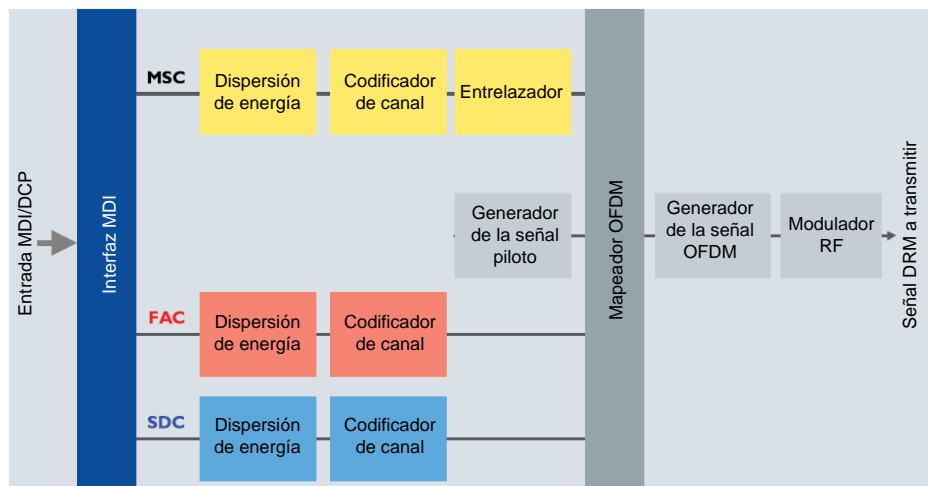


Figura III.3.4. Diagrama a bloques del modulador DRM [DRM_BG]

3.2.1. Codificación de canal

El esquema de codificación/modulación utilizado por el sistema DRM es Multiplexación por División Ortogonal de Frecuencia Codificada (*COFDM, Coded Orthogonal Frequency Division Multiplexing*), el cual combina la modulación OFDM con la codificación de nivel múltiple, que está basada en la codificación convolucional, y provee protección contra errores [WBU_DRG].

Una característica del sistema DRM es que permite la asignación de diferentes niveles de protección dentro del mismo multiplex, a esto se le conoce como Protección Desproporcional contra Errores (*UEP, Unequal Error Protection*) y Protección Proporcional contra Errores (*ECP, Equal Error Protection*). Para los canales FAC y SDC se utiliza siempre la EEP, que no es más que el uso de una sola tasa de código para la codificación convolucional; para el canal MSC se puede utilizar la UEP, que es la asignación de dos tasas de código diferentes para poder enviar ciertos datos (el audio por ejemplo) con un nivel de protección mayor y otros datos no tan importantes (los datos obligatorios) con un nivel de protección menor. Todo lo anterior ayuda a optimizar el uso del canal de transmisión.

Por su parte, el uso de COFDM provee una excelente transmisión y protección de la señal en canales estrechos (9 kHz o 10 kHz) en las bandas de radiodifusión de LF, MF y HF.

Para la modulación de cada una de las sub portadoras OFDM se utiliza la Modulación de Amplitud en Cuadratura (*QAM, Quadrature Amplitude Modulation*), y dependiendo de la calidad y robustez de la señal que se desee, será la constelación utilizada para modular la información dentro de las sub portadoras; 64QAM (para una gran calidad de audio) y 16QAM (para una señal más robusta pero de menor calidad) para el sistema DRM30 y 16QAM y 4QAM para el sistema DRM+ [WBU_DRG].

3.2.2. Modulación y parámetros de codificación

Una de las grandes ventajas que ofrece el sistema DRM, es que permite modificar los parámetros OFDM de la transmisión para optimizar el funcionamiento del mismo dependiendo de la banda de frecuencias en la que se transmite. Es así como se definen 5 modos de robustez que se muestran en la tabla III.3.1 [DRM_BG].



Tabla III.3.1. Modos de robustez DRM [ES 201980]

Sistema	Modo	Intervalo de guarda [ms]	Separación entre portadoras [Hz]	Opciones de ancho de banda [kHz]	Usos típicos
DRM 30	A	2.66	41.6667	4.5, 5, 9, 10, 18, 20	LF y MF ondas de superficie, banda de 26 MHz línea de vista
	B	5.33	46.8823	4.5, 5, 9, 10, 18, 20	HF y MF onda ionosférica
	C	5.33	68.2128	10, 20	Canales complicados por onda de tierra en HF
	D	7.33	107.1811	10, 20	Onda de cielo de incidencia casi vertical
DRM+	E	0.25	444.4444	100	VHF transmisiones en bandas de 30MHz a la banda III

- El modo A está diseñado para transmitir con la mayor velocidad de datos posible dentro del contexto de la cobertura de onda de superficie y línea de vista.
- El modo B generalmente es la primera opción para los servicios de onda ionosférica.
- Los modos C y D se utilizan donde las condiciones de propagación son más severas, como cuando es necesario cubrir grandes distancias con múltiples saltos, o incidencia casi vertical, donde puede haber señal reflejada.
- Finalmente, el modo E se utiliza para las bandas de frecuencia de VHF de los 30 MHz hasta la banda III.

En cuanto a la modulación QAM, en los modos del sistema DRM30 se puede elegir ya sea 64QAM o 16QAM para el canal MSC, y esta elección depende principalmente de la Relación Señal a Ruido (*SNR, Signal to Noise Ratio*) que se alcance en el área deseada. La opción más robusta (16QAM) se elige cuando se espera que la SNR sea demasiado baja para soportar la modulación 64QAM. Para el sistema DRM+, es posible emplear ya sea la modulación 16QAM o 4QAM [DRM_BG].

3.3. Capacidad de transmisión del sistema

Dentro de las restricciones de los parámetros de modulación necesarios para entregar la calidad de servicio requerida, los radiodifusores tienen cierta flexibilidad en la forma en la que se utiliza la capacidad disponible del MSC [DRM_BG]. Por ejemplo, puede ser que el radiodifusor desee destinar cierta capacidad del canal para transmitir un servicio de datos junto con el audio, o dividir la capacidad total para proveer más de un servicio de audio.

En la tabla III.3.2 se especifica el rango de velocidades de transmisión disponibles para diferentes niveles de robustez de la señal y anchos de banda del canal. La velocidad mínima de transmisión que ofrece el sistema DRM es de 4.8 kbps (modo B, 16QAM, robustez máxima, ancho de banda de 4.5 kHz), mientras que la velocidad máxima es de 186 kbps (modo E, 16QAM, robustez mínima, ancho de banda de 100 kHz) [DRM_BG].



Tabla III.3.2. Velocidades de transmisión del sistema DRM [DRM_BG]

Modo	Modulación QAM	Nivel de robustez (tasa de código de la modulación)	Ancho de banda nominal de la señal [kHz]						
			4.5	5	9	10	18	20	100
			Velocidad de transmisión aproximada [kbps]						
A	64	Min.	14.7	16.7	30.9	34.8	64.3	72.0	
		Max.	9.4	10.6	19.7	22.1	40.9	45.8	
	16	Min.	7.8	8.8	16.4	18.4	34.1	38.2	
		Max.	6.3	7.1	13.1	14.8	27.3	30.5	
B	64	Min.	11.3	13.0	24.1	27.4	49.9	56.1	
		Max.	7.2	8.3	15.3	17.5	31.8	35.8	
	16	Min.	6.0	6.9	12.8	14.6	26.5	29.8	
		Max.	4.8	5.5	10.2	11.6	21.2	23.8	
C	64	Min.				21.6		45.5	
		Max.				13.8		28.9	
	16	Min.				11.5		24.1	
		Max.				9.2		19.3	
D	64	Min.				14.4		30.6	
		Max.				9.1		19.5	
	16	Min.				7.6		16.2	
		Max.				6.1		13.0	
E	16	Min.							186.3
		Max.							99.4
	4	Min.							74.5
		Max.							37.2

3.4. Generación de la trama de radiodifusión

En la figura III.3.5 se presenta la estructura de la trama así como la relación temporal entre los tres tipos básicos de información transmitida. Este orden fue diseñado principalmente atendiendo a las necesidades de sintonización, re sintonización y operaciones de contenido de los receptores.

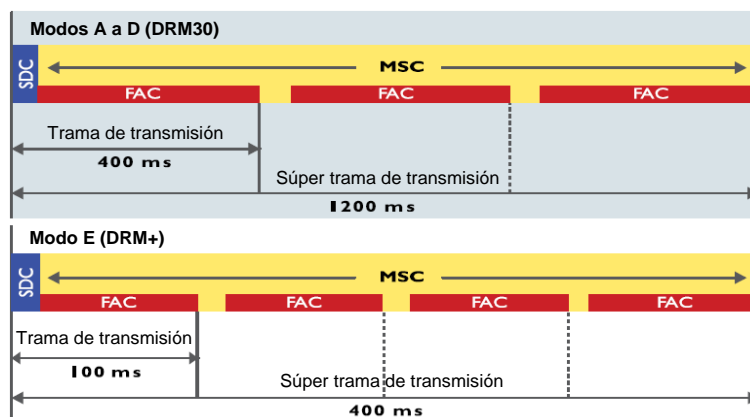


Figura III.3.5. Estructura de la trama DRM (modos DRM30 y DRM+) [DRM_BG]



Como se observa en la figura III.3.5, la estructura de la trama del FAC es de 400 ms (DRM30) o 100 ms (DRM+) dependiendo del modo de robustez [DRM_BG]. Además, a diferencia del MSC y el SDC, la información transportada por este canal no está entrelazada en tiempo y es mapeada en grupos específicos de sub portadoras OFDM para que el receptor tenga fácil acceso a los parámetros del canal, requeridos por el receptor para la demodulación del multiplex, y a los parámetros del servicio, necesarios para un escaneo y sintonización rápidos. Otra razón por la cual el FAC no está entrelazado, es que, al transmitir la señal DRM en un canal diferente al utilizado por la señal analógica, la sintonización de las estaciones se realiza mediante el nombre de las mismas, y dado que la información del nombre de la estación viaja en este canal, es importante tener un rápido acceso a ella para permitir una sintonización rápida.

La trama del SDC contiene información de cómo demodular los datos del MSC, cómo encontrar transmisiones alternativas que contengan los mismos datos y da atributos a los servicios que se encuentran dentro del multiplex; se transmite a lo largo de todas las sub portadoras con una duración de dos símbolos al inicio de cada súper trama; esta información normalmente es estática y repetitiva, y es justo esta periodicidad la que permite al receptor el cambio a frecuencias alternativas; dicha periodicidad corresponde a la longitud de la súper trama de transmisión, es decir, 1,200 ms o 400 ms [DRM_BG], dependiendo del modo DRM que se esté utilizando (figura III.3.5).

3.5. Redes de frecuencia única (SFN) y frecuencia múltiple (MFN)

El sistema DRM ofrece una característica muy importante, la operación en redes SFN, que es cuando ciertos transmisores están transmitiendo señales DRM idénticas utilizando la misma frecuencia. Generalmente estos transmisores tienen un área de cobertura de manera tal que, en ciertas zonas, estas se traslapan; en este caso, los receptores recibirán una misma señal proveniente de diferentes transmisores.

Para asegurar una buena recepción en estas zonas de traslape, es necesario asegurar que las señales que llegan al receptor lleguen con una diferencia de tiempo menor al intervalo de guarda para lograr una interferencia positiva y que las señales se sumen. La principal ventaja al utilizar las redes SFN es que se pueden cubrir grandes áreas (una región o incluso un país entero) utilizando una sola frecuencia y varios transmisores [DRM_BG].

Donde no es posible utilizar redes SFN, se pueden utilizar también las Redes de Frecuencia Múltiple (MFN, *Multi Frequency Network*); en este caso, las señales DRM transmitidas siguen siendo idénticas, pero la frecuencia usada en cada transmisor es diferente. Así, cuando se deja una zona de cobertura y se entra en otra, el receptor debe cambiar a otra frecuencia donde se esté transmitiendo el mismo servicio, para determinar la calidad de la señal y ver si conviene hacer el cambio a esa frecuencia o continuar buscando (esto se logra mediante el AFS, que utiliza la información del SDC). Si la calidad de la señal de la frecuencia alternativa es mejor que la de la frecuencia actual, el receptor entonces puede quedarse en esa frecuencia, si no, continúa buscando. Para que este proceso se realice sin cortes de audio, las señales transmitidas en cada frecuencia deben estar sincronizadas en tiempo al llegar al receptor.



3.6. Simulcast

Simulcast es la opción que permite a las señales digitales DRM convivir con las transmisiones analógicas actuales; esta opción es realmente interesante para los radiodifusores que deben cumplir con una etapa de transición de tecnologías y deben ofrecer servicios tanto para receptores analógicos como digitales. Sin embargo, los radiodifusores pueden verse restringidos al momento de introducir la señal DRM, ya que para poder transmitir esta señal requiere de un canal de frecuencia adyacente al usado por la señal analógica y en muchas zonas es complicado adquirir un nuevo canal.

3.6.1. Simulcast para DRM30

Para resolver el problema del uso de los canales de frecuencia, el estándar ETSI TS 102 509 [TS 102509] describe, para el sistema DRM30, un modo de simulcast de canal único para canales de 9 kHz o 10 kHz, donde la banda lateral superior es reemplazada con una señal DRM de 4.5 kHz o 5 kHz, mientras que la banda lateral inferior es procesada para generar una envolvente compuesta que puede ser demodulada por un receptor convencional de AM (figura III.3.6).

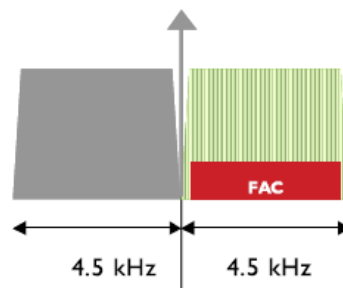


Figura III.3.6. Simulcast de canal único [DRM_BG]

Sin embargo, para que los radiodifusores puedan explotar de mejor forma todas las características que ofrece el sistema DRM, lo más recomendable es utilizar canales de 18 kHz o 20 kHz o espectro adicional al canal de 9 kHz ó 10 kHz asignado (simulcast multi canal o multi frecuencia); así, la señal DRM puede ser transmitida en el canal superior o inferior adyacente y puede ocupar la mitad o la totalidad de la capacidad del mismo, dependiendo de la opción de ancho de banda seleccionada (figura III.3.7).

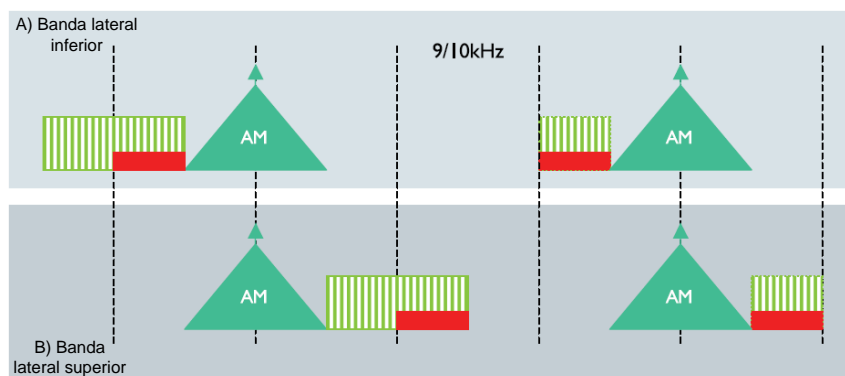


Figura III.3.7. Simulcast multi canal o multi frecuencia [DRM_BG]

En cuanto a los niveles de potencia que debe tener la señal digital para no causar interferencia a las transmisiones analógicas, el sistema DRM30 no ha definido una máscara de transmisión; sin embargo, el sistema debe cumplir con las condiciones establecidas por la ITU [SM.328] [DRM_BG] para evitar generar interferencias a los canales adyacentes. Por esta razón, es posible utilizar la máscara definida en la figura III.3.8.

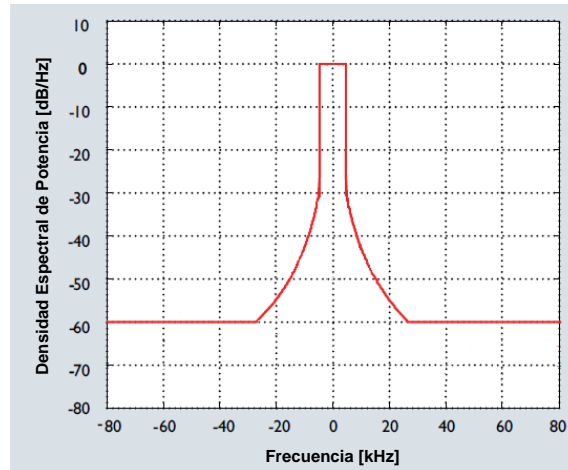


Figura III.3.8. Máscara de transmisión propuesta para DRM30 [DRM_BG]

3.6.2. Simulcast para DRM+

Para el caso del modo E (DRM+), es posible colocar la señal DRM muy cerca de la señal FM, y la configuración puede hacerse dependiendo del uso actual del espectro; de esta manera, se puede comenzar a introducir el sistema DRM en las bandas de frecuencia de FM.

La figura III.3.9 muestra que la señal DRM puede ser colocada a la izquierda o a la derecha de la señal analógica de FM y para garantizar los niveles de protección respectivos así como la calidad de audio de la señal de FM, la distancia entre frecuencias portadoras (Δf) y la diferencia de niveles de potencia (ΔP) entre ambas señales puede ser establecida de acuerdo a las necesidades del radiodifusor. Un valor de $\Delta f \geq 150 \text{ kHz}$ es recomendable, mientras que el valor de $\Delta P > 20 \text{ dB}$ será la diferencia mínima de potencias cuando $\Delta f = 150 \text{ kHz}$ [ES 201980] (figura III.3.10).

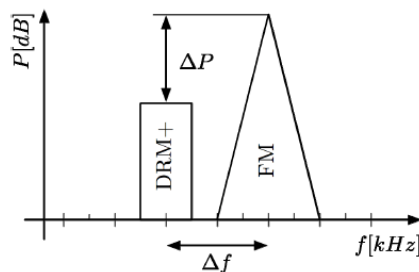


Figura III.3.9. Simulcast para el modo E (FM) [ES 201980]

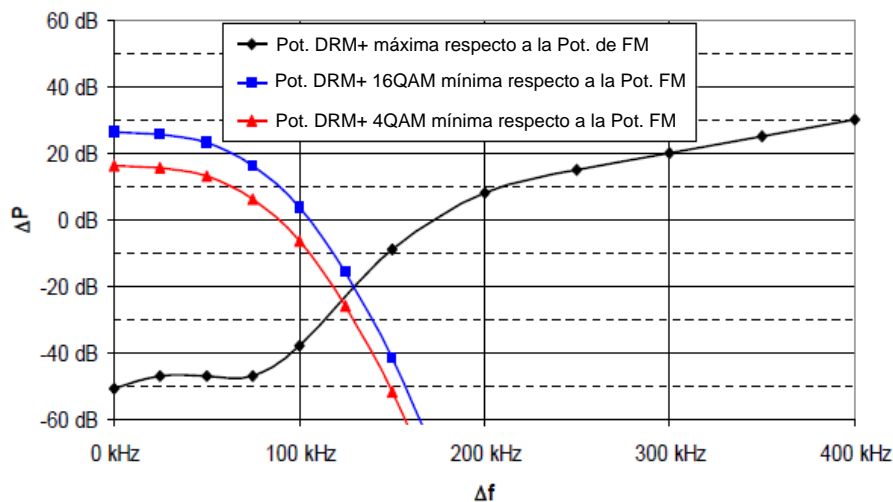


Figura III.3.10. Relación de potencias analógica y digital en simulcast para DRM+ [DRM_BG]

Para transmitir utilizando el sistema DRM+ en las bandas de frecuencias existentes junto con otras transmisiones, los niveles de protección y la máscara de transmisión aún no han sido estandarizados, sin embargo, para no causar interferencias en las transmisiones analógicas existentes, se utiliza la máscara definida en la figura III.3.11, basada en la máscara establecida por la ETSI (EN 302 018) para las transmisiones analógicas de FM [DRM_BG].

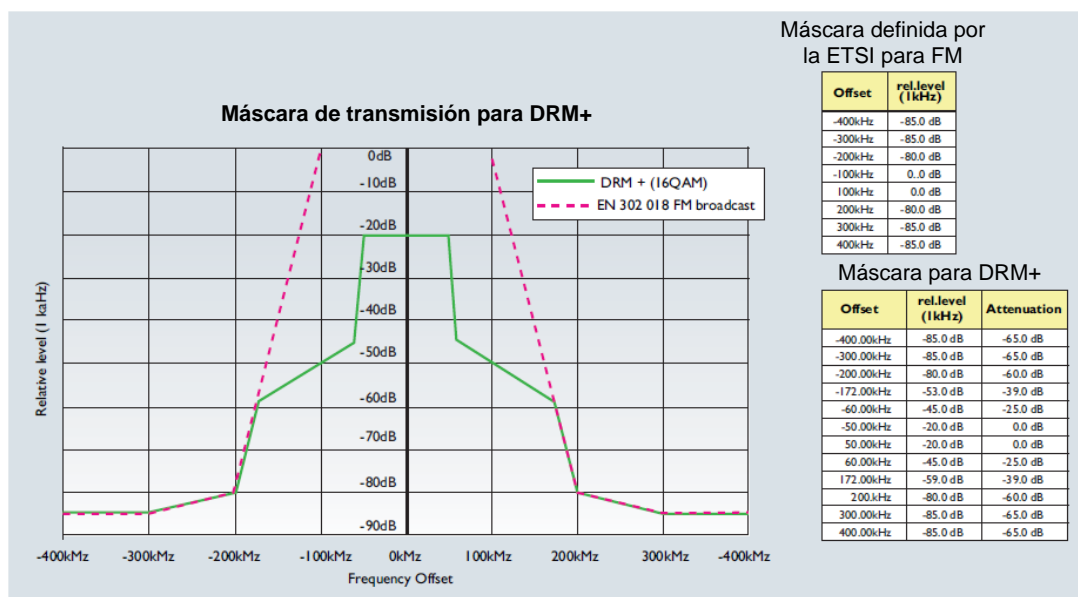


Figura III.3.11. Máscara de transmisión para DRM+ y FM [DRM_BG]

3.7. Cambio a frecuencias alternativas

El cambio a frecuencias alternativas forma una parte integral del mecanismo que permite el uso de las redes MFN. La lista de frecuencias alternativas (*AF*, *Alternative Frequency*) es transmitida en el SDC dentro del multiplex DRM y transporta, como su nombre lo indica, una lista de frecuencias que cargan el mismo programa o programas asociados al que se escucha en ese momento.



La lista de AF, además de identificar las frecuencias de otros servicios DRM, también provee la información de servicios no pertenecientes a señales DRM (AM, FM o DAB) que contengan el mismo programa o algún programa asociado. Dependiendo de la cobertura del receptor, este puede ser capaz de cambiar entre estas señales y las señales DRM.

Existen dos modos para realizar el AFS:

1. AFS continuo: En este caso el receptor realiza la re sintonización sin cortar el audio; para trabajar bajo este modo, es necesario que las redes estén sincronizadas. Además, este modo solo está disponible cuando se hace el cambio entre transmisiones DRM.
2. AFS genérico: Permite al receptor ser direccionado a otro transmisor que esté transmitiendo el mismo servicio, y este no está restringido a señales DRM únicamente, por lo que al cambiar de un servicio a otro, puede haber cortes en la señal de audio.

La función AFS no solo puede transmitir la información de las frecuencias que en ese momento están transmitiendo cierto servicio, también se puede informar sobre otras frecuencias que contengan el mismo servicio pero que será transmitido a otra hora, en otras regiones.

3.8. Uso de la banda de 26 MHz

DRM es el único sistema de radiodifusión digital diseñado para operar en las bandas de onda corta (rango de radiodifusión de 3 a 30 MHz). La “banda de 26 MHz” (25.67 MHz a 26.10 MHz) es un rango de radiodifusión de 430 kHz de ancho de banda que se encuentra en la parte superior del rango de HF que cuenta con 42 canales de 10 kHz cada uno.

Los radiodifusores internacionales tienden a favorecer la radiodifusión en las bandas de baja frecuencia (por debajo de los 21 MHz) en parte debido a que los receptores de bajo costo no captan la banda de 26 MHz y porque la propagación de gran alcance no es siempre posible dentro de esta banda. Por esta razón, la banda de 26 MHz está disponible para la radiodifusión a nivel local.

El resultado de utilizar sistemas de transmisión en línea de vista y de baja potencia en la banda de 26 MHz es un área de cobertura muy similar a la conseguida con una transmisión en Banda I. Otra ventaja del uso de esta banda es que el nivel de ruido generado por el hombre es mucho menor al de la banda MW. Para las coberturas locales, el sistema ofrece las siguientes características:

- Cobertura de un área metropolitana, o una porción más pequeña (una comunidad, por ejemplo).
- El uso de un canal de 10 kHz permite la transmisión con una calidad de audio equivalente a la de FM estéreo; el uso de un canal de 20 kHz proporciona mayor capacidad y asegura una mayor flexibilidad en términos de modos de transmisión y configuraciones de audio.
- Uso de redes SFN o MFN para obtener un área de cobertura mayor utilizando menor potencia de transmisión.
- Utilización de la capacidad AFS si es que se transmite un mismo programa en más de una frecuencia.



- Uso de niveles de potencia menores a los necesarios para una transmisión en banda MF para obtener la misma zona de cobertura.

A pesar de lo anterior, uno de los problemas que surgen al transmitir en la banda de 26 MHz es la interferencia ionosférica, la cual se debe a que en este rango de frecuencias se presentan dos modos de propagación, por onda de superficie y por onda ionosférica. Esto ocasiona que al receptor llegue la misma señal que se está transmitiendo, pero con un retraso que ocasiona una interferencia negativa al momento de la demodulación.

4. Requerimientos de conversión para la transmisión de la señal DRM

En esta última sección se presentan todas las especificaciones técnicas que deben cubrir los transmisores para poder generar una señal DRM de buena calidad; además se explica la forma en la que pueden modificarse los transmisores analógicos que utilizan los radiodifusores actualmente, tanto de AM como de FM, para generar señales híbridas o totalmente digitales.

Por último, se explica todo lo relacionado a las cuotas adicionales que es necesario cubrir para, en este caso, poder fabricar equipos con tecnología DRM.

4.1. Transmisión en los modos DRM30

Para el caso del sistema DRM30, la característica principal con la que deben cumplir los transmisores es que el amplificador debe ser lo más lineal posible ya que la señal DRM contienen múltiples portadoras de RF, las cuales al pasar por un proceso no lineal generan productos de intermodulación y modulación cruzada, lo que degrada seriamente la calidad de la señal [DRM_BG].

A pesar de que es posible construir un amplificador lineal que proporcione el nivel de potencia requerido para la transmisión, su uso no es recomendable ya que la eficiencia que ofrece es muy baja (aproximadamente 20% a 30%) y, por lo tanto, requiere de un sistema de enfriamiento de mayor capacidad, lo que aumenta considerablemente el costo de operación. Por esta razón, existe una técnica que permite que un amplificador no lineal pueda manejar señales en banda base y de RF, derivadas de la señal I/Q original de bajo nivel, de manera tal que las componentes de la señal se combinen en la etapa final del amplificador para formar una réplica de alto nivel de la señal original. El efecto final es que el amplificador funciona como un amplificador lineal a pesar de que este continúa trabajando de manera no lineal. Además, actualmente existen transmisores que trabajan en la banda de HF que implementan el sistema de Banda Lateral Única (*SSB, Single SideBand*) y cuyas condiciones de operación en la etapa final se modifican para que funcionen como un amplificador lineal.

4.1.1. Conversión de los transmisores AM analógicos

Como se muestra en la figura III.4.1, al utilizar un transmisor analógico AM de alta potencia para transmitir la señal DRM, esta debe ser primero convertida a un formato de amplitud (A) y fase (RFP) para después ser enviada a la entrada del modulador de audio y a los circuitos de frecuencia respectivamente. Tanto el tiempo de la señal A como el de la señal RFP deben

ser ajustados de manera que a la entrada del modulador, ambas señales estén sincronizadas y puedan ser combinadas de nuevo de manera efectiva.

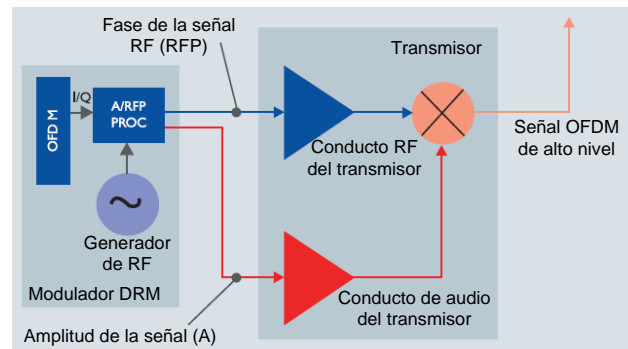


Figura III.4.1. Transmisor con topología A/RFP [DRM_BG]

Para que esta técnica funcione adecuadamente, existen ciertos requisitos que deben cubrir los transmisores analógicos:

1. Debe haber una conexión directa entre el modulador y el amplificador final, lo que significa que la técnica A/RFP no se puede utilizar con transmisores que tengan moduladores clase B.
2. Los tiempos de las señales A y RFP deben ser ajustados para obtener un desempeño óptimo durante la modulación.
3. El ancho de banda del conducto del audio en el transmisor debe ser mayor que el utilizado para las transmisiones AM analógicas, generalmente 3.5 veces el ancho de banda de la señal DRM deseada, por su parte, la frecuencia de muestreo de los moduladores por paso de pulso o por duración de pulso en estado sólido debe ser más del doble de la frecuencia mínima para cumplir con el teorema de Nyquist [DRM_BG].
4. Cualquier filtro que limite el ancho de banda a lo largo del conducto del audio debe ser retirado y el filtro de salida del modulador tendrá que ser modificado para conseguir el ancho de banda requerido; al modificar la respuesta en frecuencia de este filtro es importante asegurarse de que la característica de retraso de grupo lineal se mantenga a lo largo de la banda de paso.

Los transmisores DRM que están basados en amplificadores AM y que utilizan el método A/RFP son capaces de tener un excelente desempeño, la eficiencia típica de los transmisores DRM modernos está en el rango de 70% a 85% en el rango de potencia de 10 KW a 250 kW [DRM_BG].

4.2. Transmisión en los modos DRM+

Para el caso de las transmisiones en FM también se requiere que los amplificadores sean lo más lineales posible para poder obtener así un mejor funcionamiento del sistema. Además, se ofrecen diferentes topologías para poder generar la señal híbrida o totalmente digital [DRM_BG].



4.2.1. Generación de la señal totalmente digital

Para un transmisor digital DRM+ la topología típica es muy simple (figura III.4.2). Como se explica en la sección 3.1.1, el programa de audio y la información digital adicional se combinan en el servidor de contenidos y la salida se envía al modulador a través del flujo de datos MDI. Después, el modulador DRM+ provee una señal de salida RF modulada en frecuencia que es enviada directamente al amplificador de potencia.

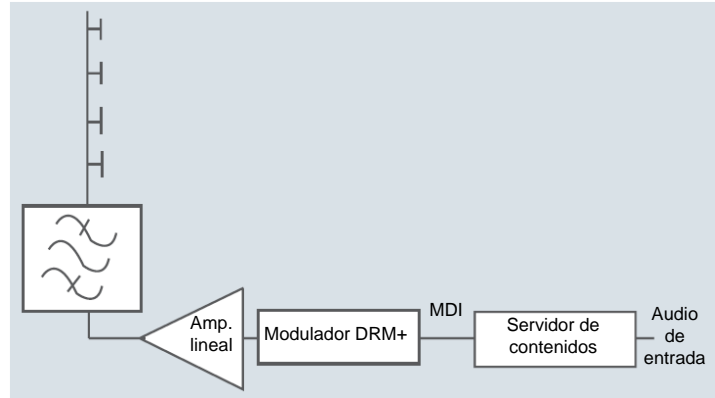


Figura III.4.2. Transmisor DRM+ con amplificador lineal de potencia [DRM_BG]

4.2.2. Generación de la señal híbrida

Para el caso de la señal híbrida (generación y transmisión de la señal analógica junto con la digital), lo más común es combinar las salidas de los respectivos amplificadores de potencia (FM y DRM+) utilizando un sistema de combinación de alto nivel [DRM_BG]. Esto se puede hacer de diferentes maneras:

1. **Combinación por acoplador direccional:** Las señales de FM y DRM+ son combinadas usando un acoplador híbrido que se coloca después de los dos amplificadores de potencia (figura III.4.3). El factor de acoplamiento se elige de manera que se obtengan valores óptimos de pérdida de potencia en el canal de FM (debido a la combinación de señales) y la cantidad de potencia de salida del amplificador DRM+. La principal ventaja de esta topología es que ambas cadenas son totalmente independientes, por lo que en caso de que una falle, la otra puede actuar como respaldo; sin embargo, se pierde mucha potencia de transmisión en el acoplador.

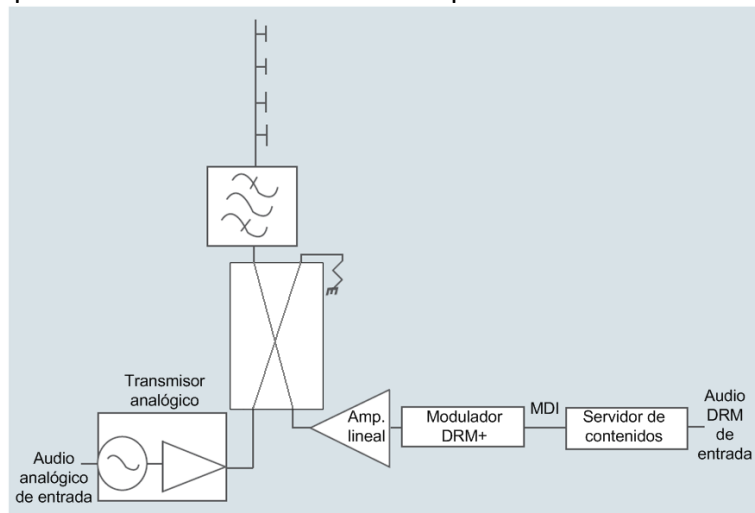


Figura III.4.3. Combinación por acoplador direccional (alto nivel) [DRM_BG]

2. **Combinación en “el aire”:** Esta topología puede implementarse de dos maneras; la primera es usar una antena de polarización circular con entradas independientes para la polarización horizontal y vertical, de esta manera la señal analógica se transmite con una polarización y la señal digital con otra (figura III.4.4). La segunda opción es utilizar antenas separadas que deben estar colocadas en el mismo mástil y deben tener patrones de radiación similares para mantener la relación de amplitud entre señales (figura III.4.5).

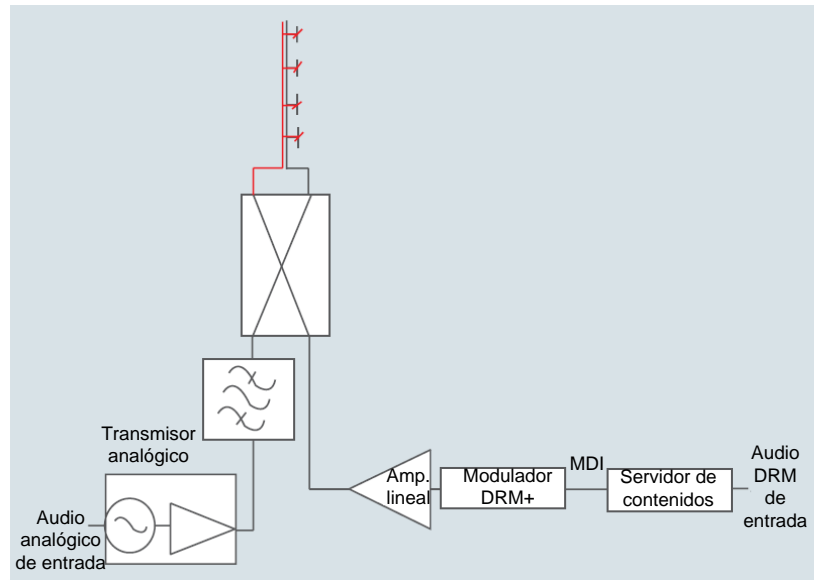


Figura III.4.4. Combinación con antena de polarización circular [DRM_BG]

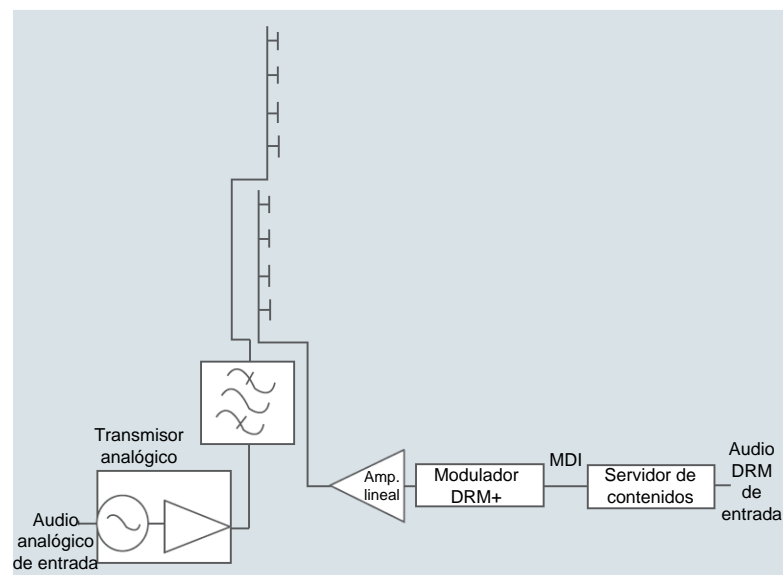


Figura III.4.5. Combinación con antenas separadas [DRM_BG]

Desde el punto de vista del consumo de energía, estas son las topologías más eficientes, ya que no existe pérdida de potencia por combinación; sin embargo, es necesario invertir en la adquisición de una nueva antena y que exista el suficiente espacio en el mástil para colocar dos antenas; además, el hecho de usar dos antenas no asegura que la relación de niveles de potencia entre ambas señales se mantenga constante a lo largo de toda la zona de cobertura.



3. **Combinación de bajo nivel:** Esta última topología permite combinar la señal de FM y la de DRM+ antes de la etapa de amplificación de potencia (figura III.4.6); el amplificador de potencia debe estar diseñado específicamente para combinar ambas señales sin generar productos de intermodulación en exceso.

Dado que la combinación se realiza en la etapa de bajo nivel de potencia de las señales, las pérdidas de energía en el acoplador son mínimas, sin embargo, el amplificador tiene una baja eficiencia, lo que significa que existen pérdidas considerables en esta última etapa..

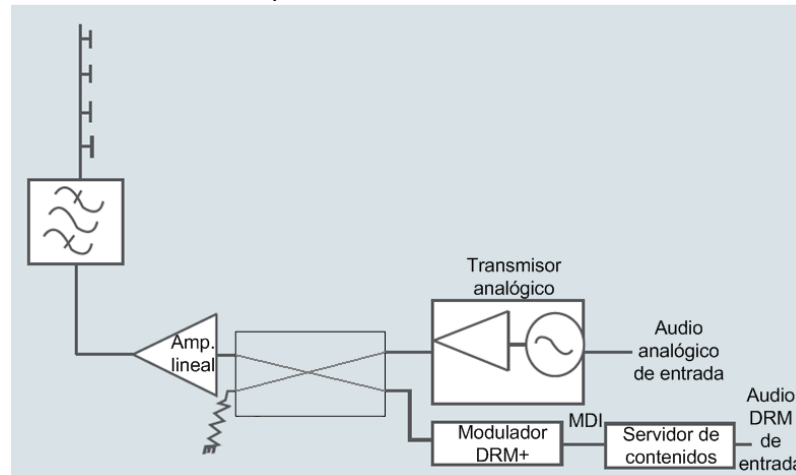


Figura III.4.6. Combinación de bajo nivel [DRM_BG]

4.3. Costos adicionales del sistema

Como se mencionó al principio del capítulo, el sistema DRM es un sistema abierto, por lo que cualquier persona o institución puede tener acceso al mismo y hacer las modificaciones pertinentes para mejorarlo; sin embargo, es importante mencionar que la marca DRM es una marca registrada y, desde el punto de vista de implementación, es importante establecer ciertas condiciones mínimas que deben cumplirse para asegurar el correcto funcionamiento del sistema [DRM_BG].

Dado que el Consorcio DRM no es dueño de ninguna patente, este organismo es totalmente independiente de los procesos de asignación de licencias, actividad que es realizada por el organismo denominado como *Via Licensing*.

El programa de patentes de DRM dirigido por *Via Licensing* (formado en 2003) [VIAL] está enfocado a proveer acceso a un grupo esencial de patentes DRM; este programa de patentes incluye patentes tanto para la radiodifusión de audio como para las etapas de modulación y demodulación del sistema DRM.

El sistema DRM impone una cuota a los fabricantes que deseen comercializar productos (transmisores y/o receptores) que utilicen dicha tecnología. Esta cuota está en función, en el caso de los receptores, de la cantidad anual de equipos que se produzcan (tabla III.4.1), y en el caso de los transmisores, esta cuota representa el 2% del precio de comercialización que se fije, teniendo como cuota mínima por producto \$100 USD y una cuota máxima por producto de \$2,000 USD [VIAL].



Tabla III.4.1. Cuotas DRM para fabricantes de receptores [VIAL]

Volumen (Productos por año)	Cuota por producto (USD)
1 a 1,000	Sin cargo
1,001 a 500,000	\$1.70
500,001 a 1,000,000	\$1.50
1,000,001 a 5,000,000	\$1.38
5,000,001 a 10,000,000	\$1.13
10,000,001, a 15,000,000	\$0.88
15,000,000 o más	\$0.50

La adquisición de la licencia se hace vía electrónica, ingresando a la página de *Via Licensing* [VIAL], donde es necesario llenar un formulario para poder recibir una copia del acuerdo de licencia de patente. Posteriormente es necesario cubrir una cuota de evaluación (\$10,000 USD) y entregar una petición de licencia, y finalmente, una vez aceptada la solicitud, el fabricante en cuestión pasa a formar parte del Comité de Licencias DRM, por lo que debe pagar una cuota de afiliación.



5. Resumen del capítulo

El sistema DRM fue creado por el Consorcio del mismo nombre con el objetivo de mejorar la calidad de audio sustituyendo las transmisiones analógicas de AM y FM por transmisiones digitales de alta calidad, por lo que este sistema respeta las bandas de transmisión actuales.

DRM ofrece una variedad de modos de transmisión que pueden ajustarse a las condiciones de propagación (definidas por la banda utilizada) y a las necesidades de capacidad de información y robustez de la señal que requiera el radiodifusor. Dichos modos de transmisión están divididos en dos grandes grupos: los modos DRM30 que fueron diseñados para la radiodifusión de AM y los modos DRM+ diseñados para trabajar en las bandas de radiodifusión de VHF (entre las que se encuentra la banda de FM).

Las principales ventajas que ofrece este sistema con respecto a la radiodifusión analógica son: aumento en la calidad de audio en transmisiones de AM y FM, capacidad para manejar servicios de datos (guía de programación, información de la estación y del servicio de audio, mensajes de texto, journaline y slideshow que permite el envío de imágenes), capacidad de transmitir hasta 4 programas de audio diferentes, transmisión simultánea de la señal analógica y la digital y el uso de redes SFN y MFN, entre otras.

Para el transporte del audio y los datos, DRM cuenta con tres tipos de canales; el canal de servicio principal, que contiene el audio y los datos que serán transmitidos; el canal de acceso rápido, que permite al receptor obtener de forma sencilla la información necesaria para la demodulación de la señal y permite una sintonización más rápida; y el canal de descripción del servicio, que es el que provee la información necesaria para la decodificación del audio y permite el uso de las redes SFN y MFN.

En cuanto a la codificación de fuente se refiere, el sistema DRM proporciona tres diferentes codecs, cuyo uso depende principalmente de la capacidad de transmisión de datos que permita la banda de transmisión, la protección contra errores que se desee, y el tipo de información que será transmitida. Dichos codecs pertenecen al estándar MPEG4 y son AAC, CELP y HVXC. Por su parte, para la etapa de codificación del canal se utiliza el esquema COFDM, el cual combina la codificación convolucional y la modulación OFDM para proveer un alto nivel de protección contra errores; además, para la modulación de cada sub portadora OFDM existe la posibilidad de seleccionar la constelación (64QAM, 16QAM o 4QAM), lo que da la ventaja de poder obtener diferentes velocidades de transmisión con diferentes niveles de robustez dentro de un mismo modo de transmisión.

Una ventaja significativa de DRM en cuanto a la eficiencia del uso del espectro radioeléctrico, es que permite el uso de las redes SFN, con las que se pueden cubrir grandes extensiones utilizando una sola frecuencia de transmisión. Para lograr esto, es muy importante que todos los transmisores que se utilicen estén sincronizados en tiempo, para que al momento en que un receptor pase de una zona de cobertura a otra, este cambio sea inaudible para el usuario. En caso de que no sea posible utilizar las redes SFN, los receptores DRM están equipados para escanear el resto de las frecuencias y sintonizar aquella que contenga el mismo programa que se está escuchando o algún programa de contenido parecido, esto cuando la señal de la frecuencia original comience a degradarse.



Por otro lado, DRM también ofrece la facilidad para realizar una transición gradual de las transmisiones analógicas a las digitales, ya que permite la transmisión simultánea de ambas señales para ambos modos. Sin embargo, la principal desventaja de la transmisión de ambas señales es que la señal digital debe ocupar un canal adyacente al ocupado por la señal analógica, lo que puede representar una seria restricción en zonas donde la banda asignada para radiodifusión se encuentre saturada. En cuanto a los niveles de potencia requeridos para la transmisión de la señal digital, para evitar posibles interferencias con las señales localizadas en los canales adyacentes, el sistema DRM ha adoptado las máscaras de transmisión establecidas por la ITU, tanto para AM como para FM.

Para realizar la transición de tecnología, existen dos opciones para los radiodifusores, la primera consiste en adquirir nuevos equipos de transmisión que ya estén diseñados para generar la señal digital. La otra opción consiste en adaptar los equipos ya existentes agregándoles ciertos dispositivos que les permitan cumplir con las condiciones básicas de funcionamiento para la generación y transmisión de la señal. Dentro de esta segunda opción existen diferentes topologías que permiten generar una señal híbrida, por ejemplo, la técnica A/RFP para los modos DRM30, la combinación por acoplador direccional, combinación en “el aire” y la combinación de bajo nivel para los modos DRM+. La implementación de una topología u otra depende básicamente del rendimiento de los equipos y de la eficiencia que se desee.

Finalmente, ya que el sistema DRM es un sistema abierto, el Consorcio DRM no puede cobrar ningún tipo de cuota a los radiodifusores y/o usuarios; por esta razón, a través de *Via Licensing*, los fabricantes deben cubrir una pequeña cuota cuyo costo va de acuerdo al tipo y número de equipos que fabriquen. En el caso de los receptores, la cuota se especifica en función del volumen de receptores fabricados por año, mientras que en el caso de los equipos para la generación y transmisión de la señal, la cuota estará en función del precio final del mismo.





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

1. Introducción

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

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

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

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

1.1. Historia del sistema DAB

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

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



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

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

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

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

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

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

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

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

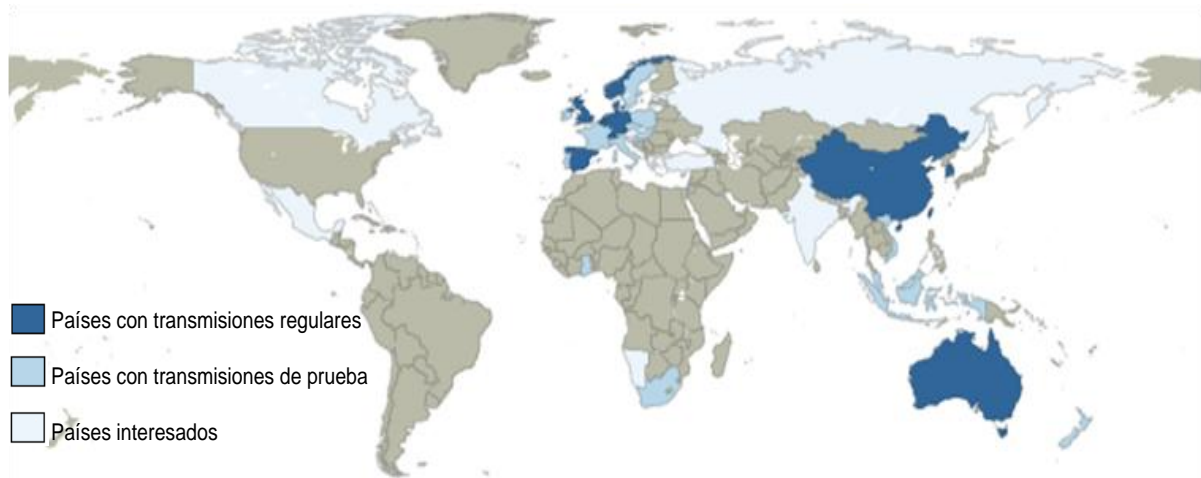


Figura IV.1.1. Cobertura mundial actual del sistema DAB [DABF]

1.2. Ventajas y servicios del sistema DAB

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

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



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

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

En cuanto al sistema DMB, sus principales ventajas son:

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

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

1.2.1. DAB y GSM

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

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



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

1.2.2. DAB y DRM

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

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

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

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

2. Servicios de datos

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

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



2.1. Información del servicio (SI, Service Information)

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

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

2.2. Servicios de valor agregado

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

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



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

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

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

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



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

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

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

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

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

3. Componentes principales del sistema DAB

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

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

3.1. Generación de la señal DAB

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

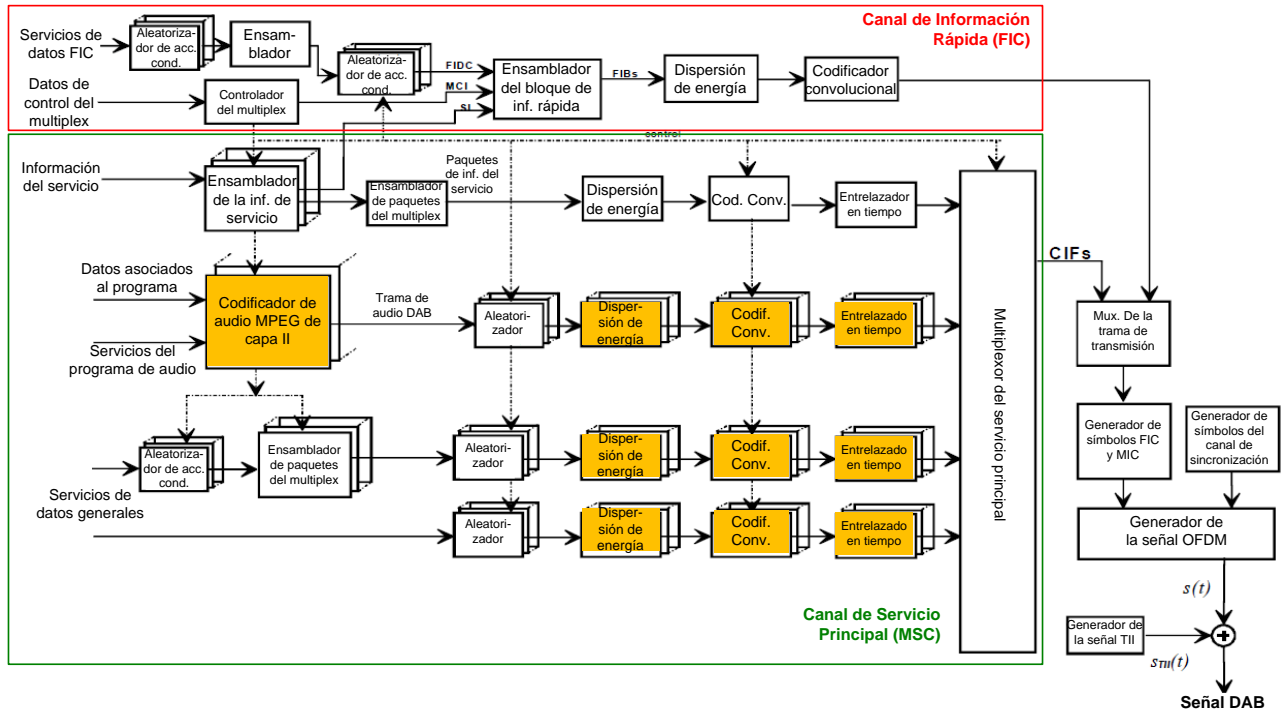


Figura IV.3.1. Diagrama a bloques del sistema DAB [EN 300401]

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

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

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



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

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

3.1.1. Mecanismos de transporte

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

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

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

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

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



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

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

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

3.1.2. Codificación de fuente

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

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

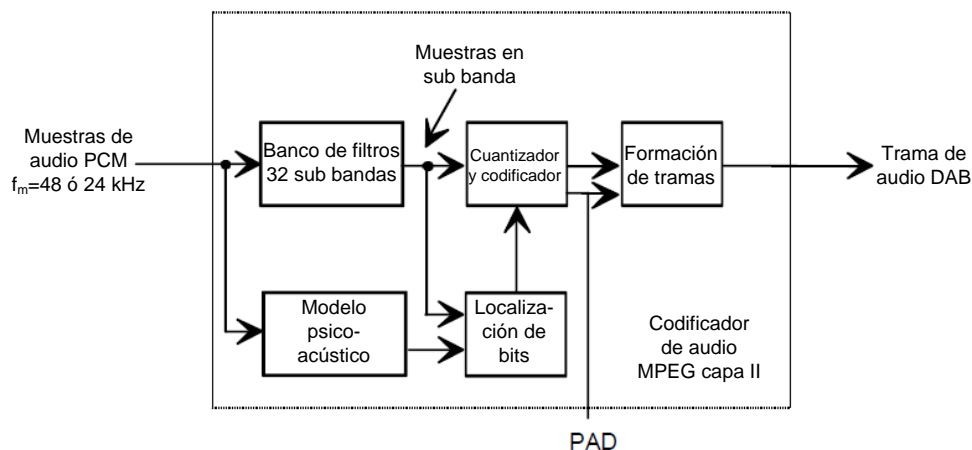


Figura IV.3.2. Codificación de audio del sistema DAB [EN 300401]

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

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



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

Las principales características del sistema de codificación de audio son:

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

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

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

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

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

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

3.1.3. Codificación de canal y modulación de la señal DAB

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

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

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

3.2. Señal de transmisión DAB

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

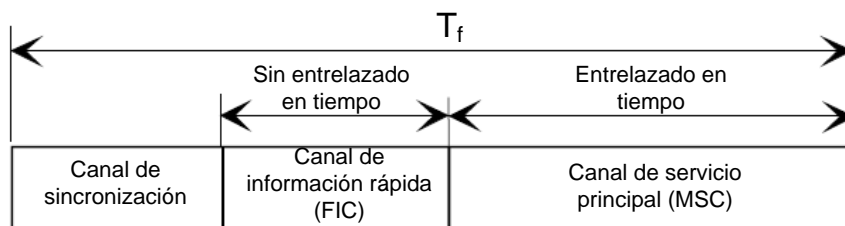


Figura IV.3.3. Estructura de la trama de transmisión DAB [EN 300401]

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

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



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

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

3.2.1. Uso de los modos de transmisión

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

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

3.2.2. Características espectrales de la señal

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

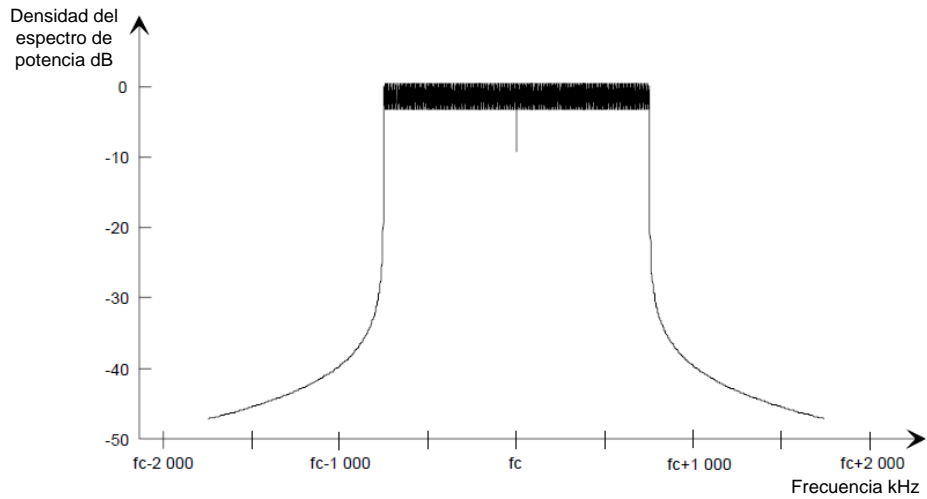


Figura IV.3.4. Espectro teórico para el modo de transmisión I [EN 300401]

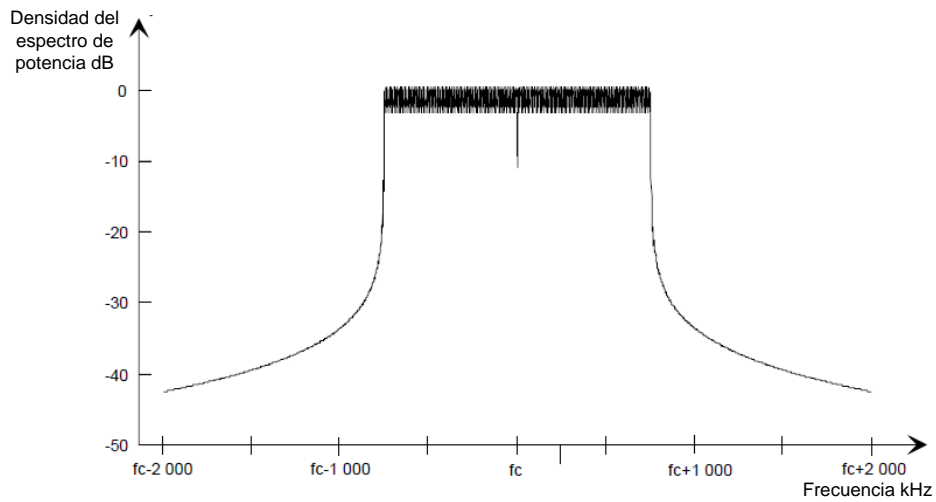


Figura IV.3.5. Espectro teórico para el modo de transmisión II [EN 300401]

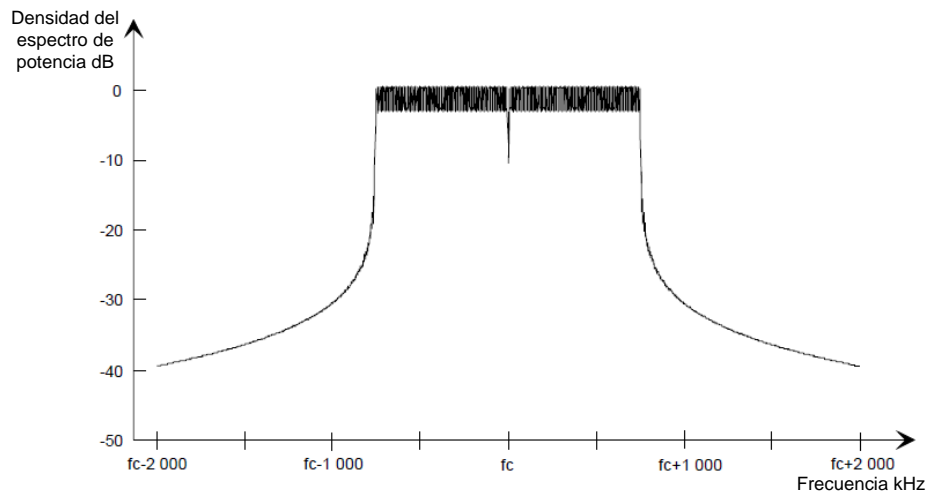


Figura IV.3.6. Espectro teórico para el modo de transmisión III [EN 300401]

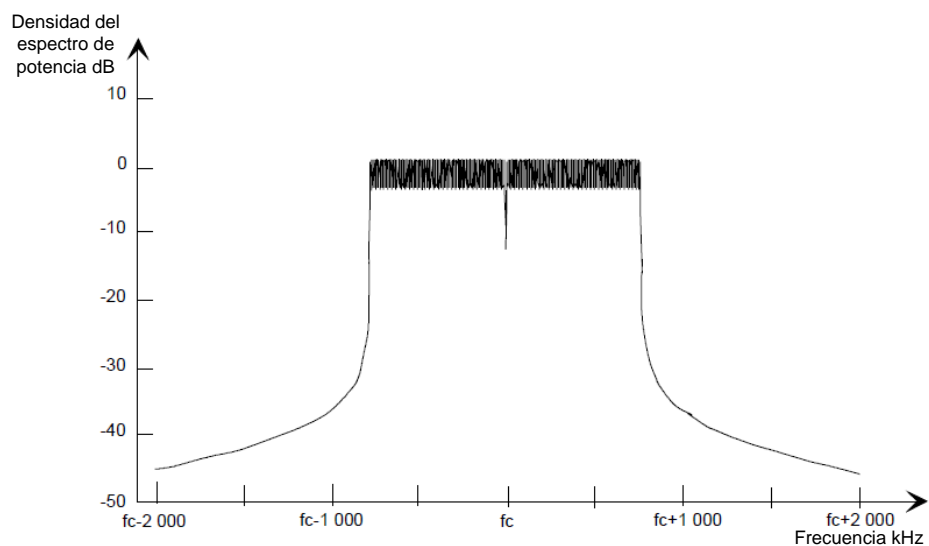


Figura IV.3.7. Espectro teórico para el modo de transmisión IV [EN 300401]

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

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

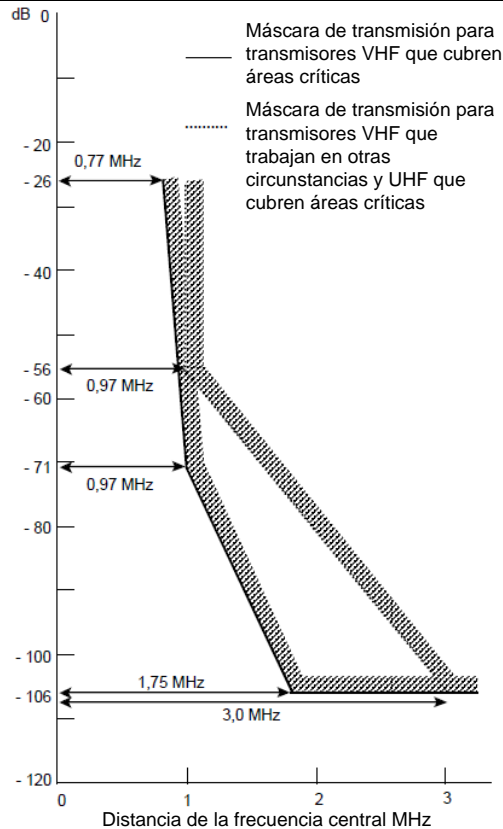


Figura IV.3.8. Máscara para transmisiones fuera de banda [EN 300401]

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

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

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

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

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



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

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

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



5. Resumen del capítulo

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

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

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

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

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

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



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

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

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



CAPÍTULO V. COMPARACIÓN DE LOS ESTÁNDARES DE RADIO DIGITAL TERRESTRE

1. Introducción

En los capítulos anteriores ya se expusieron todas las características técnicas, de conversión y requerimientos de ancho de banda y frecuencia que tienen cada uno de los sistemas de radiodifusión digital de mayor difusión.

En este capítulo se hará la comparación de estos tres estándares (IBOC, DRM y DAB) tomando como base los siguientes aspectos:

1. Banda de frecuencias utilizada para la transmisión de los servicios de radiodifusión digital.
2. Canal y ancho de banda utilizados para la transmisión de los servicios de radiodifusión digital.
3. Sistemas de radiodifusión analógicos que sustituye.
4. Capacidad de transmisión de datos del sistema.
5. Servicios de audio y valor agregado que ofrece el sistema de radiodifusión digital.
6. Codificación de canal utilizada por el sistema de radiodifusión digital.
7. Codificación de fuente utilizada por el sistema de radiodifusión digital.
8. Mejoras en la calidad de audio que ofrece.
9. Facilidad para la migración del sistema de radiodifusión analógico al sistema de radiodifusión digital y costos de la implementación.

De los criterios anteriores se consideran como los más importantes los relacionados con el uso del espectro radioeléctrico (bandas, canales de transmisión y ancho de banda), ya que lo ideal es la adopción de un sistema que se ajuste lo mejor posible a las condiciones de asignación y uso del espectro en México.

Por esta razón, a continuación se presentan las condiciones de transmisión para las estaciones de AM y FM establecidas por la COFETEL, con base en los acuerdos internacionales aprobados por la ITU. Primero se presentan las bandas de servicios establecidas dentro del espectro radioeléctrico de acuerdo a la Región, así como su uso tanto a nivel de dicha Región como a nivel nacional; posteriormente se presentan las especificaciones de transmisión para los sistemas de radiodifusión de AM y FM en México, donde se muestran las bandas asignadas para dicho servicio, así como los canales y anchos de banda respectivos.

Después, se presenta a manera de resumen de los capítulos II, III y IV, el cuadro comparativo de los diferentes aspectos técnicos de cada una de las tecnologías de radiodifusión digital consideradas en este trabajo para poder ver las ventajas de cada sistema en cada uno de los aspectos analizados.

Finalmente, en el capítulo VI se presenta la propuesta del sistema de radiodifusión digital que debería ser adoptado en México, tomando en cuenta el análisis y comparación de datos presentados en este capítulo, así como las normas de radiodifusión vigentes en México.



2. Normativa Mexicana para la radiodifusión analógica sonora terrestre

En este capítulo se explican las bases normativas con las que debe cumplir el nuevo estándar de radiodifusión digital terrestre que sea adoptado en México. Como se mencionó en la introducción de este capítulo y como se verá con mayor detalle más adelante, es importante que el estándar seleccionado por la COFETEL se ajuste lo más posible a las normas de transmisión establecidas en México (bandas de transmisión, canales de transmisión y ancho de banda) para evitar problemas de interferencia a otros servicios de radiodifusión u otros ofrecidos ya sea dentro del territorio mexicano, o en otros países.

En primer lugar se muestran las normas relacionadas a la asignación de las bandas para los servicios de radiodifusión analógica de audio para después mostrar las normas donde se establecen los anchos de banda y máscaras de transmisión aprobadas por la COFETEL para las transmisiones analógicas de AM y FM. Todo lo anterior para poder tener las bases necesarias para realizar el análisis adecuado.

2.1. Normas para la asignación de las bandas de frecuencia para la radiodifusión

Según la Ley Federal de Radio y Televisión [DOF 0609], *“el servicio de radiodifusión es aquél que se presta mediante la propagación de ondas electromagnéticas de señales de audio o de audio y video asociado, haciendo uso, aprovechamiento o explotación de las bandas de frecuencias del espectro radioeléctrico atribuido por el Estado precisamente a tal servicio; con el que la población puede recibir de manera directa y gratuita las señales de su emisor utilizando los dispositivos idóneos para ello”*.

Lo anterior significa que corresponde al Estado la asignación de las bandas de transmisión para los diferentes servicios de radiocomunicación existentes, y a pesar de que esta ley también establece que [DOF 0609] *“corresponde a la Nación el dominio directo de su espacio territorial y, en consecuencia, del medio en que se propagan las ondas electromagnéticas”*, la asignación de bandas del espectro radioeléctrico no puede hacerse de forma arbitraria, esta tiene que hacerse en base a los acuerdos internacionales promovidos por la ITU dentro de la Conferencia Mundial de Radiocomunicaciones, de la que México es Estado Miembro. Por esta razón, la COFETEL publicó [DOF 0308] el documento donde se establece el Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencias.

En este documento se establece [DOF 0308], en su artículo 4, sección 1, punto 4.2, que: *“Los Estados Miembros se comprometen a atenerse a las prescripciones del Cuadro de atribución de bandas de frecuencias, así como a las demás disposiciones del presente Reglamento, al asignar frecuencias a las estaciones que puedan causar interferencias perjudiciales a los servicios efectuados por las estaciones de los demás países”*, y para lograr lo anterior, la ITU dividió al mundo, desde el punto de vista de la atribución de las bandas de frecuencias, en tres Regiones [DOF 0308], las cuales se muestran en la figura V.2.1.

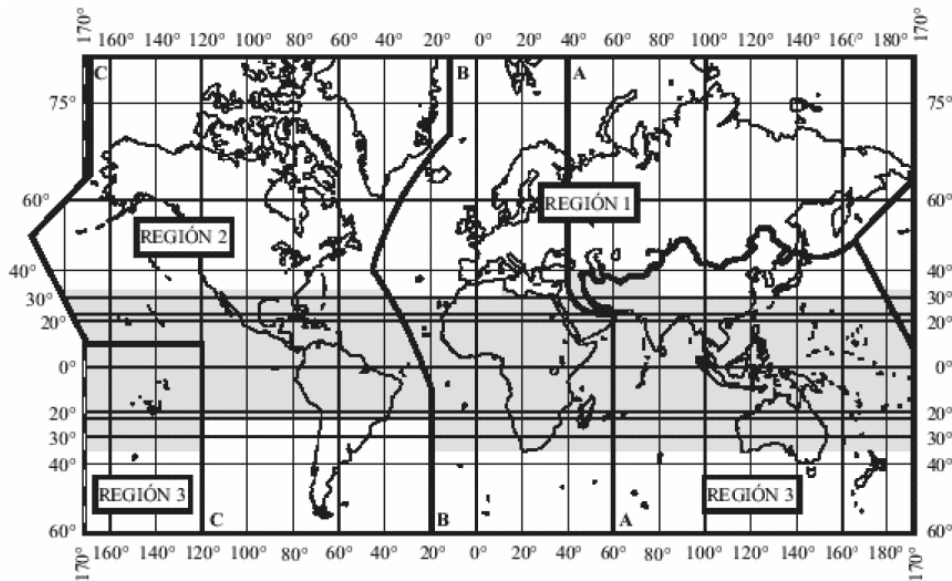


Figura V.2.1. Regiones establecidas por la ITU [DOF 0308]

Como se observa en dicha figura, la Región 1 comprende los continentes europeo y africano y la zona al norte de la Federación de Rusia que se encuentra entre las líneas A y C; la Región 2 comprende el continente americano y la Región 3 comprende Oceanía y el resto del continente asiático que no está cubierto por la Región 1.

De esta forma, en base a la división por regiones establecida por la ITU, la COFETEL publicó [DOF 0308] el cuadro para la Atribución Regional y Nacional, donde se observa la atribución de bandas en cada una de las tres diferentes Regiones, así como los servicios asignados a dichas bandas de frecuencias aquí en México.

Con base en todo lo anterior y tomando también en cuenta que la ITU define [DOF 0308] el servicio de radiodifusión como un “servicio de radiocomunicación cuyas emisiones se destinan a ser recibidas directamente por el público en general (dicho servicio abarca emisiones sonoras, de televisión o de otro género)”, podemos observar que en el cuadro de atribución regional y nacional de bandas existen ciertas bandas asignadas para los servicios de radiodifusión terrestre de audio en la Región 2; estas son:

1. Bandas de 535 a 1,605 kHz, de 1,605 a 1,625 kHz para el servicio de radiodifusión y de 1,625 a 1,705 kHz para servicios fijos, móviles y de radiodifusión.
2. Bandas de 88 a 100 MHz y 100 a 108 MHz para el servicio de radiodifusión.
3. Banda de 1,452 a 1,492 MHz para servicios fijos, de radiodifusión y radiodifusión por satélite.

Y de acuerdo a las notas mexicanas [DOF 0308], mostradas dentro del mismo cuadro de atribuciones, estas bandas se utilizan, en México, para los siguientes servicios:

1. Bandas de 535 a 1,605 kHz, de 1,605 a 1,625 kHz y de 1,625 a 1,705 kHz para el servicio de radiodifusión en AM.
2. Bandas de 88 a 100 MHz y 100 a 108 MHz para el servicio de radiodifusión en FM.
3. Banda de 1,452 a 1,492 MHz para establecer comunicaciones de radiotelefonía multicanal de punto a punto con capacidad de 120 comunicaciones de voz por



frecuencia asignada y sirve para satisfacer las necesidades de empresas públicas, privadas y paraestatales. Actualmente está en estudio el Plan de frecuencias para su eventual transferencia a otras bandas, a fin de dar cabida a la radiodifusión sonora digital.

2.2. Normas para las especificaciones espectrales para la radiodifusión

En cuanto a las características espectrales con las que deben cumplir las señales analógicas tanto en el sistema AM como en el de FM, la COFETEL publicó dos normas [NOM-01] [NOM-02] en las que se señalan las condiciones de transmisión que deben de cumplir las radiodifusoras de AM y FM para evitar interferencia a otros servicios y hacer un uso eficiente del espectro.

2.2.1. Sistemas analógicos de radiodifusión de AM

Para los sistemas de radiodifusión analógicos de AM se establecen las siguientes características de banda, canales y máscaras espectrales [NOM-01]:

- **Separación entre canales:** La separación entre canales es de 10 kHz; las frecuencias portadoras deben ser múltiplos enteros de 10 kHz, de 540 a 1600 kHz.
- **Identificación de canales:** Los 107 canales de la banda normal se identifican por su frecuencia portadora (frecuencia central del canal).
- **Anchura de banda y máscara de transmisión:** Todas las estaciones de radiodifusión sonora moduladas en amplitud, deben modular sus transmisiones con una anchura de banda de audio cuyo límite espectral a partir de 10 kHz se describe a continuación: a 10 kHz debe tener un nivel de -15 dB, aumentando la atenuación en forma continua hasta -30 dB a 10.5 kHz, permaneciendo en -30 dB hasta 11 kHz, en donde debe reducirse a -40 dB; a partir de 11 kHz, la atenuación aumentará en forma continua para alcanzar -50 dB en 15 kHz. En la figura V.2.2, se ilustra la gráfica del límite espectral de la anchura de banda de audiofrecuencia, la cual toma como referencia una señal de +10 dB para una onda senoidal de 200 Hz, modulando al transmisor al 90%.

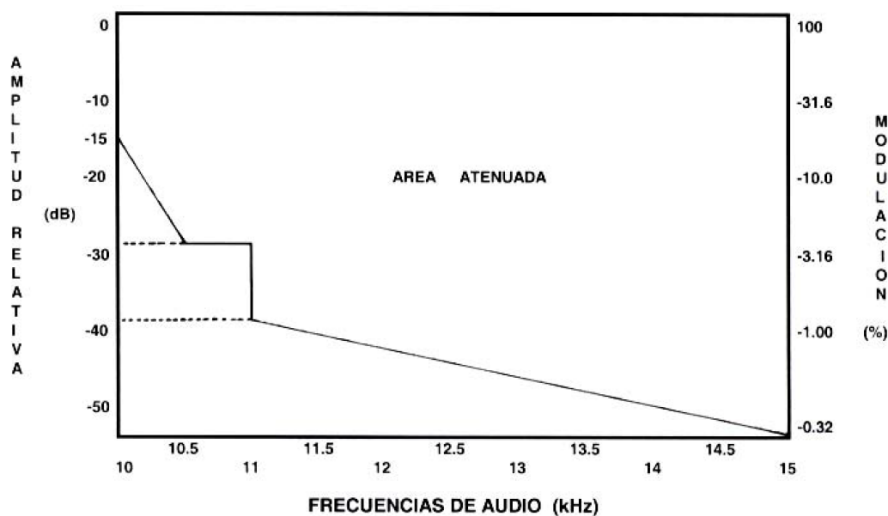


Figura V.2.2. Límite espectral de la anchura de banda de audiofrecuencia para la radiodifusión analógica en AM [NOM-01]

- **Emisiones no esenciales:** Las emisiones no esenciales, con respecto a la portadora sin modular, deben atenuarse:
 - de 10 a 20 kHz - 25 dB
 - de 20 a 30 kHz - 35 dB
 - de 30 a 75 kHz - (5 dB + 1 dB/kHz)
 - de 75 kHz en adelante - 80 dB para transmisores con potencias hasta de 5 kW.
 - Para potencias mayores de 5 kW, se debe considerar el valor que resulte de aplicar la expresión:

$$dB = - [43 + 10 \log P]$$

Donde P=Potencia en Watts

En la figura V.2.3 se muestra la máscara del espectro de emisión para una estación de radiodifusión sonora en AM.

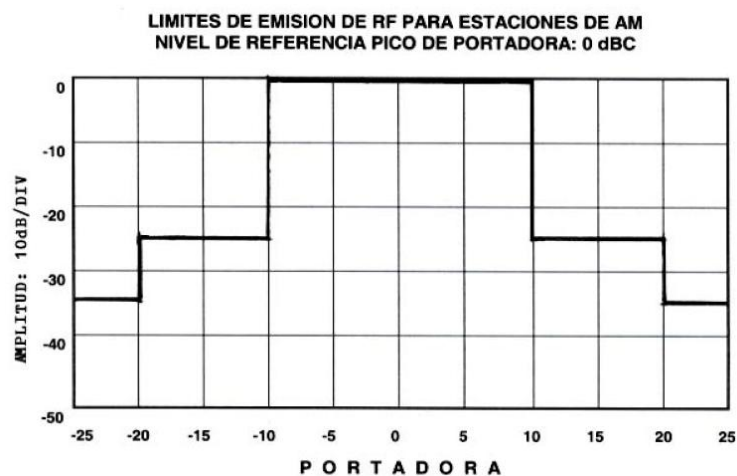


Figura V.2.3. Máscara del espectro de emisión para una estación de AM [NOM-01]

2.2.2. Sistemas analógicos de radiodifusión de FM

Para los sistemas de radiodifusión analógicos de FM se establecen las siguientes características de banda, canales y máscaras espectrales [NOM-02]:

- **Canal de radiodifusión de frecuencia modulada:** Es la parte del espectro de 200 kHz de anchura, asignado para estaciones de radiodifusión sonora de FM, que se caracteriza por el valor nominal de la frecuencia portadora situada en el centro de dicha parte del espectro.
- **Identificación de los canales:** Los canales de la banda de 88 a 108 MHz se identifican por su frecuencia portadora central y por el número del canal. Sus frecuencias centrales comienzan en 88.1 MHz y continúan sucesivamente hasta la de 107.9 MHz, con incrementos de 200 kHz.
- **Espectro de las emisiones:** Las emisiones producidas por una estación de radiodifusión de Frecuencia Modulada, deberán cumplir con los siguientes requisitos:
 - a. Los componentes del espectro comprendidos entre -120 y +120 kHz, tomando como 0 la frecuencia central (portadora), se consideran componentes esenciales para la transmisión de la información, por lo tanto no serán sujetos a ninguna atenuación, de aquí que la anchura de banda necesaria para una estación de FM, será de 240 kHz, tal como se describe en la figura V.2.4.

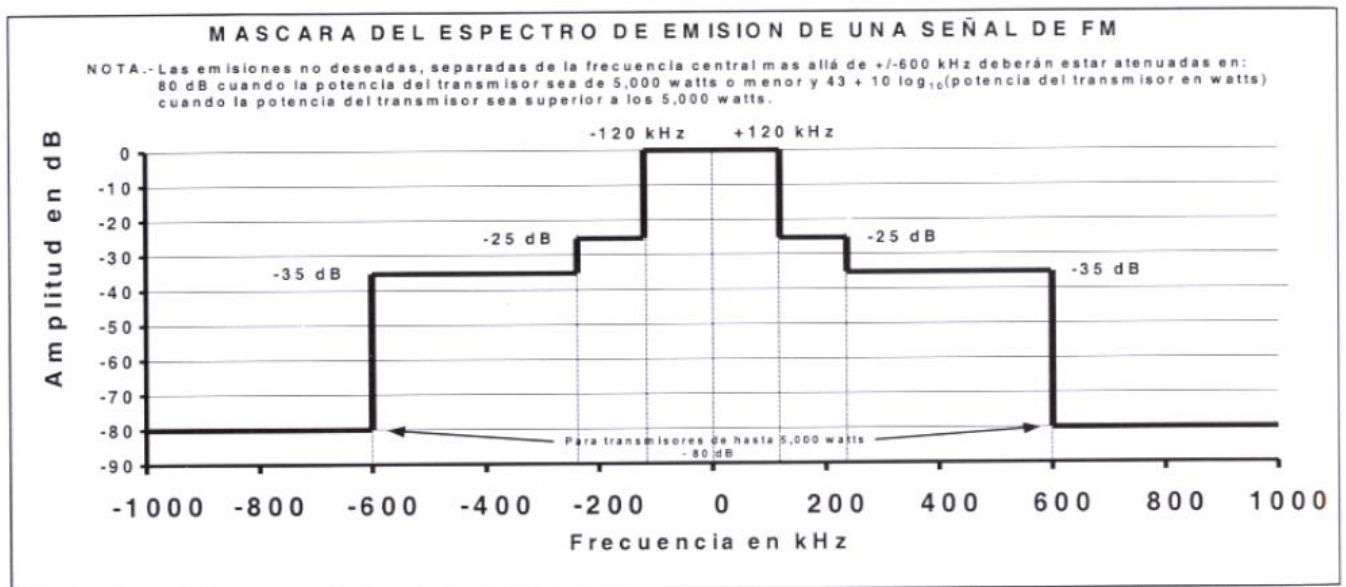


Figura V.2.4. Máscara del espectro de emisión para una estación de FM [NOM-02]

- b. Los componentes del espectro comprendidos de -120 a -240 kHz y de +120 a +240 kHz, tomando como 0 la frecuencia central (portadora), se consideran emisiones no deseadas, por lo que deberán tener una amplitud menor a -25 dB por debajo del nivel de la portadora, establecido como referencia cuando ésta no está modulada.
- c. Los componentes del espectro comprendidos de -240 a -600 kHz y de +240 a +600 kHz, tomando como 0 la frecuencia central (portadora), se consideran emisiones no deseadas, por lo que deberán tener una amplitud menor a -35 dB por debajo del nivel de la portadora, establecido como referencia cuando ésta no está modulada.
- d. Para los transmisores de hasta 5,000 W de potencia, todos los componentes del espectro que estén por debajo de -600 kHz y por arriba de los +600 kHz tomando como 0 la frecuencia central (portadora), se consideran emisiones no deseadas, por lo que deberán tener una amplitud menor a -80 dB por debajo del nivel de la portadora, establecido como referencia cuando ésta no está modulada.
- e. Para los transmisores cuya potencia sea superior a 5,000 W, todos los componentes del espectro que estén por debajo de -600 kHz y por arriba de los +600 kHz tomando como 0 la frecuencia central (portadora), se consideran emisiones no deseadas, por lo que deberán tener una amplitud menor a: $-43 \text{ dB} - 10 \log(\text{potencia del transmisor en W}) \text{ dB}$ por debajo del nivel de la portadora establecido como referencia cuando ésta no está modulada.



3. Cuadro comparativo de las tecnologías de radio digital terrestre

En este capítulo se muestra, a manera de resumen de los capítulos II, III y IV de este trabajo, un cuadro que contiene todos los datos técnicos que serán tomados en cuenta para la comparación de estándares, posteriormente se presenta una breve explicación de cada una de estas características así como su análisis.

La estructura de la tabla V.3.1 es la siguiente; está constituida por 4 columnas, de las cuales la primera presenta las características que serán tomadas en cuenta para la comparación de cada uno de los sistemas de radiodifusión digital presentados en este trabajo, las tres columnas restantes corresponden a cada uno de los estándares a analizar, IBOC, DRM y DAB.

Los aspectos que serán tomados en cuenta y que son los que se presentan en la tabla comparativa son los siguientes:

1. Banda de frecuencias utilizada para la transmisión de los servicios de radiodifusión digital.
2. Canal y ancho de banda utilizados para la transmisión de los servicios de radiodifusión digital.
3. Sistemas de radiodifusión analógicos que sustituye.
4. Capacidad de transmisión de datos del sistema.
5. Servicios de audio y valor agregado que ofrece el sistema de radiodifusión digital.
6. Codificación de canal utilizada por el sistema de radiodifusión digital.
7. Codificación de fuente utilizada por el sistema de radiodifusión digital.
8. Mejoras en la calidad de audio que ofrece.
9. Facilidad para la migración del sistema de radiodifusión analógico al sistema de radiodifusión digital y costos de la implementación.

Por último, en cada uno de los datos que se presentan, la tabla hace referencia al capítulo y la sección de donde se obtuvo dicha información para que sea más fácil la consulta de los mismos, en caso de requerirse.



Tabla V.3.1. Cuadro comparativo de las tecnologías de radiodifusión digital terrestre

Característica del sistema	Sistema de radiodifusión digital			Mejor estándar
	IBOC (capítulo II)	DRM (capítulo III)	DAB (capítulo IV)	
Banda de frecuencias	Bandas asignadas, en México, para AM y FM <i>(sección 3.5)</i>	Bandas asignadas, en México, para AM, FM y OC. <i>(sección 3.6)</i>	Bandas de VHF y UHF (Banda L y Bandas I a V) <i>(sección 3.2.1)</i>	IBOC
Canal y ancho de banda	Usa el mismo canal de la señal analógica y maneja 3 anchos de banda de acuerdo al tipo de señal: AM híbrida: 29,433.2 Hz AM digital: 18,895.4 Hz FM: 396,804 Hz <i>(sección 3.5)</i>	Puede utilizar el mismo canal de la señal analógica (simulcast de canal único (DRM30)) o puede usar un canal adyacente (simulcast multicanal (DRM30 Y DRM+)) <i>(sección 3.6)</i>	Ancho de banda nominal de 1.536 MHz y con canales cada 16 kHz. <i>(sección 3.2.2)</i>	IBOC
Sistema de radiodifusión analógico que sustituye	AM y FM	Sistemas de radiodifusión por debajo de los 30 MHz (DRM 30) y sistemas de radiodifusión analógicos en la banda de 30 a 174 MHz (DRM+)	Funcionar en las bandas de VHF y UHF, por lo que los sistemas AM y FM pueden seguir funcionando	IBOC
Capacidad de transmisión	AM: 36 a 40 kbps FM: 98 a 278 kbps Permite la multidifusión (3 programas independientes) <i>(sección 3.3.2)</i>	DRM30: 4.8 a 72 kbps DRM+: 37.2 a 186.3 kbps Permite la multidifusión (4 programas independientes) <i>(sección 3.3)</i>	Va de 8 a 384 kbps. Permite la multidifusión; hasta 9 programas independientes dentro de un mismo canal. <i>(sección 3.1.2)</i>	DAB
Servicios de audio y valor agregado	Permite la transmisión de: <ul style="list-style-type: none"> • Señales analógicas y digitales simultáneas. • Datos y audio de programas principal y complementarios. • Datos independientes a los servicios de audio. • Datos de identificación. <i>(capítulo 2)</i>	Permite: <ul style="list-style-type: none"> • Sintonizar AM, FM y DAB. • Transmisión de señales analógicas y digitales. • Envío de datos de identificación. • EPG, Journaline, MOT Slideshow, canal de tráfico, mensajes de texto y Diveemo. • Uso de SFN y MFN. <i>(capítulo 2)</i>	Permite: <ul style="list-style-type: none"> • Sintonizar AM, FM y DRM. • Envío de datos de identificación. • EPG, Journaline, TMC/TPEG y DMB. • Trabajar con GSM y DRM para ofrecer servicios bajo demanda y mayor contenido. • Uso de SFN en la Banda L. <i>(capítulo 2)</i>	DRM



Característica del sistema	Sistema de radiodifusión digital			Mejor estándar
	IBOC (capítulo II)	DRM (capítulo III)	DAB (capítulo IV)	
Codificación de canal	COFDM <i>(sección 3.4.2)</i>	COFDM <i>(sección 3.2.1)</i>	COFDM <i>(sección 3.1.3)</i>	
Codificación de fuente	HE-AAC <i>(sección 3.1)</i>	HE-AAC (DRM30 y DRM+) y CELP y HVXC (DRM30) <i>(sección 3.1.1)</i>	Ofrece 4 modos de audio y dos codecs MPEG2 (DAB) y HE-AAC (DAB+) <i>(sección 3.1.2)</i>	DAB
Calidad de audio	AM alcanza una calidad de audio igual a la FM analógica actual, mientras que FM alcanza una calidad de audio igual a la de un CD <i>(sección 1.2)</i>	AM alcanza una calidad de audio igual a la FM analógica actual, mientras que FM ofrece la posibilidad de la transmisión de sonido envolvente <i>(sección 1.2)</i>	Permite la transmisión de sonido envolvente <i>(sección 1.2)</i>	DRM
Facilidad para la migración y costos adicionales de implementación	AM: Ofrece una configuración para adaptar el equipo analógico actual y poder transmitir la señal híbrida. FM: Ofrece tres configuraciones para adaptar el equipo analógico actual y poder transmitir la señal híbrida. Cuenta con una gran variedad de receptores disponibles. <i>(capítulo 4)</i>	AM: Ofrece una configuración para adaptar el equipo analógico actual y poder transmitir la señal híbrida. FM: Ofrece tres configuraciones para adaptar el equipo analógico actual y poder transmitir la señal híbrida: Actualmente se han desarrollado pocos receptores para DRM30 y aún no existe ningún receptor disponible para DRM+. <i>(capítulo 4)</i>	Por trabajar en bandas diferentes a las asignadas para la radiodifusión en México, es necesario adquirir equipos de transmisión y antenas nuevos. Además, cuenta con una gran variedad de receptores disponibles para los usuarios <i>(capítulo 4)</i>	DRM



3.1. Análisis de la tabla comparativa de estándares de radio digital

En esta sección se presenta una breve explicación de cada uno de los puntos considerados para la comparación de los estándares, para posteriormente exponer las ventajas y desventajas que presenta cada sistema en cada uno de los puntos analizados.

3.1.1. Banda de frecuencias en las que transmite la señal digital

Como se mencionó en la sección 2.1 de este capítulo, en México, según el Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencias [DOF 0308], existen varias bandas en donde es posible ofrecer servicios de radiodifusión sonora; estas bandas son:

- Bandas de 535 a 1,605 kHz, de 1,605 a 1,625 kHz y de 1,625 a 1,705 kHz
- Bandas de 88 a 100 MHz y 100 a 108 MHz
- Banda de 1,452 a 1,492 MHz

De estas bandas, el primer grupo (de 535 a 1,705 kHz) en México es utilizado para la radiodifusión sonora en AM, el segundo grupo (88 a 108 MHz) para la radiodifusión sonora en FM y finalmente, el tercer grupo (1,452 a 1,492 MHz) se utiliza principalmente para el servicio de radiotelefonía.

Por esta razón, y de acuerdo a la tabla V.3.1, vemos que en este caso, sería posible la adopción de los estándares IBOC o DRM, ya que estos trabajan en las bandas ya establecidas para los servicios de radiodifusión sonora.

Por su parte, el sistema DAB, al trabajar en la Banda L (1,452 a 1,492 MHz) requeriría de que esta banda fuese liberada para poder ser utilizada para el servicio de radiodifusión digital sonora y evitar así posibles interferencias negativas con los servicios que se ofrecen actualmente en esta banda. Esto podría ocasionar un serio problema, ya que la COFETEL se vería en la necesidad de realizar los cambios necesarios a las concesiones, y esto podría traer problemas a nivel internacional, ya que se corre el riesgo de que existan interferencias con los servicios prestados en esa misma banda por otras naciones.

3.1.2. Canal y ancho de banda utilizado por la señal digital

Este es uno de los aspectos más importantes a considerar, ya que en varias zonas del país, actualmente no se cuenta con el espacio suficiente de espectro debido a la gran demanda del espectro que existe; por esta razón, el sistema que se elija debe apegarse lo más posible a las condiciones ya establecidas de asignación de canales y anchos de banda, sobre todo para evitar problemas de interferencias o saturación del espectro.

Así pues, de acuerdo a lo establecido por la COFETEL tanto para las transmisiones de AM [NOM-01] como para las de FM [NOM-02], las nuevas señales digitales, en caso de utilizarse las bandas ya asignadas para la transmisión, deben contar con anchos de banda de 20 kHz para el caso de AM y de 240 kHz para el caso de FM.

En este caso, podemos ver (tabla V.3.1) que cada sistema tiene diferentes condiciones:

El sistema IBOC respeta tanto las asignaciones de canal como de ancho de banda al colocar las transmisiones digitales en bandas laterales a la banda utilizada por la señal analógica. Con esto, el sistema permite su aplicación en zonas donde existe una saturación del espectro.

Por su parte, el sistema DRM también permite el uso del mismo canal para la transmisión de ambas señales (analógica y digital), esto lo consigue mediante la transmisión de una banda lateral digital y la otra banda lateral analógica. Sin embargo, esto solo es posible para sistemas por debajo de los 30 MHz (sistema DRM) y la principal desventaja de esto es que no



permite explotar al máximo las ventajas de transmisión que ofrece el sistema. En lo referente al sistema DRM+, la única opción de transmisión es la transmisión multicanal, donde se requiere el uso de un canal independiente para la transmisión de la señal digital. La principal desventaja de esto es que en zonas donde ya no sea posible asignar otro canal a las radiodifusoras, la implementación de este sistema sería muy complicada, además de que requeriría la licitación de un nuevo canal de frecuencia por parte de las radiodifusoras.

Por último, el sistema DAB, no presenta ningún problema en cuanto a la asignación de canales y anchos de banda, ya que al trabajar en una banda de frecuencias totalmente diferente, la COFETEL sería la encargada de establecer el número de canales necesarios dentro de la nueva banda y de esta manera poder cubrir la demanda.

3.1.3. Sistemas de radiodifusión analógicos que sustituye

En México actualmente se encuentran vigentes los servicios de radiodifusión sonora en AM (banda de 535 a 1,705 kHz) y en FM (88 a 108 MHz), por lo que es importante el poder adoptar un sistema que cubra ambas bandas de frecuencias, o en su defecto, dos sistemas que en conjunto, cubran ambas bandas, esto para permitir que el usuario tenga acceso a los servicios disponibles en ambas bandas, sin necesidad de tener que adquirir dos equipos receptores independientes.

Entonces, de acuerdo a la tabla V.3.1, podemos ver que, el sistema IBOC cuenta con la ventaja importante de que, adoptando un solo estándar de radiodifusión digital, es posible realizar la migración de tecnología en ambas bandas de radiodifusión; sin embargo, al añadir las bandas digitales a la señal analógica (en el caso de las transmisiones híbridas), puede haber problemas de interferencia a las señales analógicas de las bandas adyacentes.

El sistema DRM, por su parte, tiene la desventaja de que DRM+ es una tecnología que aún no se encuentra totalmente desarrollada, lo que podría traer problemas al momento de querer difundir el contenido digital, y que la opción de equipos transmisores y receptores es reducida. Lo anterior podría solucionarse adoptando también el sistema DAB, ya que este podría cubrir sin problemas a las radiodifusoras que trabajan por arriba de los 30 MHz y ambos sistemas fueron desarrollados de manera tal que se complementen el uno al otro. Sin embargo, el problema de esto es que el trabajar con dos tecnologías diferentes podría traer problemas en la homologación de las transmisiones.

Por último, el sistema DAB no necesariamente debe sustituir las transmisiones de audio analógico que se realizan actualmente, ya que este sistema está diseñado para trabajar en bandas de frecuencia totalmente diferentes y, por lo tanto, no causaría ningún tipo de interferencia a las señales analógicas de AM y FM

3.1.4. Capacidad de transmisión de datos del sistema

Este punto también se considera como un punto importante porque, de esta característica depende la cantidad de servicios (audio o datos) que se pueden enviar, así como de la calidad de audio ofrecida por los radiodifusores.

El sistema DAB ofrece, además de dos diferentes frecuencias de muestreo de audio, cuatro tipos distintos de modo de audio, los cuales permiten mejorar el uso de la capacidad disponible, además el uso de la UEP y EEP durante la codificación, permite optimizar también el uso del espectro, ya que de esta forma es posible asignar niveles de protección a la información que se está transmitiendo. De esta forma, el sistema DAB permite, entre muchos otros servicios de datos, el envío de 9 programas diferentes dentro del sub canal asignado.

Por su parte, el sistema DRM también ofrece una gran variedad de velocidades de transmisión, las cuales dependen del modo de robustez, modulación, codificación y tipo de simulcast (ancho de banda de la señal digital) seleccionado. Entonces, podemos ver que, como ya se mencionó con



anterioridad, para poder explotar al máximo todas las ventajas y tipos de servicios que ofrece este sistema, es necesario optar por un modo de simulcast multicanal; de esta manera podremos obtener mayores velocidades de transmisión, que a su vez permitirán la aplicación de una mayor cantidad de servicios, tanto de audio como de datos.

Finalmente, el sistema IBOC también ofrece diferentes velocidades de transmisión, dependiendo del SM utilizado para la transmisión. Sin embargo, la selección del SM que se utilizará no depende directamente del radiodifusor, aquí el sistema, dependiendo de la cantidad y tipos de datos a transmitir, es el encargado de establecer el SM, y por lo tanto, las características de transmisión de la señal digital. Además, este sistema es el que ofrece la menor cantidad de programas de audio independientes, al ser capaz de transmitir únicamente 3 programas diferentes dentro del mismo canal de transmisión.

3.1.5. Servicios de audio y valor agregado que ofrece

Además de mejorar la calidad de audio radiodifundido, otra ventaja que ofrecen estos tres sistemas de radiodifusión es la capacidad de transmitir datos que pueden estar o no relacionados con el servicio de audio, además de ofrecer diferentes servicios de valor agregado.

El sistema IBOC es capaz de manejar 4 tipos de datos diferentes; el primero de ellos es el que abarca todos los datos relacionados con el MPS, es decir, todos aquellos datos que proporcionen información adicional sobre el programa principal de audio; el segundo grupo es el de los datos relacionados con el SPS, donde se engloban los datos destinados a ofrecer mayor información sobre el o los programas complementarios; después tenemos los datos fijos y oportunistas, los cuales pueden utilizarse para ofrecer información sobre anuncios o alarmas de tráfico, clima, etc.; finalmente tenemos los datos relacionados con la identificación de la estación.

En cuanto a los servicios de audio, el sistema IBOC es capaz de enviar 3 programas de audio digital de forma independiente, además de que los receptores son capaces de decodificar tanto las señales analógicas como las digitales (en el caso del modo de transmisión híbrido).

El sistema DRM, por su parte, ofrece una amplia variedad de servicios de datos y de valor agregado. En primer lugar están los datos obligatorios de identificación del programa (esto para permitir la localización de los servicios por parte del usuario, ya que la transmisión se realiza en otro canal de transmisión); después están la EPG, que es una lista diseñada para que el usuario sea capaz de revisar los horarios de transmisión de los servicios de audio y programar recordatorios, Journaline, que es una aplicación que permite al usuario tener acceso a archivos de datos dependiendo de su interés, MOT slideshow, aplicación que permite el envío de imágenes (que pueden ser independientes o no del sistema de audio), canal de tráfico, que está diseñado específicamente para enviar alertas de tráfico al usuario y, finalmente, Diveemo, que es una aplicación que permite al sistema DRM el envío de video.

Además, el sistema DRM permite el envío de hasta cuatro tramas de audio independientes (dentro del mismo canal), y los receptores están diseñados para permitir al usuario la sintonización de servicios de AM y FM analógicos, así como de servicios DAB y DRM.

Por último, el sistema DAB ofrece también una gran variedad de servicios de datos como la relacionada con la identificación del servicio de audio, la radiodifusión de sitios web, un canal de tráfico (TMC/TPEG) y otros que son compatibles con el sistema DRM como la EPG y Journaline. Además, DAB también cuenta con su aplicación para la transmisión de video (DMB) y la capacidad de transmitir servicios bajo demanda gracias a que se apoya en el sistema GSM.

Finalmente, como ya también se mencionó, el sistema DAB es capaz de transmitir hasta 9 programaciones digitales de audio de forma independiente (dentro del mismo canal de transmisión), además de que los receptores son capaces de sintonizar las señales de AM y FM de los sistemas de radiodifusión analógica, así como servicios DRM.



3.1.6. Codificación de canal

La codificación de canal es el proceso encargado de introducir, de manera controlada, algo de redundancia en la secuencia de información que pueda ser usada en el receptor para superar los efectos de ruido e interferencia que introduce el canal, es decir, sirve para incrementar la confiabilidad de los datos recibidos y mejorar la fidelidad de la señal recibida.

Así pues, en este caso los tres sistemas de radiodifusión digital utilizan el método COFDM, el cual ofrece varias ventajas en la transmisión de la señal digital. Estas son:

- Reduce la interferencia entre símbolos, la cual es causada por la trayectoria múltiple de la señal.
- Resuelve el problema de los desvanecimientos de la señal.
- Permite agregar a la señal diferentes niveles de protección contra errores.

Para agregar la protección contra errores, los tres sistemas utilizan la codificación convolucional, que es una de las técnicas FEC más adecuadas en canales en los que la señal transmitida se ve corrompida principalmente por ruido gaussiano blanco y aditivo (AWGN).

3.1.7. Codificación de fuente

En cuanto a la codificación de fuente se refiere, podemos ver (tabla V.3.1) que también existe cierta similitud. Los tres estándares utilizan la codificación HE-AAC, la cual ofrece una mayor calidad de audio y velocidades de transmisión.

Sin embargo, el sistema DRM ofrece, para los modos DRM30, otros dos codificadores, los cuales tienen buen funcionamiento a bajas tasas de transmisión y sirven únicamente para la codificación de voz, estos son los codificadores CELP y HVXC.

Por su parte, el sistema DAB utiliza el codificador MPEG2 mientras que el sistema DAB+ utiliza el codificador HE-AAC y ofrece, además, 4 modos diferentes de audio, los cuales van desde la transmisión de audio monofónico hasta la transmisión de dos canales independientes de audio.

3.1.8. Calidad de audio digital

Dado que la principal ventaja de los sistemas de radiodifusión digital es que permiten el envío de una mayor cantidad de información, es claro que una de las mejoras que ofrecen, además de la inclusión de datos dentro de la transmisión, es el poder ofrecer al usuario una mejor calidad de audio que la que se recibe actualmente con los sistemas de radiodifusión analógicos.

En el caso del sistema IBOC, en las transmisiones digitales de AM, cuando se utiliza la forma de onda totalmente digital, se obtiene una calidad de audio igual a la del sistema FM analógico actual. Para las transmisiones digitales de FM, igual en la forma de onda totalmente digital, se obtiene una calidad de audio igual a la de un CD actual.

Para el sistema DRM, al igual que en el caso anterior, en las transmisiones digitales de AM se puede obtener una calidad de audio igual a la del sistema FM analógico actual, siempre y cuando se utilice el modo simulcast multicanal. El sistema FM digital, por su parte, permite la transmisión de sonido envolvente, siempre y cuando se transmita en modo simulcast multicanal.

Finalmente, el sistema DAB también permite la transmisión de sonido envolvente.

3.1.9. Facilidad para la migración de tecnologías y costos adicionales de implementación

En este último rubro de comparación podemos ver (tabla V.3.1) que para las tecnologías que trabajan en las mismas bandas asignadas para la radiodifusión de AM y FM analógicas (IBOC y DRM) existe la posibilidad de adaptar los equipos de transmisión actuales para poder



generar las señales híbridas, teniendo una posibilidad de configuración para los sistemas de AM y 3 configuraciones (combinación de bajo nivel, combinación de alto nivel y configuración de antenas separadas) para los sistemas de FM. Para el caso de FM, el radiodifusor está en completa libertad de elegir la configuración que desee, de acuerdo a sus posibilidades y características del sitio de transmisión, sin olvidar que cada una de las diferentes configuraciones tiene diferentes requerimientos tanto de espacio, como de equipos y potencia.

Lo anterior hace que, en caso de ser adoptada cualquiera de las dos tecnologías anteriores, los radiodifusores tengan la oportunidad de ir adecuando poco a poco sus sitios de transmisión, por lo que se puede considerar que los sistemas IBOC y DRM son sistemas flexibles, ya que permiten una transición periódica de tecnologías.

Por su parte, el sistema DAB, dado que utiliza bandas de frecuencias diferentes a las asignadas para la radiodifusión en México, en caso de ser adoptado, requeriría de que los radiodifusores renovaran totalmente todos los equipos utilizados para la generación y transmisión de la señal. Lo anterior podría representar un problema ya que, pueden existir radiodifusoras que no cuenten con el capital suficiente para realizar la compra de equipo de transmisión nuevo, por lo que estarían en desventaja comparadas con aquellas que cuentan con la capacidad de hacer la inversión inmediata.



CAPÍTULO VI. CONCLUSIONES

El objetivo principal de la migración de la tecnología de radiodifusión de audio analógico terrestre al digital, tiene como principal objetivo el hacer un uso más eficiente del espectro radioeléctrico, ya que las tecnologías de radiodifusión digital terrestre de audio mejoran la calidad de las transmisiones, permiten la transmisión de varios canales de audio independientes utilizando el mismo ancho de banda de una señal analógica, por lo que es posible la transmisión de una mayor cantidad de información que va desde audio y datos asociados o no al mismo, hasta video en algunos casos.

Teniendo esto en cuenta, se desarrollaron alrededor del mundo, diferentes estándares de radiodifusión de audio digital terrestre capaces de ofrecer una mayor cantidad de servicios a los usuarios, quienes solo deben cambiar su equipo receptor para poder acceder a ellos. Dentro de los principales estándares que se han desarrollado están el sistema IBOC en Estados Unidos, y los sistemas DAB y DRM en Europa, cuyas características técnicas y de servicios fueron presentadas a lo largo de este trabajo.

A pesar de que cada uno de estos sistemas fueron desarrollados de forma independiente, al comparar estos tres sistemas es fácil observar que existen ciertas similitudes entre ellos que les permiten ofrecer una transición de tecnologías que no sea problemática ni para los radiodifusores ni para los usuarios, además de poder agregar una mayor cantidad de información dentro de la señal de audio.

La primera de ellas es la referente a la codificación de canal; las tres tecnologías utilizan COFDM como método de codificación, esto porque COFDM ofrece una mayor protección contra los problemas de recepción ocasionados por la trayectoria múltiple, desvanecimientos e interferencias causadas por otras fuentes, gracias a que codifica la señal antes de la modulación y para su transmisión utiliza una gran cantidad de sub portadoras, en lugar de utilizar solo una como en las modulaciones AM y FM.

Otra similitud es la capacidad que tienen estos sistemas para soportar la multidifusión, aunque cada uno de ellos es capaz de ofrecer diferente número de servicios de audio dependiendo de las características de transmisión de la señal con las que trabaje (hasta 3 servicios de audio para IBOC, 4 servicios para DRM y 9 para DAB).

Finalmente, otra similitud es el hecho de que los tres sistemas utilizan, para la codificación de fuente, el codificador HE-AAC, el cual es el codificador más avanzado que existe actualmente y que permite ofrecer una mejor calidad de audio.

En cuanto al resto de las características analizadas en este trabajo, las diferencias que se encontraron entre ellos no son significativas; sin embargo, existen dos puntos que son los decisivos para poder recomendar la adopción de alguna de estas tres tecnologías en México, estos son las bandas de transmisión y el ancho de banda y el canal asignado a la señal digital. Lo anterior debido a que es necesario que México cumpla con lo establecido en el Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencias [DOF 0308] para evitar interferencias, no solo a otros servicios de radiodifusión ofrecidos dentro del territorio nacional, sino también a servicios ofrecidos por otros países.

En consecuencia, de los tres sistemas posibles (DAB, DRM y IBOC), el menos factible para su uso en México es el sistema DAB, ya que a pesar de que dentro de las notas mexicanas



presentes en el Cuadro de Atribución de Frecuencias [DOF 0308], se establece que actualmente está en estudio la eventual transferencia de los servicios que operan en la Banda L, para poder dar cabida a la radiodifusión sonora digital, las autoridades mexicanas aún no han publicado resolución alguna al respecto, además de que el uso de esta banda para el servicio de radiodifusión sonora digital, podría traer problemas de interferencia en las zonas fronterizas, ya que en Estados Unidos esta banda es utilizada con otros propósitos. Además, otra desventaja de este sistema es que requeriría una mayor inversión inmediata por parte de usuarios y radiodifusores, ya que al trabajar en otra banda diferente a la asignada actualmente para dicho servicio, es necesario que los radiodifusores adquieran equipos totalmente nuevos de generación y transmisión de la señal.

Además otro problema que surge al adoptar el sistema DAB en México es el hecho de que este sistema funciona con una señal de banda ancha donde se multiplexan todos los servicios de audio y datos generados por las diferentes radiodifusoras; esto obligaría a dividir el mercado de la radiodifusión en dos partes, por un lado estarían los radiodifusores que se encargarían exclusivamente de generar el contenido que será transmitido y por el otro sería necesario crear un organismo que estaría encargado de recibir el contenido de cada radiodifusora, procesarlo y multiplexarlo para poder generar la señal DAB de banda ancha.

Por su parte, los sistemas IBOC y DRM son bastante parecidos en cuanto a su funcionamiento, servicios de valor agregado que ofrecen, capacidad de transmisión de datos y facilidades para la migración de la tecnología; sin embargo, el sistema DRM tiene ciertas desventajas respecto al sistema IBOC. La primera de ellas es que para poder implementar esta tecnología, las radiodifusoras tendrían que esperar a que la COFETEL iniciara un proceso de licitación de más canales de frecuencia para poder transmitir la señal digital, lo que podría retrasar un poco el proceso de digitalización de las transmisiones, además de que las radiodifusoras tendrían que cambiar su frecuencia de transmisión y esto podría representar un problema para los radioescuchas que identifican su estación favorita por la frecuencia de transmisión y no por su nombre; por otro lado, está el hecho de que el sistema DRM+ es un sistema relativamente nuevo y no se encuentra completamente desarrollado, y esto ha llevado a que su penetración a nivel mundial no sea muy grande y, por lo tanto, no existen modelos de receptores disponibles para este sistema.

Así pues, en conclusión, yo opino que el mejor sistema para ser adoptado por México para los sistemas de radiodifusión digital terrestre de audio es, como ya lo anunció la COFETEL, el sistema IBOC. La primera razón es porque, al utilizar el mismo canal para transmitir ya sea una señal híbrida o una digital, las radiodifusoras no necesitan realizar ningún trámite extra más que el de pedir permiso para comenzar sus transmisiones híbridas, además de que para los usuarios será más fácil comenzar a disfrutar de los servicios digitales ya que no será necesario que busquen su estación en una frecuencia diferente, basta con que adquieran el receptor de HD Radio para poder recibir ya sean los servicios de audio analógico o los servicios digitales.

Además, gracias a que la señal digital que se agrega a la señal analógica (en el caso de la transmisión de la señal híbrida) cumple con los niveles de potencia establecidos en las máscaras de transmisión analógicas definidas para México [NOM-01] [NOM-02], los problemas de interferencia que pudieran presentarse al momento de iniciar las transmisiones digitales deberán ser mínimos o nulos.



Por otro lado, el sistema IBOC, al igual que DRM y DAB, permite la multidifusión, característica que permitirá a los radiodifusores expandir sus mercados, ya que ahora serán capaces de transmitir diferentes servicios de audio (con sus datos asociados) independientes, todos dentro de su ancho de banda ya asignado. En cuanto a los servicios de valor agregado se refiere, actualmente el sistema IBOC ofrece servicios de datos asociados al programa, que son todos aquellos datos destinados a ofrecer información extra sobre el programa de audio que se está transmitiendo, capacidad de transmisión de datos independientes al programa de audio, los cuales pueden ser utilizados para transmitir mensajes cortos como alertas de clima y tráfico, y finalmente, gracias a que dentro de la señal digital IBOC se incluyen los datos de la posición del transmisor, los usuarios serán capaces de recibir anuncios de servicios que se encuentren cerca de su posición actual (anuncios de restaurantes, tiendas, y otros comercios). Otro de los servicios con los que cuentan los receptores IBOC actualmente, es la capacidad de detener la reproducción del programa de audio y poder iniciarlo más tarde sin perder ningún detalle del mismo (almacenamiento de audio), además, será posible marcar las canciones o los programas que se estén escuchando para poder comprarlos o descargarlos mediante iTunes.

Otra ventaja económica muy importante para los radiodifusores es que, gracias a que el sistema IBOC ya se encuentra actualmente funcionando en los Estados Unidos, y dado que México adoptó ya el mismo sistema, las radiodifusoras que se encuentran en la zona fronteriza con ese país podrán expandir su mercado no solo dentro del territorio mexicano, sino que podrán ofrecer contenido también para los radioescuchas de Estados Unidos. Lo anterior debido a que las radiodifusoras podrán tener, por ejemplo, un canal de audio dedicado al público mexicano y otro canal de audio dedicado al público estadounidense; estos canales incluso podrían estar transmitiendo el mismo contenido de programación, pero en idiomas diferentes.

Finalmente, algo que parecía ser una desventaja para el sistema IBOC respecto a DAB y DRM, era el hecho de que este sistema requería del pago de una licencia para poder utilizarlo, además de que sus actualizaciones también tendrían un costo; sin embargo, en la *53 Semana de la Radio y la Televisión*, organizada por la CIRT, el Ing. John Schneider, Director de Desarrollo de Negocios para América Latina, anunció que ninguna de las cuotas mencionadas aplicará para las radiodifusoras que deseen comenzar con las transmisiones digitales.

Es así como yo creo que el sistema IBOC es el adecuado para su aplicación en México, porque se tiene la ventaja de que es un sistema que ya ha sido adoptado de forma exitosa en Estados Unidos, y por lo tanto ya se cuenta con una amplia variedad de receptores, tanto fijos como móviles; además las radiodifusoras tendrán la oportunidad de explotar al máximo la característica de multidifusión porque serán capaces de cubrir ya no solo el territorio nacional sino que podrán impactar también en el público de Estados Unidos. Finalmente, su adopción no requiere de modificar en gran medida la normativa que existe actualmente en cuanto a la radiodifusión sonora en México, ya que el sistema es capaz de trabajar dentro del canal ya asignado a cada radiodifusora, dentro de la banda destinada para dicho servicio.



**GLOSARIO**

AAB	Analog Audio Bandwidth Control (Control del Ancho de Banda del Audio Analógico)
AAC	Advanced Audio Coder
AAS	Advance Application Services (Servicios de Aplicación Avanzada)
AF	Alternative Frequency (Frecuencia Alternativa)
AFS	Alternative Frequency Signalling (Señalización de Frecuencia Alternativa)
ASF	Amplitude Scale Factor Select (Selección del Factor de escala de Amplitud)
BPSK	Binary Phase Shift Keying
CA	Conditional Access (Acceso Condicionado)
CD	Compact Disc (Disco Compacto)
CELP	Code Excited Linear Prediction
CIF	Common Interleaved Frames (Tramas Comunes Entrelazadas)
CIRT	Cámara Nacional de la Industria de Radio y Televisión
COFDM	Coded Orthogonal Frequency Division Multiplexing (Multiplexación por División Ortogonal de Frecuencia Codificada)
COFETEL	Comisión Federal de Telecomunicaciones
CU	Capacity Unit (Unidad de Capacidad)
DAB	Digital Audio Broadcasting System (Sistema de Radiodifusión de audio digital)
DCP	Distribution and Communications Protocol (Protocolo de Comunicaciones y Distribución)
DQPSK	Differential Quadrature Phase Shift Keying
DRM	Digital Radio Mondiale
EEP	Equal Error Protection (Protección Proporcional contra Errores)
EPG	Electronic Program Guide (Guía de Programación Electrónica)
ETSI	European Telecommunications Standards Institute (Instituto de Estándares Europeos de Telecomunicaciones)
FAC	Fast Access Channel (Canal de Acceso Rápido)
FCC	Federal Communications Commission (Comisión Federal de Comunicaciones)
FEC	Forward Error Correction (Corrección de Errores Hacia Adelante)
FIB	Fast Information Block (Bloque de Información Rápida)
FIC	Fast Information Channel (Canal de Información Rápida)
FIDC	Fast Information Data Channel (Canal de Datos de Información Rápida)
GPRS	General Packet Radio Service (Servicio General de Paquetes Vía Radio)
GSM	Global System for Mobile Communications (Sistema Global para las Comunicaciones Móviles)
HD	High Definition (Alta Definición)
HF	High Frequency (Frecuencia Alta)
HVXC	Harmonic Vector Excitation Coding
IBOC	In-Band On Channel System (Sistema en banda dentro del canal)
ISO OSI	International Standards Organization Open System Interconnection
ITU	International Telecommunications Union (Unión Internacional de Telecomunicaciones)
L1	Layer 1 (Capa 1)
L2	Layer 2 (Capa 2)
LC	Logical Channel (Canal Lógico)



MCI	Multiplex Configuration Information (Información de Configuración del Multiplex)
MDI	Multiplex Distribution Interface (Interfaz de Distribución del Multiplex)
MF	Medium Frequency (Frecuencia Media)
MFN	Multi Frequency Network (Red de Frecuencia Múltiple)
MPS	Main Program Service (Servicio del Programa Principal)
MPSA	Main Program Service Audio (Audio del Servicio del Programa Principal)
MPSD	Main Program Service Data (Datos del Servicio del Programa Principal)
MSC	Main Service Channel (Canal del Servicio Principal)
MSG ID	Message Identification (Identificador de Mensaje)
MW	Midwave (Onda Media)
NAB	National Association of Broadcasters (Asociación Nacional de Radiodifusores)
NRSC	National Radio Systems Committee (Comité Nacional de Sistemas de Radio)
OC	Onda corta
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing (Multiplexación por División Ortogonal de Frecuencia)
PAD	Program Associated Data (Datos Asociados al Programa)
PCM	Pulse Coded Modulation (Modulación por Pulsos Codificados)
PDM	Pulse Duration Modulation (Modulación por Duración de Pulso)
PDU	Protocol Data Unit (Unidad de Datos de Protocolo)
PIDS	Primary IBOC Data Service (Servicio de Datos Primarios IBOC)
PL	Power Level Control (Control de Nivel de Potencia)
PM	Primary Main (Primaria Principal)
PSD	Program Service Data (Datos de Servicio Del Programa)
PSM	Primary Service Mode Control (Control de Modo de Servicio Primario)
PX	Primary Extended (Primaria Extendida)
QAM	Quadrature Amplitude Modulation (Modulación de Amplitud en Cuadratura)
QPSK	Quadrature Phase Shift Keying
RF	Radio Frequency (Radio Frecuencia)
SBR	Spectral Band Replication (Réplica de Banda Espectral)
SCCH	System Control Channel (Canal de Control del Sistema)
SDC	Service Description Channel (Canal de Descripción del Servicio)
SEM	Secondary Main (Secundaria Principal)
SFN	Single Frequency Network (Red de Frecuencia Única)
SI	Service Information (Información del Servicio)
SIDS	Secondary IBOC Data Service (Servicio de Datos Secundarios IBOC)
SIS	Station Information Service (Servicio de Información de Estación)
SM	Service Mode (Modo de Servicio)
SMC	Service Mode Control (Control de Modo de Servicio)
SP	Secondary Protected (Secundaria Protegida)
SPS	Supplemental Program Service (Servicio del Programa Complementario)
SPSA	Supplemental Program Service Audio (Audio del Servicio del Programa Complementario)
SPSD	Supplemental Program Service Data (Datos del Servicio del Programa Complementario)
SSB	Single SideBand (Banda Lateral Única)
SSM	Secondary Service Mode Control (Control de Modo de Servicio Secundario)



SX	Secondary Extended (Secundaria Extendida)
TMC	Traffic Message Channel (Canal de Mensajes de Tráfico)
TPEG	Transport Protocol Expert Group
UEP	Unequal Error Protection (Protección Desproporcional contra Errores)
UHF	Ultra High Frequency (Frecuencia Ultra Alta)
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System (Sistema Universal de Telecomunicaciones Móviles)
VHF	Very High Frequency (Frecuencia Muy Alta)





BIBLIOGRAFÍA

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

- [COF 0411] Comisión Federal de Telecomunicaciones. *“Aprueba COFETEL medidas en beneficio de los usuarios de telefonía móvil”*. Comunicado de prensa no. 04/2011
- [COF 3810] Comisión Federal de Telecomunicaciones. *“Aprueba COFETEL autorizaciones de cambio de frecuencias para la transición de AM a FM”*. Comunicado de prensa no. 38/2010
- [DOF 0300] Diario Oficial de la Federación. *“Acuerdo por el que se reserva el uso de bandas de frecuencias del espectro radioeléctrico, para realizar trabajos de investigación y desarrollo, relacionados con la introducción de la radiodifusión digital”*. Marzo, 2000
- [DOF 0508] Diario Oficial de la Federación. *“Lineamientos para la transición a la Radio Digital Terrestre (RDT), de las estaciones de radiodifusión sonora ubicadas dentro de la zona de 320 kilómetros de la frontera Norte de México”*. Mayo, 2008
- [DOF 0511] Diario Oficial de la Federación. *“Acuerdo por el que se adopta el estándar para la radio digital terrestre y se establece la política para que los concesionarios y permisionarios de radiodifusión en las bandas 535-1705 kHz y 88-108 MHz, lleven a cabo la transición a la tecnología digital en forma voluntaria”*. Mayo 2011
- [DOF 0908] Diario Oficial de la Federación. *“Acuerdo por el que se establecen los requisitos para llevar a cabo el cambio de frecuencias autorizadas para prestar el servicio de radio y que operan en la banda de Amplitud Modulada, a fin de optimizar el uso, aprovechamiento y explotación de un bien del dominio público en transición a la radio digital”*. Septiembre, 2008
- [GASO-10] Gabriel Sosa. *“En México, 25 radios digitales”*. Periódico El Universal, 09 de julio de 2010.

CAPÍTULO II. SISTEMA EN BANDA DENTRO DEL CANAL (IBOC, In-Band On-Channel)

- [FCC-73] Código de Regulaciones Federales de la FCC, título 47 *“Reglas y Regulaciones”, Parte 73 “Servicios de Radiodifusión de Audio”*
- [IBOC-10] iBiquity Corporation. *“Boletín internacional de HD Radio”*. 29 de noviembre de 2010
- [JEDE] Jeff R. Detweiler. *“Conversion Requirements for AM & FM Transmission”*. iBiquity Digital Corporation
- [JOSC-10] John Schneider. *“Asuntos con la instalación de sistemas de HD Radio™ FM”*. VII Reunión de Técnicos e Ingenieros de la Red de Radiodifusoras y Televisoras Culturales y Educativas de México A. C., México, D. F., 27 de mayo de 2010



[NRSC-5B] National Radio Systems Committee. Estándar NRSC-5-B, *"IBOC Digital Radio Broadcasting Standard"*. Abril 2008

CAPÍTULO III. SISTEMA DIGITAL RADIO MONDIALE (DRM)

- [DRM_BG] Digital Radio Mondiale (DRM). *"A Broadcaster's Guide"*. Versión 1.1, Junio 2010
- [ES 201980] ETSI. *"Digital Radio Mondiale (DRM); System Specification"*. Versión 3.1.1, 2008
- [IEC 62272] International Electrotechnical Commission. *"Digital Radio Mondiale (DRM) – Part 2: Digital radio in the bands below 30 MHz – Methods of measurement for DRM transmitters"*. 2007
- [BS.1514] Recomendación ITU-R BS.1514-1. *"System for digital sound broadcasting in the broadcasting bands below 30 MHz"*
- [SM.328] Recomendación ITU-R SM.328-11. *"Espectros y anchuras de banda de las emisiones"*
- [TS 102509] ETSI. *"Digital Radio Mondiale (DRM); Single Channel Simulcast (SCS)"*. Versión 1.1.1, 2006
- [WBU_DRG] World Broadcasting Unions, Technical Committee. *"Digital Radio Guide"*. Noviembre, 2006

CAPÍTULO IV. SISTEMA DIGITAL AUDIO BROADCASTING (DAB)

- [EN 300401] ETSI. *"Radio Broadcasting Systems; Digital Audio Broadcasting (DAB) to mobile, portable and fixed receivers"*. Versión 1.4.1, 2006
- [BO.789] Recomendación ITU-R BO.789-2. *"Necesidades del servicio de radiodifusión sonora digital para receptores de vehículos, portátiles y fijos del servicio de radiodifusión (sonora) por satélite en la gama de frecuencias 1,400-2,700 MHz"*
- [BS.1114] Recomendación ITU-R BS.1114-6. *"Sistemas de radiodifusión sonora digital terrenal para receptores en vehículos, portátiles y fijos en la gama de frecuencias 30- 3,000 MHz"*
- [BS.774] Recomendación ITU-R BS.774-2. *"Necesidades del servicio relativo a la radiodifusión sonora digital para receptores a bordo de vehículos, portátiles y fijos, mediante transmisores terrenales, en las bandas de ondas métricas y decimétricas"*
- [KOFR-04] Franc Kozamernik. *"From Digital Radio towards mobile multimedia"*. EBU Technical Review, Enero 2004
- [TS 102979] ETSI. *"Digital Audio Broadcasting (DAB); Journaline; User application specification"*



CAPÍTULO V. COMPARACIÓN DE LOS ESTÁNDARES DE RADIO DIGITAL TERRESTRE

- [DOF 0308] Diario Oficial de la Federación. *“Resolución mediante la cual el Pleno de la Comisión Federal de Telecomunicaciones aprueba la actualización del Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencias.”*. Marzo, 2008
- [DOF 0609] Diario Oficial de la Federación. *“Reglamento de la Ley Federal de Radio y Televisión, en Materia de Concesiones, Permisos y Contenido de las Transmisiones de Radio y Televisión.”*. Junio, 2009
- [NOM-01] Norma Oficial Mexicana NOM-01-SCT1-93. *“Especificaciones y requerimientos para la instalación y operación de estaciones de radiodifusión sonora moduladas en amplitud”*. Abril, 2004
- [NOM-02] Norma Oficial Mexicana NOM-02-SCT1-93. *“Especificaciones y requerimientos para la instalación y operación de Estaciones de radiodifusión sonora en la banda de 88 a 108 MHz, con portadora principal modulada en frecuencia”*. Mayo, 2004

PÁGINAS WEB

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

- [CIRT] Cámara de la Industria de Radio y Televisión. <http://www.cirt.com.mx/cirt/>, abril 2011.
- [COFE] Comisión Federal de Telecomunicaciones. <http://www.cft.gob.mx/>, agosto 2011.

CAPÍTULO II. SISTEMA EN BANDA DENTRO DEL CANAL (IBOC, In-Band On-Channel)

- [IBIQ] IBiquity Digital Corporation. <http://www.ibiquity.com/>, abril 2011.

CAPÍTULO III. SISTEMA DIGITAL RADIO MONDIALE (DRM)

- [DRMO] Digital Radio Mondiale (DRM). <http://www.drm.org/index.php?p=index>, abril 2011.
- [VIAL] Via Licensing. <http://www.vialicensing.com/index.aspx>, abril 2011.

CAPÍTULO IV. SISTEMA DIGITAL AUDIO BROADCASTING (DAB)

- [DABF] The World DAB Forum. <http://www.worlddab.org/>, julio 2011