

# Tech note; Proposal for a matrix of minimum distances between FM broadcasting stations based on the FCC and ITU–R F(50,50)–F(50,10) charts

Fabián Robledo Upegui\*, Idelmaro Castañeda Brito

*Departamento de Electrónica y Comunicaciones, Escuela de Ingeniería Eléctrica, Facultad de Ingeniería, Universidad de Carabobo, Naguanagua, Venezuela.*

---

## Abstract.-

This article points out an existing problem in the current norms regulating the interference between FM sound broadcasting stations in Venezuela, in which the matrix of minimum distances between stations according to its classes and frequencies is incomplete and requires revision. The study presents a model for updating the cells of the matrix based on the methodology that uses the statistical charts E(50,50) and E(50,10) for the electric field, by offering the proposal of a new matrix with minimum distances based on FCC regulations, and alternatively by the ones of the ITU-R. The results between the two alternatives are compared, obtaining a consistency within 11 %, and are compared with respect to the current regulations. A hypothetical illustrative example between several stations is presented. The study shows that the proposal is relevant for its possible consideration in the broadcasting regulation's environment.

**Keywords:** broadcasting, frequency modulation, interference, protection ratio, radio propagation

## Nota técnica; Propuesta de una matriz de distancias mínimas entre estaciones de radiodifusión FM basada en cartas E(50,50)–E(50,10) de FCC e ITU–R

## Resumen.-

Este artículo analiza un problema existente en la normativa vigente que regula la interferencia entre estaciones de radiodifusión sonora FM en Venezuela, en la cual la matriz de distancias mínimas entre estaciones según sus clases y frecuencias es incompleta y requiere revisión. El estudio plantea un modelo para la actualización de las celdas de la matriz en base a la metodología que emplea las cartas estadísticas de campo eléctrico E(50,50) y E(50,10), elaborándose la propuesta de una nueva matriz de distancias mínimas soportada por la normativa de la FCC y en forma alternativa por la de la ITU-R. Se comparan los resultados obtenidos entre las dos alternativas obteniendo consistencia dentro de un 11 %, y se contrastan con respecto a la normativa vigente. Se plantea un hipotético ejemplo ilustrativo de interferencia entre diversas estaciones. El estudio muestra que la propuesta realizada es pertinente para su posible consideración en ámbito normativo de la radiodifusión FM en la nación.

**Palabras claves:** frecuencia modulada, interferencia, radiodifusión sonora, radiopropagación, relación de protección

Recibido: Enero 2015

Aceptado: Marzo 2015.

---

\* Autor para correspondencia

Correo-e: frobledo@uc.edu.ve (Fabián Robledo Upegui)

## 1. Introducción

Dentro de los servicios de radiocomunicaciones que se explotan en Venezuela se encuentran los correspondientes a la radiodifusión sonora que emplean el método de modulación de frecuencia (FM), los cuales tienen por objetivo la difusión abierta en VHF de mensajes de audiofrecuencia (voz y música, principalmente) por parte de las estaciones emisoras habilitadas para ello, suministrando información y entretenimiento a las localidades ubicadas en el área de cobertura.

El ente regulador que gestiona las habilitaciones de radiodifusión en la nación es la Comisión Nacional de Telecomunicaciones (CONATEL), y el marco legal que abarca lo relativo a las emisoras FM se soporta actualmente en el Reglamento sobre la Operación de las Estaciones de Radiodifusión Sonora, Decreto No. 2.771 del 21/1/1993. Ese instrumento tiene una antigüedad de veintidós años, y se encuentra vigente al no haber sido reemplazado o derogado por ninguna norma jurídica posterior. En lo que sigue se señalará a este instrumento como “El Reglamento”.

En este sentido, uno de los elementos más importantes en la planificación del servicio FM consiste en establecer las distancias mínimas que deben existir entre los transmisores de las estaciones, cuyas potencias están típicamente en el rango desde unos pocos vatios hasta decenas de kilovatios, a los fines de evitar la interferencia perjudicial y proteger a los operadores habilitados dentro de determinadas áreas y localidades en donde su servicio posee prioridad, soportada por su antigüedad. La distancia mínima entre cada par de estaciones FM se establece mediante la normativa señalada, y depende de dos parámetros los cuales son la potencia efectiva radiada, *PER*, expresada en kilovatios o dBk y la altura sobre el promedio del terreno, *ASPT*, en metros.

La *PER* de una estación es un concepto aparente que equivale a la potencia que debería irradiar una antena dipolo de media onda sin pérdidas para producir el mismo nivel de intensidad de campo eléctrico ( $\text{dB}\mu$ ) que la antena de la estación, a igual distancia de evaluación. Se determina a partir de la ganancia de la antena de la emisora

para la polarización horizontal, *G* (dBd), de la potencia de salida del transmisor *P<sub>T</sub>* (dBk) y de las pérdidas en el sistema alimentador *P<sub>A</sub>* (dB) [1], según la Ecuación (1):

$$PER(\text{dBk}) = P_T(\text{dBk}) - P_A(\text{dB}) + G(\text{dBd}) \quad (1)$$

En relación a la *ASPT*(m), se trata de un parámetro asociado a cada radial topográfico trazado horizontalmente para un azimut dado y en forma polar desde la emisora, calculada como la diferencia entre la altura del centro de radiación de la antena con respecto al nivel del mar, *ACRSNM*(m) y el nivel medio del terreno, *NMT*(m), obtenido este último como el promedio de las elevaciones del terreno en el segmento radial ubicado entre los 3 km. y los 16 km. medidos desde la emisora está dada por la Ecuación (2) [2]:

$$ASPT(m) = ACRSNM(m) - NMT(m) \quad (2)$$

La clasificación oficial de las emisoras FM se establece en el Capítulo I del Reglamento, categorizándose éstas como Clase “A”, Clase “B” y Clase “C”. En los artículos 94, 95 y 96 se describen los atributos de *PER* máxima y de la *ASPT* máxima admisibles, según la Tabla 1 [1].

La designación de una *PER* máxima y de una *ASPT* máxima limita el área de cobertura de una estación, restringiendo el sobrealcance y los potenciales problemas de interferencia perjudicial a una zona geográfica. El Reglamento también establece en su Artículo 92 que las estaciones FM tendrán un contorno protegido con una intensidad de campo eléctrico de 1 mV/m (60 dB $\mu$ ) [1].

A los fines de garantizar la coexistencia de las estaciones FM en el territorio sin interferencias perjudiciales, el Reglamento establece en su Artículo 108 las distancias mínimas de separación entre éstas, señaladas en la Tabla 2 [1]. Los valores allí indicados se remontan por lo menos hasta 1984, pues son idénticos a los que se indicaban en el Artículo 85 del hoy derogado Reglamento sobre Radiodifusión Sonora en Frecuencia Modulada, de 1984 [3]. Esto proporciona al menos treinta años sin que se haya publicado ninguna actualización.

Es importante señalar que en el Artículo 108, repetido en la Tabla 2 no discrimina cual es la

Tabla 1: Parámetros máximos permisibles para las estaciones FM según el Reglamento.

Clase de estación	PER máxima, kW	PER Máxima, dBk	ASPT Máxima, m
A	50	17	600
B	25	14	150
C	5	7	90

Tabla 2: Matriz de distancias mínimas de separación (km) entre estaciones de radiodifusión FM en Venezuela, de acuerdo al Artículo 108 del Reglamento.

	Case A			
Separación de frecuencia (kHz)	0	200	400	600
Clase A	300	225	143	112
Clase B		174	113	101
Clase C		153	104	98
	Clase B			
Separación de frecuencia (kHz)	0	200	400	600
Clase A		174	113	101
Clase B	156	106	62	50
Clase C		85	53	47
	Clase C			
Separación de frecuencia (kHz)	0	200	400	600
Clase A		153	104	98
Clase B		85	53	47
Clase C	92	56	32	26

estación interferida ni la interferente, y tampoco señala cual fue el método de cálculo que se aplicó para la determinación de esa matriz. Sin embargo, el Reglamento menciona (Artículo 97) el empleo requerido de lo indicado en el documento denominado Instructivo Técnico para Estaciones de Radiodifusión sonora en F.M., publicado por la Dirección General de Comunicaciones del entonces denominado Ministerio de Transporte y Comunicaciones (MTC), en donde se incluyen métodos para el cálculo de contornos de servicio en estudios de cobertura e interferencia empleando las curvas de propagación E(50,50) y E(50,10) de la Federal Communications Commission de los EE.UU. (FCC), por lo que es posible que la matriz del Artículo 108 pudiera estar inspirada en esa normativa. En lo que sigue se le denominará a este documento “El instructivo”.

La inspección de la Tabla 2 permite realizar las siguientes observaciones:

1. La matriz está incompleta, debido a que se omiten seis distancias mínimas (17%),

correspondientes a las combinaciones de estaciones de diferentes clases operando en frecuencias cocanal. Se hace destacar que ningún elemento normativo prohíbe la coexistencia de estaciones cocanales operando en clases diferentes, por lo que la omisión de información presenta un problema para validar la factibilidad de coexistencia. Hasta la fecha no se ha observado que CONATEL haya publicado algún documento supletorio que rellene la información de las celdas faltantes.

2. La información presentada es simétrica, en el sentido de que se arroja la misma distancia entre estaciones, exhibiendo conmutabilidad (Una estación clase A con una B tiene la misma distancia que una B contra una A). Este resultado llama la atención debido a que en un análisis de interferencia existe una estación “interferida” (usualmente la que ya está habilitada) y una estación “interferente” (la más nueva, que inicia operaciones). La

FCC [2] y CONATEL [4] validan la conveniencia de la asimetría al establecer que en el análisis de interferencia se calculen las distancias a los contornos de servicio con curvas normalizadas para al menos el 50% de las localidades y al menos 50% del tiempo para la estación interferida (curva FCC E(50,50)), así como también para al menos el 10% del tiempo para la estación interferente (curva FCC E(50,10)). Dado que ambas curvas no son idénticas y presentan una variación no lineal de la distancia a los contornos de servicio contra la ASPT, se concluye que en los estudios de interferencia los resultados no son conmutables.

Ampliando el problema expuesto, hasta ahora se ha señalado lo relativo a las estaciones de radiodifusión sonora FM según el Reglamento, pero hay que referir que adicionalmente existe en la nación una figura adicional válida diferente para estaciones FM, en forma de las emisoras comunitarias, amparadas por el Reglamento de Radiodifusión Sonora y Televisión Abierta Comunitarias de Servicio Público, sin Fines de Lucro, de 2001. En ese instrumento no se ofrece una matriz de distancias mínimas entre estaciones y en su Artículo 11 se establece que será CONATEL (y no el operador FM) la entidad que determinará la disponibilidad de espectro para estas emisoras [5]. Tampoco se definen allí la PER máxima ni la ASPT máxima permitida para este tipo de estaciones (no hay clases definidas), lo que dificulta la consideración de las emisoras comunitarias en estudios de interferencia contra estaciones FM convencionales. Esto genera un problema para conocer si habrá o no factibilidad para una nueva estación FM convencional, estudio que sí corresponde al operador interesado.

En base a los elementos señalados anteriormente, se propone como objetivo del estudio la revisión de la matriz de distancias del Artículo 108 del Reglamento, con el objeto de completar las celdas omitidas en ésta, y elaborar una propuesta de matriz con actualización de las celdas restantes sobre la base de un método de propagación válido en remplazo del modelo actual tipo “caja negra”,

según recomendaciones internacionales, que permita considerar adecuadamente el problema entre una estación interferida (habilitada) y una estación interferente (nueva).

## 2. Antecedentes

Es conveniente señalar como antecedente de investigación en el área de interferencia en radiodifusión al estudio efectuado por Erazo [6], quien analizó el problema de la interferencia y saturación de espectro radioeléctrico en las redes de frecuencia única (isofrecuencia), y su aplicación a las bandas de radiodifusión AM y FM a los fines de optimizar el espectro electromagnético en la ciudad de Quito (Ecuador), interpretando las regulaciones pertinentes y las recomendaciones de la UIT al respecto.

Adicionalmente, es oportuno considerar la investigación realizada por Da Silva y Passos [7] quienes efectuaron la evaluación de la herramienta numérica SIGAnatel para el análisis de factibilidad técnica en el modo punto-área en los canales de radiodifusión de las bandas de FM y TV, empleando el modelo de predicción de la Rec. P.1546 de la UIT en la estimación de la intensidad de campo eléctrico, en simulaciones efectuadas para el caso de estaciones transmisoras ubicadas en la localidad de Campina Grande (Brazil). Ambos antecedentes guardan relación directa con el objeto de estudio, siendo útiles para establecer el marco metodológico.

## 3. Metodología

La metodología para la propuesta de una matriz de distancias mínimas entre estaciones FM se basará en la establecida por la FCC, empleando las curvas de radiopropagación E(50,50) y E(50,10) a los fines de determinar las separaciones entre estaciones. Adicionalmente se propondrá una alternativa para la matriz, pero calculada sobre la base de la metodología de la ITU-R (Unión Internacional de Comunicaciones, sector de Radiocomunicaciones), empleando las curvas E(50,50) y E(50,10) de esa entidad, publicadas en la Rec. P.1546. En VHF el terreno influye en

Tabla 3: Relaciones de protección entre estaciones FM establecidas por el Instructivo Técnico para Estaciones Radiodifusoras en Frecuencia Modulada del antiguo MTC (1979), según la separación de frecuencias.

Canal	Separación de frecuencia, kHz	Relación de protección (campo eléctrico relativo)	Relación de protección (dB)
Cocanal	0	10:1	20
1er Canal adyacente	200	2:1	6
2do Canal adyacente	400	1:10	-20
3er Canal adyacente	600	1:100	-40

el nivel de señal recibido, lo que implica que el campo eléctrico estará por debajo del nivel de señal obtenido en condiciones de espacio libre. El nivel recibido real depende principalmente del valor que adquiere la ASPT del radial azimutal específico en el que se calcula, además de la distancia y de acuerdo con la PER de explotación, correspondiente a la componente de polarización de la antena. En los métodos de propagación de FCC y de ITU-R el cálculo se realiza para la componente horizontal. Tanto la FCC [8] como la ITU-R (Rec. P.1546-5) [9] ofrecen cartas de propagación en VHF para la estimación del campo eléctrico, con familias de curvas que indican el nivel de señal unitario ( $\text{dB}\mu$ ) que se recibe para cada ASPT y distancia  $d$ , elaboradas para una PER igual a 1 kW, y asumiendo una altura de antena receptora de 9 ó 10 m sobre el suelo.

El nivel de señal unitario ( $\text{dB}\mu$ ) se denomina  $E(L, T)$ , donde  $L$  es el porcentaje de localidades en donde se excede el nivel, y  $T$  es el porcentaje de tiempo durante el cual éste se supera.  $E(L, T)$  se obtiene mediante la carta que corresponda para la banda de frecuencias, y con este nivel unitario y la PER se determina el nivel de señal esperado  $NSE(\text{dB}\mu)$  del campo eléctrico a una determinada distancia  $d$  y ASPT, asumiendo un factor de rugosidad de 50 m, de acuerdo a la expresión [10]:

$$NSE(\text{dB}\mu) = E(L, T)(\text{dB}\mu) + PER(\text{dBk}) \quad (3)$$

La FCC [2] y CONATEL [4] establecen que en un estudio de interferencia entre dos estaciones se emplee la carta  $E(50,50)$  para ubicar la distancia al contorno de 60  $\text{dB}\mu$  de la estación interferida, y la carta  $E(50,10)$  para ubicar la distancia al contorno de la estación interferente, cuyo valor

en  $\text{dB}\mu$  dependerá de la relación de protección RP (dB) establecida de acuerdo a la separación de frecuencia  $\Delta f$  (kHz) entre las dos estaciones. Las relaciones de protección establecidas por el Instructivo Técnico del MTC se suministran en la Tabla3 [10], relacionando los campos de las estaciones según:

$$NSE_{id}(\text{dB}\mu) - NSE_{it}(\text{dB}\mu) = RP(\text{dB}), \quad (4)$$

donde  $NSE_{id}$  es el nivel de señal interferida y  $NSE_{it}$  el nivel de señal interferente.

CONATEL [4] indica que si no se cumplen las distancias del Artículo 108 se emplee un procedimiento supletorio con otras relaciones de protección menos estrictas y sólo hasta los 400 kHz, (omitiendo los 600 kHz) pero el mismo no se considera en este estudio ya que lo que se pretende es analizar el ajuste de la matriz del Artículo 108 sobre una base fenomenológica amplia.

El modelo propuesto para la determinación de la separación mínima  $d$  entre estaciones se basa en el empleo de las curvas de la FCC (similares en concepto a las de la ITU-R) e implica que se determine para la estación interferida la distancia  $d_1$  desde su sitio de ubicación a su contorno de 60  $\text{dB}\mu$ , para la PER máxima y la ASPT máxima de su clase (Tabla 1), seguidamente y de acuerdo a la relación de protección RP (dB) exigida por la separación de frecuencia entre estaciones (Tabla3) se calcula el nivel de campo eléctrico correspondiente a la estación interferente en el sitio que subtiende  $d_1$  (km) de manera que cumpla exactamente con la relación de protección exigida. A continuación se determina la distancia  $d_2$  (km) desde el sitio de ubicación la estación interferente hasta el contorno de campo correspondiente, para la PER máxima y la ASPT

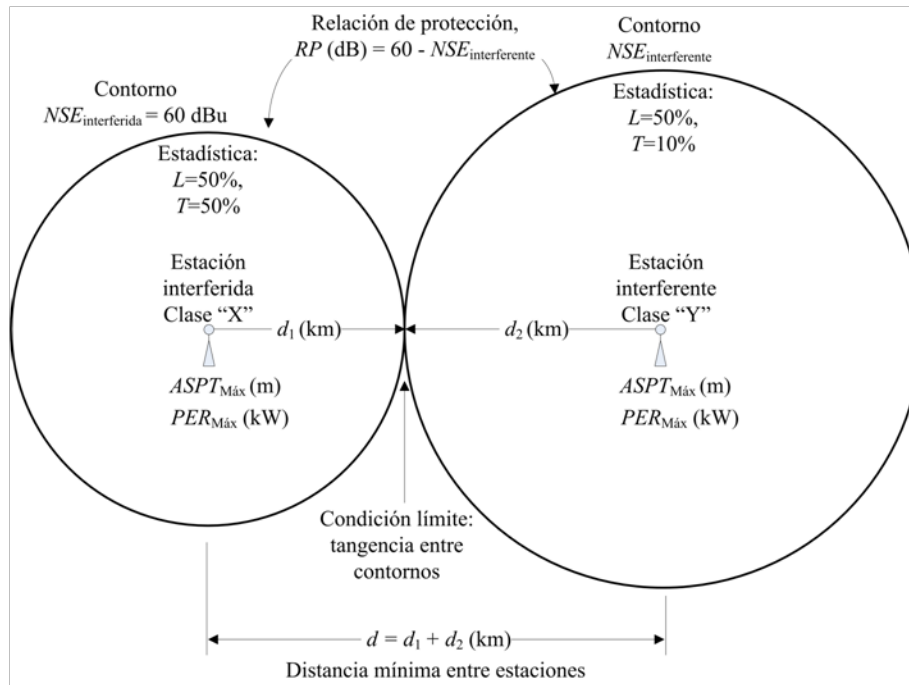


Figura 1: Cálculo de la distancia mínima entre estaciones FM, basado en las curvas de la FCC/ITU-R. A la izquierda el contorno protegido de 60 dBμ de la estación interferida, calculado con E(50,50), resultando la distancia  $d_1$ , y a la derecha el contorno de servicio del campo establecido por la relación de protección RP (dB) de la estación interferente, calculado con E(50,10), resultando la distancia  $d_2$ , para las clases de estaciones y la separación de frecuencias dada. Los dos contornos se calculan para la PER y ASPT máximas de las estaciones según su clase. La condición límite de interferencia admisible se impone mediante la tangencia de los dos contornos, resultando la separación mínima entre estaciones  $d = d_1 + d_2$ . El cálculo se repite para todas las combinaciones posibles de interferencia hasta completar la matriz.

máxima de su clase (Tabla 1). Ambas estaciones se asumen con antenas omnidireccionales.

$E(L, T)_{it}$ :

$$E(50, 50)_{id}(dB\mu) = 60dB\mu - PER_{id}(dBk), \tag{5}$$

$$E(50, 10)_{it}(dB\mu) = 60dB\mu - RP(dB) - PER_{it}(dBk). \tag{6}$$

La condición crítica para establecer el límite de la interferencia admisible será la que exige que los círculos de los contornos de servicios de ambas estaciones sean tangentes, justo en el punto donde se satisface como igualdad la relación de protección. De esta manera la distancia mínima entre estaciones, denotada como  $d$  (km) será igual a la suma de  $d_1$  y  $d_2$ . En la Figura 1 se suministra un gráfico ilustrativo del método aquí descrito para estimar  $d$ .

A partir del  $E(50, 50)_{id}$  de la Ecuación (5) se obtiene en la carta correspondiente el valor de  $d_1$  para la  $ASPT_{3017}_{id}$ , y a partir del  $E(50, 10)_{it}$  de (6) se ubica en la carta respectiva el valor de  $d_2$ , finalmente la distancia mínima entre estaciones es:

$$d = d_1 + d_2. \tag{7}$$

Si se emplean (3) y (4) para implementar el criterio antes descrito, se obtienen las expresiones (5) y (6) de los niveles de señal unitario de las estaciones interferida  $E(L, T)_{id}$  e interferente

Los cálculos se repiten posteriormente para todas y cada una de las combinaciones posibles de estaciones según sus clases y separación de frecuencias  $\Delta f$ , hasta obtener todas las celdas de la nueva matriz de distancias mínimas propuesta objeto del estudio.

Tabla 4: Propuesta de una matriz de distancias mínimas de separación (km) entre estaciones FM de acuerdo al empleo de las cartas FCC Part 73 E(50,50) y E(50,10) y las relaciones de protección del Instructivo del MTC. (Entre paréntesis se señalan las discrepancias porcentuales con respecto al Artículo 108 del Reglamento).

Separación de frecuencia (kHz)	0	200	400	600
Clase A (Estación interferida)				
Clase A (Estación interferente)	267 (11,1)	210 (6,6)	127 (11,1)	96 (14,5)
Clase B (Estación interferente)	207	153 (11,8)	101 (10,6)	90 (11,1)
Clase C (Estación interferente)	167	124 (18,7)	93 (10,6)	87 (10,9)
Clase B (Estación interferida)				
Clase A (Estación interferente)	228	171 (1,5)	88 (21,8)	57 (43,6)
Clase B (Estación interferente)	168 (-7,7)	115 (-8,1)	62 (4,2)	51 (-1,9)
Clase C (Estación interferente)	128	86 (-0,8)	54 (-2,3)	48 (-3,2)
Clase C (Estación interferida)				
Clase A (Estación interferente)	208	151 (3,1)	68 (34,4)	37 (62,5)
Clase B (Estación interferente)	148	94 (-11,1)	42 (24,8)	31 (34,6)
Clase C (Estación interferente)	108 (-17,3)	65 (-17,0)	34 (-6,4)	28 (-9,0)
Discrepancia promedio (%)				8,8
Discrepancia máxima (%)				62,5
Discrepancia mínima (%)				-17,3
Desviación estándar de la discrepancia (%)				18,0

#### 4. Análisis y discusión de resultados

Los resultados de la aplicación de la metodología están resumidos a continuación:

1. Se obtuvo una matriz de distancias mínimas a partir de las curvas E(50,50) y E(50,10) para FM de la FCC [8], y la aplicación de las relaciones de protección señaladas por el MTC (Tabla 3). Los resultados se suministran en la Tabla 4.
2. Se obtuvo una matriz de distancias mínimas a partir de a las curvas E(50,50) y (50,10) de la ITU-R para trayecto terrestre y 100 MHz [9], y la aplicación de las relaciones de protección señaladas por el MTC (Tabla 3). Los resultados se suministran en la Tabla 5.

En cada una de las Tablas 4 y 5 se determinó la discrepancia porcentual con relación a los valores de distancia indicados en el Artículo 108. Adicionalmente en la Tabla 6 se comparan los resultados de los errores en la estimación según el empleo de las curvas de FCC o de ITU-R. La Tabla 4 propone un modelo completo para las distancias mínimas, sin celdas omitidas. En comparación con las distancias mínimas del Artículo 108 se observa según el modelo FCC que en el caso de

una estación interferida en Clase A se obtienen resultados menores entre un 6,6 % y un 18,7 %, en el caso de una estación interferida en Clase B el modelo ofrece distancias entre un 43,6 % menores y 8,1 % mayores, y para una estación interferida en Clase C las distancias se encuentran entre un 62,5 % menores y un 17,0 % mayores.

La Tabla 5 propone un modelo alternativo para las distancias mínimas. En comparación con las distancias mínimas del Artículo 108 se observa según el modelo de ITU-R que en el caso de la estación interferida en Clase A se obtienen resultados menores entre un 6,2 % y un 21,6 %, en el caso de una estación interferida en Clase B se tienen distancias entre un 44,6 % menores y 17,9 % mayores, y para una estación interferida en Clase C las distancias se encuentran entre un 63,3 % menores y un 5,4 % mayores. Nótese que también la discrepancia aumenta al incrementarse la separación de frecuencias. También se observa en la Tabla 6 que la discrepancia entre las dos matrices propuestas para las distancias mínimas se encuentra entre un +11,4 % y un -10,9 %. Estos resultados, en el orden de una banda de error del  $\pm 10$  % validan en ese sentido la consistencia del método propuesto, pudiéndose atribuir las diferencias a las peculiares características climáticas y

Tabla 5: Propuesta de una matriz de distancias mínimas de separación (km) entre estaciones FM de acuerdo al empleo de las de las cartas de ITU-R Rec. P.1546 E(50, 50) y E(50, 10) y las relaciones de protección del Instructivo del MTC.

Separación de frecuencia (kHz)	0	200	400	600
Clase A (Estación interferida)				
Clase A (Estación interferente)	281 (6,3)	211 (6,2)	128 (10,5)	98 (12,5)
Clase B (Estación interferente)	226	146 (16,1)	103 (8,8)	90 (11,2)
Clase C (Estación interferente)	159	120 (21,6)	95 (8,8)	88 (10,6)
Clase B (Estación interferida)				
Clase A (Estación interferente)	239	169 (2,9)	86 (23,9)	56 (44,6)
Clase B (Estación interferente)	184 (-17,9)	104 (1,9)	61 (6,2)	48 (4,6)
Clase C (Estación interferente)	117	78 (8,2)	53 (0,4)	46 (3,0)
Clase C (Estación interferida)				
Clase A (Estación interferente)	219	149 (4,5)	66 (36,5)	36 (63,3)
Clase B (Estación interferente)	164	84 (1,2)	41 (26,8)	28 (41,1)
Clase C (Estación interferente)	97 (-5,4)	58 (-3,6)	33 (-2,5)	26 (1,5)
Discrepancia promedio (%)				11,8
Discrepancia máxima (%)				63,3
Discrepancia mínima (%)				-17,9
Desviación estándar de la discrepancia (%)				16,7

de relieve de las regiones geográficas peculiares donde se realizaron las mediciones con las que se construyeron las cartas.

Tabla 6: Discrepancias (%) obtenidas al comparar la estimación de distancias mínimas entre estaciones FM interferentes e interferidas según el método basado en las curvas de la FCC (Tabla 4) y en la curvas de la ITU-R (Tabla 5).

Separación de frecuencia (kHz)	0	200	400	600
Interferente Interferida				
Clase A				
Clase A	-5,4	-0,4	-0,6	-2,4
Clase B	-9,2	4,8	-1,9	0,1
Clase C	4,7	3,6	-1,9	-0,3
Clase B				
Clase A	-4,9	1,4	2,7	1,6
Clase B	-9,5	9,3	2,0	6,4
Clase C	8,6	8,9	2,6	6,0
Clase C				
Clase A	-5,5	1,4	3,3	2,0
Clase B	-10,9	11,0	2,6	9,9
Clase C	10,1	11,4	3,7	9,7
Discrepancia promedio (%)				2,1
Discrepancia máxima (%)				11,4
Discrepancia mínima (%)				-10,2
Desviación estándar de la discrepancia (%)				5,9

Tabla 7: Ejemplo ilustrativo de distancias estimadas por círculo máximo entre una hipotética estación interferente Clase C, 104,5 MHz situada en Valencia, en N 10° 13' 48", O 67° 58' 55" y tres estaciones interferidas hipotéticas situadas a nivel nacional.

Estación N°	1	2	3
Frec. Mhz	104,1	104,5	104,5
Clase	C	A	A
Lat (N)	10° 30' 00"	10° 32' 19"	10° 00' 47"
Long (O)	68° 00' 00"	66° 55' 41"	69° 20' 01"
S. emisión	Valencia	Caracas	Barquisimeto
Dist. Km	30,1	120,2	149,8

Como ejemplo de aplicación de la propuesta, considérese el caso hipotético de una estación que fuera aspirante a operar en Clase C con la frecuencia 104,5 MHz en la ciudad de Valencia, transmitiendo desde el sitio con coordenadas geográficas N 10° 13' 48", O 67° 58' 55" y en donde existan tres estaciones interferidas dentro de una separación de frecuencia de  $\pm 600$  kHz a nivel nacional, representadas también hipotéticamente, suponiendo que la No. 1 opere en Clase C a la frecuencia 104,1 MHz en la ciudad de Puerto Cabello (Estado Carabobo), transmitiendo desde N 10° 30' 00", O 68° 00' 00", la No. 2 opere en Clase A a la frecuencia 104,5 MHz (cocanal) en la

ciudad de Caracas (Distrito Capital), transmitiendo desde N 10° 32' 19", O 66° 55' 41", y la No. 3 opere también en Clase A en la frecuencia 104,5 MHz (cocanal) en la ciudad de Barquisimeto (Estado Lara), transmitiendo desde N 10° 00' 47", O 69 ° 20' 01". En la Tabla 7 se suministran las distancias entre cada una de las tres estaciones interferidas y la estación interferente, calculadas mediante el algoritmo de círculo máximo sobre tierra esférica [11].

Tabla 8: Distancia real ( $dr$ ) y distancias mínimas en km, entre las estaciones del ejemplo ilustrativo de la Tabla 7, según el Artículo 108 del Reglamento y la matriz propuesta (FCC e ITU).

Estación N°	1	2	3
$dr$	30,1	120,2	149,8
Art. 108	32	196	196
FCC	34	167	167
ITU-R (O)	33	159	159

En la Tabla 8 se comparan las distancias mínimas del ejemplo con las que establecen las matrices propuestas basadas en las cartas FCC (Tabla 4) e ITU-R (Tabla 5), incluyendo las distancias mínimas del actual Artículo 108.

Adviértase que en la Tabla 4 que en dos de los tres casos las distancias mínimas del Artículo 108 son superiores a las que establecen las dos matrices propuestas. También se observa que en la estación N° 1 el error entre las tres distancias mínimas es menor que 2 km (o bien del orden del 6 %). Por otra parte, en la estación N° 2 la distancia mínima baja desde los 196 km del Artículo 108 a distancias de 167 km (FCC), y 159 km (ITU-R), lo cual implica que en ese caso las matrices propuestas no son tan exigentes como la normativa, al exigir valores menores en el orden de un 29 %.

Obviamente, la estación propuesta no satisface las distancias mínimas en ningún caso, siendo importante señalar que CONATEL establece que en caso de que no se satisfagan las distancias mínimas del Artículo 108, el interesado en una nueva estación efectúe un estudio técnico adicional de acuerdo al procedimiento descrito en el documento de recaudos de esa entidad [4].

## 5. Conclusiones

A partir de los resultados presentados se concluye que la matriz propuesta de distancias mínimas, ya sea en su versión basada en la FCC (Tabla 4) o bien en la ITU-R (Tabla 5) constituye un producto para su posible consideración y evaluación, especialmente por parte del ente regulador, a los fines de actualizar las distancias del Artículo 108 del Reglamento, dado el tiempo transcurrido desde su publicación original (1984, repetida en 1993). Las propuestas especifican un método de cálculo con base física y describiendo cómo se obtienen y en qué sentido se interpretan las distancias mínimas, en lugar de valores de tipo “caja negra” donde no hay información para la validación fenomenológica, cuestión que ocurre actualmente en el Artículo 108. Adicionalmente, las matrices propuestas rellenan los huecos que carecen de información en el Artículo 108.

Estudios posteriores podrían realizarse en caso de que el ente regulador publique la base de datos geográfica de ubicación de las estaciones FM para hacer pruebas del modelo (información indispensable para los estudios de factibilidad). Las matrices de la Tabla 4 o de la Tabla 5 pudieran considerarse también para las estaciones FM Comunitarias, cuyo reglamento carece de este requerimiento al delegar en CONATEL el estudio de factibilidad de frecuencia. Se estima conveniente normalizar los estudios de interferencias de las estaciones FM convencionales y comunitarias y cabe la posibilidad de actualizar también los valores de las relaciones de protección de la Tabla 3, de manera de evaluar la severidad del requerimiento considerando los avances en los últimos treinta años en la selectividad de los receptores.

## Referencias

- [1] Gaceta Oficial. Reglamento sobre la operación de las estaciones de radiodifusión sonora. decreto no. 2.771. Gaceta Oficial de la República de Venezuela No. 4.530 Extraordinario, 1993.
- [2] Federal Communications Commission. 47 cfr part 73 radio and television broadcast rules. item 73.310, fm technical definitions. USA, 2012.

- [3] Gaceta Oficial. Reglamento sobre radiodifusión sonora en frecuencia modulada. decreto no. 329. Gaceta Oficial de la República de Venezuela No. 3.463 Extraordinario, 1984.
- [4] CONATEL. Reaundos de radiodifusión sonora en frecuencia modulada. Comisión Nacional de Telecomunicaciones, 2014.
- [5] Gaceta Oficial. Reglamento de radiodifusión sonora y televisión abierta comunitarias de servicio público, sin fines de lucro. decreto no. 1.521. Gaceta Oficial de la República de Venezuela No. 37.359 Extraordinario, 2001.
- [6] Erazo Chulde y Héctor Javier. Estudio y análisis de la tecnología de redes de frecuencia única (isofrecuencia), y su aplicación a la radiodifusión en las bandas de am y fm para la optimización del espectro electromagnético en la ciudad de quito. 2009.
- [7] PHF da Silva y Márcio G Passos. Numerical analysis of the siganatel tool for technical feasibility studies of tv and fm broadcast channels. In *Microwave and Optoelectronics Conference, 2007. IMOC 2007. SBMO/IEEE MTT-S International*, pages 569–573. IEEE, 2007.
- [8] FCC. Fm and tv propagation curves graphs - sections 73.333, 73.525, and 73.699. Federal Communications Commission, USA, 2014.
- [9] UIT-R. Recomendación uit-r p.1546-5. métodos de predicción de punto a zona para servicios terrenales en la gama de frecuencias de 30 a 3 000 mhz. Unión Internacional de Telecomunicaciones, Ginebra, 2014.
- [10] MTC. Instructivo técnico para estaciones de radiodifusión sonora en f.m. dirección general de comunicaciones. Ministerio de Transporte y Comunicaciones, Caracas, 1977.
- [11] NAB. Engineering handbook. National Association of Broadcasters, USA, 1992.