



INSTITUTO FEDERAL DE
TELECOMUNICACIONES

ESTUDIO SOBRE LAS OPORTUNIDADES
DE OPTIMIZACIÓN DEL USO DE LA
BANDA DE AMPLITUD MODULADA
(AM)

UNIDAD DE ESPECTRO RADIOELÉCTRICO

INSTITUTO FEDERAL DE TELECOMUNICACIONES
ESTUDIO SOBRE LAS OPORTUNIDADES DE OPTIMIZACIÓN DEL USO DE LA
BANDA DE AMPLITUD MODULADA (AM)

Índice

1. Objetivo.....	3
2. Glosario	3
3. Introducción	4
4. Futuro de AM a nivel internacional.....	10
a) Brasil.....	10
b) Reino Unido	10
c) Australia	11
d) Estados Unidos	11
e) México	11
5. Estándares digitales AM.....	12
a) <i>Digital Radio Mondiale</i> - DRM	12
b) <i>Digital Audio Broadcast</i> - DAB	12
c) In band-On channel (IBOC)	13
6. IBOC AM.....	13
a) Comparación de la señal analógica y la señal digital.....	14
b) Modos de operación	16
b.1. Modo Híbrido	16
b.2. Modo digital.....	17
c) Receptores.....	18
7. Eficiencia Energética	18
a) <i>Amplitude Modulation Comanding</i>	19
b) <i>Dynamic Carrier Systems</i>	19
c) Comparación de ahorro de energía entre AMC Y DCS	20
d) MDCL en IBOC AM.....	21
8. Conclusiones	22
9. Referencias.....	24

1. Objetivo

Identificar las mejoras tecnológicas disponibles y previstas para la modernización de la radiodifusión sonora en AM, así como sus implicaciones en la calidad del servicio, eficiencia de operación y potencial impacto en el mercado de la radio en México.

2. Glosario

Término/Acrónimo	Descripción
ACC	<i>Adaptive Carrier Control</i>
ACMA	<i>Australian Communications and Media Authority</i>
AM	Amplitud Modulada
AMC	<i>Amplitude Modulation Comanding</i>
COFDM	<i>Coded Orthogonal Frequency Division Multiplexing</i>
COFETEL	Comisión Federal de Telecomunicaciones
DAB	<i>Digital Audio Broadcast</i>
DAM	<i>Dynamic Amplitude Modulation</i>
dB	Decibel
DCS	<i>Dynamic Carrier Systems</i>
DOF	Diario Oficial de la Federación
DRM	<i>Digital Radio Mondiale</i>
ETSI	<i>European Telecommunications Standards Institute</i>
FCC	<i>Federal Communications Commission</i>
FM	Frecuencia Modulada
IBOC	<i>In-Band-On-Channel</i>
LFTyR	Ley Federal de Telecomunicaciones y Radiodifusión
MDCL	<i>Modulation Dependent Carrier Level</i>
NRSC	<i>National Radio Systems Committee</i>

NIF	<i>Nighttime Interference-Free</i>
OFCOM	<i>Office of Communications</i>
OFDM	<i>Orthogonal Frequency-Division Multiple Access</i>
SCT	Secretaría de Comunicaciones y Transportes
UIT	Unión Internacional de Telecomunicaciones

3. Introducción

Siendo la radiodifusión sonora una actividad de interés público con las funciones sociales de contribuir en la integración nacional y mejorar las formas de convivencia humana, las autoridades del sector han buscado por diferentes medios mejorar el servicio y las condiciones en las que este se presta en beneficio de la población, así como incentivar la inversión en la creación de infraestructura y fomentar el desarrollo de nuevas tecnologías.

En ese sentido, a lo largo de las dos últimas décadas, se han observado nuevos desarrollos tecnológicos que han ido reorientando las preferencias de consumo de contenido, al posicionarse diversas plataformas para la distribución y consumo de contenidos de audio. Lo anterior, ha ido disminuyendo la audiencia de la radio y el tiempo de escucha continua por parte de los usuarios de la radiodifusión sonora.

El advenimiento de plataformas que aprovechan las tecnologías modernas y en donde proliferan contenidos en formato de *podcast*, *streaming* de radio, servicios de distribución de contenidos en línea; aunado a la posibilidad de almacenar grandes cantidades de archivos de audio en la nube o de forma local en dispositivos portátiles, imponen nuevos retos a los modelos tradicionales de difusión de contenido.

Por otra parte, la banda de frecuencias de AM (535 kHz - 1705 kHz) tiene ciertas características que le permiten una propagación extensa de la señal gracias a la propagación de las ondas en la ionosfera y en la tierra, cuyo efecto es mucho más perceptible durante la noche cuando la temperatura de la atmósfera se reduce, incrementándose el alcance de las señales de AM y por lo tanto, el potencial riesgo de existir interferencias perjudiciales entre estaciones de un mismo país o incluso entre estaciones de países fronterizos.

A pesar de las virtudes con las que la banda frecuencias de AM cuenta respecto a su cobertura o alcance, también es cierto el servicio es vulnerable a diversos factores producto de fenómenos naturales o artificiales, como la radiación solar. En este sentido, es frecuente que en

áreas densamente pobladas donde existen una gran cantidad de construcciones, estructuras metálicas, y aparatos eléctricos (lámparas, electrodomésticos, transformadores, autos, equipo y maquinaria industrial, etc.) la recepción de la señal de AM se vea afectada.

Por lo anterior, la radio AM ha experimentado una desaceleración respecto a ocupación y demanda, ya que en comparación con la radio FM esta se percibe con una menor calidad de audio. Por otro lado, desde el lado de la provisión del servicio, es generalmente más costoso instalar y operar una estación de radio AM que una de FM, principalmente debido a los costos de operación, donde el consumo de energía de una estación de AM es equivalente a la suma de varias estaciones de FM. Asimismo, los requerimientos de extensión de terreno para una estación AM son mucho mayores, debido a la necesidad de instalar el plano de tierra de la estación y los radiales del sistema radiante.

En consecuencia, para atender la problemática que enfrentan las estaciones de radio AM, las autoridades en México han implementado diversas políticas orientadas a apoyar el desarrollo de la radiodifusión sonora, entre las que se destacan las siguientes:

Para que las radiodifusoras de AM continuaran prestando el servicio público de radiodifusión, se habilitó su transición a la radio FM en el año de 1994, cuando el Gobierno Federal facilitó que 83 concesionarios de estaciones AM pudieran transmitir simultáneamente en las bandas de AM y FM, mediante la asignación de una frecuencia adicional en dicha banda.

Posteriormente, la SCT instruyó a la extinta COFETEL la implementación de un programa de intercambio de canales de AM por canales de FM, mismo que fue publicado el 15 de septiembre de 2008 en el DOF mediante el "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"¹.

Con la publicación de este Acuerdo, se dio inicio a la migración de estaciones de AM a la banda de FM, el cual fue establecido como un proceso voluntario donde se buscó mejorar la calidad del servicio de radio, promover la competencia en la industria y generar mejores condiciones para la radio digital.

¹ IFT, "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", *Diario Oficial de la Federación*, México, septiembre de 2008. Consultado el 10 de noviembre de 2017, disponible en: http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5060050&fecha=15/09/2008

Sin embargo, atendiendo las disposiciones técnicas aplicables y analizando el estado de uso del espectro radioeléctrico en las localidades sujetas al proceso de migración, se determinó que no existirían suficientes frecuencias disponibles dentro de la banda de FM para atender el total de solicitudes de cambio de AM a FM en todas las localidades. Por lo anterior, solo se lograron migrar 525 estaciones de AM, lo cual en su momento representó un crecimiento cercano al 100% en el número de estaciones FM comerciales. No obstante, 171 estaciones de la banda AM quedaron pendientes de migrar, principalmente por la alta demanda de estaciones de FM en el país y por la restricción normativa de separación en frecuencia para las estaciones de FM que operan en una misma localidad.

Dado que con la aplicación del Acuerdo de 2008 no fue posible atender el total de solicitudes de cambio de AM a FM, en el Artículo Décimo Octavo Transitorio de la LFTyR se instruyó al Instituto a emitir el programa de trabajo para reorganizar el espectro radioeléctrico a estaciones de radio y televisión, el cual, entre otros objetivos, deberá procurar el desarrollo del mercado relevante de la radio, la migración del mayor número posible de estaciones de concesionarios de la banda AM a FM, el fortalecimiento de las condiciones de competencia y la continuidad en la prestación de los servicios.

Por consiguiente, después de realizar el análisis e investigación pertinente, el 1 de septiembre de 2014, se publicó el "ACUERDO por el que el Pleno del Instituto Federal de Telecomunicaciones emite la Disposición Técnica IFT-002-2014: Especificaciones y requerimientos mínimos para la instalación y operación de las estaciones de radiodifusión"², mediante el cual se establecen las especificaciones técnicas para la instalación y operación de las estaciones radiodifusoras del país.

Con la emisión de la disposición técnica antes mencionada, se redujo la separación mínima entre estaciones de radiodifusión sonora FM que operen en una misma localidad a 400 kHz. Considerando que en un principio la separación mínima era de 800 kHz, el impacto que produjo en relación a eficiencia espectral fue un aumento considerable en la disponibilidad espectral en la banda de 88 MHz a 108 MHz, suscitando la posibilidad de continuar con la migración de las estaciones de AM a FM.

² IFT, "ACUERDO POR EL QUE EL PLENO DEL INSTITUTO FEDERAL DE TELECOMUNICACIONES EXPIDE LA DISPOSICIÓN TÉCNICA IFT-002-2016, ESPECIFICACIONES Y REQUERIMIENTOS PARA LA INSTALACIÓN Y OPERACIÓN DE LAS ESTACIONES DE RADIODIFUSIÓN SONORA EN FRECUENCIA MODULADA EN LA BANDA DE 88 MHz A 108 MHz.", *Diario Oficial de la Federación*, México, abril de 2016. Consultado el 10 de noviembre de 2017, disponible en: http://www.ift.org.mx/sites/default/files/dofpift170316102_1.pdf

Derivado de lo anterior, el 24 de noviembre de 2016 se publicó en el DOF los Lineamientos para la migración de frecuencias de estaciones AM a FM³, mediante el cual el Instituto identificó 47 nuevas frecuencias disponibles, además, estableció el procedimiento y requisitos que debían cumplir los concesionarios de radiodifusión AM interesados en cambiar su frecuencia para operar en la banda de FM, como transmitir en formato híbrido, es decir, analógico y digital con la finalidad de impulsar la penetración de la Radio Digital Terrestre (RDT) bajo el estándar In Band On Channel (IBOC).

Posteriormente, el 14 de julio de 2017, como resultado de la XXXI sesión ordinaria del Pleno⁴, se emitió favorablemente la transición de 41 frecuencias de AM a FM para diversos interesados en distintas localidades de la República Mexicana, de las cuales 33 frecuencias fueron asignadas de manera directa y 8 bajo sorteo.

Es importante señalar, que derivado del proceso administrativo requerido para concretar oficialmente la asignación, 6 frecuencias no fueron asignadas en los Estados de Sonora y Tamaulipas, por lo que el Instituto tendrá que analizar la factibilidad legal y regulatoria para ponerlas nuevamente a disposición del mercado.

Una vez concluida la migración de estaciones, de acuerdo a la información de la infraestructura de radiodifusión del Instituto Federal de Telecomunicaciones (El Instituto), el número total de estaciones de radiodifusión sonora de AM concesionadas actualmente en el país es de 393, incluyendo concesiones de uso comercial, público y social, así como en estaciones que aún se reportan como en proceso de instalación⁵.

Otro ejemplo de las acciones regulatorias que se han implementado por el Instituto se encuentra el Programa Anual de Uso y Aprovechamiento de Bandas de Frecuencias, el cual tiene como objeto poner a disposición frecuencias para diversos servicios de telecomunicaciones y radiodifusión, entre éstos, el de radiodifusión sonora en las bandas de AM y FM. Conforme al Artículo 59 de la LFTyR, desde diciembre 2014, cada año se ha publicado el programa correspondiente al año inmediato siguiente a su publicación.

³ IFT, "ACUERDO MEDIANTE EL CUAL EL PLENO DEL INSTITUTO FEDERAL DE TELECOMUNICACIONES APRUEBA Y EMITE LOS LINEAMIENTOS MEDIANTE LOS CUALES EL INSTITUTO FEDERAL DE TELECOMUNICACIONES ESTABLECE LOS CRITERIOS PARA EL CAMBIO DE FRECUENCIAS DE ESTACIONES DE RADIODIFUSIÓN SONORA QUE OPERAN EN LA BANDA DE AMPLITUD MODULADA A FRECUENCIA MODULADA.", *Diario Oficial de la Federación*, México, noviembre de 2016. Consultado el 10 de noviembre de 2017, disponible en: http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5462362&fecha=24/11/2016

⁴ IFT, XXXI Ordinaria del Pleno, *Instituto Federal de Telecomunicaciones*, julio de 2017. Consultado el: 10 de noviembre de 2017, disponible en: <http://www.ift.org.mx/conocenos/pleno/sesiones/xxxi-ordinaria-del-pleno-14-de-julio-de-2017>

⁵ IFT, Infraestructura, *Instituto Federal de Telecomunicaciones*. Consultado el: 10 de noviembre de 2017, disponible en: <http://www.ift.org.mx/industria/infraestructura>

En ese sentido, el 30 de diciembre de 2014 se publicó en el DOF el Programa Anual de Uso y Aprovechamiento de Bandas de Frecuencias 2015 (Programa 2015), el cual fue modificado mediante publicación en el citado medio de difusión el 6 de abril de 2016. Las solicitudes de inclusión recibidas y las frecuencias incluidas finalmente en el Programa 2015 fueron las siguientes:

Tabla 1. Programa Anual de Uso y Aprovechamiento de Bandas de Frecuencias 2015 ⁶

Modalidad de Uso	Solicitudes de Inclusión AM.	Frecuencias AM Incluidas	Solicitudes de Inclusión FM.	Frecuencias FM Incluidas
Uso Comercial	9	66	212	191
Uso Público	4	2	13	13
Uso Social	5	3	285	94
TOTAL	18	71	510	298

El siguiente año, con fecha del 5 de octubre de 2015, se publicó en el DOF el Programa Anual de Uso y Aprovechamiento de Bandas de Frecuencias 2016 (Programa 2016), cuya modificación fue publicada el 21 de enero de 2016. Ese año las solicitudes de inclusión y frecuencias incluidas en el Programa 2016 fueron las mostradas en la tabla 2.

Tabla 2. Programa Anual de Uso y Aprovechamiento de Bandas de Frecuencias 2016 ⁷

Modalidad de Uso	Solicitudes de Inclusión AM		Frecuencias AM Incluidas	Solicitudes de Inclusión FM		Frecuencias FM Incluidas
	Primera Versión	Modificación		Primera Versión	Modificación	
Uso Comercial	1	13	11	27	170	42
Uso Público	2	3	4	16	31	18
Uso Social	2	6	7	65	188	69
TOTAL	5	22	22	108	389	129

Por último, el más reciente Programa Anual de Uso y Aprovechamiento de Bandas de Frecuencias 2017 (Programa 2017), fue publicado el 8 de

⁶ IFT, "ACUERDO MEDIANTE EL CUAL EL PLENO DEL INSTITUTO FEDERAL DE TELECOMUNICACIONES MODIFICA EL PROGRAMA ANUAL DE USO Y APROVECHAMIENTO DE BANDAS DE FRECUENCIAS 2015.", *Diario Oficial de la Federación*, México, abril de 2015. Consultado el 10 de noviembre de 2017, disponible en: http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5387867&fecha=06/04/2015

⁷ IFT, "PROGRAMA ANUAL DE USO Y APROVECHAMIENTO DE BANDAS DE FRECUENCIAS 2016", *Diario Oficial de la Federación*, México, enero de 2016. Consultado el 10 de noviembre de 2017, disponible en: http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5423198&fecha=21/01/2016

noviembre de 2016 en el DOF y posteriormente, el 3 de marzo de 2017 fue publicada la modificación a dicho programa. Las frecuencias solicitadas e incluidas en el Programa 2017 fueron las siguientes:

Tabla 3. Programa Anual de Uso y Aprovechamiento de Bandas de Frecuencias 2017⁸

Modalidad de Uso	Solicitudes de Inclusión AM		Frecuencias AM Incluidas	Solicitudes de Inclusión FM		Frecuencias FM Incluidas
	Primera Versión	Modificación		Primera Versión	Modificación	
Uso Comercial	4	43	30	135	479	27
Uso Público	2	4	6	39	99	24
Uso Social	28	10	27	173	152	30
TOTAL	38	57	63	347	730	81

Como se puede observar en los tres años que se ha publicado el programa, existe una mayor demanda de frecuencias para el servicio de radiodifusión sonora de FM que de AM.

En otro orden de ideas, el 20 de junio de 2016 el Instituto publicó la "Convocatoria a la licitación pública para concesionar el uso, aprovechamiento y explotación comercial de 191 frecuencias en el segmento de 88 a 106 MHz de la banda de frecuencia modulada y de 66 frecuencias en el segmento de 535 a 1605 kHz de la banda de amplitud modulada, para la prestación del servicio público de radiodifusión sonora (Licitación IFT-4)." Dichas frecuencias corresponden a aquellas publicadas en el Programa 2015 para concesiones de uso comercial.

Una vez concluida la Licitación IFT-4, se obtuvo como resultado que para el caso de AM sólo existieron 31 propuestas ganadoras, mientras que para FM hubo 147, de las cuales 50 estarían prestando el servicio con tecnología digital⁹. Es importante recalcar que los ganadores mencionados aún deben de concluir su proceso administrativo y realizar el pago correspondiente a la contraprestación para que se les sean concesionadas las frecuencias por las cuales concursaron.

⁸ IFT, "ACUERDO MEDIANTE EL CUAL EL PLENO DEL INSTITUTO FEDERAL DE TELECOMUNICACIONES EMITE EL PROGRAMA ANUAL DE USO Y APROVECHAMIENTO DE BANDAS DE FRECUENCIAS 2017.", *Diario Oficial de la Federación*, México, noviembre de 2016. Consultado el 10 de noviembre de 2017, disponible en: http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5460048&fecha=08/11/2016

⁹ IFT, Licitación No. IFT-4 (Radiodifusión AM y FM), *Instituto Federal de Telecomunicaciones*. Consultado el: 10 de noviembre de 2017, disponible en: <http://www.ift.org.mx/industria/espectro-radioelectrico/radiodifusion/2016/licitacion-no-ift-4-radiodifusion-am-y-fm>

4. Futuro de AM a nivel internacional

Actualmente varios países se encuentran planificando acciones regulatorias para el servicio de radiodifusión AM; algunos de ellos esperan poder migrar completamente las estaciones AM a la banda de FM y otros, planean comenzar con la transición tecnológica del servicio analógico al digital sobre la misma banda.

A continuación, se muestra una perspectiva de las acciones que se encuentran ejecutando algunos países con relación este servicio:

a) Brasil

En el año 2007 se creó el Consejo Asesor de la Radio Digital con el propósito de guiar al Ministro de Comunicaciones en la planificación e implantación de la radio digital en Brasil, así como identificar cuál de los estándares de radio digital sería el más adecuado para el país.¹⁰

Posteriormente en el 2013, mediante un decreto presidencial¹¹, se autorizó la migración de las estaciones de radio local que operan en la banda de AM a la banda FM. Sin embargo, por la falta de espectro en algunas regiones, un número importante de radiodifusores de AM tendrán que esperar a que se liberen los canales 5 y 6 de la televisión analógica tras el proceso de digitalización, con lo que se planea ampliar la banda de FM de 76 MHz hasta 107.9 MHz.

Mientras tanto, los expertos del Ministerio de Ciencia, Tecnología, Innovación y Comunicaciones de este país, se encuentran realizando pruebas con los estándares digitales IBOC y DRM, para evaluar el desempeño de ambos modelos y la compatibilidad con los sistemas analógicos existentes.

b) Reino Unido¹²

A través de su ente regulador OFCOM, la administración adoptó el estándar DAB para la radiodifusión digital en la banda de VHF en la década de los años noventa. Sin embargo, se tomó la decisión de esperar a que el desarrollo y la adaptación de servicio digital para la radio continúen avanzando durante los años restantes de vigencia de las concesiones

¹⁰ ANATEL, Radio Digital, *Agencia Nacional de Telecomunicaciones*. Consultado el: 10 de noviembre de 2017, disponible en: <http://www.anatel.gov.br/setorregulado/radio-digital>

¹¹ MediaTelecom, "Rousseff firma decreto para migración de AM a FM", *MediaTelecom*, noviembre de 2013. Consultado el: 10 de noviembre de 2017, disponible en: <https://www.mediatelecom.com.mx/~mediacom/index.php/agencia-informativa/noticias/item/53667-rousseff-firma-decreto-para-migracion-de-am-a-fm>

¹² OFCOM, "Ofcom consults on future of radio regulation and licensing", *Office of Communications*, abril de 2007. Consultado el: 10 de noviembre de 2017, disponible en: <https://www.ofcom.org.uk/about-ofcom/latest/media/media-releases/2007/ofcom-consults-on-future-of-radio-regulation-and-licensing>

actuales de AM y FM, por lo que al momento no se tiene alguna fecha establecida para terminar las transmisiones analógicas.

c) Australia¹³

En el caso de Australia, el estándar de radio digital adoptado por el regulador fue DAB+, pero del mismo modo que Reino Unido, no tienen planeado concluir con las emisiones analógicas de AM y FM en un corto plazo. Más recientemente, en septiembre de 2016, el Comité de Planificación de la Radio Digital discutió los principios de implantación de la radio digital en las diferentes regiones del país, con lo que planea expandir los servicios de la radio digital a más regiones de Australia.

d) Estados Unidos¹⁴

Estados Unidos adoptó el estándar IBOC para la transmisión de la radio analógica a digital en la década de los 90s y actualmente es uno de los países que cuenta con mayor número de estaciones transmitiendo en formato digital, principalmente en FM.

En 2015, la FCC emitió el documento "*Revitalization of the AM Radio Service*"¹⁵, con el fin de comenzar con el proceso de reubicación de las estaciones de AM más vulnerables a interferencias perjudiciales y de menor potencia hacia la banda de FM. Para el caso de las estaciones que fueran a permanecer en la banda de AM, se simplificó el proceso para que las estaciones reciban la autorización de usar tecnologías de ahorro de energía, de los cuales se hablará más adelante.

e) México

Para el caso de México, la extinta COFETEL adoptó el estándar IBOC para la radio digital en el año 2011 mediante el "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" publicado en el DOF el día 16 de junio del 2011.¹⁶

¹³ ACMA, "Digital radio", *Australian Communications and Media Authority*, diciembre de 2016. Consultado el: 10 de noviembre de 2017, disponible en: <https://www.acma.gov.au/Industry/Broadcast/Spectrum-for-broadcasting/Broadcast-planning/digital-radio-spectrum-for-broadcasters-acma-1>

¹⁴ FCC, "AM Revitalization Springs Forward", *Federal Communications Commission*, marzo de 2016. Consultado el: 10 de noviembre de 2017, disponible en: <https://www.fcc.gov/news-events/blog/2016/03/30/am-revitalization-springs-forward>

¹⁵ FCC, "AM Revitalization", *Federal Communications Commission*, marzo de 2016. Consultado el: 10 de noviembre de 2017, disponible en: <https://www.fcc.gov/media/radio/am-revitalization>

¹⁶ IFT, "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.", *Diario Oficial de la Federación*, México, junio de 2011. Consultado el 10 de noviembre de 2017, disponible en: http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5196204&fecha=16/06/2011

Del mismo modo que en otros países, no se tiene establecida una fecha definitiva para la transición analógico-digital. Actualmente, de forma voluntaria los concesionarios pueden solicitar la autorización para comenzar a transmitir su contenido por medio del estándar digital.

5. Estándares digitales AM

Existen diversos estándares digitales de radiodifusión digital terrestre alrededor del mundo. Sin embargo, los tres más utilizados, dependiendo de la región son: *In-Band On-Channel*, *Digital Radio Mondiale* y *Digital Audio Broadcasting*. Cada uno de estos estándares ofrece las siguientes ventajas:

- Promueven el uso eficiente del espectro radioeléctrico en bandas de frecuencias limitadas.
- Mejoran la calidad de audio.
- Son menos susceptibles a interferencias perjudiciales y
- Permiten la transmisión de datos o información auxiliar multimedia.

a) *Digital Radio Mondiale - DRM*

DRM es un estándar libre de radiodifusión digital diseñado para funcionar en las frecuencias atribuidas a la radiodifusión a nivel mundial¹⁷. La Unión Internacional de Telecomunicaciones contempla a DRM en la recomendación UIT-R BS.1514-2¹⁸ como un estándar de radiodifusión sonora que puede ser utilizado en frecuencias por debajo de los 30 MHz.

El estándar DRM utiliza modulación COFDM y fue diseñado para ocupar canales de 9 y 10 kHz, o en su caso, múltiplos de estos. La combinación de distintas técnicas de modulación y codificación que utiliza DRM, trae como resultado una mejora en la calidad del audio y una recepción más robusta dentro del área de cobertura, esto en comparación con la señal analógica de AM.

b) *Digital Audio Broadcast - DAB*

DAB fue el primer estándar de radiodifusión digital diseñado para prestar el servicio de radio digital en receptores móviles, fijos y portátiles, desde transmisores satelitales, terrestres o de difusión por cable. Utiliza modulación OFDM y opera en frecuencias de entre 30 MHz hasta los 3 GHz.

¹⁷ DRM, "WHAT IS DRM", *Digital Radio Mondiale*. Consultado el: 10 de noviembre de 2017, disponible en: <http://www.drm.org/what-is-drm/>

¹⁸ UIT, "System for digital sound broadcasting in the broadcasting bands below 30 MHz", Recomendación ITU-R BS.1514-2, *Unión Internacional de Telecomunicaciones*, marzo de 2011. Consultado el: 10 de noviembre de 2017, disponible en: https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/bs/R-REC-BS.1514-2-201103-!!!PDF-S.pdf

DAB funciona en cuatro diferentes modos de operación especificados por ETSI¹⁹, dependiendo del rango de frecuencia en el que se tenga permitido transmitir. El primer modo de operación para frecuencias menores a 375 MHz, el segundo para frecuencias menores a 1.5 GHz, el tercero para frecuencias menores a 3 GHz, mientras que el cuarto modo de operación tiene el mismo rango de frecuencia que el segundo, pero adiciona características que permiten mejorar la cobertura.

c) In band-On channel (IBOC)

Por su parte, el sistema IBOC fue desarrollado en los Estados Unidos por la empresa iBiquity bajo la idea de crear un sistema de radiodifusión digital flexible que permitiera una transición escalonada entre los sistemas analógicos y digitales, siendo su principal ventaja transmitir en el mismo ancho de banda tanto la señal digital como la analógica, tanto para AM como FM. Otra de las ventajas que brinda el sistema IBOC, además de las comunes entre los otros sistemas digitales, es la capacidad de transmitir hasta cuatro diferentes programaciones sobre el mismo canal de frecuencia de la banda Frecuencia Modulada (multiprogramación).

Dentro de la recomendación ITU-R BS.1114²⁰ de la UIT, así como en el Manual de radiodifusión sonora digital²¹, el estándar IBOC ha sido nombrado como "Sistema C", con la finalidad de diferenciarlo de otros sistemas de radiodifusión digital existentes.

6. IBOC AM

Como se mencionó en la sección anterior, la principal característica de este estándar, es la factibilidad de transmitir de manera simultánea y en el mismo ancho de banda señales analógicas y digitales. Además, hace un uso más eficiente del espectro al aprovechar el ancho de banda de canal para alcanzar una mejor calidad de audio y habilitar la transmisión de datos o información adicional.

En modo digital, la calidad del audio para AM se considera similar a la de una transmisión analógica FM²², además de contar con menor probabilidad

¹⁹ Bodson, D., "Digital Audio Around the World," *IEEE Vehicular Technology Magazine*, vol. 5, pp. 24-30.

²⁰ UIT, "Systems for terrestrial digital sound broadcasting to vehicular, portable and fixed receivers in the frequency range 30-3 000 MHz", Recomendación BS.1114, *Unión Internacional de Telecomunicaciones*, junio de 2015, Consultado el: 10 de noviembre de 2017, disponible en: <https://www.itu.int/rec/R-REC-BS.1114/es>

²¹ UIT, "Manual DSB - Radiodifusión sonora digital terrenal y por satélite destinada a receptores de vehículo, portátiles y fijos en las bandas de ondas métricas/decimétricas", *Unión Internacional de Telecomunicaciones*, 2002.

²² NRSC, "Evaluation of the iBiquity Digital Corporation IBOC System -Part 2 - AM IBOC", *National Radio Systems Committee*, abril de 2002. Consultado el: 10 de noviembre de 2017, disponible en: <http://www.nrsstandards.org/Reports/NRSC-R204%20Part%20I.pdf>

de sufrir afectación por interferencias perjudiciales, ruido estático o desvanecimiento²³.

Las principales ventajas de IBOC AM son las siguientes²⁴:

- 1) **Área de cobertura:** Pruebas realizadas por la NRSC para estaciones IBOC AM en modo híbrido demostraron que durante el día la cobertura de una estación digital es comparable con la otorgada por una analógica, debido a los beneficios de protección contra interferencias perjudiciales que agrega el estándar IBOC. Sin embargo, para los casos de transmisión nocturna la cobertura de la señal digital puede llegar a reducirse por debajo de los límites o contornos NIF (*Nighttime Interference-Free*).
- 2) **Robustez de la señal:** Comparado con el servicio analógico, la señal de IBOC AM es sustancialmente más robusta en contra de interferencias perjudiciales que la señal analógica.
- 3) **Envío de información auxiliar:** El diseño de IBOC AM incorpora la capacidad de transmitir 0.4 kbps de información o datos adicionales, como por ejemplo, el título de la canción, el nombre del autor, el estado del clima o los números telefónicos de la cabina, entre otros.
- 4) **Flexibilidad:** Como ya se mencionó, el estándar en modo híbrido brinda a los radiodifusores y fabricantes de receptores, la oportunidad de comenzar a introducir servicios digitales sin dejar de transmitir la señal analógica al habilitar una transmisión híbrida de las señales en modo espejo.

Es importante destacar que a diferencia de IBOC FM, en AM no es posible tener multiprogramación, es decir la transmisión simultánea de múltiples programas dentro del mismo canal de transmisión²⁵. Esto debido en gran parte a la limitada capacidad de ancho de banda espectral de los canales de frecuencias de AM (20 kHz), doce veces menor que el ancho de banda espectral de un canal de FM, que es de 240 kHz.

a) Comparación de la señal analógica y la señal digital

El principal beneficio de IBOC AM es la mejora en la calidad del audio y la mayor robustez de la señal en contra de interferencias perjudiciales. En ese

²³Pioneer, Hoja de datos: HD RADIO. Consultado el: 10 de noviembre de 2017, disponible en: <http://pioneer-mexico.com.mx/prensa/hoja-de-datos-hd-radior>

²⁴ NRSC, "Evaluation of the iBiquity Digital Corporation IBOC System -Part 2 - AM IBOC", *National Radio Systems Committee*, abril de 2002. Consultado el: 10 de noviembre de 2017, disponible en: <http://www.nrcstandards.org/Reports/NRSC-R204%20Part%20I.pdf>

²⁵ HD Radio Digital AM & FM, HIGH QUALITY, CONSISTENT MULTICAST ENGINEERING. Consultado el: 10 de noviembre de 2017, disponible en: <https://hdradio.com/broadcasters/engineering-support/high-quality-consistent-multicast-engineering>

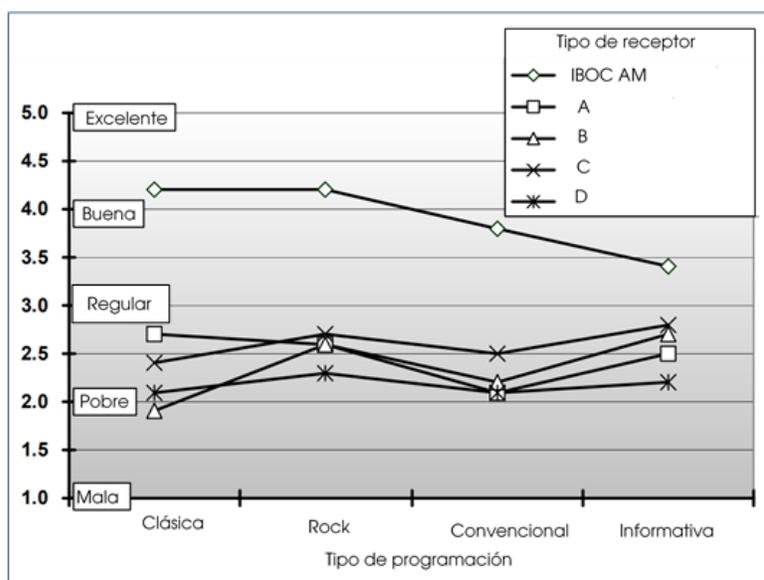
sentido, la tabla 4 muestra una comparación técnica de las características de la señal analógica y digital.

Tabla 4. Diferencias técnicas entre la radio analógica AM y el sistema IBOC para AM²⁶

	AM analógica	IBOC AM
Separación	Mono	37 dB > 8kHz 90 dB < 8kHz
Relación señal a ruido	55 dB	90 dB
Respuesta de frecuencia	70 Hz - 1.5 kHz (Depende del receptor)	0 - 15 kHz
Distorsión de las armónicas	0.7%	< 0.11%

Por otro lado, en la siguiente figura 1 se observan los resultados obtenidos de una evaluación subjetiva que efectuó la NRSC con un grupo de radio escuchas que calificaron conforme a una escala cualitativa, la calidad del audio en diversos dispositivos receptores.

Figura 1. Comparación subjetiva entre el audio analógico e IBOC AM²⁷



²⁶ John, Gardner, "The future of AM and FM radio", *AudioVideo International*, enero de 2005. Consultado el: 10 de noviembre de 2017, disponible en: <http://www.ti.com/lit/ml/sprl093/sprl093.pdf>

²⁷ NRSC, "Evaluation of the iBiquity Digital Corporation IBOC System -Part 2 - AM IBOC", *National Radio Systems Committee*, abril de 2002. Consultado el: 10 de noviembre de 2017, disponible en: <http://www.nrsstandards.org/Reports/NRSC-R204%20Part%20I.pdf>

El receptor analógico A se refiere a un receptor de automóvil genérico o bien que fue fabricado exclusivamente para ser instalado en los autos desde su manufactura, por lo mismo no exhibe en ningún lado el nombre de alguna marca, así mismo, el receptor analógico B es también un receptor de automóvil, sin embargo, de alguna marca dedicada a fabricar y comercializar receptores como un accesorio adicional al equipo de la propia marca instalada en el automóvil, como por ejemplo Sony o KENWOOD. El receptor catalogado como C, es un receptor analógico de alta fidelidad de interior o casa y por último el receptor D hace referencia a un receptor analógico portátil.

Analizando los resultados estos demuestran que el sistema IBOC AM proporciona una mejor calidad de audio y por ende, los usuarios relacionan esta característica con una mejora en el servicio de radiodifusión recibido.

b) Modos de operación

b.1. Modo Híbrido

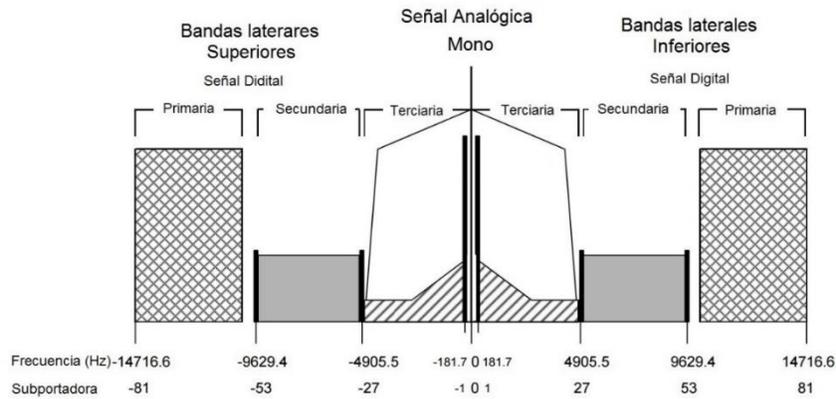
En una señal en modo híbrido, la señal analógica es transmitida en las bandas terciarias, mientras que la señal digital es transmitida en las bandas laterales primarias y secundarias, como se ilustra en la figura 2. El ancho de banda de la señal analógica puede configurarse entre 5 kHz y 8 kHz²⁸. Al transmitir con un ancho de banda de 8 kHz la cobertura de la estación aumenta, pero se crea la posibilidad de interferir a la propia señal digital de las bandas laterales. En vista de esto, para evitar este tipo de interferencia, se puede optar por utilizar un ancho de banda de 5 kHz, a pesar de que la cobertura geográfica se vea reducida en comparación con la de la señal analógica.

Además, es importante señalar que la señal analógica es monofónica debido a que el sistema IBOC no soporta la transmisión estereofónica.

Por su parte, la señal digital es modulada utilizando OFDM y se transmite a cada lado de la portadora principal, al igual que la información auxiliar de estado y control, que es transmitida en las sub-portadoras o bandas laterales secundarias.

²⁸ HD Radio y IBIQUITY DIGITAL, "HD Radio Air Interface Design Description – Layer 1 AM", *iBiquity Digital Corporation*, marzo de 2005. Consultado el: 10 de noviembre de 2017, disponible en: <http://www.nrcstandards.org/SG/NRSC-5-B/1012sE.pdf>

Figura 2. Máscara de transmisión de la señal híbrida IBOC AM.²⁹

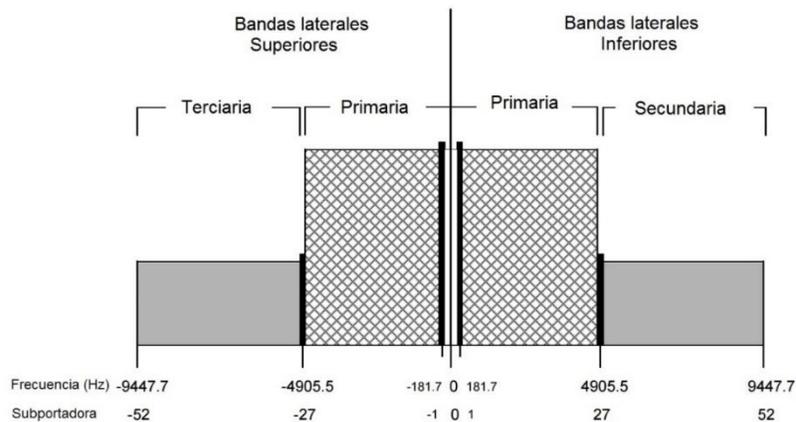


b.2. Modo digital

En el modo digital, el ancho de banda ocupado por la señal analógica es sustituido por las bandas laterales primarias. Por otra parte, la banda lateral superior secundaria se desplaza hacia los límites superiores, por arriba de la banda lateral primaria, simultáneamente en que la banda inferior terciaria se mueve al límite inferior, por debajo de la banda inferior primaria (ver Figura 3).

Dichas modificaciones tienen por resultado una disminución en el ancho de banda de canal, así como un aumento en la robustez de la señal, haciéndola menos susceptible a la interferencia perjudicial de estaciones adyacentes.

Figura 3. Máscara de transmisión de la señal digital AM³⁰



²⁹ Ibidem p.12.

³⁰ Ibidem.

c) Receptores

A través del portal de internet de la empresa DTS, quien adquirió a la empresa desarrolladora del estándar IBOC en el mes de octubre de 2015, se dan a conocer las principales marcas y modelos de receptores de radio digital clasificados en tres categorías: receptores para automóviles, receptores para el hogar y receptores portátiles.

Las principales marcas de receptores para automóviles que existen en el mercado son Pioneer, Kenwood, Alpine, Sony, eXcelon, Clarion y JVC. Por su parte, marcas de automóviles que ya traen integrado un receptor digital son: Audi, Ford, Chevrolet, BMW, Cadillac, Fiat, Honda, Hyundai, GMC, Jeep, Nissan, VW, Toyota, Dogge, entre otras.

Por su parte, las marcas principales de receptores del hogar y portátiles son ADA, Insignia, Sparc, Yamaha, Marantz, Denon, Onkyo, McIntosh y Sparc.

No obstante, es de reconocerse que algunos de los dispositivos mencionados anteriormente solo son capaces de recibir señales de IBOC FM, es decir no cuentan con receptor de AM IBOC.

Respecto a los costos, estos pueden variar dependiendo de las características y prestaciones adicionales que tengan, ya sea conexión bluetooth, usb, puertos para conectar dispositivos Apple o Android, pantalla LCD, etc.³¹

7. Eficiencia Energética

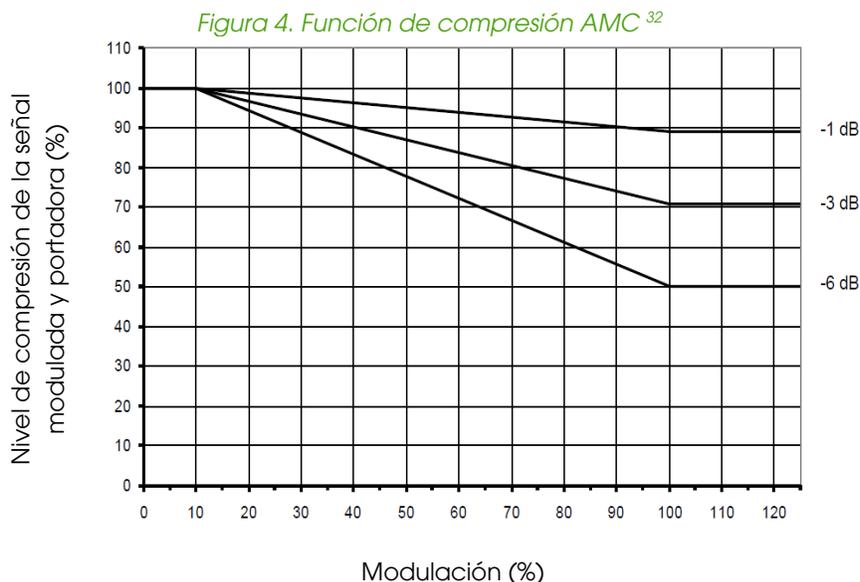
Una de las grandes desventajas del servicio de radiodifusión sonora de AM en comparación con FM, es que los equipos transmisores consumen altos niveles de energía, por lo tanto, se incrementa el costo por mantener en servicio una estación transmisora. Es por ello que buscando una solución a esta problemática los fabricantes de equipo han trabajado en desarrollar diferentes tecnologías para mejorar la eficiencia energética, tal es el caso de las técnicas de modulación conocidas como *Modulation Dependent Carrier Level* (MDCL).

Existen dos categorías o técnicas de modulación MDCL: la primera de ellas es conocida como *Amplitude Modulation Comanding* (AMC), y se caracteriza por disminuir al mismo tiempo y de manera dinámica el nivel de potencia de la señal portadora y el de sus bandas laterales. La segunda, conocida como *Dynamic Carrier System* (DCS), se caracteriza por ser capaz de reducir dinámicamente la potencia de la señal portadora, sin modificar la potencia de las bandas laterales.

³¹ HD Radio, GET AN HD RADIO RECEIVER, HD Digital AM & FM. Consultado el: 10 de noviembre de 2017, disponible en: <https://hdradio.com/get-a-radio/car-radio>

a) Amplitude Modulation Comanding

AMC se encarga de reducir el nivel de potencia de la señal portadora y de las bandas laterales, específicamente en el momento en el que el nivel de audio se incrementa. El grado de compresión de la señal puede variar de entre 1 dB y 6 dB, como se ejemplifica en la figura 4.



La figura anterior, muestra que cuando la modulación de la señal se encuentra entre 0% a 10% de modulación, no existe compresión (0 dB), mientras, que para en el rango de 10% a 100% de modulación, la compresión se incrementa linealmente hasta llegar a estabilizarse.

Por ejemplo, en el caso de la señal de -3 dB, cuando el nivel de modulación se encuentra al 100%, la señal se reducirá hasta 71% en voltaje y corriente, lo que equivale a una reducción de 50% en términos de potencia.³³

b) Dynamic Carrier Systems

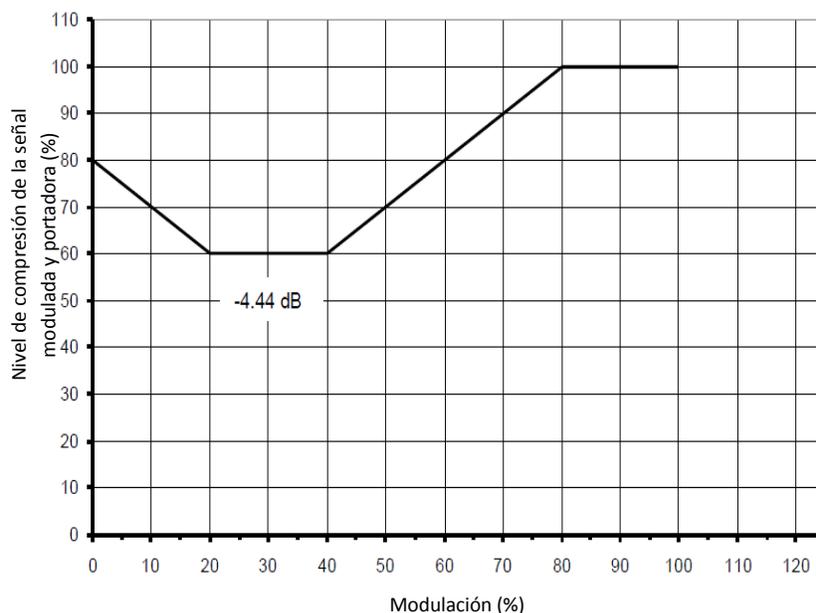
Las técnicas *Adaptive Carrier Control*, *Dynamic Amplitude Modulation* y *Dynamic Carrier Control* entran en la categoría de modulación DCS, ya que reducen de manera dinámica la potencia de la portadora sin afectar o disminuir los niveles de las bandas laterales. La reducción de la potencia de la portadora se efectúa cuando los niveles de modulación son mínimos; así mismo, cuando los niveles de modulación incrementan, a diferencia de AMC que intensifica el ahorro de energía durante periodos de modulación alta.

³² NRSC, "NRSC-G101 AM Modulation-Dependent Carrier Level (MDCL) Usage Guideline", *National Radio Systems Committee*, abril de 2013. Consultado el: 10 de noviembre de 2017, disponible en: <http://www.nrscstandards.org/SG/nrsc-G101.pdf>

³³ Es importante tomar en cuenta que los niveles de compresión que se muestran en la Figura 4, se encuentran en unidades de voltaje.

La figura 5, representa una señal modulada por DCS, en la cual se observa como desde el punto en donde la modulación es 0% hasta que incrementa a 20%, el nivel de la señal se reduce de manera lineal hasta llegar al máximo (-4.44 dB), este valor se mantiene constante entre el 20% y 40% de porcentaje de modulación, pero cuando la modulación se encuentra entre el 40% y 80%, el nivel de compresión se reduce para mitigar el incremento del ruido y beneficiar la recepción de la señal. Finalmente cuando se alcanza un porcentaje de modulación de 80% la compresión se restablece.

Figura 5. Función de compresión de DCS³⁴



c) Comparación de ahorro de energía entre AMC Y DCS

El ahorro de energía entre las técnicas MDCL puede variar dependiendo del procesamiento y tipo de audio. En la tabla 5 se muestra el ahorro de energía que se puede obtener para diferentes tipos de audio (música y voz) a 3 dB.

Tabla 5. Ahorro de energía

Ejemplo 1. La voz de América (en inglés)		Ejemplo 2. La voz de América (en español)	
Valor promedio de la potencia de la señal		Valor promedio de la potencia de la señal	
AM	100%	AM	100%
AMC (3 dB)	63.50%	AMC (3 dB)	60.10%
DCS	76.70%	DCS	79.70%

³⁴ Ibidem, p. 14.

Ejemplo 3. La voz de América (en portugués)	
Valor promedio de la potencia de la señal	
AM	100%
AMC (3 dB)	60.10%
DCS	81.50%

Ejemplo 4. WSYR (Programación informativa)	
Valor promedio de la potencia de la señal	
AM	100%
AMC (3 dB)	58.60%
DCS	81.20%

Los resultados antes mostrados fueron obtenidos de pruebas realizadas por la NRSC³⁵ para estimar el ahorro energético que se obtiene al transmitir utilizando AMC o DCS.³⁶ Los datos presentados en la primera fila de cada ejemplo se consideran como señales transmitiendo con el 100% de su potencia, al no utilizar técnicas MDCL, por el contrario, como se observa en la tabla, con AMC se puede alcanzar una comprensión de hasta el 60%, que representaría un ahorro del 40% de energía utilizada en una estación transmisora.

d) MDCL en IBOC AM

Los fabricantes de equipos transmisores como Nautel o GatesAIR han concluido que AMC es la técnica de modulación MDCL más óptima para sistemas IBOC AM³⁷, ya que esta técnica disminuye la potencia de la portadora cuando la entrada del audio es muy alta, reduciendo al mínimo los efectos negativos que pudieran presentarse respecto a la calidad del audio. Además, el efecto de compresión que se tiene sobre la portadora también se ve reflejado sobre las armónicas.

En el año 2011, la FCC emitió una nota con el fin de informar a los concesionarios de radiodifusión sonora de AM que, a partir de esa fecha estaba permitido utilizar tecnologías de reducción de consumo eléctrico, con la condición de mantener la calidad del audio y la cobertura especificada en sus títulos habilitantes.

En ese sentido, dentro del código de reglas de la FCC, se estableció el procedimiento que deben seguir los concesionarios para utilizar las tecnologías MDCL en sus estaciones, la cual consiste en notificar de manera electrónica, diez días antes del iniciar operaciones, las especificaciones técnicas del modo de operación que utilizará el transmisor, garantizando en

³⁵ Ibidem, p.15.

³⁶ Los audios utilizados fueron procesados usando algoritmos computacionales.

³⁷ GATESAIR, "Application of Modulation Dependent Carrier Level ("MDCL") Control Technologies to Amplitude Modulation Transmission Systems ", *GatesAir Inc.*, julio de 2015. Consultado el: 10 de noviembre de 2017, disponible en: <http://www.gatesair.com/documents/slides/2015-07-Anderson-Application-of-MDCL-Control-Tech.pdf>

todo momento no afectar la calidad del servicio, ni la cobertura establecida.³⁸

8. Conclusiones

Tomando en cuenta el alto interés que presentaron muchos de los concesionarios de AM por migrar a FM a partir del 2008, la diferencia que existe entre las solicitudes de inclusión recibidas para los Programas Anuales de Uso y Aprovechamiento de Bandas de Frecuencias de los años 2015, 2016 y 2017, así como la participación en la licitación No. IFT-4, se puede concluir que el mercado de la radiodifusión sonora está inclinado hacia la banda de FM, principalmente por la calidad del audio y por el menor costo de instalación y mantenimiento en comparación a una estación de AM.

Sin embargo, considerando las características de propagación de la banda de AM y el hecho de que el servicio prestado es un servicio público de radiodifusión, el cual tiene la ventaja de poder ser accesible por prácticamente toda la población, se considera que lo más adecuado es que en la banda de frecuencias de 535-1705 kHz continúe siendo utilizada para la prestación del servicio de radiodifusión sonora de AM.

Por otra parte, con el objetivo de mejorar las condiciones del servicio prestado, en especial la calidad del audio y la susceptibilidad contra interferencias perjudiciales, se tienen claros beneficios con la adopción del estándar digital IBOC para AM, en especial una de sus principales características del modo híbrido, que es la factibilidad de tener una transición analógico-digital escalonada.

No obstante, si bien son claras las ventajas de la radio AM digital desde el punto de vista meramente técnico, un factor importante para el desarrollo del mercado es la fabricación y comercialización de receptores. Conforme a las fuentes consultadas, la disponibilidad actual de receptores es baja y su costo suele ser alto en comparación con un receptor analógico, lo que representa un gran reto para que la radio digital y en particular la radio AM sea implementada y aceptada en el país.

Por lo tanto, los concesionarios deberán tomar las mejores decisiones desde el punto de vista del plan de negocio, a fin de evaluar los costos y beneficios de implementar una estación digital con el fin de obtener las mejoras de eficiencia y calidad de servicio antes mencionadas.

En otro sentido, para poder coadyuvar a que el consumo de energía y costo de mantenimiento de una estación no sea tan alto comparado con el de

³⁸ FCC, "PUBLIC NOTICE: Media Bureau to Permit Use of Energy - Saving Transmitter Technology by AM Stations", *Federal Communications Commission*, Washington, septiembre de 2011. Consultado el: 10 de noviembre de 2017, disponible en: https://apps.fcc.gov/edocs_public/attachmatch/DA-11-1535A1_Rcd.pdf

una estación de FM, se considera apropiado analizar la posibilidad de que los concesionarios adopten el uso de las tecnologías de modulación avanzadas MDCL, para lo cual, al igual que en Estados Unidos, es necesario que los concesionarios garanticen el servicio al menos en la cobertura establecida en sus títulos de concesión.

Por último, con base en las pruebas realizadas por la FCC y por la NRSC, se aconseja el uso de la técnica AMC en conjunto con el estándar digital IBOC, ya que de este modo se ha podido comprobar que la disminución de la cobertura digital es mínima en comparación con la cobertura analógica.

9. Referencias

1. IFT, "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 PUBLICO EN TRANSICIÓN A LA RADIO DIGITAL", *Diario Oficial de la Federación*, México, septiembre de 2008. Consultado el 10 de noviembre de 2017, disponible en: http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5060050&fecha=15/09/2008
2. IFT, Infraestructura, Instituto Federal de Telecomunicaciones. Consultado el: 10 de noviembre de 2017, disponible en: <http://www.ift.org.mx/industria/infraestructura>
3. IFT, "ACUERDO POR EL QUE EL PLENO DEL INSTITUTO FEDERAL DE TELECOMUNICACIONES EXPIDE LA DISPOSICIÓN TÉCNICA IFT-002-2016, ESPECIFICACIONES Y REQUERIMIENTOS PARA LA INSTALACIÓN Y OPERACIÓN DE LAS ESTACIONES DE RADIODIFUSIÓN SONORA EN FRECUENCIA MODULADA EN LA BANDA DE 88 MHz A 108 MHz.", *Diario Oficial de la Federación*, México, abril de 2016. Consultado el 10 de noviembre de 2017, disponible en: http://www.ift.org.mx/sites/default/files/dofpift170316102_1.pdf
4. IFT, "ACUERDO MEDIANTE EL CUAL EL PLENO DEL INSTITUTO FEDERAL DE TELECOMUNICACIONES APRUEBA Y EMITE LOS LINEAMIENTOS MEDIANTE LOS CUALES EL INSTITUTO FEDERAL DE TELECOMUNICACIONES ESTABLECE LOS CRITERIOS PARA EL CAMBIO DE FRECUENCIAS DE ESTACIONES DE RADIODIFUSIÓN SONORA QUE OPERAN EN LA BANDA DE AMPLITUD MODULADA A FRECUENCIA MODULADA.", *Diario Oficial de la Federación*, México, noviembre de 2016. Consultado el 10 de noviembre de 2017, disponible en: http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5462362&fecha=24/11/2016
5. IFT, XXXI Ordinaria del Pleno Instituto Federal de Telecomunicaciones, julio de 2017. Consultado el: 10 de noviembre de 2017, disponible en: <http://www.ift.org.mx/conocenos/pleno/sesiones/xxxi-ordinaria-del-pleno-4-de-julio-de-2017>
6. IFT, "ACUERDO MEDIANTE EL CUAL EL PLENO DEL INSTITUTO FEDERAL DE TELECOMUNICACIONES MODIFICA EL PROGRAMA ANUAL DE USO Y APROVECHAMIENTO DE BANDAS DE FRECUENCIAS 2015.", *Diario Oficial de la Federación*, México, abril de 2015. Consultado el 10 de

- noviembre de 2017, disponible en:
http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5387867&fecha=06/04/2015
7. IFT, "PROGRAMA ANUAL DE USO Y APROVECHAMIENTO DE BANDAS DE FRECUENCIAS 2016", *Diario Oficial de la Federación*, México, enero de 2016. Consultado el 10 de noviembre de 2017, disponible en:
http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5423198&fecha=21/01/2016
 8. IFT, "ACUERDO MEDIANTE EL CUAL EL PLENO DEL INSTITUTO FEDERAL DE TELECOMUNICACIONES EMITE EL PROGRAMA ANUAL DE USO Y APROVECHAMIENTO DE BANDAS DE FRECUENCIAS 2017.", *Diario Oficial de la Federación*, México, noviembre de 2016. Consultado el 10 de noviembre de 2017, disponible en:
http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5460048&fecha=08/11/2016
 9. IFT, Licitación No. IFT-4 (Radiodifusión AM y FM), Instituto Federal de Telecomunicaciones. Consultado el: 10 de noviembre de 2017, disponible en: <http://www.ift.org.mx/industria/espectro-radioelectrico/radiodifusion/2016/licitacion-no-ift-4-radiodifusion-am-y-fm>
 10. ANATEL, Radio Digital, Agencia Nacional de Telecomunicaciones. Consultado el: 10 de noviembre de 2017, disponible en: <http://www.anatel.gov.br/setorregulado/radio-digital>
 11. MediaTelecom, "Rousseff firma decreto para migración de AM a FM", *MediaTelecom*, noviembre de 2013. Consultado el: 10 de noviembre de 2017, disponible en: <https://www.mediatelecom.com.mx/~mediacom/index.php/agencia-informativa/noticias/item/53667-rousseff-firma-decreto-para-migracion-de-am-a-fm>
 12. OFCOM, "Ofcom consults on future of radio regulation and licensing", *Office of Communications*, abril de 2007. Consultado el: 10 de noviembre de 2017, disponible en: <https://www.ofcom.org.uk/about-ofcom/latest/media/media-releases/2007/ofcom-consults-on-future-of-radio-regulation-and-licensing>
 13. ACMA, "Digital radio", *Australian Communications and Media Authority*, diciembre de 2016. Consultado el: 10 de noviembre de 2017, disponible en: <https://www.acma.gov.au/Industry/Broadcast/Spectrum-for-broadcasting/Broadcast-planning/digital-radio-spectrum-for-broadcasters-acma-1>

14. FCC, "AM Revitalization Springs Forward", *Federal Communications Commission*, marzo de 2016. Consultado el: 10 de noviembre de 2017, disponible en: <https://www.fcc.gov/news-events/blog/2016/03/30/am-revitalization-springs-forward>
15. FCC, "AM Revitalization", *Federal Communications Commission*, marzo de 2016. Consultado el: 10 de noviembre de 2017, disponible en: <https://www.fcc.gov/media/radio/am-revitalization>
16. IFT, "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.", *Diario Oficial de la Federación*, México, junio de 2011. Consultado el 10 de noviembre de 2017, disponible en: http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5196204&fecha=16/06/2011
17. DRM, "WHAT IS DRM", *Digital Radio Mondiale*. Consultado el: 10 de noviembre de 2017, disponible en: <http://www.drm.org/what-is-drm/>
18. UIT, "System for digital sound broadcasting in the broadcasting bands below 30 MHz", *Recomendación ITU-R BS.1514-2*, *Unión Internacional de Telecomunicaciones*, marzo de 2011. Consultado el: 10 de noviembre de 2017, disponible en: https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/bs/R-REC-BS.1514-2-201103-!!PDF-S.pdf
19. Bodson, D., "Digital Audio Around the World," *IEEE Vehicular Technology Magazine*, vol. 5.
20. UIT, "Systems for terrestrial digital sound broadcasting to vehicular, portable and fixed receivers in the frequency range 30-3 000 MHz", *Recomendación BS.1114*, *Unión Internacional de Telecomunicaciones*, junio de 2015. Consultado el: 10 de noviembre de 2017, disponible en: <https://www.itu.int/rec/R-REC-BS.1114/es>
21. UIT, "Manual DSB - Radiodifusión sonora digital terrenal y por satélite destinada a receptores de vehículo, portátiles y fijos en las bandas de ondas métricas/decimétricas", *Unión Internacional de Telecomunicaciones*, 2002.
22. NRSC, "Evaluation of the iBiquity Digital Corporation IBOC System –Part 2 – AM IBOC", *National Radio Systems Committee*, abril de 2002. Consultado el: 10 de noviembre de 2017, disponible en: <http://www.nrscstandards.org/Reports/NRSC-R204%20Part%20I.pdf>

23. Pioneer, Hoja de datos: HD RADIO. Consultado el: 10 de noviembre de 2017, disponible en: <http://pioneer-mexico.com.mx/prensa/hoja-de-datos-hd-rador>
24. HD Radio Digital AM & FM, HIGH QUALITY, CONSISTENT MULTICAST ENGINEERING. Consultado el: 10 de noviembre de 2017, disponible en: <https://hdradio.com/broadcasters/engineering-support/high-quality-consistent-multicast-engineering>
25. John, Gardner, "The future of AM and FM radio", *AudioVideo International*, enero de 2005. Consultado el: 10 de noviembre de 2017, disponible en: <http://www.ti.com/lit/ml/sprl093/sprl093.pdf>
26. HD Radio y IBIQUITY DIGITAL, "HD Radio Air Interface Design Description – Layer 1 AM", *iBiquity Digital Corporation*, marzo de 2005. Consultado el: 10 de noviembre de 2017, disponible en: <http://www.nrscstandards.org/SG/NRSC-5-B/1012sE.pdf>
27. HD Radio, GET AN HD RADIO RECEIVER, HD Digital AM & FM. Consultado el: 10 de noviembre de 2017, disponible en: <https://hdradio.com/get-a-radio/car-radio>
28. NRSC, "NRSC-G101 AM Modulation-Dependent Carrier Level (MDCL) Usage Guideline", *National Radio Systems Committee*, abril de 2013. Consultado el: 10 de noviembre de 2017, disponible en: <http://www.nrscstandards.org/SG/nrsc-G101.pdf>
29. GATESAIR, "Application of Modulation Dependent Carrier Level ("MDCL") Control Technologies to Amplitude Modulation Transmission Systems", *GatesAir Inc.*, julio de 2015. Consultado el: 10 de noviembre de 2017, disponible en: <http://www.gatesair.com/documents/slides/2015-07-Anderson-Application-of-MDCL-Control-Tech.pdf>
30. FCC, "PUBLIC NOTICE: Media Bureau to Permit Use of Energy - Saving Transmitter Technology by AM Stations", *Federal Communications Commission*, Washington, septiembre de 2011. Consultado el: 10 de noviembre de 2017, disponible en: https://apps.fcc.gov/edocs_public/attachmatch/DA-11-1535A1_Rcd.pdf