



INSTITUTO FEDERAL DE
TELECOMUNICACIONES

**ESTUDIOS TÉCNICOS DE OPERACIÓN
DE ESTACIONES DE RADIODIFUSIÓN
EN FM CON SEPARACIONES
INFERIORES A 800 KHZ ENTRE SUS
PORTADORAS PRINCIPALES**

UNIDAD DE ESPECTRO RADIOELÉCTRICO

INSTITUTO FEDERAL DE TELECOMUNICACIONES

ESTUDIOS TÉCNICOS DE OPERACIÓN DE ESTACIONES DE RADIODIFUSIÓN EN FM CON
SEPARACIONES INFERIORES A 800 KHZ ENTRE SUS PORTADORAS PRINCIPALES

Índice

I.	Objetivo	4
II.	Glosario	4
III.	Antecedentes	5
i.	Migración de estaciones de AM a FM.....	5
ii.	Adopción del estándar para la radio digital	6
iii.	Reorganización del espectro a estaciones de radio y televisión	7
iv.	Programa Anual de Bandas de Frecuencias.....	8
v.	Disposición técnica de FM	9
IV.	Introducción	10
i.	Estado de la radio FM en México	10
ii.	Estándar de radio digital IBOC.....	11
V.	Separación en frecuencia entre portadoras principales FM	11
VI.	Tipos de instalaciones de estaciones FM IBOC híbridas.....	14
i.	Etapa del sistema y método para tomar la medición en instalaciones de línea común.....	14
ii.	Etapa del sistema y método para tomar la medición en instalaciones de líneas separadas	15
VII.	Máscaras de emisión espectral	16
VIII.	Metodología y ejecución de las pruebas a la estación XHUIA-FM "Ibero 90.9"	17
i.	Monitoreo de la señal y pruebas subjetivas	18
a)	Escenario 1: Transmisión convencional.....	21
b)	Escenario 2: Disminución de potencia de la portadora digital inferior	21
c)	Escenario 3: Disminución potencia de la portadora digital superior	21
d)	Escenario 4: Disminución de potencia de ambas portadoras digitales (inferior y superior)	22
e)	Escenario 5: Apagado de ambas portadoras digitales.....	22
ii.	Drive Test	22
IX.	Configuración de equipos para la realización de las pruebas en el aire	25
i.	Niveles de entrada	25
ii.	Rango dinámico.....	25
iii.	Resolución de ancho de banda - RBW	25
iv.	Líneas de límite de máscara de emisión	26
v.	Span en frecuencia.....	26
vi.	Filtro de Ancho de banda de video - VBW	27
vii.	Nivel de referencia	27
viii.	Periodo de barrido y número de barridos.....	28
ix.	Otros parámetros	28
X.	Conclusiones	28
INDICE DE ANEXOS.....		32
ANEXO 1 - ANÁLISIS DE GRÁFICAS RELEVANTES REALIZADAS A LA ESTACIÓN XHUIA-FM "IBERO 90.9"		32
ANEXO 2 - DRIVE TEST		32

ANEXO 3 - REPORTES DE LA DIRECCIÓN GENERAL ADJUNTA DE VIGILANCIA DEL ESPECTRO RADIOELÉCTRICO	32
ANEXO 4 - CUESTIONARIO DE PRUEBAS SUBJETIVAS	32
ANEXO 5 - SECUENCIA DE PRUEBAS Y TRANSMISIÓN DE LA ESTACIÓN XHUJA-FM " IBERO 90.9"	32
ANEXO 6 - RESULTADOS DE PRUEBAS SUBJETIVAS	32
ANEXO 7 - HOJAS DE ESPECIFICACIONES DE EQUIPOS UTILIZADOS	32

I. Objetivo

El objetivo del estudio es comprobar la operación de estaciones de radiodifusión en FM, tanto en modo analógico como en digital, con separación de frecuencia entre portadoras principales a 800 kHz.

Para este fin, el presente estudio presenta los resultados obtenidos de las pruebas realizadas en la Ciudad de México los días 2 y 3 de junio de 2015, en colaboración con la estación de radio XHUIA-FM "Ibero 90.9" de la Universidad Iberoamericana que transmite en la frecuencia 90.9 MHz en el Distrito Federal.

II. Glosario

Término/Acrónimo	Descripción
AATP:	Altura de la Antena sobre el Terreno Promedio
COFETEL	Comisión Federal de Telecomunicaciones
dB	Decibel
dBc	Decibeles relativos a portadora
dBFS	<i>decibels full scale</i> (Decibeles a escala completa)
dBm	Decibel relativo a un milliwatt (mW)
DGA-VESRE	Dirección General Adjunta de Vigilancia del Espectro Radioeléctrico
DOF	Diario Oficial de la Federación
DRM	Digital Radio Mondiale
FCC	Federal Communications Commission
FM	Frecuencia Modulada
IBOC	<i>In-Band-On-Channel</i> (Dentro de la banda, en el canal)
ISDB-TSB	<i>Integrated Services Digital Broadcasting-Terrestrial Sound Broadcasting</i> (Radiodifusión Digital de Servicios Integrados-Radiodifusión Sonora Terrestre)
kHz	Kilo Hertz
LFTyR	Ley Federal de Telecomunicaciones y Radiodifusión
MHz	Mega Hertz
mW	Mili Watt

NOM	Norma Oficial Mexicana
NRSC	National Radio Systems Committee
RBW	<i>Resolution Bandwidth</i> (Resolución de Ancho de Banda)
PABF 2015	Programa Anual de Uso y Aprovechamiento de Bandas de Frecuencias 2015
P.R.A.	Potencia Radiada Aparente
RF	Radiofrecuencia
RMS	<i>Root Mean Square</i> (Raíz del valor cuadrático medio)
SCT	Secretaría de Comunicaciones y Transportes
S/N	<i>Signal to Noise Ratio</i> (Relación Señal a Ruido)
UER	Unidad del Espectro Radioeléctrico
UC	Unidad de Cumplimiento
UIT	Unión Internacional de Telecomunicaciones
UPR	Unidad de Política Regulatoria
VBW	<i>Video Bandwidth</i> (Ancho de Banda de Video)

III. Antecedentes

i. Migración de estaciones de AM a FM

Siendo la radio una actividad del 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 mediante diversos mecanismos que el servicio de radiodifusión sonora se ofrezca con las mejores condiciones tecnológicas en beneficio de la población, tales como incentivar la inversión en la creación de infraestructura y fomentar el desarrollo de nuevas tecnologías, entre otros.

En ese sentido, para disminuir las desventajas competitivas que existen entre los servicios de AM respecto a los de FM, así como para facilitar a las radiodifusoras de AM su transición a la radio digital, a mediados de los años noventa la SCT autorizó la modificación de 83 títulos de concesión de estaciones de AM permitiendo su operación mediante la figura de "combo". La figura de "combo" es la modificación del título de concesión otorgado para operar y explotar una estación de AM, por virtud de la cual se autoriza la retransmisión íntegra de su programación, a través de una frecuencia de FM.

Por otro lado, considerando las características de la señal de AM, las tendencias tecnológicas hacia la radiodifusión digital y la demanda de más y mejores servicios, la extinta COFETEL tomó la decisión de implementar 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"*.

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 mediante el que se buscó mejorar la calidad del servicio de radio al público, promover la competencia en la industria y generar mejores condiciones para la radio digital.

Sin embargo, atendiendo las disposiciones técnicas aplicables y analizando el estado de uso del espectro en ciertas localidades, se determinó que no existen suficientes frecuencias disponibles en todos los mercados para ser asignadas a nuevas estaciones de FM. Por lo anterior, solo se lograron migrar a FM 535 estaciones de AM, quedando pendientes 171, debido principalmente a la alta densidad de estaciones de AM en el país y a la restricción normativa de que las estaciones de FM, que operen en una misma localidad, deben mantener una separación mínima entre frecuencias portadoras de 800 kHz, situación que origina una barrera regulatoria de explotación del espectro.

Previendo lo anterior, el Acuerdo establece que en aquellas localidades en donde el número de estaciones AM sea mayor a los canales de FM disponibles, se tendrán que llevar a cabo los procedimientos de licitación correspondientes y/o las adecuaciones necesarias en materia de radiodifusión, que permitan flexibilizar los esquemas de regulación actuales que inhiben y limitan su desarrollo.

ii. Adopción del estándar para la radio digital

En 1998, la SCT creó el Comité Consultivo de Tecnologías Digitales para la Radiodifusión con el fin de darle seguimiento a los avances a nivel internacional en materia de tecnologías digitales de radiodifusión. Este comité comenzó un proceso de análisis y evaluación de los estándares de radio digital, así como de la viabilidad de su adopción en México.

Como parte de las acciones realizadas, el 27 de marzo de 2000 se publicó en el DOF el *"Acuerdo por el que se reserva el uso de bandas de frecuencia del espectro radioeléctrico, para realizar trabajos de investigación y desarrollo, relacionados con la introducción de la radiodifusión digital"*, a través del cual se reservaron diversas bandas del espectro radioeléctrico a fin de realizar trabajos de investigación y desarrollo relativos a la introducción de la radiodifusión sonora y televisión digitales.

Los estándares de radio que estuvieron bajo análisis fueron aquellos que el Sector de Radiocomunicaciones de la UIT ha reconocido como viables para la digitalización de la radiodifusión sonora a nivel internacional: Eureka-147, IBOC y DRM. Dichos estándares fueron plasmados en la recomendación¹ ITU-R BS.1114-8 con base en información documental y experimental de los países miembros de la UIT.

¹ ITU-R BS.1114-8: Systems for terrestrial digital sound broadcasting to vehicular, portable and fixed receivers in the frequency range 30-3 000 MHz https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/bs/R-REC-BS.1114-8-201406-!!!PDF-E.pdf

Una vez concluido el trabajo del Comité, se determinó que los sistemas IBOC y DRM aprovechan mejor el espectro radioeléctrico ya asignado y a su vez permiten mantener la continuidad de la operación analógica, a diferencia de la tecnología Eureka-147 la cual requiere del uso de bandas distintas a las de AM y FM. Sin embargo, con base en los resultados obtenidos y considerando el grado de desarrollo e implementación del sistema IBOC en los Estados Unidos de América, finalmente México decidió adoptar el estándar IBOC como estándar de radio digital terrestre, por lo que el 16 de Junio de 2011 se publicó en el DOF 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 de forma voluntaria”*.

iii. Reorganización del espectro a estaciones de radio y televisión

La Reforma Constitucional en materia de Telecomunicaciones y Radiodifusión, publicada en el DOF el 11 de junio de 2013, en su artículo Décimo Séptimo Transitorio, párrafo primero y fracción V establece lo siguiente:

“DÉCIMO SÉPTIMO. En el marco del Sistema Nacional de Planeación Democrática, el Ejecutivo Federal incluirá en el Plan Nacional de Desarrollo y en los programas sectoriales, institucionales y especiales conducentes las siguientes acciones:

(...)

V. Un Programa Nacional de Espectro Radioeléctrico que, de manera enunciativa y no limitativa, incluirá lo siguiente:

(...)

b) Un programa de trabajo para reorganizar el espectro radioeléctrico a estaciones de radio y televisión.”

En este sentido, en el artículo Décimo Octavo Transitorio de la LFTyR publicada en el DOF el 14 de julio de 2014 se estableció que:

“DÉCIMO OCTAVO. El Instituto Federal de Telecomunicaciones deberá emitir dentro de los ciento ochenta días siguientes a la entrada en vigor de la Ley Federal de Telecomunicaciones y Radiodifusión, el programa de trabajo para reorganizar el espectro radioeléctrico a estaciones de radio y televisión (...)

En la determinación del programa de trabajo, el Instituto procurará 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 lo que en cumplimiento a lo antes descrito, el 16 de diciembre de 2014 el Pleno del Instituto emitió en su XXXVIII Sesión Extraordinaria el Programa de trabajo para reorganizar el espectro radioeléctrico a estaciones de radio y televisión, como parte de los elementos que serán incluidos en el Programa Nacional de Espectro cuya emisión corresponde a la SCT.

En dicho programa de trabajo se detalla el plan de acciones específicas para la reorganización de bandas de radio y televisión, dentro de las cuales se encuentra el que da vida al presente estudio y que a continuación se menciona:

“Operación de estaciones de radiodifusión en FM en una misma localidad, con separaciones entre portadoras principales inferiores a 800 kHz.

Realizar los estudios técnicos necesarios que permitan comprobar la operación de estaciones de radiodifusión en FM con separaciones inferiores a 800 kHz entre sus portadoras principales, incluyendo el uso de transmisiones digitales.”

Por lo anterior, se tomó la determinación de incluir el proyecto en el Programa Anual de Trabajo 2015 del Instituto; como uno de los Proyectos del Instituto, bajo la denominación “*Migración de Estaciones AM – FM: Estudios estaciones de FM con separación a 400 kHz*”, con plazo para su conclusión en el segundo trimestre de 2016.

iv. Programa Anual de Bandas de Frecuencias

Con el PABF 2015 y su modificación, publicado en el DOF el 6 de abril de 2015, se busca que los recursos espectrales que se harán disponibles este año contribuyan a la eliminación de barreras a la competencia y la libre concurrencia y promuevan la diversidad y pluralidad de la información radiodifundida permitiendo que información de carácter educativo, científico, cultural, comunitario o de pueblos indígenas sea emitida y de esta manera universidades, comunidades y pueblos indígenas diversifiquen las voces que se radiodifunden contribuyendo así a su desarrollo.

Entonces, para el caso del otorgamiento de concesiones de radiodifusión sonora para uso social comunitarias e indígenas, la LFTyR en su artículo 90 prevé segmentos reservados de las bandas de radiodifusión sonora en AM y en FM.

“Artículo 90.

(...)

El Instituto deberá reservar para estaciones de radio FM comunitarias e indígenas el diez por ciento de la banda de radiodifusión sonora de FM, que va de los 88 a los 108 MHz. Dicho porcentaje se concesionará en la parte alta de la referida banda.

El Instituto podrá otorgar concesiones para estaciones de radio AM, comunitarias e indígenas, en el segmento de la banda del espectro radioeléctrico ampliada que va de los 1605 a los 1705 KHz. Lo anterior, sin perjuicio de que el Instituto pueda otorgar concesiones de uso público, comercial o social, que no sean comunitarias o indígenas, en el resto del segmento de AM.

(...)”

Es por ello que el Instituto contempló en el PABF 2015 las reservas espectrales para concesiones de uso social comunitarias e indígenas de conformidad con lo antes descrito, que para el caso de FM la reserva corresponde a 2 MHz e incluye los canales de transmisión contenidos dentro del rango de frecuencias que va de los 106 MHz a los 108 MHz.

En este sentido, el PABF 2015 para el servicio de radiodifusión sonora contempla el concesionamiento de 191 frecuencias para uso comercial, 13 para uso público y 94 para uso social para el servicio en frecuencia modulada, así como 66 frecuencias para uso comercial, 2 para uso público y 3 para uso social para el servicio en amplitud modulada en diversas regiones del país. La cantidad de frecuencias de uso determinado que serán sujetas a concesionamiento para el servicio en FM, es poco más del doble que la cantidad de frecuencias publicadas para AM. Lo anterior, en concordancia con la cantidad de manifestaciones de interés recibidas por el Instituto reflejando la alta demanda de acceso a la banda de FM.

Con todo lo antes expuesto, queda claro que el Instituto debe identificar e implementar mecanismos tales como la realización de estudios técnicos y adecuaciones a la normatividad actual, entre otros, que le permitan incluir en versiones posteriores al PABF 2015 una mayor cantidad de frecuencias FM en atención a las manifestaciones de interés futuras, buscando las mejores condiciones de servicio y los objetivos tendientes a la optimización en el uso del espectro radioeléctrico; así como contribuir a la eliminación de barreras a la competencia y la libre concurrencia, promover la diversidad y pluralidad de la información radiodifundida y disminuyendo las barreras de acceso a los recursos espectrales, esenciales para los servicios de radiodifusión.

v. Disposición técnica de FM

El 11 de noviembre de 1993 se publicó en el DOF la Norma Oficial Mexicana NOM-02-SCT1-1993 (NOM), denominada "*Especificaciones y requerimientos para la instalación y operación de estaciones de radiodifusión sonora en la banda de 88 a 108 MHz, con portadora principal en frecuencia modulada*", siendo modificada el 1 de febrero y el 22 de noviembre de 2000 y el 3 de mayo de 2004.

La NOM tuvo por objeto regular las especificaciones y requerimientos para la instalación y operación de estaciones de radiodifusión sonora en frecuencia modulada, sin embargo, no resultó jurídicamente procedente realizar la revisión de la misma en términos de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización y, por ende, tampoco su notificación al Secretario Técnico de la Comisión Nacional de Normalización, por lo que perdió su vigencia.

Debido a lo anterior y a la necesidad de contar con normatividad técnica aplicable a la instalación y operación de estaciones de FM, el 1 de septiembre de 2014 se publicó en el DOF 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 sonora en frecuencia modulada*" (Acuerdo IFT-002-2014), la cual tiene como objeto establecer las especificaciones de carácter técnico para la instalación y operación de las estaciones radiodifusoras del país, ello con la finalidad de generar una serie de beneficios, dando permanencia a los preceptos específicos mínimos de carácter técnico, es decir, recoge el contenido sustantivo mínimo indispensable de la NOM-02-SCT1-1993, a efecto de otorgar la certidumbre jurídica necesaria para el sector.

Dicha disposición, en términos del Acuerdo Primero y del Artículo Segundo transitorio del Acuerdo IFT-002-2014, tiene una vigencia de un año contado a partir del día siguiente de

su entrada en vigor, es decir, del 1 de septiembre de 2014. En tal virtud, el Instituto deberá contar con una nueva disposición técnica respecto a las especificaciones y requerimientos para la instalación y operación de las estaciones de radiodifusión sonora en frecuencia modulada que sustituya a la actual.

IV. Introducción

i. Estado de la radio FM en México

Actualmente en México, de acuerdo a la información de la infraestructura de radiodifusión publicada en el portal del Instituto con fecha de actualización del 28 de abril de 2015, se tienen 352 permisos y 891 concesiones para proveer el servicio de radiodifusión sonora en la banda de FM a nivel nacional².

Como parte de los estudios de disponibilidad espectral y análisis de mecanismos para hacer un uso eficiente del espectro radioeléctrico que realiza el Instituto, se ha identificado que la disponibilidad en la banda de FM (88 a 108 MHz) comienza a ser limitada en ciertas regiones del país. Ejemplo de lo anterior es la saturación de la banda de frecuencias de FM en las ciudades grandes y por ende, el aumento de las limitantes de carácter técnico y normativo al momento de tratar de identificar nuevas frecuencias en ciertas localidades.

En este sentido, como respuesta a la demanda de espectro para FM, el Instituto contempló dentro del PABF 2015 el concesionamiento de 191 frecuencias para uso comercial, 13 para uso público y 94 para uso social para el servicio en frecuencia modulada. Es importante aclarar que dentro de las solicitudes de inclusión al Programa 2015 recibidas por el instituto, 198 fueron clasificadas como "Sin disponibilidad espectral en la localidad". Lo anterior implica que, atendiendo las disposiciones técnicas aplicables y el estado actual de uso del espectro en la localidad solicitada, no existen frecuencias disponibles que puedan ser utilizadas para su asignación a nuevas estaciones de FM en dichas localidades.

Por lo anterior, una de las medidas que está analizando el Instituto es modificar la separación mínima de 800 kHz entre frecuencias portadoras principales en una misma localidad para el establecimiento de estaciones FM, contenida en la Disposición Técnica IFT-002-2014. Esta modificación busca flexibilizar el marco regulatorio bajo el cual debe regirse la operación de este servicio permitiendo el acceso a nuevas estaciones de FM en una misma localidad, ya que si bien no duplicaría la capacidad de uso de la banda, si incrementaría el número de canales disponibles, contribuyendo a concluir la migración de estaciones de radio AM a FM y a enfrentar la demanda actual y futura de frecuencias en la banda de FM.

Acompañando a lo anterior, otra de las medidas que se proyectan con el objeto de propiciar una mayor eficiencia en el uso del espectro, así como mejorar la calidad en la prestación del servicio público de radiodifusión sonora es la de fomentar la implementación de la radio digital.

http://www.ift.org.mx/sites/default/files/contenidogeneral/industria/infraestructurafm28-04-15_1.pdf

ii. Estándar de radio digital IBOC

El nombre del sistema IBOC deriva del acrónimo en inglés *In-Band-On-Channel*, el cual significa "Canal dentro de banda". Este sistema fue desarrollado en Estados Unidos por la empresa iBiquity y ha sido catalogado como "Sistema C" por la Unión Internacional de Telecomunicaciones en el Manual de radiodifusión sonora digital y en la recomendación ITU-R BS.1114-8, con la finalidad de diferenciarlo de otros sistemas de radiodifusión digital existentes (por ejemplo Eureka 147, ISDB-TSB y DRM).

El sistema IBOC posee la ventaja de facilitar la penetración progresiva de sistemas de radiodifusión digital a través de la transmisión híbrida de señales analógicas y digitales en la misma porción del espectro, con ello se evita la necesidad de otorgar nuevos canales de espectro para transmitir la señal digital. Esta convivencia, además de permitir el uso eficiente del espectro radioeléctrico, permite una gradual y razonada transición a la radiodifusión digital.

Algunas de las principales características de este sistema son la transmisión de una calidad de audio superior, semejante a un disco compacto, así como la transmisión de datos a través de sus portadoras adyacentes, los cuales permiten difundir información adicional tal como: nombre de la radiodifusora, título de la canción o programa, información sobre teléfonos en cabina e incluso servicios de información adicionales tales como el clima, noticias, tráfico, transmisión de imágenes relativas a la programación, avisos, etc.

Además, otro de los beneficios con el que cuenta el estándar digital IBOC es la factibilidad de transmitir múltiples programas dentro del mismo canal de transmisión, lo que se conoce como *multiprogramación*. La multiprogramación es de suma importancia para impulsar la penetración de la radio digital terrestre, ya que el principal atractivo para que el público considere adquirir receptores digitales es el poder contar con contenido que no se encuentra disponible en el servicio analógico.

En México el sistema IBOC fue adoptado 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. Desde la publicación del acuerdo hasta el día de hoy, se han puesto en operación cerca de 33 estaciones de radio FM con el estándar digital IBOC a nivel nacional, todas ellas a excepción de una, transmiten digitalmente en la banda FM.

V. Separación en frecuencia entre portadoras principales FM

Una de las principales alternativas que ha identificado el Instituto para enfrentar la demanda de espectro para el servicio de radiodifusión sonora en la banda de FM es la de reducir a 400 kHz la separación mínima entre frecuencias portadoras principales en una misma localidad, buscando hacer un uso más eficiente del espectro y flexibilizando el marco regulatorio del servicio.

Actualmente a nivel internacional existen varios países que igualmente están estudiando la factibilidad de utilizar una separación de 400 kHz o incluso menor entre canales de FM dentro de una misma localidad, algunos de ellos son:

a) Estados Unidos de América

Como se mencionó anteriormente, el estándar IBOC fue desarrollado en Estados Unidos y desde el 2001 la penetración de este tipo de sistemas ha incrementado llegando a más de 1700 estaciones en la banda de FM.

En los Estados Unidos, la FCC generalmente no permite la asignación frecuencias del segundo canal de FM adyacente (400 kHz) en la misma ciudad, la distancia entre estaciones que ocupan el segundo canal adyacente está limitada de acuerdo a lo establecido en el código de regulación de la FCC y puede variar entre 31 y 105 km dependiendo de la clase de estación.

Sin embargo, existen excepciones³ a lo antes expuesto, en donde estaciones de FM con separaciones menores a 800 kHz y que utilizan IBOC operan dentro de la misma localidad, demostrando que el sistema IBOC FM tiene un excelente desempeño en estaciones operando en el segundo canal adyacente permitiendo la recepción de la señal analógica y digital. A continuación se muestra un ejemplo de tres estaciones operando con separación de 400 kHz entre sí y ubicadas a distancias menores de 25Km dentro de Estados Unidos:

Ciudad: Pasadena, CA. Latitud: 34°17'47'' Longitud: 118°15'30'' Distintivo: KROQ-FM Frecuencia: 106.7 MHz P.R.A.: 5.5 kW	Ciudad: Arcadia, CA. Latitud: 34°10'51'' Longitud: 118°01'38'' Distintivo: KSSE Frecuencia: 107.1 MHz P.R.A.: 6 kW	Ciudad: Los Angeles, CA. Latitud: 34°13'44'' Longitud: 118°04'02'' Distintivo: KLVE Frecuencia: 107.5 MHz P.R.A.: 29.5 kW	
	0 km	21.32 km	17.94 km
Ciudad: Arcadia, CA. Latitud: 34°10'51'' Longitud: 118°01'38'' Distintivo: KSSE Frecuencia: 107.1 MHz P.R.A.: 6 kW	21.32 km	0 km	6.49 km
Ciudad: Los Angeles, CA. Latitud: 34°13'44'' Longitud: 118°04'02'' Distintivo: KLVE Frecuencia: 107.5 MHz P.R.A.: 29.5 kW	17.94 km	6.49 km	0 km

Tabla 1: Caso actual de estaciones con separación de 400 kHz en Estados Unidos

³ “COMMENTS CONCERNING THE USE OF SECOND ADJACENT (400 KHZ) CHANNEL SPACING WITH THE IBOC FM SYSTEM IN MEXICO”
iBiquity Digital

b) Canadá⁴

Debido a la alta demanda de canales de FM y a la saturación de la banda en Canadá en los últimos años, *Industry Canada*, el regulador de ese país, ha flexibilizado la normatividad técnica que restringía la asignación de más frecuencias para el servicio de radiodifusión de FM.

Tal es el caso de la reciente modificación en la regulación técnica de FM, con la cual se ha permitido el uso de tercer canal adyacente de FM (600 kHz) dentro del mismo mercado. Con esta modificación se ha concluido que salvo los casos en donde las estaciones se encuentren co-ubicadas, es muy factible que exista interferencia. Por ello, para permitir la operación de estaciones de FM con separación de 600 kHz entre frecuencias portadoras principales, *Industry Canada* tuvo que establecer ciertos criterios y restricciones de operación.

En cuanto al segundo canal adyacente, en términos generales no está permitido su uso dentro de una misma ciudad, no obstante, existen algunas excepciones en las que las estaciones han aceptado voluntariamente la presencia de otra estación operando a una separación de 400 kHz. Con base en los casos que se han presentado en Canadá, el regulador ha recibido múltiples propuestas en las que se solicita permitir a las estaciones aceptar la operación de nuevas estaciones con separación de 400 kHz entre frecuencias principales siempre y cuando estas se encuentren co-ubicadas y operen con los parámetros necesarios para no causar interferencia.

c) India⁵

La Autoridad Reguladora de las Telecomunicaciones de la India (TRAI, por sus siglas en inglés) también ha considerado permitir estaciones de FM con separación de 400 kHz entre frecuencias principales como respuesta a la demanda de canales en el país.

En los estudios realizados por la TRAI se ha concluido que la selectividad de los actuales receptores FM permiten la recepción fiel de transmisores con separación menores a 800 kHz entre estaciones, por lo que ya no se considera como una limitante para su operación, por lo tanto para evitar la interferencia entre las estaciones se han planteado dos posibles soluciones:

1. Reemplazar los combinadores de las estaciones existentes por otros que soporten mayor cantidad canales.
2. Implementar la infraestructura nombrada CTI, *Common Transmission Infrastructure*, o lo que también es conocido como co-ubicación, a través de esta solución estaciones con separación de 800 kHz y de 400 kHz podrían operar indistintamente y en la mayoría de los casos sin interferencia.

Actualmente se continúa analizando ambas soluciones buscando definir cuál es la que podría funcionar mejor para el país.

⁴ "CAB Information Paper: Increasing FM Frequency Availability Through the Use of Co-Sited Second-Adjacent FM Channels", Wayne A. Stacey, P.Eng., CAB Technical Advisor

⁵ "Issues related to prescribing Minimum Channel Spacing, within a License Service Area, in FM Radio Sector in India", Telecom Regulatory Authority of India

d) Reino Unido⁶

En el Reino Unido actualmente existen algunos canales de FM transmitiendo con separación de 400 kHz debido a que "Ofcom", el regulador de ese país, permite la operación de transmisores con esta separación siempre y cuando se encuentren co-ubicados y respeten el límite de protección establecido para este tipo de casos, el cual es de -20 dB.

De los ejemplos anteriores, se aprecia que no existe una regla general a nivel regulatorio sobre la operación de estaciones a 400 kHz, pero como respuesta a la alta demanda de frecuencias para el servicio de radiodifusión de FM y a la saturación de la banda diferentes reguladores están estudiando la viabilidad de reducir la separación en frecuencia entre estaciones de la misma ciudad, sin dejar de lado que actualmente ya existen excepciones que bajo previo análisis de la autoridad se ha determinado la viabilidad de su operación, apoyados en algunos casos de la implementación de estaciones co-ubicadas.

VI. Tipos de instalaciones de estaciones FM IBOC híbridas

De acuerdo con la NSRC⁷, existen dos tipos de instalaciones para las estaciones de FM IBOC, las instalaciones de línea común y las de líneas separadas.

Las estaciones que cuentan con una instalación de línea común son aquellas que combinan la señal analógica y digital en algún punto y entregan la señal compuesta a una única antena. Es por ello que en estos casos se puede obtener la señal compuesta FM IBOC híbrida en algunos puntos de las líneas de transmisión, así como en el aire.

Por su parte, las instalaciones de líneas separadas, como su nombre lo indica, tienen dos líneas de transmisión, una para la señal analógica y otra para la señal digital. Ambas líneas se extienden desde los transmisores hasta la o las antenas, ya que estas estaciones pueden estar dotadas de antenas independientes o de antenas de doble alimentación. En ese sentido, la señal compuesta FM IBOC híbrida solo se encuentra disponible para su medición en el aire, por lo que se debe prestar principal atención en el cálculo de las ganancias y pérdidas de los sistemas digitales y analógicos, así como el establecer un nivel de referencia común entre ellas, si se desea realizar la medición de modo directo en cada transmisor.

Para realizar las mediciones de una estación FM IBOC híbrida es importante tener en cuenta que tipo de instalación tiene la estación, ya que de ello dependerá el método a través del cual se medirá la máscara de emisión de la señal.

I. Etapa del sistema y método para tomar la medición en instalaciones de línea común.

Para obtener una muestra de la señal FM IBOC híbrida de una estación de línea común, se debe identificar el último componente del sistema antes de que se entregue la señal a la antena.

En la figura 1 se pueden observar dos ejemplos simplificados de sistemas FM de línea común, las estrellas amarillas marcan la etapa o el lugar a partir del cual se puede tomar la muestra

⁶ Issues related to prescribing Minimum Channel Spacing, within a License Service Area, in FM Radio Sector in India", Telecom Regulatory Authority of India

⁷ "NRSC-G201-A NRSC-5 RF Mask Compliance: Measurement Methods and Practice ", National Radio Systems Committee, Abril 2010

de la señal compuesta de FM IBOC. En el caso que el sistema cuente con filtros o combinadores en las antenas, la señal deberá ser medida a la salida de dicho componente.

La imagen de la izquierda muestra una estación con combinación de bajo nivel, lo que significa que la señal analógica y digital se están combinando una etapa antes de la etapa de amplificación, la imagen de la derecha muestra una estación con combinación de alto nivel, en donde las señales digital y analógica son amplificadas antes de combinarse.

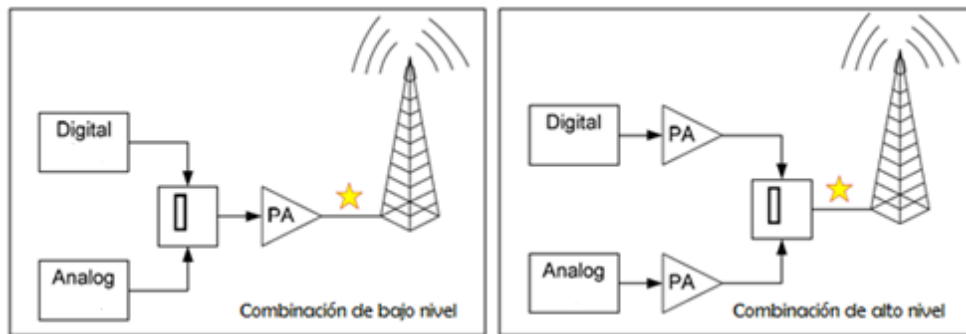


Figura 1: Ejemplos simplificados de sistemas FM de línea común.

Existen dos principales detalles en los que hay que prestar atención al momento de realizar una medición en una instalación de línea común. El primero es el ancho de banda de la antena ya que es necesario verificar que el sistema medido cuente con una antena que cumpla con los requerimientos de ancho de banda para radiar correctamente una señal FM IBOC híbrida. El segundo es la calidad de acoplador direccional utilizado para obtener la medición, se debe de asegurar que la reflexión de las señales sobre las líneas de transmisión no afecte la calidad de la medición. La muestra de la señal de RF debe ser lo suficientemente fuerte para maximizar la S/N del instrumento de medición y proteger el instrumento de medición para evitar una sobrecarga.

ii. Etapa del sistema y método para tomar la medición en instalaciones de líneas separadas

En el caso de las estaciones con instalaciones de líneas separadas, el obtener una muestra de la señal FM IBOC híbrida puede resultar más complicado. Para este tipo de instalaciones el único lugar de donde se puede tomar una muestra de la señal híbrida es en el aire. Sin embargo, las mediciones en el aire están expuestas a inconsistencias resultantes principalmente de las diferencias entre los patrones de radiación de las antenas, las señales por multi-trayectoria, el ruido, la interferencia y las señales de canales adyacentes que se estarían recibiendo en el equipo de medición.

En caso de que se pretendan realizar mediciones de la señal FM IBOC en modo directo, se recomienda tomar muestras independientes de la señal analógica y digital y analizar la coincidencia de la máscara de emisión (de la cual se hablará más adelante) por separado estableciendo un nivel de referencia común.

De igual manera que con las instalaciones de línea común, es importante considerar el ancho de banda de la antena y el acoplador direccional usado para tomar la muestra de

la señal. Además, la muestra de RF obtenida debe ser lo suficientemente fuerte para maximizar la S/N del instrumento de medición teniendo cuidado en proteger el instrumento de medición para evitar una sobrecarga.

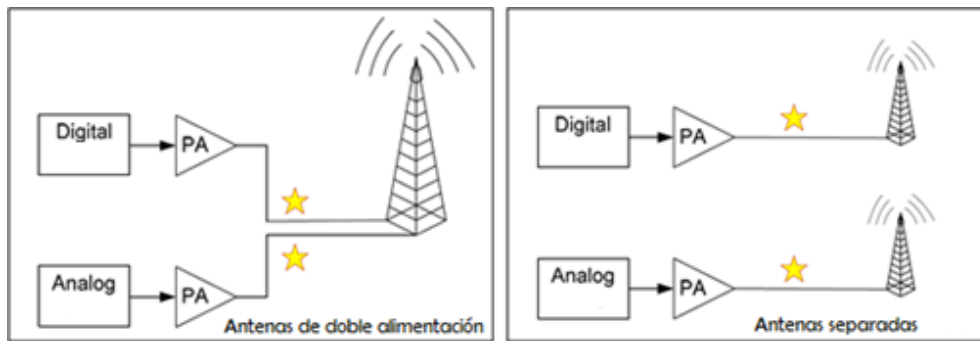


Figura 2: Ejemplos simplificados de sistemas FM de líneas separadas.

VII. Máscaras de emisión espectral

La máscara de emisión se define como la medición relativa de las emisiones fuera de canal (*out-of channel emissions*) y se utiliza para determinar si las emisiones excedentes a los límites establecidos pudieran causar interferencias a sus canales adyacentes o a otros servicio.

En ese sentido, bajo una operación normal de una estación IBOC FM, los límites de emisión que forman la máscara de emisión están definidos de la siguiente manera:

Todas las señales espurias, incluido el ruido en fase y las señales de intermodulación, deberán respetar los niveles que continuación se describen de manera enunciativa y los cuales se resumen en la tabla 2 y se representan gráficamente en la figura 3. Estos límites están acorde a los niveles de potencia permitidos para las bandas laterales superior e inferior.

- La densidad espectral de potencia medida de la señal híbrida analógica y digital con un offset respecto a la frecuencia central de entre 100 kHz y 200 kHz no deberá ser mayor a -30 dBc/kHz.
- La densidad espectral de potencia medida de la señal híbrida analógica y digital con un offset respecto a la frecuencia central de entre 200 kHz y 207.5 kHz no deberá ser mayor a $(-30.0 - (| \text{frecuencia en kHz} | - 200 \text{ kHz}) \cdot 4.187)$ dBc/kHz.
- La densidad espectral de potencia medida de la señal híbrida analógica y digital con un offset respecto a la frecuencia central de entre 207.5 kHz y 250 kHz no deberá ser mayor a $(-61.4 - (| \text{frecuencia en kHz} | - 207.5 \text{ kHz}) \cdot 0.306)$ dBc/kHz.
- La densidad espectral de potencia medida de la señal híbrida analógica y digital con un offset respecto a la frecuencia central de entre 250 kHz y 540 kHz no deberá ser mayor a -74.4 dBc/kHz.
- La densidad espectral de potencia medida de la señal híbrida analógica y digital con un offset respecto a la frecuencia central de entre 540 kHz y 600 kHz no deberá ser mayor a $(-74.4 - (| \text{frecuencia en kHz} | - 540 \text{ kHz}) \cdot 0.093)$ dBc/ kHz.

- La densidad espectral de potencia medida de la señal híbrida analógica y digital con un offset respecto a la frecuencia central de más de 600 kHz no deberá ser mayor a -80.0 dBc/kHz.

Offset en frecuencia relativo a la portadora	Nivel (dBc/kHz)
100-200 kHz Offset	-30.0
200-207.5 kHz Offset	$-30.0 - [(frecuencia\ en\ kHz - 200\ kHz) \cdot 4.187]$
207.5-250 kHz Offset	$-61.4 - [(frecuencia\ en\ kHz - 207.5\ kHz) \cdot 0.306]$
250-540 kHz Offset	-74.4
540-600 kHz Offset	$-74.4 - [(frecuencia\ en\ kHz - 540\ kHz) \cdot 0.093]$
>600 kHz Offset	-80.0

Tabla 2: Límites de emisión y ruido, señal de radio FM IBOC

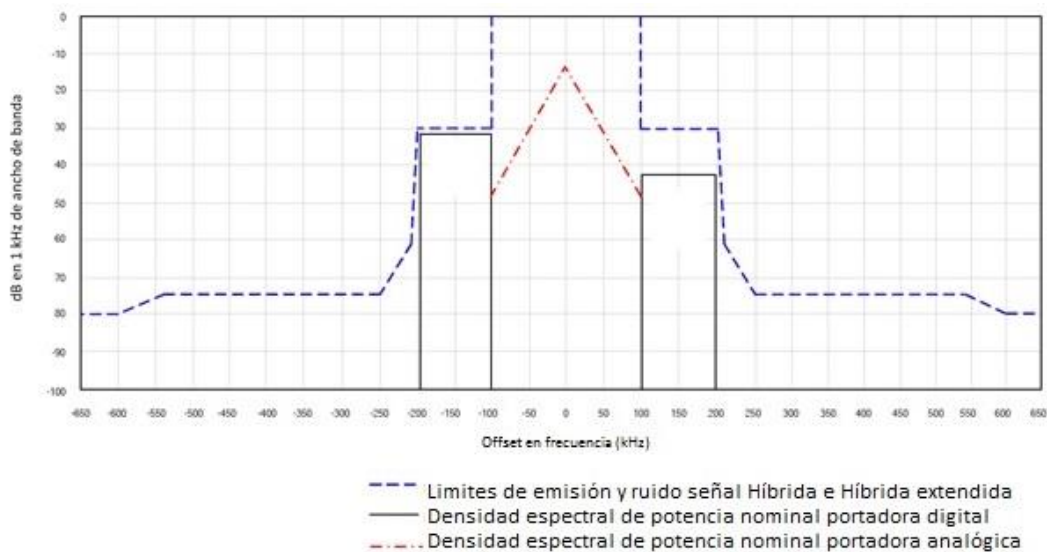


Figura 3: Límites de emisión y ruido, señal de radio FM IBOC

Como se observa en la figura 3, las portadoras laterales pueden tener una diferencia de amplitud entre ellas de hasta 10 dB, lo que se conoce como portadoras laterales asimétricas. Por lo general, la potencia de las portadoras laterales es la misma, pero en algunos casos se implementan las portadoras laterales asimétricas para disminuir la interferencia con canales adyacentes. Es importante mencionar que aun cuando las portadoras laterales tengan una diferencia de potencia de 10 dB, los límites de emisión y ruido de la señal digital son los mismos.

VIII. Metodología y ejecución de las pruebas a la estación XHUIA-FM "Ibero 90.9"

Con el fin poder analizar el comportamiento de la señal de FM digital IBOC, el Instituto en conjunto con la Universidad Iberoamericana realizaron un grupo de pruebas de campo que incluyen el monitoreo de la señal de una estación de FM mediante analizadores de

espectro, pruebas subjetivas de calidad del audio y un *drive test*⁸ de las señales digital y analógica.

La Universidad Ibero cuenta con el permiso de utilizar una frecuencia de radiodifusión con fines culturales con fecha de vigencia del 3 de octubre de 2025. La estación Ibero 90.9 opera en la frecuencia de 90.9 MHz de la banda de FM, con una potencia de 3 kW y utiliza el estándar digital IBOC para transmitir de forma híbrida y se encuentra ubicada dentro de las instalaciones de la Universidad, localizada en Santa Fe, Ciudad de México. La estación Ibero 90.9, cuenta con una instalación de líneas separadas con antenas independientes para la señal analógica y digital, las señales se combinan en el aire por medio del arreglo físico de las antenas.

El caso de esta estación es de especial interés debido a que se encuentra operando con una separación de 400 kHz respecto a sus estaciones adyacentes (90.5 y 91.3 MHz, las estaciones de radio Imagen y Alfa respectivamente), las cuales operan con 100 kW de potencia cada una. La estación Imagen se encuentra ubicada en el cerro del Chiquihuite, mientras que Alfa se localiza en un cerro al poniente de la ciudad.

Como se mencionó anteriormente las pruebas se encuentran divididas en 3 grupos y fueron realizadas en dos días: el día martes 2 de junio de 2014 se efectuaron las mediciones correspondientes al monitoreo de la señal con los analizadores de espectro y las pruebas subjetivas de calidad de audio; el miércoles 3 de junio se realizó el *drive test*.

i. Monitoreo de la señal y pruebas subjetivas

Las pruebas del día 1 fueron realizadas por un equipo compuesto por personal de la UPR, UER y UC, así como participantes por parte de la Universidad Iberoamericana, las cuales se llevaron a cabo en 4 puntos diferentes de la ciudad, formando 4 brigadas (figura 4).

El monitoreo de las señales con los analizadores de espectro fueron realizadas por la UC, a través de la DGA-VESRE y por el personal de Ibero 90.9 en las 4 brigadas, dichas mediciones se realizaron tanto en el exterior como en el interior de un edificio. Las mediciones subjetivas de calidad de audio se llevaron a cabo en las brigadas 2, 3 y 4 por el personal de Ibero 90.9 y la coordinación de cada brigada estuvo a cargo de la UPR y UER del IFT:

#	Brigada	Distancia a la estación IMAGEN 90.5 MHz (km) LAT: 19°31'59.92"N LONG: 99° 7'49.43"O	Distancia a la estación IBERO 90.9 MHz (km) LAT: 19°22'4.43"N LONG:99°15'54.95"O	Distancia a la estación ALFA 91.3 MHz (km) LAT:19°27'8.07"N LONG:99°22'3.05"O
1	Transmisor de Ibero 90.9 LAT: 19°22'4.43"N LONG:99°15'54.95"O	23.3	0	14.3
2	IPN Zacatenco LAT: 19°29'55.17"N LONG: 99° 8'6.03"O	3.78	20.1	24.9

⁸ Recolección de datos (frecuencia, intensidad de campo electromagnético, coordenadas geográficas) dinámica para sistemas de radiofrecuencia por medio de una unidad móvil.

#	Brigada	Distancia a la estación IMAGEN 90.5 MHz (km) LAT: 19°31'59.92"N LONG: 99° 7'49.43"O	Distancia a la estación IBERO 90.9 MHz (km) LAT: 19°22'4.43"N LONG:99°15'54.95"O	Distancia a la estación ALFA 91.3 MHz (km) LAT:19°27'8.07"N LONG:99°22'3.05"O
3	Instalaciones IFT edificio Sede LAT: 19°22'54.27"N LONG: 99°10'35.78"O	17.6	9.47	21.5
4	DGTIC Ciudad Universitaria LAT: 19°19'21.60"N LONG: 99°11'2.98"O	24.1	9.85	24.1

Tabla 3: Ubicación de brigadas y distancia a estaciones transmisoras.

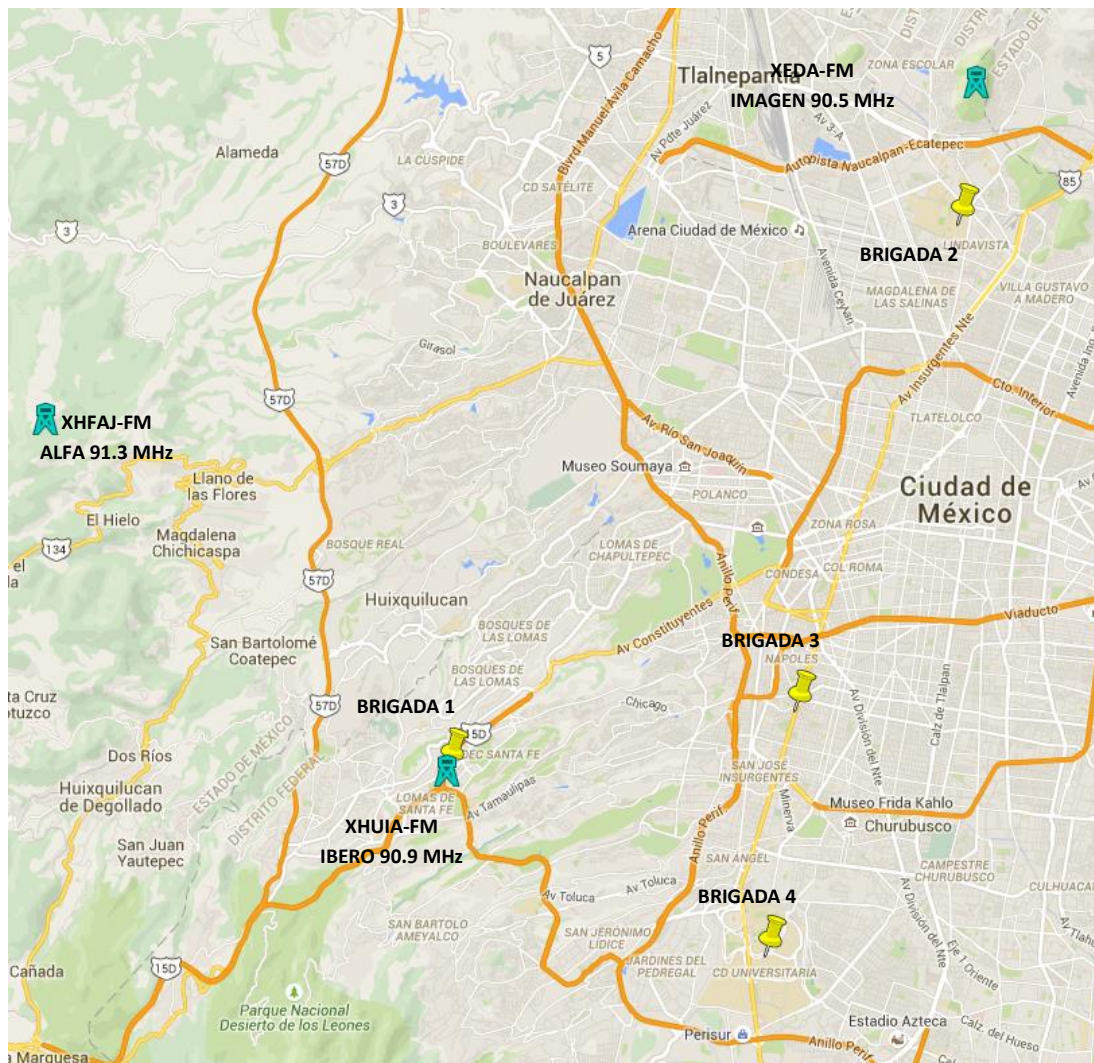


Figura 4: Ubicación de las brigadas y estaciones transmisoras.

Para las pruebas se llevó un esquema de mediciones el cual puede ser consultado en el Anexo 5 de este documento bajo el nombre de "Secuencia de pruebas". Esta secuencia de pruebas divide las mediciones en 5 "escenarios" que corresponden a cada una de las

modificaciones que se hicieron a las portadoras digitales, bajo la coordinación de la brigada 1.

Dentro de cada escenario las pruebas se dividieron en 4 bloques: dos de ellos para realizar el monitoreo de la señal en el aire, tanto en el exterior como en el interior (mediante un sistema de comprobación técnica del espectro radioeléctrico y un analizador de espectro) y los otros dos para que los participantes por parte de la Universidad realizaran las pruebas subjetivas de calidad de audio en cada una de las ubicaciones, las pruebas subjetivas se realizaron tanto con receptores portátiles como con receptores de un vehículo.

De las dos mediciones tomadas en el aire con los analizadores de espectro, una se realizó con un *span*⁹ de 500 kHz, permitiendo observar exclusivamente la señal de Ibero 90.9 MHz y verificar el cumplimiento de la máscara de emisión, y la otra con un *span* de 1.3 MHz, con la finalidad de observar las estaciones adyacentes y su comportamiento respecto a cada uno de los escenarios. En cuanto a las mediciones tomadas directas al transmisor, en cada escenario dos bloques fueron destinados para medir la señal analógica y dos para medir la señal digital, estableciendo el mismo nivel de referencia, utilizando un *span* de 1 MHz debido a que el equipo utilizado no permitió ajustarlo a un valor menor.

Para el fin de este estudio se han seleccionado una serie de gráficas por ubicación que a consideración de la UER son representativas, dichas gráficas pueden ser consultadas en el Anexo 1. Sin embargo, en el Anexo 3 se pueden consultar los reportes entregados por la DGA-VESRE, los cuales contienen la totalidad de mediciones realizadas en este estudio.

Por su parte, las pruebas subjetivas fueron realizadas con dos receptores de radio digital FM, un receptor portátil y el receptor digital móvil de un vehículo (ver especificaciones en el Anexo 7). El cuestionario y metodología de las pruebas subjetivas fue propuesto por Radio Ibero y contiene una serie de preguntas de apreciación tanto de las partes de voz y música como de los tonos de prueba y se basó en tres fuentes: la recomendación ITU-R BS.562-3¹⁰, el método MUSHRA¹¹ de la BBC y el PEAQ¹² de la UIT. Dicho cuestionario, así como los resultados obtenidos de esta prueba se pueden consultar en el Anexo 4 y Anexo 6 correspondientemente.

Para realizar las pruebas subjetivas, así como para marcar el inicio de cada bloque Radio Ibero realizó un spot de 2 minutos 36 segundos, el cual contiene partes de voz masculina, voz femenina, música y una serie de tonos de prueba. Este spot fue transmitido por la estación el día de las pruebas desde las 10:00 hasta las 15:00 horas, con una separación de 15 minutos entre cada uno, marcando el inicio de uno de los bloques de medición. En total se realizaron 18 bloques distribuidos en cada uno de los escenarios. A continuación se describen cada uno de los escenarios que siguieron las brigadas el día 1 de medición:

⁹ *Span* es una palabra del inglés que significa "lapso" o "duración". El *span* especifica el comienzo y el fin de un rango de frecuencias.

¹⁰ Recomendación ITU-R BS.562-3: Subjective assessment of sound quality https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/bs/R-REC-BS.562-3-199006-W!!PDF-E.pdf

¹¹ The MUSHRA audio subjective test method <http://downloads.bbc.co.uk/rd/pubs/whp/whp-pdf-files/WHP038.pdf>

¹² PEAQ—The ITU Standard for Objective Measurement of Perceived Audio Quality, Thiede et al, 2000 <http://www.ee.columbia.edu/~dpwe/papers/Thiede00-PEAQ.pdf>

a) Escenario 1: Transmisión convencional

El escenario 1 corresponde a la operación convencional de la estación, es decir transmitiendo con ambas portadoras digitales de manera simétrica y con la potencia utilizada normalmente para transmitir. En este escenario se realizaron los primeros 4 bloques de medición, dando inicio a las 10:45 am del día martes 2 de junio de 2015.

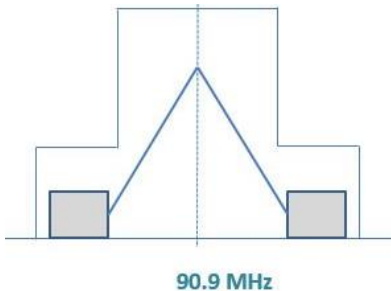


Figura 5: Escenario 1 Todas las portadoras encendidas.

b) Escenario 2: Disminución de potencia de la portadora digital inferior

En el segundo escenario el personal de Radio Ibero disminuyó la potencia de la portadora digital inferior, portadora izquierda, a 4 dB respecto de la portadora derecha. Durante este escenario se realizaron las mediciones correspondientes a los bloques 5 al 8.

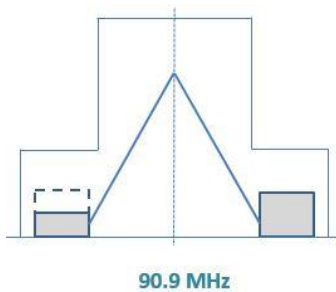


Figura 6: Disminución de la portadora lateral inferior.

c) Escenario 3: Disminución potencia de la portadora digital superior

Para el escenario 3, la potencia de la portadora izquierda fue restablecida a su valor inicial y la potencia de la portadora digital superior se disminuyó a 4 dB respecto de la otra. Este escenario comprende las mediciones del bloque 9 al bloque 12.

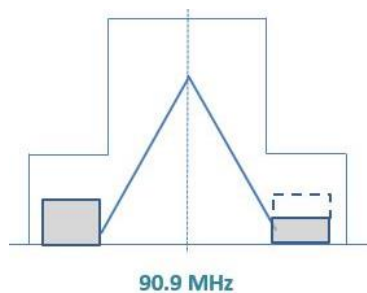


Figura 7: Disminución de la portadora lateral superior

d) Escenario 4: Disminución de potencia de ambas portadoras digitales (inferior y superior)

En el escenario número 4, se disminuyó la potencia de la portadora digital inferior en la misma proporción que la superior, quedando ambas portadoras 4 dB por debajo de su potencia normal de transmisión. Este escenario corresponde a las pruebas de los bloques 13 al 16.

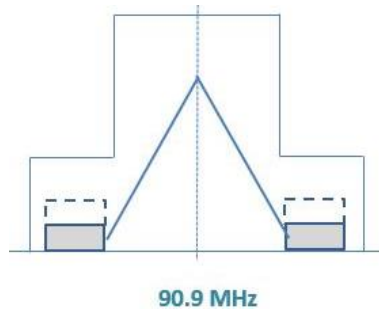


Figura 8: Disminución de ambas portadoras laterales.

e) Escenario 5: Apagado de ambas portadoras digitales

En el último escenario se dejaron de transmitir ambas portadoras digitales, es por ello que este escenario solo está compuesto por los dos últimos bloques de medición.

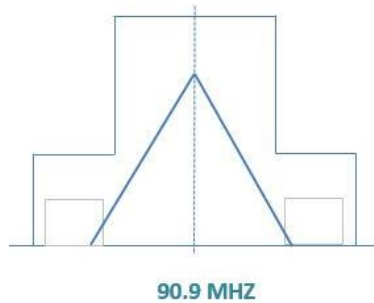


Figura 9: Ambas portadoras digitales apagadas.

ii. Drive Test

Las pruebas del día 2 consistieron en un *drive test* realizado por personal de la UC, en conjunto con personal de la UPR y de la UER. Se llevó a cabo con dos estaciones móviles transportables de comprobación técnica con el software Scorpio, ya que una estación monitoreaba la intensidad de campo de la señal analógica mientras la otra unidad monitoreaba la señal digital, ambos recorridos se efectuaron a una velocidad promedio de entre 60 y 70 km/h.

Además de realizar el recorrido verificando el nivel de intensidad de señal de ambas portadoras, se realizaron 11 mediciones con los analizadores de espectro en puntos considerados como estratégicos por su ubicación o nivel de señal teórico. Lo anterior con el objeto de contar con mediciones en puntos más cercanos al transmisor y poder verificar el comportamiento de la señal a una distancia más corta de la estación.

La ruta y los puntos fueron seleccionados con base en la simulación de cobertura de la estación elaborada por la UER a través del software especializado para tal efecto.

A continuación se presentan imágenes de los contornos audibles de la señal tanto analógica como digital, la ruta recorrida y los 11 puntos fijos de medición.

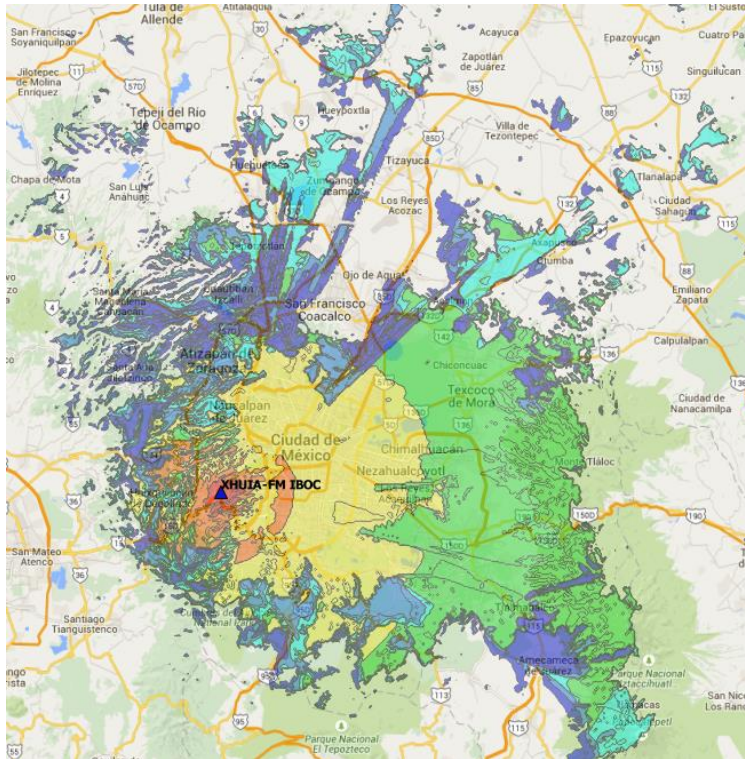


Figura 10: Cobertura analógica de Ibero 90.9 MHz XHUIA-FM

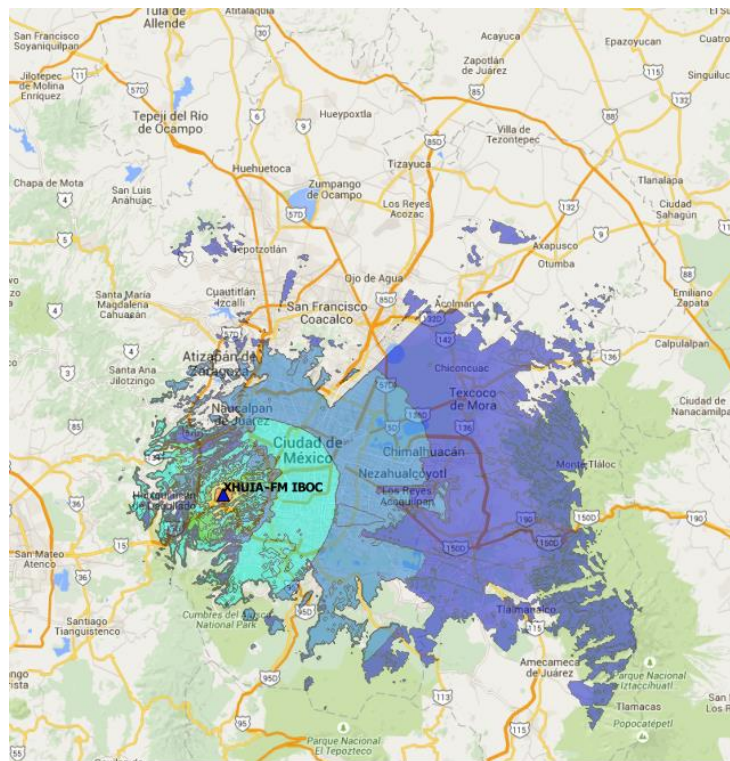
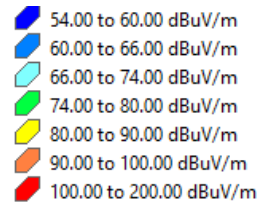


Figura 11: Cobertura Digital de Ibero 90.9 MHz XHUIA-FM

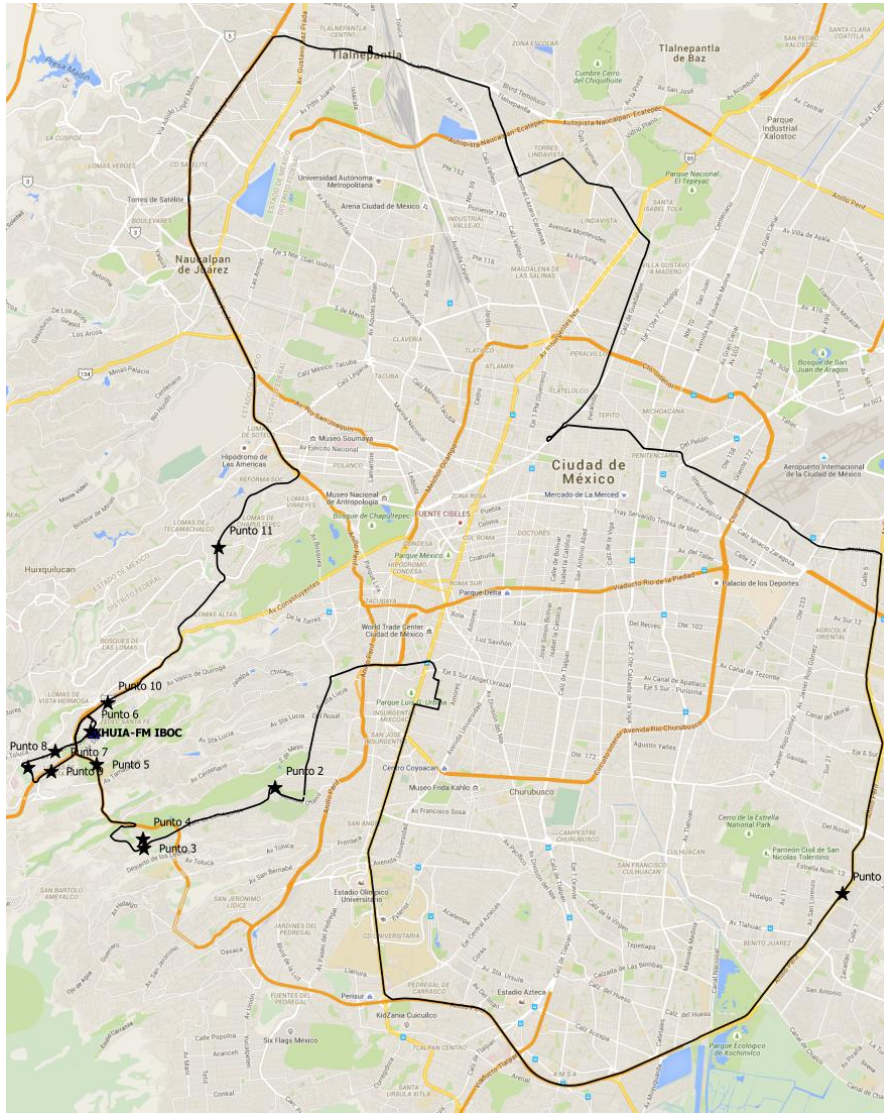


Figura 12: Ruta de Drive test y puntos fijos de medición

Punto de medición	Sitio	Latitud	Longitud
1	San Juan Estrella	19°19'44"N	99°4'2"W
2	Rómulo O'farril	19°21'18"N	99°12'52"W
3	Las Águilas	19°20'25"N	99°14'55"W
4	Superama Las Águilas	19°20'33"N	99°14'56"W
5	Tec. de Monterrey Campus Sta. Fe	19°21'38"N	99°15'39"W
6	Universidad Iberoamericana	19°22'8"N	99°15'45"W
7	Centro comercial Santa Fe	19°21'50"N	99°16'17"W
8	Juan Salvador Agraz	19°21'36"N	99°16'44"W
9	Telefónica Sta. Fe	19°21'33"N	99°16'22"W
10	Corporativo Banamex	19°22'33"N	99°15'29"W
11	Palmas	19°24'50"N	99°13'45"W

Tabla 4: Ubicación de puntos fijos de medición Drive Test

El objetivo principal de realizar la medición de *Drive Test* es conocer el comportamiento de las señales de la estación Ibero 90.9 a lo largo de la Ciudad de México y comparar con las predicciones de cobertura dispuestas. Además, el *Drive Test* te da una mejor perspectiva del comportamiento de la señal a consecuencia de obstáculos y/o factores de interferencia.

Los resultados obtenidos se encuentran contenidos en el Anexo 2 del presente documento.

IX. Configuración de equipos para la realización de las pruebas en el aire

Para realizar el monitoreo de la señales en el aire se configuraron los analizadores de espectro equipos de acuerdo a las recomendaciones de la NRSC, en donde se sugiere que para transmisiones IBOC FM híbridas la medición de la señal analógica combinada con las señales digitales se realice con una resolución de ancho de banda 1 KHz para facilitar la verificación del cumplimiento de la máscara de emisión. Además, se recomienda definir el valor de referencia de amplitud conforme al valor máximo de potencia de la portadora analógica.

A continuación se realiza una breve descripción de los parámetros que se tomaron en cuenta para la configuración de los equipos.

i. Niveles de entrada

Al momento de realizar la medición, es importante considerar el atenuador interno que normalmente tienen los equipos de medición. Los analizadores de espectro en específico tienen atenuadores que pueden ajustarse manual o automáticamente, por lo que la persona encargada de realizar la medición deberá tener en cuenta el valor desplegado en pantalla corresponde a un valor corregido, después de haber compensado la atenuación del propio equipo.

Por ejemplo, si la potencia entregada al instrumento de medición fuera 0 dBm, y el atenuador fuera ajustado a 10 dB, la potencia de entrada en esta etapa sería realmente - 10 dBm, aun cuando el valor desplegado en pantalla fuera 0 dBm.

Para el caso de las mediciones en el aire la atenuación fue ajustada en 0 dB.

ii. Rango dinámico

Se recomienda que el piso de ruido del instrumento de medición utilizado para monitorear la máscara de emisión de una transmisión sea de al menos 10 dB menos que el valor mínimo establecido en los límites de emisión espectral. Es decir, para el caso de la máscara FM IBOC híbrida, el valor mínimo establecido es de -80 dBc, por lo que el piso de ruido establecido en el equipo de medición tendrá que ser al menos -90 dBc.

Para el caso de las mediciones en el aire el rango dinámico varía demasiado dependiendo de la ubicación geográfica del punto de medición, debido a las condiciones de ruido e interferencia que se encuentran en dicho punto. Por lo anterior, el rango dinámico fue ajustado de acuerdo al nivel de piso de ruido de cada ubicación.

iii. Resolución de ancho de banda - RBW

La resolución ancho de banda se refiere a la cantidad de ancho de banda que será analizado en cada punto de medición del trazado del equipo de monitoreo. La mayoría

de los analizadores de espectro establecen de manera automática el RBW basados en el span de frecuencia de la señal en análisis, sin embargo algunos modelos también permiten su ajuste manual.

Ya que la máscara de emisión de la transmisión FM IBOC está expresada en 1 kHz de ancho de banda (figura 3), las mediciones para verificar el cumplimiento de la máscara normalmente se realizan con un RBW de 1 kHz. En caso de que se utilice un RBW menor para la medición, es importante ajustar los límites de emisión de la máscara espectral. Por ejemplo, si se utiliza un RBW de 100 Hz, los niveles de la máscara se deberán reducir 100/1000 veces (10 dB).

iv. Líneas de límite de máscara de emisión

Las líneas de límite son de gran ayuda para evaluar el cumplimiento de una señal con la máscara de emisión, ya que permiten mostrar la misma máscara de emisión en pantalla durante las mediciones. Los analizadores de espectro más recientes tienen la funcionalidad de dibujar las líneas de límite que representan los mascarados de emisión espectral.

Con la finalidad de simplificar el trazado de la máscara de emisión dentro del analizador de espectros, se estableció una máscara de emisión simplificada respecto a la mostrada previamente en la Tabla 2 de este documento.

Offset en frecuencia relativo a la portadora	Nivel (dBc)
100-200 kHz Offset	-30.0
250-540 kHz Offset	-74.4
>600 kHz Offset	-80.0

Tabla 5: Límites de emisión y ruido simplificados

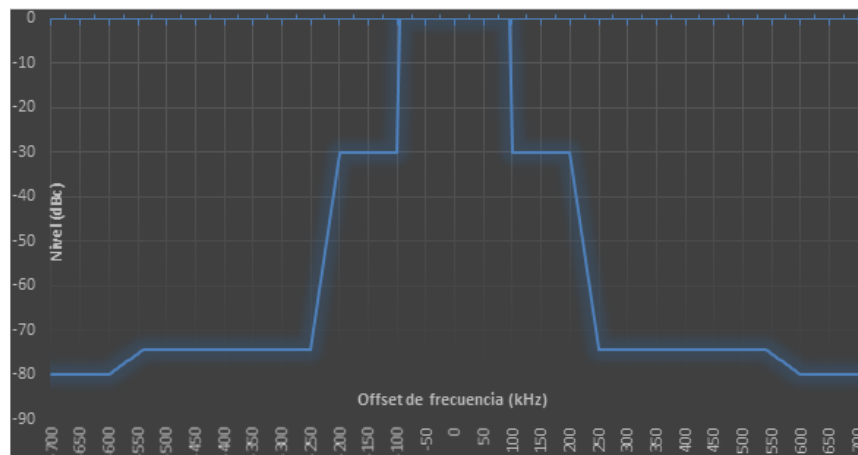


Figura 13: Máscara de emisión a configurar en los analizadores dispuestos para estas pruebas

v. Span en frecuencia

Como se mencionó anteriormente se realizaron mediciones con dos diferentes span en frecuencia. La primera medición se hizo asegurando se pudiera obtener una imagen completa de la señal o frecuencia en estudio en pantalla y se tuviera suficiente detalle de

la misma, por ello se recomienda un *span* en frecuencia de entre 500 y 600 kHz, en el presente estudio se utilizó 500 kHz.

La segunda medición se hizo con el objetivo de verificar la interacción que tiene la estación de Ibero 90.9 con sus canales adyacentes, así como de la regeneración de la 1ª señal digital en ± 492 kHz. Para lo anterior, se aconseja utilizar un *span* de frecuencia entre 1.2 y 2 MHz, las mediciones se realizaron con un *span* de 1.3 MHz

vi. Filtro de Ancho de banda de video - VBW

Para el caso de la medición de transmisiones FM IBOC híbridas se recomienda desactivar el filtro de video o en su caso ajustar el valor del VBW al menos 10 veces mayor que el RBW (10 kHz para un RBW de 1 kHz).

vii. Nivel de referencia

El método para definir el nivel de referencia de la medición que se establece en el documento de la NRSC es obtener la señal analógica sin modular y establecer el máximo de esta señal como el punto de referencia para la máscara de emisión. Es decir, establecer el pico más alto de la portadora sin modular como el punto más alto en la pantalla del analizador de espectro, convirtiendo este punto como el nivel 0 dBc. Se recomienda utilizar los marcadores del analizador de espectro y la función de *find peak*, en caso de que el equipo cuente con esta funcionalidad.

En el caso de que la modulación no pueda ser removida de la señal, el método que se recomienda para establecer el nivel de referencia es ajustar el RBW en 300 kHz y determinar el nivel de potencia de la frecuencia central modulada (línea verde figura 14). Una vez hecho esto, se ajustará el nivel de referencia de 0 dBc.

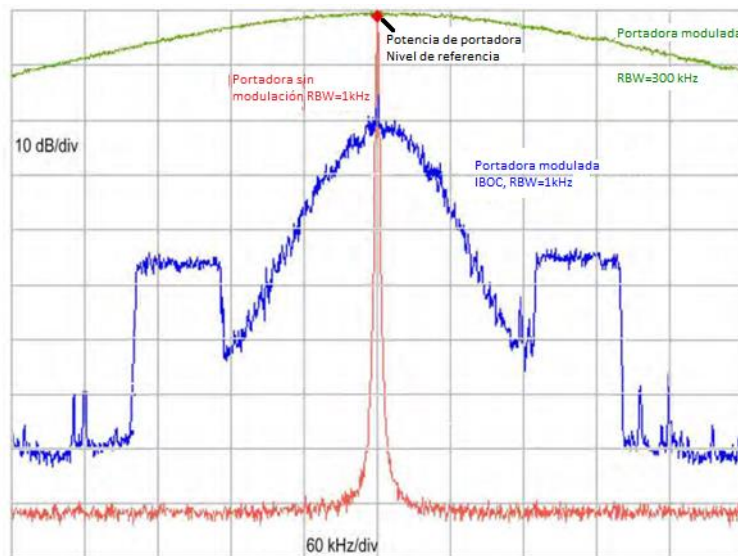


Figura 14: Establecimiento del nivel de referencia

En la figura 14, se muestran tres diferentes barridos de señal:

- Portadora sin modulación (barrido color rojo);

- Portadora modulada con IBOC, RBW= 1kHz (barrido color azul);
- Portadora modulada con IBOC, RBW= 300 kHz (barrido color verde).

viii. Periodo de barrido y número de barridos

Si se ajusta el periodo de barrido en automático, el analizador optimizará este parámetro de acuerdo al RBW seleccionado. En caso de que se desee ajustar manualmente, la recomendación es que el periodo de barrido sea la mitad del cuadrado del RBW, por lo que para un RBW de 1 kHz, el periodo de barrido óptimo será aproximadamente 500 kHz por segundo. Para las mediciones este parámetro se ajustó en modo automático.

ix. Otros parámetros

Además de los parámetros antes descritos, para el caso de las mediciones en el aire se configuraron los detectores en la opción RMS, que permite obtener el valor medio de la magnitud de una cantidad variable, que en este caso es la amplitud de la señal y las variaciones son debido a todos los agentes externos que pueden afectar la señal.

X. Conclusiones

1. Mediciones directo al transmisor

- Dadas las características de instalación de los transmisores y sistema de antenas (líneas separadas) de la estación Ibero 90.9, el análisis del cumplimiento de la máscara de emisión híbrida se tuvo que realizar midiendo cada señal de forma independiente. Esta metodología pudiera variar dependiendo del tipo de instalación de cada estación que cuente con la capacidad de transmitir ambas señales.
- Las señales observadas por separado a la salida de ambos transmisores (analógico y digital) cumplen con los límites de la máscara de emisión basada en el estándar de la NRSC.

2. Mediciones al aire: al interior y al exterior (*Indoor / outdoor*).

- Haciendo una comparativa entre la misma señal tomada al exterior y al interior de algún inmueble, la degradación que sufre la señal es considerable en interiores, tal y como se menciona en el documento "*FM IBOC Building Penetration Test*"¹³, donde concluye que es complicado recibir buena señal digital al interior de estructuras (inmuebles) cuando la portadora digital tiene un decremento de 20 dBc en relación a la señal analógica, excepto cuando la medición se realiza en las cercanías del trasmisor. Lo antes mencionado se puede corroborar en el Anexo 1 – "Mediciones al aire: al interior y al exterior (*indoor / outdoor*)."
- Del universo de mediciones recabadas a nivel aire, la mayoría de ellas se ven afectadas por distintos factores relacionados con la propagación de la señal en

¹³ FM IBOC Building Penetration Test at Elevated Carrier Levels, CBS Radio, Broadcast HD Streaming on-demand, August 12, 2008.

el aire y el entorno de emisiones radioeléctricas de diverso origen que existe particularmente en la Ciudad de México, causando incremento del piso de ruido y distorsión en la forma de la señal, generalmente en las gráficas obtenidas en puntos a distancia media y lejana. Por ende, en estos puntos la forma de la portadora de la señal híbrida no se recibe de manera óptima.

- Caso contrario a lo anterior, en los puntos colindantes a la estación, la señal híbrida se muestra mucho mejor definida pero en la mayoría de los puntos se rebasa la máscara de emisión particularmente en amplitud de las portadoras digitales. Con la información recopilada no se cuenta con los fundamentos suficientes para determinar que ocasiona este efecto, aunque podría deberse a efectos constructivos de la señal por la contribución de señales reflejadas en estructuras cercanas a la estación bajo estudio, derivado que en esa zona existen múltiples edificaciones que funcionan como reflectores de la señal. No obstante, se necesitaría de un estudio adicional enfocado específicamente a deducir los factores que ocasiona tal fenómeno.

No obstante lo anterior, con las mediciones directas a la salida del transmisor se comprobó que las emisiones cumplen con la máscara definida en el estándar.

- Una vez considerando los puntos anteriores, se concluye que el tomar mediciones a nivel aire está expuesto a diversas variaciones de la señal por lo que no se pueden considerar como determinantes para validar el cumplimiento de la máscara de emisión. Para este fin se recomienda realizar las mediciones directamente del transmisor.

3. Drive Test

- Validando ambas trazas (digital y analógica) obtenidas durante los recorridos de *Drive Test* y comparándolas con las predicciones de cobertura de gabinete, se constata que la intensidad de campo medida no es coincidente en la mayoría de las áreas con los niveles teóricos.

Lo anterior, debido a que las predicciones de cobertura de gabinete se hacen tomando en consideración condiciones ideales y representan una estimación aproximada de la cobertura y los niveles de señal de las estaciones. En tales estimaciones, no se toman en cuenta los efectos en la señal que pueden producir edificaciones, vegetación, otras fuentes de emisiones radioeléctricas, fuentes de ruido, condiciones climáticas al momento de las pruebas, alturas de la antena del receptor, entre otras.

4. Mediciones subjetivas

- De las 20 evaluaciones (preguntas) contenidas en el Cuestionario de Pruebas Subjetivas el comportamiento por Brigada fue el siguiente:

<i>Mejor comportamiento en señal:</i>	<i>Brigada</i>		
	IPN	IFT	UNAM
<i>Analógica</i>	11	7	8
<i>Digital</i>	3	7	10
<i>Similar en Analógica y Digital</i>	6	6	2
<i>El total de preguntas en el Cuestionario de Pruebas Subjetivas es 20</i>			

Tabla 6: Comportamiento de la señal en Pruebas Subjetivas

De la tabla 6 se concluye que la señal analógica se percibe de mejor manera en Zacatenco con 11 evaluaciones a su favor, la señal digital se desempeña mejor en la UNAM con 10 evaluaciones y para el caso del IFT el comportamiento entre la señal analógica y digital es muy similar.

Ahora bien, si se realiza una evaluación por pregunta, sin considerar la ubicación, la señal analógica tiene un mejor comportamiento en 11 de los 20 reactivos. A pesar de ello, de la pregunta 9.1 (“En comparación con el audio original, ¿El que oíste se escucha?”) se obtiene que la señal digital se percibe de mejor forma en las brigadas de IFT y UNAM y en IPN favorece la transmisión analógica.

- Un factor importante para el comportamiento de la señal y la calidad del audio de la misma es la distancia que existe entre el punto de recepción y el transmisor. De las tres ubicaciones en donde se realizaron las pruebas subjetivas Zacatenco es la más lejana (20.1 Km), casi el doble que la distancia al IFT y UNAM (promedio de 10.1 km). Aunado a lo anterior, se debe considerar que de acuerdo a la máscara de emisión la potencia de salida de las portadoras digitales es de -30 dBc, es decir, 30 dB menos que la portadora analógica, y por ello el área de cobertura digital se reduce sustancialmente.

A pesar de todo, el resultado de las pruebas subjetivas de calidad de audio es que el comportamiento de la señal digital es satisfactorio en los puntos evaluados y la señal se recibe sin interferencias de las estaciones adyacentes.

5. Generales

- El caso de estudio de la estación Ibero 90.9 y sus estaciones adyacentes fue seleccionado debido a que éstas presentan las mejores características técnicas disponibles en el país para alcanzar el objetivo del proyecto, el cual es “Comprobar la operación de estaciones de radiodifusión en FM, tanto en modo analógico como en digital, con separación de frecuencia entre portadoras principales menor a 800 kHz”. Sin embargo, el hecho de que la estación Ibero 90.9 está catalogada como una estación clase A con una potencia de operación de 3 kW, y las estaciones adyacentes a esta sean clase C con

potencias de 100 kW cada una, evidentemente es un factor que abona a la reducción del riesgo de interferencias perjudiciales entre estas estaciones.

En la experiencia internacional la solución viable que se ha identificado para posibilitar la operación de estaciones FM con separaciones entre portadoras principales a 400 kHz con altas potencias, ha sido principalmente la de co-localizar las estaciones a efecto de que transmitan mediante infraestructura de transmisión común.

- Actualmente, a nivel internacional y en el país existen casos en los que estaciones de radiodifusión en FM, con separación de frecuencia entre portadoras principales con separación menor a 800 kHz operan en la misma ciudad. Por lo que la viabilidad de operación de estaciones con separación entre portadoras principales menores a 800 kHz, en este caso particular de 400 kHz, debería sujetarse a un análisis técnico previo de caso por caso a fin de tomar en cuenta las particularidades de cada localidad con sus respectivas estaciones.
- De las modificaciones efectuadas en la amplitud de las portadoras digitales se puede concluir que una asimetría de 4 dB, sin importar que portadora sea disminuida, no tiene repercusión en la calidad de audio percibida.
- Con el sistema IBOC las portadoras digitales son transmitidas entre ± 102 y ± 198 kHz de cada lado de la portadora analógica en donde gracias a las características propias de la señal digital no es necesario el establecimiento de bandas de guarda entre estaciones, por lo que se concluye que el estándar de radio digital IBOC tiene un excelente desempeño en estaciones operando en el segundo canal adyacente.

Tomando en consideración todo lo anterior, se concluye que es viable la operación de estaciones de radiodifusión en FM, tanto en modo analógico como en digital, con separación de frecuencia entre portadoras principales menores a 800 kHz, sujeto al análisis técnico previo de caso por caso para confirmar su viabilidad técnica.

INDICE DE ANEXOS

ANEXO 1 - ANÁLISIS DE GRÁFICAS RELEVANTES REALIZADAS A LA ESTACIÓN XHUIA-FM "IBERO 90.9"

- Mediciones en modo directo al transmisor: analógico y digital.
- Mediciones al aire: al interior y al exterior (*indoor / outdoor*).
- Mediciones al aire durante *Drive Test*.

ANEXO 2 - DRIVE TEST

ANEXO 3 - REPORTES DE LA DIRECCIÓN GENERAL ADJUNTA DE VIGILANCIA DEL ESPECTRO RADIOELÉCTRICO

ANEXO 4 - CUESTIONARIO DE PRUEBAS SUBJETIVAS

ANEXO 5 - SECUENCIA DE PRUEBAS Y TRANSMISIÓN DE LA ESTACIÓN XHUIA-FM "IBERO 90.9"

- Secuencia de pruebas
- Spot
- Descripción de programación en la estación durante las pruebas en escala de tiempo.

ANEXO 6 - RESULTADOS DE PRUEBAS SUBJETIVAS

ANEXO 7 - HOJAS DE ESPECIFICACIONES DE EQUIPOS UTILIZADOS

- Analizador de espectro Anritsu MS2712E
- Analizador de espectro Rohde&Schwarz HMS-X
- Receptor digital portátil Insignia
- Receptor digital de vehículo U-Connect