

# Análisis de la reducción de separación en frecuencia en servicios de radiodifusión sonora en FM

## Aspectos relevantes

- Los límites de emisión establecidos por el Instituto Europeo de Normas de Telecomunicaciones para las estaciones de radiodifusión sonora en FM determinan que las emisiones esenciales se ubican en el rango de  $\pm 200$  kHz por encima y por debajo de la frecuencia portadora.
- La adopción de criterios de protección establecidos por la Unión Internacional de Telecomunicaciones permite asegurar la adecuada recepción del servicio ofrecido por estaciones adyacentes cuya separación en frecuencia es igual a 400 kHz.
- La observancia de recomendaciones internacionales hace posible la modificación de los criterios para determinar la separación entre portadoras adyacentes de estaciones ubicadas en una misma localidad, asegurando la calidad en la recepción.
- Reducir la separación entre portadoras adyacentes resulta técnicamente viable a la luz de las recomendaciones internacionales y la revisión del marco normativo internacional. Con ello, se permitirá incrementar el número de estaciones de radiodifusión sonora en F.M. hasta un máximo de 49 estaciones en una misma localidad, actualmente se pueden asignar 25.

## Introducción

El servicio de radiodifusión sonora en frecuencia modulada se encuentra actualmente regido por la disposición técnica IFT-002-2014: "Especificaciones y requerimientos mínimos para la instalación y operación de las estaciones de radiodifusión sonora en frecuencia modulada", en ella se establecen los lineamientos de carácter técnico que deben cumplir las estaciones de radio operando actualmente bajo técnicas analógicas en la banda de frecuencias de 88 a 108 MHz, a fin de proporcionar un servicio eficiente.

La separación entre frecuencias portadoras es un parámetro determinante en la calidad de audio en el extremo receptor así como en el número de canales de operación. Si el espaciado entre portadoras es muy grande, la posibilidad de interferencia entre canales adyacentes dentro de una misma localidad es baja, sin embargo, el número de canales para la operación se ve limitado. La reducción en

la separación aumenta la disponibilidad de canales, existiendo en este caso un límite más allá del cual este espacio no puede ser reducido y que está determinado por diversos factores expuestos en el presente documento. La disposición actual determina que la separación entre estaciones que operen en una misma localidad deberá ser de 800 KHz como mínimo (1).

### Consideraciones técnicas.

#### *El espectro de emisión.*

La revisión de los parámetros que definen el espectro de emisión, entre los que se incluyen los límites de potencia establecidos para cada rango de frecuencia en la máscara así como la potencia de transmisión, resulta determinante al intentar establecer una separación mínima entre portadoras adyacentes ubicadas en una misma localidad.

El capítulo 6 de la disposición técnica actual, referido a "Equipos transmisores", describe el espectro de emisión para estaciones operando en ondas métricas, estableciendo para cada rango de frecuencias una potencia máxima de emisión. Se determina que entre  $\pm 120$  KHz las emisiones son esenciales, por tanto deberán estar atenuadas. En el rango de  $\pm 120$  KHz a  $\pm 240$  KHz, se hallan las emisiones no deseadas por lo que su amplitud ha de ser menor a -25 dB por debajo del nivel de la portadora no modulada. Así también, las componentes comprendidas de  $\pm 240$  a  $\pm 600$  se consideran no deseadas con lo cual tendrán una amplitud menor a -35 dB por debajo del nivel de la portadora. Finalmente, se indica que las componentes por encima o debajo de  $\pm 600$  KHz tendrán una amplitud menor a -80 dB (1).

La tabla 1 resume los parámetros del espectro de emisión, y que se muestran de manera gráfica en la figura 1.

Anchura de banda	240 KHz
Máxima desviación de frecuencia central	$\pm 75$ KHz
Separación entre portadoras continuas	800 KHz
Espectro de emisión	Componentes esenciales entre $\pm 120$ KHz -25 dB entre $\pm 120$ y $\pm 240$ -35 dB entre $\pm 240$ y $\pm 600$

Tabla 1. Parámetros de emisión establecidos en la disposición técnica IFT-002-2014.

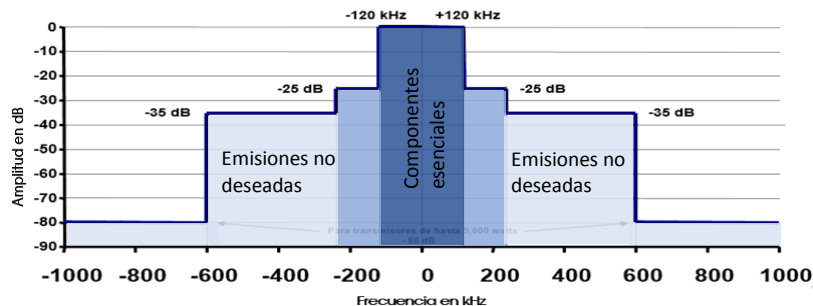


Figura 1. Máscara actual del espectro de emisión de una señal FM (1).

El Instituto Europeo de Normas de Telecomunicaciones, en su análisis de compatibilidad electromagnética y temas de espectro radioeléctrico contenido en el documento ETSI EN 302 018-1, establece límites para las emisiones no esenciales y las emisiones fuera de banda para el servicio de radiodifusión sonora en frecuencia modulada, en donde, a determinados rangos de potencia de transmisión corresponde un valor de amplitud en dB por debajo del nivel de la portadora no modulada. La tabla 2 indica los límites de potencia definidos y que se observan de manera gráfica en la figura 2, tomada del documento referido (2). Bajo este criterio, las emisiones no esenciales de las estaciones clase A, AA, B1, B, C1, y C, reconocidas en la disposición IFT-002-2014, podrían presentar una amplitud de -80 dB a -85 dB por debajo del nivel de la portadora no modulada. Para una estación clase D, este límite corresponde a -90 dB.

Potencia del transmisor [kW]	Amplitud promedio por debajo del nivel de la portadora no modulada [dB]
$0.008 \leq P < 0.8$	-75
$0.8 \leq P < 8$	-80
$8 \leq P < 100$	-85

Tabla 2. Límites de emisiones no esenciales para transmisores de radiodifusión sonora en FM. Tabla elaborada en base a valores obtenidos del documento ETSI EN 302 018-1.

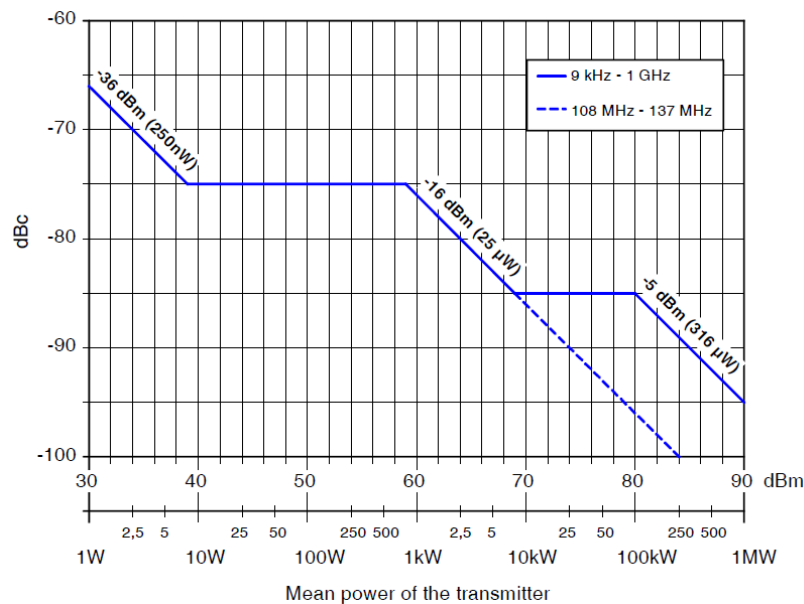


Figura 2. Límites de emisiones no esenciales para transmisores de radiodifusión sonora en FM (3).

El siguiente parámetro incluido en el análisis de compatibilidad de la ETSI, refiere a las emisiones fuera de banda, situadas por encima de la anchura necesaria y que resultan del proceso de modulación, éstas no incluyen a las emisiones no esenciales. Los límites se establecen, en este caso, para diferentes rangos de frecuencia a partir de la frecuencia central. Siendo la anchura de banda ocupada de 200 KHz, las emisiones por debajo de -200 KHz o por arriba de +200 KHz, deberán tener una amplitud menor a -80 dB respecto al nivel de la portadora no modulada. La tabla 3 indica los límites para diferentes rangos de frecuencia y que se representan de manera gráfica en la figura 3.

Frecuencia respecto a la frecuencia central [KHz]	Amplitud promedio por debajo del nivel de la portadora no modulada [dB]
± 100	0
± 200	-80
± 300	-85
± 500	-85

Tabla 3. Límite de emisiones fuera de banda en transmisores de radiodifusión sonora de FM. (2)

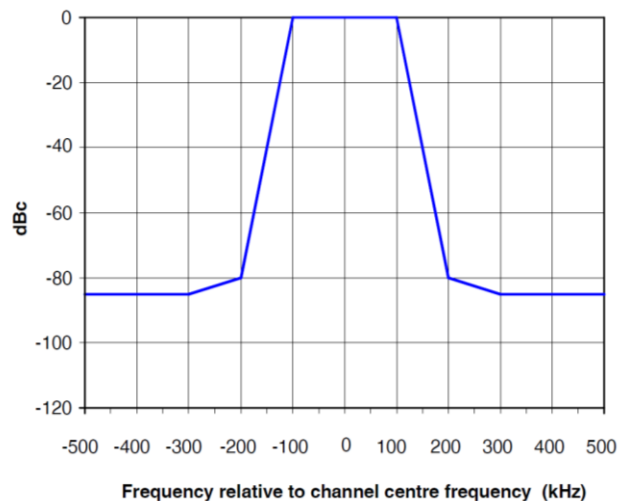


Figura 3. Límite de emisiones fuera de banda en transmisores de radiodifusión sonora de FM (2).

Conociendo los límites anteriores y sabiendo que el total de emisiones no deseadas corresponde a la suma de las emisiones fuera de banda y las emisiones no esenciales (3), se determina que el nivel mínimo de dichas emisiones no deseadas estará definido por la suma de las dos gráficas anteriores (ver figuras 2 y 3), dando como resultado que, para ambos casos, no sobrepasan el valor de -80 dB para frecuencias por debajo de -200 KHz o por encima de +200 KHz. En base a los datos de las gráficas, provistos en la recomendación de la ETSI, se elaboraron

gráficas para obtener el espectro de emisiones y determinar el límite de las no deseadas. Las trazas resultantes se muestran en las figuras 4 y 5, y corresponde a la suma de las emisiones fuera de banda y de las emisiones no esenciales. Las gráficas fueron realizadas para las diferentes clases de estaciones indicadas en la disposición técnica IFT-002-2014.

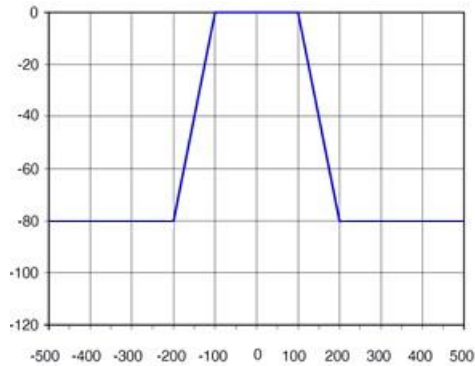


Figura 4. Espectro de emisiones en transmisores de radiodifusión sonora de FM para estaciones clase A y AA. El límite de emisiones no deseadas se ubica en  $\pm 200$  KHz. Gráfica obtenida a partir de datos obtenidos de ETSI EN 302 018-1.

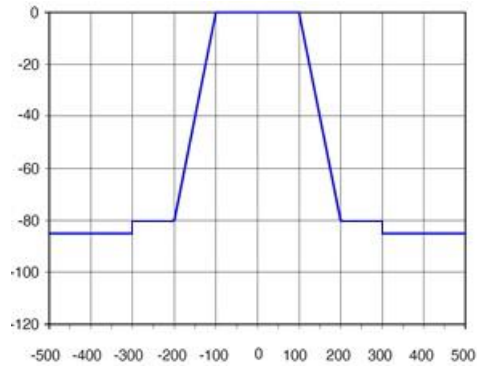
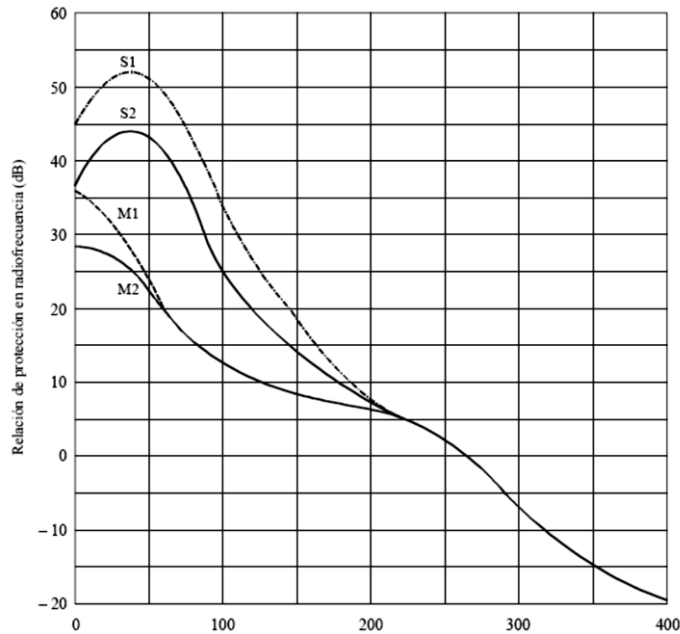


Figura 5. Espectro de emisiones en transmisores de radiodifusión sonora de FM para estaciones clase B1, B, C, C1, C y D. El límite de emisiones no deseadas se ubica en  $\pm 200$  KHz. Gráfica obtenida a partir de datos obtenidos de ETSI EN 302 018-1.

De las observaciones anteriores, es posible afirmar que, para intervalos de frecuencia más allá de los  $\pm 200$  KHz tomando como cero la frecuencia central, las emisiones no deseadas presentan valores de atenuación mínimos respecto a la portadora cuyo rango oscila entre -80 dB y -85 dB, de ahí que la observancia de la recomendación abordada permitiría reducir el impacto de interferencia entre portadoras adyacentes ubicadas en una misma localidad.

#### *Relación de protección*

La UIT en su recomendación BS.412-9, referida a las "Normas para la planificación de la radiodifusión sonora con modulación de frecuencia en ondas métricas", indica que *la relación de protección en radiofrecuencia es el valor mínimo de la relación entre las señales deseada y no deseada, normalmente expresado en decibelios a la entrada del receptor, determinado en condiciones especificadas de manera que se logre a la salida del receptor una calidad de recepción específica*, con lo cual éste parámetro permite determinar la probabilidad de interferencia existente en un área. La referida recomendación establece las curvas de relaciones de protección que deben existir entre estaciones separadas entre 0 y 400 KHz en sus frecuencias centrales. La figura 6 muestra los valores de relación mínimos determinados para estaciones adyacentes, el eje x precisa la separación en frecuencia entre las señales portadoras.



Curvas M1: Radiodifusión monofónica; interferencia estable  
 M2: Radiodifusión monofónica; interferencia troposférica  
 S1: Radiodifusión estereofónica; interferencia estable  
 S2: Radiodifusión estereofónica; interferencia troposférica

Figura 6. Relación de protección en radiofrecuencia requerida por los servicios de radiodifusión en ondas métricas, en frecuencias comprendidas entre 87,5 MHz y 108 MHz, cuando se utiliza una excursión máxima de frecuencia de  $\pm 75$  kHz (5).

Las curvas representan la relación de protección para radiodifusión monofónica y estereofónica en casos de interferencia estable y troposférica siendo el peor caso el de interferencia estable, así por ejemplo para una separación de 100 KHz, la relación de protección exigida es de 35 dB. Esta relación mínima disminuye conforme la separación entre portadoras aumenta, así para una separación de 400 KHz se exige una relación de protección mínima de -20 dB, valor común a los cuatro casos. En el caso de separaciones superiores a 400 KHz, la recomendación BS.412-9 establece que, la relación de protección entre estaciones adyacentes ha de ser considerablemente menor a -20 dB.

En el extremo receptor, la característica de selectividad desempeña un papel importante, puesto que corresponde a la capacidad del receptor para discriminar entre la señal deseada sintonizada y las no deseadas que entran por el circuito de la antena. Éste concepto incluye la selectividad en las diferentes etapas de recepción, selectividad en radiofrecuencia, frecuencia intermedia, el limitador, el discriminador y el decodificador. Por tanto, como establece la recomendación UIT-R BS.704, la selectividad del receptor debe ser suficiente para cubrir las relaciones de protección determinadas, y que deben ser inferiores a -20 dB para separaciones menores o iguales a 400 KHz, y a -25 dB para separaciones mayores

a 400 KHz (5). Ambos casos, el de separaciones <400 KHz y >400 KHz, fueron medidos con receptores profesionales y domésticos (4), basados en las curvas de relación de protección planteadas, la recomendación incluye como caso especial la medición entre estaciones con gran diferencia de separación, en donde, el resultado de las mediciones mostró que con un receptor de tipo doméstico, las relaciones de protección se mantienen constantes en torno a -40 dB.

#### *Transmisor, ubicación y características*

Aunado a los conceptos revisados, la ubicación de los transmisores resulta un factor importante que influye de manera directa en el comportamiento de la relación señal a ruido en una cierta área de servicio. Cuando los transmisores se ubican en el mismo sitio, la señal del transmisor interferente permanecerá constante respecto a la señal del transmisor deseado debido a que la trayectoria de la onda hacia cualquier punto receptor será la misma para ambas señales transmitidas, de forma que la relación entre las señales deseada y no deseada no varía a lo largo de la transmisión, permitiendo que el valor requerido de la relación de protección permanezca constante (6). De esta manera, colocar los transmisores en un mismo sitio permitiría reducir la separación entre portadoras con la posibilidad de disminuir la interferencia al conservar entre ellas un valor constante en la relación señal/interferencia.

Por otro lado, la utilización de combinadores adecuados a la separación entre portadoras juega un papel determinante en la reducción de interferencia debido a la característica de dicho componente de combinar canales sin causar interferencia entre ellos, por lo que cuanto mejor sean los parámetros de desempeño del combinador la probabilidad de interferencia es menor (7).

### **Referencia internacional**

#### *Australia*

En 2004, la *Broadcasting Australian Authority* definió las separaciones que debían establecerse entre dos estaciones cuyas áreas de servicio presentaran solapamiento, asignando un valor en frecuencia para cada escenario planteado, de manera que, se permitieron rangos de entre 200 kHz a 800 kHz como se indica a continuación.

0 kHz y 200 kHz, no será usada para estaciones cuyas áreas de servicio sean iguales o adyacentes.

400 kHz no deberá tener solapamiento de áreas, excepto si transmiten programas idénticos.

600 kHz podrá tener solapamiento parcial ente áreas de servicio.

800 kHz podrá ser usado en transmisores que cubren la misma área de servicio.

Se estableció además que la mínima separación entre estaciones ubicadas a grandes distancias físicas una de otra, sería de 400 kHz, o bien, la necesaria para cumplir la protección requerida en dB. Más tarde, con la integración de la *Australian Communications and Media Authority*, se emitió el *Broadcasting Services (Technical Planning) Guidelines 2007* en donde se establece la elaboración de planes de licencia por áreas. Dichos planes detallan el área geográfica y las características de los servicios disponibles en cada zona de Australia, siendo el objetivo principal establecer las especificaciones técnicas que permitan definir el desempeño de los transmisores así como del sistema radiante. Estas consideraciones incluyen detalles de la emisión, modo de transmisión, frecuencia asignada, altura de la antena transmisora así como datos de ubicación del equipo. La asignación de frecuencias y la respectiva separación existente entre ellas, que estará determinada en gran medida por la ubicación física del transmisor así como por la altura de la antena, parámetros que a su vez definen la potencia radiada (8, 9, 10).

#### *Brasil*

El Reglamento Técnico para estaciones de radiodifusión sonora en frecuencia modulada determina los criterios de protección bajo los cuales deberán regirse los servicios en la banda de frecuencias de 87.8 a 108 MHz. El establecimiento de una nueva estación, según indica el documento, estará determinado por factores como la clase de estación y la distancia en kilómetros entre los transmisores. Se incluye el concepto de relación de protección, que considera que una transmisión es libre de interferencias cuando en su contorno protegido mantiene una relación en dB, entre la señal deseada y la señal interferente, de al menos 34 dB para transmisiones co-canales, 6 dB cuando la separación en frecuencia es de 200 kHz y -27 dB para una separación de 400 kHz (11).

#### *Canadá*

Las políticas establecidas por la *Canada Industry* determinan que, los canales de FM son asignados a partir de la frecuencia central de 88.1 MHz, siendo éste el primer canal para la radiodifusión sonora en FM y a partir del cual se definen los siguientes canales con incrementos de 200 kHz. El documento que expone las reglas para la radiodifusión en FM, incluye una tabla de asignación que determina la separación en kilómetros que deberá existir entre los transmisores y que dependerá de la clase de estación y de la separación en frecuencia (12).

En 2010, se realizaron modificaciones al documento normativo de manera que se definieron los lineamientos para estaciones con separación de 600 kHz y 800



kHz. En este caso se indica que, las estaciones con dicha separación y que operan en la misma área pueden interferir entre ellas si no están localizadas en el mismo sitio, por lo que se recomienda que los transmisores se ubiquen en el mismo punto o se sitúen a unos 100 metros de la estación existente. Éste hecho, el de la co-ubicación, permite eliminar responsabilidades en torno a la interferencia, sin embargo, la potencia radiada efectiva, ERP, de la nueva estación no deberá exceder la ERP de la estación existente por más de 20 dB en cualquier dirección. En el caso de una estación nueva ubicada en un sitio distinto al de la estación ya establecida, la regulación incluye los criterios de interferencia y alternativas para corregir las situaciones de interferencia, como cambios en el receptor, reemplazo del filtro, selección de frecuencias de transmisión alternativas, reducción de parámetros o re ubicación del transmisor (12).

### *Estados Unidos*

Inicialmente la FCC (*Federal Communications Commission*) emitió un plan de frecuencias en el cual el espacio de separación entre canales de operación correspondía a 800 kHz de manera independiente a la ubicación geográfica de las estaciones, es decir que para todas se aplicaba el mismo lineamiento. Posteriormente, se realizaron modificaciones al plan de manera que se incluyeron las estaciones entonces existentes (7).

Al día de hoy, la FCC establece una tabla de asignación en donde la inclusión de nuevas estaciones puede realizarse con diferentes valores de separación en frecuencia dependiendo de la potencia, de la intensidad de campo en los contornos de servicio y de interferencia, y de la distancia en kilómetros entre estaciones. Para ello se definieron ocho clases de estaciones, la separación en km y en frecuencia entre dos emisoras estará determinada por la suma del contorno de servicio y el contorno de interferencia, si el resultado es mayor a la distancia entre las dos estaciones significará que las áreas de cobertura de los dos transmisores están traslapadas, aumentando con ello la probabilidad de interferencia (13, 14).

La tabla de asignación define entonces las distancias mínimas que deberán guardar dos estaciones cuando existen separaciones de 200 kHz, 400 kHz o 600 kHz, y 10.6 o 10.8 MHz, o bien cuando operan en el mismo canal. Así, reducir la separación en frecuencias implicará realizar el cambio respectivo en la distancia en kilómetros entre los transmisores y/o en la potencia de operación (14).

### *Panamá*

La ley No. 24 del 30 de junio de 1999, por la cual se regulan los servicios públicos de radio y televisión en Panamá, establece en su artículo 11 que, las

concesiones otorgadas para los servicios de radiodifusión en FM mantendrán una separación mínima entre canales adyacentes de 400 kHz. Este lineamiento es ratificado en la emisión de las "Normas técnicas de radiodifusión analógica en la banda de frecuencia modulada (fm) para la república de Panamá" realizada en 2008, que establece, *en una misma área de servicio, las asignaciones de frecuencias que otorgue la Autoridad, se harán respetando una separación de 400 KHz* (15).

Este mismo documento establece además que, para la asignación de frecuencias a estaciones de servicio de radiodifusión sonora en FM, se deberán guardar relaciones de protección que permitan una calidad aceptable de la señal recibida, y que para emisiones estereofónicas con desviación de frecuencia de  $\pm 75\text{kHz}$  e interferencia estable, dicha relación corresponde a 20 dB si las estaciones se ubican en el mismo canal, 6 dB para el caso de estaciones separadas por 200 kHz, -40 dB para separaciones de  $\pm 400\text{ kHz}$  y -20 dB en separaciones de 10.6 o 10.8 MHz.

Aunado a las consideraciones de relación de protección, el documento normativo incluye un apartado acerca de los "Criterios prácticos de asignación", en el que se desarrolla un método de evaluación aplicable a estaciones ubicadas en una misma localidad con separaciones mínimas de 400 kHz en sus frecuencias portadoras y que establece que la distancia geográfica entre dos antenas transmisoras debe ser mayor a la suma de la distancia de una antena transmisora al contorno de su zona de servicio más la distancia de la segunda antena al contorno donde se alcance la relación de protección exigida (15).

#### *Reino Unido*

El organismo regulador, Ofcom, establece que el área de cobertura de una estación estará definida por los criterios de relación de protección descritos en la recomendación ITU BS.412-9 y que, como se ha visto, varían según la separación entre las señales portadoras. Así, para servicios con la misma área de cobertura y localizadas en un mismo sitio, se permite una separación de 400 kHz con una relación de protección de -20 dB. Durante la planeación de una nueva estación, se podrá considerar además la directividad de la antena receptora de acuerdo a las curvas de discriminación expuestas en la recomendación UIT-R BS.599 y que excluye los casos de análisis con receptores portátiles (16).

### **Propuesta de actualización**

El análisis anterior permite plantear modificaciones al escenario actual en el que operan las estaciones de radiodifusión sonora en el país, basadas en las recomendaciones internacionales ya formuladas y estableciendo puntos de referencia a la normatividad aplicada en otros países.

Se concluye que, la separación elegida entre portadoras adyacentes deberá respetar la relación de protección determinada en la recomendación ITU-R BS.412-9, y cuyo valor es de -20 dB como máximo cuando la separación es menor o igual a 400 KHz. Las mediciones presentadas en la referida recomendación muestran que la operación bajo estos criterios es posible en escenarios reales, por otro lado, se tiene referencia de su aplicación en el marco normativo de diversos países. Se ha visto además que, de acuerdo al documento ETSI EN 302 018-1, el ancho de banda máximo requerido es de  $\pm 200$  KHz y que las emisiones no deseadas, localizadas fuera de este límite se ubican en -80 dB por debajo de la portadora, de manera que más allá de  $\pm 200$  kHz las emisiones de la señal transmitida no deben crear interferencia a estaciones cercanas.

Se propone, por tanto, que la separación entre estaciones adyacentes sea tal que se cumpla con los límites de relación de protección determinados en ITU-R BS.412-9. La disposición técnica IFT-002-2014, especifica las distancias mínimas requeridas, en kilómetros, entre estaciones que operen en el mismo canal y en canales adyacentes. Las distancias están actualmente determinadas por el tipo de estación así como por la separación en frecuencia entre portadoras, sin embargo, cuando se trate de separaciones en distancia que sean menores a las señaladas en la disposición, se tendrá en cuenta la recomendación ITU BS.412-9, con lo cual la operación de nuevas estaciones estaría determinada por la relación de protección establecida. En tales casos, la separación entre portadoras adyacentes se reduce con lo cual aumentará el número de estaciones disponibles por localidad.

## **Conclusiones**

La adopción de las recomendaciones internacional planteadas en el presente documento permitirá incrementar el número de estaciones de radiodifusión en una misma localidad al disminuir la separación entre portadoras adyacentes asegurando la no interferencia a través del cumplimiento de los límites de protección recomendados de manera que, el impacto más relevante se refleja en el aprovechamiento del espectro radioeléctrico en la banda UHF. Las modificaciones propuestas resultan técnicamente viables y aseguran la convivencia entre estaciones.

## Referencias

- (1) IFT-002-2014
- (2) ETSI EN 302 018-1
- (3) Artículo 1 del Reglamento de Radiocomunicaciones, ITU.
- (4) UIT-R BS.412-9. Normas para la planificación de la radiodifusión sonora con modulación de frecuencia en ondas métricas.
- (5) UIT-R BS.704. Características de los receptores de referencia de radiodifusión sonora con modulación de frecuencia para fines de planificación.
- (6) CAB Information Paper: Increasing FM Frequency Availability. Through the Use of Co-Sited Second-Adjacent FM Channels.
- (7) Recommendations on "Prescribing Minimum Channel Spacing, within a License Service Area, in FM Radio Sector in India". Telecom Regulatory Authority in India.
- (8) Technical Planning Parameters and Methods for Terrestrial Broadcasting. Australian Broadcasting Authority.
- (9) Australian Communications and Media Authority Act 2005.
- (10) Broadcasting Services (Technical Planning) Guidelines 2007.
- (11) Regulamento técnico para emissoras de radiodifusão sonora em frequência modulada. Agência Nacional de Telecomunicações.
- (12) Application Procedures and Rules for FM Broadcasting Undertakings. Spectrum Management and Telecommunications. Industry Canada.
- (13) Issues related to prescribing Minimum Channel Spacing, within a License Service Area, in FM Radio Sector in India. Telecom Regulator Authority of India.
- (14) FCC 73.207
- (15) Normas técnicas de radiodifusión analógica en la banda de frecuencia modulada (fm) para la República de Panamá. Autoridad Nacional de los Servicios Públicos.
- (16) Coverage and planning policy for analogue radio broadcasting services. Ofcom, 2011.